



Centralne
Laboratorium
Ochrony
Radiologicznej



Raport Roczny 2021

Annual Report 2021

Redaktor naukowy/Scientific editor

Dr Paweł Krajewski

Recenzent/Reviewer

Prof. dr. hab. Jan Pluta

Redakcja techniczna/Technical editors

Mgr Zuzanna Samborska- Zajkowska

Mgr Dorota Wieczorek

Copyright by Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 2021

All rights reserved

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Central Laboratory for Radiological Protection

Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

RAPORT CLOR NR 163

ISBN 978-83-947765-6-5

Warszawa 2022

RAPORT ROCZNY CLOR 2021

ANNUAL REPORT 2021



Warszawa 2022

Spis treści

Przedmowa	10
Zakład Higieny Radiacyjnej	16
Zakład Higieny Radiacyjnej.....	18
Utrzymanie akredytacji w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych wykonującym pomiary służące ocenie dawek od narażenia wewnętrznego	20
Oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{232}Th , ^{230}Th i ^{228}Th w butelkowanych wodach mineralnych i źródłanych	22
Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach pożywienia w 2021 r.....	24
Przeprowadzenie pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr dla placówek podstawowych prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju.....	26
Monitoring i ochrona radiologiczna Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (Otwock-Świerk)	28
Opracowanie metody oznaczania ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodzie przy pomocy spektrometrii ciekłoscyntylicyjnej.....	31
Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i ryb, w ramach prowadzonego monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego	33
Oznaczanie stężenia promieniotwórczego ^{241}Pu w osadach dennych południowego Morza Bałtyckiego. ^{241}Pu – postępy w opracowaniu procedury badawczej.....	36
Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2021-2022	39
Zakład Dozymetrii	41
Informacja o działalności Zakładu Dozymetrii w roku 2021.....	43
Rozwój systemu zapewnienia jakości w akredytowanym Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej w zakresie utrzymania wzorca odniesienia radu ^{226}Ra , toru ^{228}Th i potasu ^{40}K w roku 2021	47
Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego na podstawie badania próbek gleby.....	49
Wyniki międzylaboratoryjnych pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych przeprowadzonych w roku 2021	51
Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980-2021	54
Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie oraz wokół Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku.....	55

Monitoring gazów szlachetnych w Warszawie i Świerku w latach 2015-2021	58
Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Narwiańskiego Parku Narodowego (NPN) na podstawie badania próbek flory	61
Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018-2020 (rok 2021). ZADANIE 3: Monitoring stężenia ¹³⁷ Cs w glebie	63
Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2020-2022 (rok 2021). ZADANIE 3: Monitoring stężenia ¹³⁷ Cs w glebie	65
Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową – sieć stacji ASS-500 (rok 2021).....	67
Unowocześnienie sieci wczesnego ostrzegania o skażeniach powietrza w Polsce – wykonanie dwóch nowych stacji ASS-500 zasilanych napięciem jednofazowym. Zainstalowanie i uruchomienie nowych stacji w dwóch lokalizacjach w Polsce (Katowice, Łódź).....	70
Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania	72
Informacje o działalności Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowaniu w 2021r.....	74
Funkcjonowanie Systemu Zarządzania Jakością w Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych w roku 2021	77
Utrzymanie Systemu Zarządzania Jakością w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych Radonowych w roku 2021.....	80
Badanie czynników wpływających na zmianę właściwości detektorów śladowych CR39	82
Utrzymanie gotowości Laboratorium Monitoringu Jodu CLOR do wykonywania pomiarów zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy człowieka.....	85
Walidacja opracowanego w CLOR kodu komputerowego CLRP w ramach programów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA).....	88
Studium wykonalności neutronowej analizy aktywacyjnej (NAA) w laboratorium CLOR.....	94
Działalność służby dozymetrycznej CLOR w ramach umowy zawartej z Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki	97
Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej w 2021 r.....	99
Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych – część techniczna.....	101
Badanie korelacji pomiędzy wskazaniami spektrometru środowiskowego działającego w oparciu o detektor LaBr ₃ , a zawartością radionuklidów w podłożu	103
Wykonanie symulacji metodą Monte Carlo obudów do detektorów TLD stosowanych przez Pracownię Dawek Indywidualnych i Środowiskowych CLOR	105
Projekt European System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification: EU-RADION	108

Badania półprzewodnikowych detektorów do pomiaru sygnałów optycznych z detektorów termoluminescencyjnych	110
Prace teoretyczne nad funkcjami wydajności rejestracji fotonów gamma przez detektory scyntylacyjne i półprzewodnikowe	112
Wykorzystanie algorytmu symulowanego wyżarzania do optymalizacji parametrów funkcji opisującej rozkład ziarnowy aerozoli promieniotwórczych zgodnie z modelem Porstendörfera.....	115
Opracowanie zależności między różnymi odbudowami TLD stosowanymi przez PDIŚ CLOR dla różnych źródeł promieniowania	118
Opracowanie i wykonanie stanowiska do określania charakterystyki kątowej dozymetrów i przyrządów dozymetrycznych	120
Pomiar stężenia radonu w miejscach pracy, w których istnieje znaczące ryzyko przekroczenia poziomu referencyjnego 300 Bq/m ³	122
Metoda wyznaczania rozkładu ziarnowego aerozoli promieniotwórczych na podstawie rozkładu aerozoli środowiskowych.....	124
Dział Szkolenia i Informacji	125
Podsumowanie prac Działu Szkolenia i Informacji w roku 2021	127
English version	128
Introduction	130
Department of Radiation Hygiene	136
Department of Radiation Hygiene.....	138
Maintenance of accreditation in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis performing measurements for assessing doses from internal exposure	141
Determination of activity concentration of ²³² Th, ²³⁰ Th and ²²⁸ Th in bottled mineral and spring waters	143
Determination of the activity concentration of ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr in meals samples in 2021 ...	145
Comparative measurements regarding ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr isotope determination by basic units performing radioactive contamination measurements within the framework of radiation monitoring of the country	147
Monitoring and radiological protection of the Radioactive Waste Management Plant (Otwock-Świerk)	149
Development of a method for the determination of ²²⁶ Ra and ²²⁸ Ra in water by liquid scintillation spectrometry.....	152
Measurements of radioactive contaminations in samples of water, bottom sediments, and fish in the framework of the monitoring of radioactive contamination of the Baltic Sea...	154
Determination of ²⁴¹ Pu radioactive concentration in the sediment from the southern Baltic Sea. ²⁴¹ Pu – progress in procedure adaptation	157

Monitoring of radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2021-2022	159
Dosimetry Department	161
Information on the activities of the Dosimetry Department in 2021.....	163
Development of the quality assurance system in an accredited Laboratory of Natural Radioactivity Measurements in the scope of radium ²²⁶ Ra, thorium ²²⁸ Th and potassium ⁴⁰ K reference standard maintenance in 2021	167
Assessment of the radiation situation in the Ojcowski National Park on the basis of the soil samples measurements.....	169
Results of the interlaboratory comparison measurements of natural radioactive isotopes content in raw and building materials carried out in 2021	171
Analysis and Evaluation of the Radioactivity of Raw and Building Materials Used in Poland in years 1980-2021.....	174
The estimate of the situation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan and around National Centre for Nuclear Research in Świerk	175
Noble gas monitoring in Warsaw and Świerk in 2015-2021.....	178
Analysis of the radiation situation in the Narwianski National Park based on the study of grass samples.....	181
Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring in 2018-2020 (year 2021). TASK 3: Monitoring of ¹³⁷ Cs concentration in soil	183
Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring in 2020-2022 (year 2021). TASK 3: Monitoring of ¹³⁷ Cs concentration in soil.	185
Assessment of effective dose for residents of Poland from inhalation of atmospheric aerosols – network of ASS-500 stations (in the year 2021)	187
Modernization of the early warning network on air contamination in Poland – performing of two new ASS-500 stations powered with single-phase voltage. Installation and commissioning of new stations in two locations in Poland (Katowice, Łódź).....	191
Department of Individual Monitoring and Calibration	193
Department of Individual Monitoring and Calibration	195
Quality Management System in the Laboratory of Personal and Environmental Doses in 2021	198
Quality Management System in the Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR) for the 2021	200
Study of factors influencing the change of properties of CR39 nuclear track detectors	202
Maintenance of the CLOR Iodine Monitoring Laboratory to perform measurements of radioactive iodine in the human thyroid.....	205

Validation of elaborated in CLOR code CLRP in a frame of international programs IAEA .	209
Feasibility study of neutron activation analysis (NAA) in CLOR laboratory.....	215
The operation of the Central Laboratory of Radiological Protection (CLOR) dosimetry services within the framework of an agreement concluded with the Radiation Emergency Center (CEZAR) from the National Atomic Energy Agency.....	218
Calibration dosimeters for radiation protection purpose in 2021.....	220
Assurance and support of the quality system in Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments– technical part.....	222
Study of the correlation between the indications of the environmental spectrometer based on the LaBr3 detector and the content of radionuclides on the soil surface	223
Monte Carlo simulations of housings for TLD used by Laboratory of Personal and Environmental Doses at CLOR.....	225
European System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification: EU-RADION project.....	228
Research on semiconductor detectors for measuring optical signals from thermoluminescent detectors	231
Theoretical works on the functions of gamma photon registration efficiency by scintillation and semiconductor detectors	234
The use of the simulated annealing algorithm to optimize the parameters of the Porstendörfer model describing the particle size distribution of radioactive aerosols.....	238
Determine of the conversion factors for TLD holders used in the Laboratory of Individual and Environmental Doses (PDIŚ) for various radiation sources.....	241
Development and execution of the station for angular characteristics of doseimeters	243
Measurement of radon activity concentration in workplaces where is a significant risk of exceeding the reference level 300 Bq/m ³	245
Optimization of the method for determining the size distribution of radioactive aerosols based on the size distribution of ambient aerosols	247
Training and Information Department	248
Summary of the Activities of Training and Information Department in 2021	250
Recenzja raportu rocznego	252

Przedmowa

W niniejszym raporcie przekazujemy zwięzłą charakterystykę głównych prac Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) realizowanych w roku 2021.

Szczegółowy opis tych prac można znaleźć w ekspertyzach i wydawnictwach CLOR dostępnych na stronach instytucji współpracujących z nami lub możliwych do pobrania na stronie internetowej CLOR.

Warto w tym miejscu wspomnieć, że Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) od ponad 60 lat realizuje zadania z zakresu ochrony przed promieniowaniem jonizującym na rzecz Państwa Polskiego. Historyczne CLOR utworzono w 1957 roku¹, na rok przed rozpoczęciem działalności pierwszego badawczego reaktora EWA w Świerku, jako odrębny instytut badawczy, który ma prowadzić niezależny i wiarygodny monitoring radiologiczny m.in. tego obiektu jądrowego. Była to jedna z pierwszych tego typu placówek w Europie.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej pełni swoją misję poprzez realizację zadań monitoringu krajowego, prewencyjnych zadań operacyjnych, dostarczanie danych z zakresu skażeń promieniotwórczych różnych komponentów środowiska, ocen narażenia ludności, narażenia zawodowego oraz analiz wpływu promieniowania jonizującego na środowisko w warunkach nadzwyczajnych uwolnień substancji promieniotwórczych, ataków terrorystycznych, jak również rozciągniętych w czasie uwolnień technologicznych z obiektów jądrowych.

Prace prowadzone w Instytucie odpowiadają bieżącym potrzebom Państwa Polskiego oraz bezpiecznemu rozwojowi zaawansowanych technologii charakteryzujących się brakiem emisji tzw. gazów cieplarnianych i ukierunkowanych na rozwój źródeł energii jądrowej. CLOR służy Organom Państwowym, społeczeństwu, gospodarce i środowisku. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej prowadzi badania naukowe na terenie Polski oraz poza jej granicami.

Działalność CLOR obejmuje kilka charakterystycznych obszarów, różniących się źródłem oraz sposobem pozyskiwania środków finansowania, zakresem badań oraz zaangażowaniem eksperckiej kadry:

1. Zadania w Zakresie Monitoringu Ogólnokrajowego na rzecz Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA)
2. Zadania w Zakresie Monitoringu Ogólnokrajowego na Rzecz Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ)
3. Działalność Naukowa I Badawczo-Wdrożeniowa
4. Współpraca Krajowa I Zagraniczna
5. Działalność Komercyjna

Zadania w Zakresie Monitoringu Ogólnokrajowego na rzecz Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA)

- Najważniejszym zadaniem, z punktu widzenia bezpieczeństwa radiacyjnego kraju, jest zadanie dotyczące działania sieci wysokoczułych stacji ASS-500 do wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych powietrza i realizowane przez Zakład Dozymetrii CLOR, pod tytułem „Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową – sieć stacji ASS-500. W 2021 r. zakończono wdrożenie nowego typu stacji do badań skażeń promieniotwórczych powietrza ASS-500 (PATENT 184966). Prowadzone w okresie (2018-2021) prace potwierdziły nowoczesność stacji oraz ich wysoką czułość, co pozwoliło na prowadzenie analiz danych otrzymywanych z sieci pod kątem oceny dawki skutecznej dla mieszkańców Polski. Wyniki tych badań są publikowane w kwartalnych komunikatach dla ludności

¹ Zarządzeniem Prezesa Rady Ministrów (Nr 164 z dn. 13-07-1957 r.)

o sytuacji radiacyjnej kraju w Dzienniku Urzędowym R.P. „Monitor Polski” przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), jak również w raportach rocznych PAA. W oparciu o wyniki tej sieci eksperci ochrony radiologicznej mogą z pełną odpowiedzialnością formułować oświadczenia o braku zagrożenia radiacyjnego dla Polski. Sieć stacji pokrywa cały kraj, stacje znajdują się w 13 lokalizacjach: Warszawa, Białystok, Gdynia, Kraków, Lublin, Sanok, Szczecin, Toruń, Wrocław, Zielona Góra, Kielce (Katowice, Łódź -modernizacja w 2021 r.)

Chociaż sieć ASS-500 podlega koordynacji ze strony Prezesa PAA na podstawie art. 74 Ustawy Prawo Atomowe, to jednak utrzymanie sieci nie może być przenoszone na PAA, która nie jest właścicielem stacji. Pozostają zapisy art.78, który stanowi: „Prezes Agencji może powierzyć wykonywanie zadań, o których mowa w art. 72a, art. 74, art. 76 i art. 77, instytucji wyspecjalizowanej w dziedzinie ochrony radiologicznej”, jednak w praktyce to oznacza coroczne, żmudne i czasochłonne postępowania o udzielenie zamówienia publicznego. Sytuacja ma szansę zmienić się w 2022 r, po zakończeniu prac legislacyjnych nad Ustawą „O zmianie ustawy o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących oraz niektórych innych ustaw”, w której przewidziano zmianę w art. 33 ust. 2 i dodanie do punktu 5, punktu 5a brzmieniu: „5a) wykonywanie pomiarów mocy dawki promieniowania jonizującego lub skażeń promieniotwórczych kraju”.

- W 2021 r. Zakład Dozymetrii prowadził również badania okolic Świerku i Różana za pomocą przewoźnej stacji do pomiarów skażeń powietrza (Patent PL 216990 B1 (2014)). Nie stwierdzono emisji promieniotwórczych aerozoli radioizotopów antropogenicznych przez te obiekty. W tym też okresie badano za pomocą nowego typu stacji PS3PJ (przewoźna stacja pomiarowa) również możliwość emisji jodu promieniotwórczego ¹³¹I wokół reaktora Maria. Nie wykryto istotnych emisji tego radioizotopu w żadnej z postaci fizykochemicznych.
- W ramach umów zleczanych przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki, Zakład Higieny Radiacyjnej oraz Zakład Dozymetrii prowadziły regularny krajowy monitoring oraz przeprowadzały ocenę sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie oraz wokół Ośrodka w Świerku.
- Kolejnym zadaniem wykonywanym na rzecz Prezesa PAA, jest sprawowanie Całodobowej Służby Awaryjnej CLOR przy Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki, jest to usługa operacyjna wspólnie realizowana przez Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania oraz Zakład Dozymetrii. W ramach tej usługi (rozpoczętej w 2018 r. i kontynuowanej w latach następnych) eksperci CLOR, na miejscu zdarzenia radiacyjnego, prowadzą ocenę ryzyka radiologicznego oraz podejmują działania prewencyjne wspomagające pracę służb mundurowych w trakcie przechwytywania niebezpiecznych materiałów CBRN na granicy.
- Kolejnym zadaniem o charakterze operacyjnym, realizowanym na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki, jest zadanie prowadzone w Zakładzie Kontroli Dawek i Wzorcowania, pt. „Utrzymanie w gotowości Laboratorium monitoringu zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy człowieka”. Zadanie to obejmuje monitoring narażenia zawodowego w zakładach medycyny nuklearnej wskutek dawek na tarczycę otrzymywanych przez personel medyczny, pochodzących od wniknięć promieniotwórczego jodu ¹³¹I i technetu ^{99m}Tc drogą oddechową, w trakcie prowadzenia przez ten personel diagnostyki oraz terapii tarczycy.
- W tym samym trybie zleceń PAA, prowadzone jest przez Zakład Higieny Radiacyjnej zadanie pt. „Organizacja pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr dla placówek podstawowych prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju” oraz zadanie pt. „Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i ryb, w ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego” – które prowadzi Polska w ramach obowiązków członka Komisji Helsińskiej (Helsinki Commission, Baltic Marine Environmental Protection Commission, Helcom Mors) .

Zadania w Zakresie Monitoringu Ogólnokrajowego na Rzecz Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (GIOŚ)

Na podstawie dwuletnich kontraktów finansowanych przez fundusz Ochrony Środowiska, Zakład Dozymetrii oraz Zakład Higieny Radiacyjnej, prowadziły monitoring radiologiczny gleb oraz rzek i jezior na potrzeby Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska

(GIOŚ) w Polsce. Te zadania są realizowane przez CLOR od 1988 roku. Podstawy prawne tworzą: Ustawa Prawo Atomowe i Ustawa Prawo Ochrony Środowiska, Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 17 grudnia 2002 r (będące przedmiotem nowelizacji) oraz Rekomendacja Komisji UE z dn. 8 czerwca 2000 r. W ramach tego zadania prowadzony jest w cyklu dwuletnim, pobór próbek z 10 cm powierzchniowej warstwy gleby w 254 punktach zlokalizowanych w stacjach i posterunkach IMGW, a następnie pomiar spektrometryczny odpowiednio spreparowanych próbek w celu wyznaczenia aktualnego rozkładu depozycji sztucznego izotopu promieniotwórczego ^{137}Cs oraz stężeń radionuklidów naturalnych ^{226}Ra , ^{228}Ac i ^{40}K .

Pobór próbek wody i osadów dennych prowadzony jest w cyklu rocznym, w następujących lokalizacjach:

- Rzeki: Wisła- (Kraków Tynec, Annopol, Warszawa, Płock i Kieźmark); Narew – (Pułtusk); Bug – (Wyszków); Odra – (Chałupki, Wrocław, Głogów i Krajnik); Warta – (Poznań).
- Jeziora: Wielkie Partęczyny (woj. kujawsko-pomorskie); Drawsko (woj. zachodnio-pomorskie); Wadąg (woj. warmińsko-mazurskie); Rogóźno (woj. lubelskie); Niesłysz (woj. lubuskie); Wigry (woj. podlaskie),

Następnie, przeprowadza się pomiar stężenia izotopów promieniotwórczych cezu ^{137}Cs i strontu ^{90}Sr w wodach rzek i jezior oraz cezu ^{137}Cs i plutonu ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$ w osadach dennych.

Podstawowym celem wyżej opisanych zadań jest bieżąca ocena stopnia skażenia promieniotwórczego gleby oraz wód powierzchniowych i osadów dennych na obszarze kraju oraz sporządzenie aktualnych map radiologicznych Polski. Wyniki badań opracowywane są w postaci sprawozdań dla GIOŚ (publikowanych na stronie GIOŚ), ponadto w formie syntetycznych tabel i map zaś ocena sytuacji radiologicznej jest przekazywana do PAA oraz do Głównego Urzędu Statystycznego.

Działalność Naukowa I Badawczo-Wdrożeniowa

W ramach subwencji Ministerstwa Nauki i Edukacji, CLOR, prowadzi co roku kilkanaście prac o charakterze badań naukowych, poświęconych głównie rozwojowi nowych metodyk pomiarowych lub unikalnym badaniom środowiskowym mającym na celu ocenę narażenia określonych grup krytycznych populacji.

Specjalistyczne badania środowiskowe prowadzone w 2021 r. w celu oceny narażenia wybranych grup ludności w określonych lokalizacjach lub mniej zbadanych źródeł narażenia dotyczyły np.:

- a) Oznaczanie stężeń promieniotwórczych izotopów toru ^{232}Th , ^{230}Th i ^{228}Th w butelkowanych wodach mineralnych i źródłanych,
- b) Oznaczanie stężeń aktywności w osadach dennych Morza Bałtyckiego plutonu ^{241}Pu ,
- c) Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Polskich Parków Narodowych (NPNP) na podstawie badania próbek gleb oraz trawy, przykładowo: Ojcowskiego Parku Narodowego i Narwiańskiego Parku Narodowego.
- d) Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980-2021,
- e) Analiza stężeń promieniotwórczych gazów szlachetnych w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego w Warszawie i w Świerku.
- f) Pomiar stężenia radonu w miejscach pracy, w których istnieje znaczące ryzyko przekroczenia poziomu referencyjnego 300 Bq/m³

Prace mające na celu wdrożenie nowej metodyki pomiarowej lub usprawnienie istniejących metodyk pod kątem zwiększeniem jej wydajności i skrócenia czasu pomiaru, w tym na szczególną uwagę zasługują prace prowadzone w Zakładzie Kontroli Dawek i Wzorcowania, które skupiały się na zagadnieniu modernizacji i wdrożenia metodyki pomiarowej oraz własnych procedur systemowych do zwiększonych wymagań wynikających z nowych zaleceń i dyrektyw UE, które zostały ostatnio implementowane do prawa krajowego, dotyczących pomiaru radonu ^{222}Rn , czy też prace nad opracowaniem prekursorskiej metodyki pomiarów mocy dawki np.:

- a) Opracowanie metody oznaczania izotopów radu ^{226}Ra oraz ^{228}Ra w wodzie metodą spektrometrii ciekłej scyntytacji,

-
- b) Badanie czynników wpływających na zmianę właściwości detektorów śladowych Cr-39,
 - c) Rozwinięcie metodyki pomiarów mocy dawki promieniowania tła przy pomocy pasywnych metod TLD, jak:
 - i. Wykonanie symulacji metodą Monte Carlo obudów detektorów TLD stosowanych przez Pracownię Dawek Indywidualnych i Środowiskowych CLOR,
 - ii. Opracowanie zależności między różnymi obudowami TLD stosowanymi przez Pracownię Dawek Indywidualnych i Środowiskowych CLOR,
 - iii. Opracowanie i wykonanie stanowiska do określania charakterystyki kątowej dozymetrów i przyrządów dozymetrycznych,
 - d) Metoda wyznaczania rozkładu ziarnowego aerozoli promieniotwórczych na podstawie rozkładu aerozoli środowiskowych
 - e) Wykorzystanie algorytmu symulowanego wyżarzania do optymalizacji parametrów funkcji opisującej rozkład ziarnowy aerozoli promieniotwórczych zgodnie z modelem Porstendörfera
 - f) Prace teoretyczne nad funkcjami wydajności rejestracji fotonów gamma przez detektory scyntylacyjne i półprzewodnikowe,
 - g) Badanie korelacji pomiędzy wskazaniami spektrometru środowiskowego działającego o detektor LaBr3 lub HPGe a zawartością radionuklidów w podłożu.
 - h) Prowadzone są również prace w kierunku stworzenia własnych narzędzi komputerowych do weryfikacji prognoz dawek na potrzeby raportu o oddziaływaniu na środowisko (Raport OOS) planowanej EJ, jak walidacja opracowanego w CLOR kodu komputerowego CLRP w ramach programów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA).

Współpraca Krajowa i Zagraniczna

Działalność CLOR w kierunku unowocześnienia krajowego systemu ochrony radiologicznej prowadzona jest przy intensywnej współpracy z ośrodkami zagranicznymi w ramach grantów UE horyzont H2020 m.in:

W 2021 roku uzyskano finansowanie w następujących konkursach zagranicznych:

- a) Projekt traceRADON, pn. Implementacja metrologii radonu do analizy budżetu gazów cieplarnianych (GHG) i ochrony radiologicznej w środowisku, projekt w ramach konkursu UE EMPIR EURAMET 19ENV01 (okres realizacji projektu od 06.2020 do 05-2023)
- b) Projekt EU-RADION pn. Europejski System Zwiększonej Zdolności Detekcji i Identyfikacji Zagrożenia Radiologicznego, Horyzont 2020, Call: H2020-SU-SEC-2018-2019-2020, (Security) (okres realizacji projektu od 8.2020 r. do 7.2023 r.)

W 2021 r. kontynuowano również współpracę związaną z podpisanymi wcześniej umowami z ważnymi ośrodkami naukowymi za granicą:

- a) W 2020 r., została przedłużona czteroletnia kadencja przedstawiciela CLOR dr Pawła Krajewskiego (2021-2025) jako eksperta Grupy Ekspertów paragrafu 31 traktatu EURATOM (the Group of Experts referred to in Article 31 of the Euratom Treaty),
- b) Umowa 8 lipca 2015 r. o współpracy z Niemieckim Biurem Federalnym Ochrony przed Promieniowaniem (Bundesamt für Strahlenschutz BfS) odnośnie pomiarów gazów szlachetnych Kr-85 i Xe-133 wokół kompleksu „Świerk” składającego się z reaktora „Maria” oraz Zakładu Produkcji Izotopów POLATOM została przedłużona na lata 2019-2022.
- c) Eksperci Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej biorą udział w pracach Komitetu Ochrony Radiologicznej i Zdrowia Publicznego „Committee on Radiation Protection and Public Health” (CRPPH).

Działalność Komercyjna

Działalność ekspercko-usługowa CLOR opiera się głównie na zamówieniach analiz lub ekspertyz składanych przez podmioty zewnętrzne do akredytowanych laboratoriów. CLOR dysponuje trzema akredytowanymi laboratoriami badawczymi:

- *Pracownią Dawek Indywidualnych i Środowiskowych PDIiŚ* (o numerze akredytacji AB 450). Pracownia prowadzi pomiary i ocenę dawek indywidualnych pracowników narażonych zawodowo (medycyna, przemysł, służby mundurowe). W oparciu

o metody termoluminescencji pracownia wykonuje pomiary dla 8000 pracowników rocznie. Ponadto, zakres akredytacji pracowni obejmuje pomiary mocy dawki w powietrzu tzw. tła promieniowania gamma, jak również pomiar stężenia radonu w próbkach ciekłych oraz (od 2019 r.) nową metodę pomiarów stężenia radonu w powietrzu metodami pasywnymi w oparciu o folię CR-39. Oprócz tego, w skład PDIŚ wchodzi Laboratorium Pomiarów Jodu Promieniotwórczego które, utworzone po awarii w EJ w Czarnobylu w 1989 r, przeznaczone jest do prowadzenia szybkiej oceny ekspozycji ludności w wypadku uwolnień ¹³¹I do atmosfery z obiektu jądowego. Obecnie Laboratorium prowadzi ocenę narażenia zawodowego dla PAA w oparciu o pomiary zawartości ¹³¹I lub ^{99m}Tc w tarczycy pracowników zakładów medycyny nuklearnej.

- *Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych LARIS* (AB 1215), prowadzi analizy skażeń promieniotwórczych w próbkach środowiskowych, żywności i wody pitnej w oparciu o przepisy krajowe i UE. Zakres akredytowanych metod analitycznych tego laboratorium obejmuje szerokie spektrum emiterów gamma i beta, m.in. strontu ⁹⁰Sr w próbkach: wody, gleby, osadach dennych, paszach, różnych produktach żywnościowych jak mleko, warzywa, mięso, ryby, dieta zmieszana etc., stężenia trytu H-3 w próbkach wody, moczu, globalną *alfę* i globalną *betę* w wodzie oraz radionuklidy: U-238, 234, 235; Pluton 239, 240, 238, Polon 210, Pb-210, Am-241. Laboratorium wykonuje rocznie około 4000 oznaczeń.

- *Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej* (AB 1108), które stanowi uzupełnienie systemu monitoringu skażeń promieniotwórczych środowiska o sieć pomiarów radioaktywności naturalnej surowców i materiałów budowlanych prowadzącą na obszarze całego kraju kwalifikację i ocenę przydatności materiałów budowlanych do stosowania w różnych typach budownictwa.

CLOR dysponuje również akredytowanym laboratorium wzorcującym:

- *Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych LWPDiR* (AP 057). Laboratorium LWPDiR oferuje usługi w zakresie wzorcowania, kontroli typu, atestacji przyrządów dozymetrycznych, pozostając jedyną placówką w kraju posiadającą akredytację w tak szerokim zakresie wzorcowych pól promieniowania X ray, gamma, beta, neutronowych oraz skażeń powierzchniowych. Ponadto, w skład Laboratorium LWPDiR wchodzi Radonowe Stanowisko Wzorcowe (RSW), wyposażone komorę kalibracyjną z unikalnym zapleczem aparaturowym, które służy do wzorcowania detektorów i przyrządów do pomiaru stężenia radonu i jego krótko życiowych produktów rozpadu w powietrzu. RSW należy do specjalnych urządzeń badawczych objętych dotacją podmiotową. RSW jest obecnie jedynym w Polsce laboratorium wzorcującym przyrządy do pomiaru energii potencjalnej alfa i jednym z dwu laboratoriów wzorcujących przyrządy do pomiaru stężenia radonu w powietrzu. Działalność RSW ma zasięg krajowy oraz międzynarodowy, m.in.: prowadzone są badania między-laboratoryjne związane z walidacją europejskich laboratoriów kalibrujących, badania współczynników przeliczeniowych dawek DCF skorelowanych z rozkładem średnic aerozoli w powietrzu, wzorcowania dla polskiego Centrum Radonowego.

- Oprócz usług prowadzonych przez akredytowane laboratoria, inną formą działalności komercyjnej CLOR jest szkolenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej (IOR) oraz operatorów aparatury wytwarzającej promieniowanie jonizujące typu A-A, S-A, S-Z. Co roku CLOR prowadzi kursy dla około 50 osób ubiegających się o nowe licencje inspektorów IOR oraz dla około 100 osób odnawiających uprawnienia IOR, jak również dla około 120 kursantów ubiegających się o licencje A-A, S-A oraz S-Z. Od 2016 r. zakres oferty szkoleniowej CLOR uległ rozszerzeniu dla służb weterynaryjnych oraz personelu medycznego na potrzeby Głównego Inspektoratu Sanitarnego. W ramach programu szkolenia kadr na potrzeby energetyki jądowej CLOR zawarł umowy z uczelniami wyższymi: Politechniką Warszawską (kierunek międzywydziałowy: Inżynieria Biomedyczna, realizowany wspólnie przez dwa Wydziały: Elektroniki i Technik Informatycznych oraz Mechatroniki), z Uniwersytetem Warszawskim (Wydział Chemii i Wydział Fizyki: makro-kierunek studiów: Energetyka i Chemia jądowa) oraz Szkołą Główną Straży Pożarnej.

Dysponując dobrze wykształconą kadrą, o bogatym, wieloletnim doświadczeniu w prowadzeniu prac badawczo-rozwojowych i operacyjnych w dziedzinie ochrony radiologicznej, jak również posiadając unikatowe w skali kraju metody oznaczania izotopów

promieniotwórczych w środowisku i w organizmie człowieka, CLOR dobrze sprawdza się w roli krajowego zaplecza eksperckiego. (tzw. TSO Technical Support Organization). Interdyscyplinarny charakter działalności, synergia badań naukowych oraz działań operacyjnych, w połączeniu z niezależnością od użytkowników źródeł promieniotwórczych, jest unikatową cechą naszej instytucji i wielokrotnie się sprawdziła w sytuacjach istotnych zagrożeń radiologicznych.

Należy podkreślić, że osiągnięcie wysokiego stopnia kompetencji oraz dobrych wyników merytorycznych i finansowych w 2021 r. są zasługą całej załogi CLOR, której w tym miejscu należy się podziękowanie Dyrekcji. Niezależna i obiektywna opinia oraz zaangażowanie i otwartość pracowników CLOR w kontaktach z nieprofesjonalistami, wydaje się mieć pozytywny wpływ na społeczną akceptację rozwoju energetyki jądrowej w Polsce.

Dyrektor

Centralnego Laboratorium
Ochrony Radiologicznej



Dr Paweł Krajewski

Zakład Higieny Radiacyjnej

Zakład Higieny Radiacyjnej

Zakład Higieny Radiacyjnej pod tą nazwą funkcjonuje od 1971 r. W 2021 roku w Zakładzie zatrudnionych było 13 osób:

Kierownik Zakładu – dr Małgorzata Kardaś

Pracownicy: mgr Agnieszka Fulara, mgr Joanna Lemańska, mgr inż. Małgorzata Kazimierowicz, mgr Agnieszka Matysiak, dr Krzysztof Pachocki, mgr inż. Barbara Rubel, dr Ewa Starościak, dr Maria Suplińska, Katarzyna Trzpił, mgr Karol Wiatr, mgr Kamil Wieprzowski, Adam Adamczyk.

Do zakresu działania Zakładu Higieny Radiacyjnej m.in. należy:

- prowadzenie prac badawczych i usługowych z zakresu higieny radiacyjnej, w tym ochrony radiologicznej,
- uczestniczenie w monitorowaniu skażeń środowiska i żywności, w tym wód i środowiska morskiego naturalnymi i sztucznymi izotopami promieniotwórczymi, wraz z prowadzeniem oceny zagrożenia radiacyjnego,
- opracowywanie i wdrażanie technik i metod pomiarowych, w tym radiochemicznych, oznaczania radionuklidów,
- nadzór nad jakością pomiarów i organizowanie międzylaboratoryjnych badań porównawczych dla jednostek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych,
- uczestniczenie w krajowych i międzynarodowych badaniach biegłości, w zakresie oznaczania radionuklidów tak sztucznych jak i naturalnych.

W ramach prac monitoringowych w roku 2021 w Zakładzie realizowano prace o następującej tematyce:

1. Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i ryb, w ramach prowadzonego monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego.
2. Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach pożywienia.
3. Przeprowadzenie pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr przez placówki podstawowe

wykonujące pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju.

4. Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach państwowego monitoringu środowiska. Zadanie 2: Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych 2019-2021.

5. Usługa dotycząca bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej obiektów ZUOP w Otwocku - Świerku oraz ochrony radiologicznej Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie.

Ponadto w Zakładzie prowadzone były prace badawcze realizowane ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego:

1. Adaptacja metody oznaczania ^{226}Ra w wodzie za pomocą spektrometrii ciekłoscyntylacyjnej.
2. Oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{232}Th , ^{230}Th i ^{28}Th w butelkowanych wodach mineralnych i źródłanych.
3. Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ^{241}Pu w osadach dennych południowego Morza Bałtyckiego.

W Zakładzie funkcjonuje akredytowane Laboratorium Analiz Spektrometrycznych i Radiochemicznych w zakresie oznaczania izotopów gamma promieniotwórczych, ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , $^{234,235,238}\text{U}$, w próbkach środowiskowych i żywności oraz globalnej aktywności beta i alfa oraz trytu w wodzie. Zakres otrzymanej akredytacji (Nr akredytacji: AB 1215) obecnie obejmuje oznaczanie:

-stężeń promieniotwórczych izotopów gamma promieniotwórczych w próbkach żywności, pasz, wody, gleby, drewna i osadów dennych, metodą spektrometryczną,

-stężeń promieniotwórczych trytu, strontu - 90, uranu - 234, 235, 238 oraz całkowitej promieniotwórczości alfa i beta w próbkach wody metodą radiochemiczną,

- stężeń promieniotwórczych trytu, plutonu - 239+240 i 238, uranu - 234, 235, 238 w próbkach moczu metodą radiochemiczną,

- stężeń promieniotwórczych plutonu - 239+240 i 238 i uranu - 234, 235, 238 w próbkach żywności metodą radiochemiczną,

- stężeń promieniotwórczych strontu-90 w próbkach żywności i pasz metodą radiochemiczną,

- stężeń promieniotwórczych plutonu - 239+240 i 238 w próbkach gleby i osadów dennych metodą radiochemiczną

- stężenia promieniotwórczego radu-226 – nowa procedura,

- całkowitej promieniotwórczości alfa,

- całkowitej promieniotwórczości beta.

W ramach prac akredytowanego Laboratorium wykonaliśmy ponad 1800 analiz spektrometrycznych i ok. 1100 analiz radiochemicznych. Badania były wykonane na zlecenie zarówno klientów krajowych jak i zagranicznych.

Swoje kompetencje w zakresie oznaczania izotopów promieniotwórczych w próbkach o różnej matrycy Zakład w 2021 roku z pozytywnym wynikiem potwierdził poprzez udział w krajowych i międzynarodowych porównaniach międzylaboratoryjnych oraz badaniach biegłości:

1. PAA/ICH TJ *Pomiary porównawcze w zakresie oznaczania izotopów: ^3H , ^{226}Ra , ^{241}Am przez placówki specjalistyczne prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju, Warszawa, 2021;*

2. PROCORAD *Intercomparison 2021: Association for the Promotion of Quality Control in Radiotoxicological Analysis LBM CEA Fontenay-aux-roses Cedex, France.*

W ramach Zakładu Higieny Radiacyjnej prowadzone są również prace naukowo-badawcze, które stwarzają podstawy rozwoju naukowego pracowników. Wyniki prac w 2021 roku przedstawione były w postaci:

Doniesień konferencyjnych:

Dywagacje na temat energii K. Pachocki

XXVI Szkoła Jesienna PTBR im. Marii Skłodowskiej-Curie, Zakopane, 17-22 Październik 2021

Pracy magisterskiej:

Monitoring radiacyjny środowiska na podstawie pomiaru zawartości radioizotopów ^{137}Cs , ^{90}Sr i ^{40}K w próbkach wybranych gatunków roślin.

Małgorzata Kazimierowicz

Zakład dysponuje następującym sprzętem pomiarowym:

-dwoma niskotłowymi zestawami pomiarowymi oparty na licznikach przepływowych GM do pomiaru promieniowania beta (Low Level Beta GM Multicounter System, produkcji Riso, Dania). Bieg własny: 0,18-0,20 imp/min

-niskotłowym układem pomiarowy złożony z komór typu Lucas'a (pokrytych scyntylatorem ZnS) połączonych z układem elektronicznym TD-electronics, z wykorzystaniem programu komputerowego ALFA-1 software dla Windows. Układ pomiarowy aktywności alfa radu poprzez pomiar radonu

-zestawami spektrometrycznymi składającymi się z wielokanałowego analizatora amplitudy impulsów produkcji Canberra współpracującym z detektorem półprzewodnikowym HPGe o wydajności względnej 33%- 50% do oznaczenia ilościowego i jakościowego poszczególnych izotopów gamma – promieniotwórczych z wykorzystaniem oprogramowanie GENIE-2000.

-zestawem spektrometrycznym składającym się z wielokanałowego analizatora amplitudy impulsów produkcji Canberra współpracującym z detektorem PIPS o wydajności 32% do oznaczenia ilościowego i jakościowego izotopów alfa – promieniotwórczych z wykorzystaniem oprogramowanie GENIE-2000.

-spektrometrem alfa-beta iSolo firmy Canberra z detektorem krzemowym PIPS.

- niskotłowym licznikiem ciekło-scyntylicyjnym WALLAC 1410

-spektrometrem ciekłoscyntylacyjnym Quantulus GCT-220.

Utrzymanie akredytacji w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych wykonującym pomiary służące ocenie dawek od narażenia wewnętrznego

E. Starościak, A. Fulara, B. Rubel, M. Kardaś, M. Suplińska, A. Matysiak, K. Trzpił, K. Wieprzowski, K. Pachocki, K. Wiatr, J. Lemańska

W 2021 r. w ramach tematu zrealizowane zostały następujące zadania:

1. Sprawowanie nadzoru przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA) nad akredytowanym Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych - przeprowadzenie audytu w nadzorze przez ekspertów PCA w dn. 16.04.2021 r.

W dniu 16 kwietnia 2021 r. w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych odbył się audit zewnętrzny przeprowadzony przez ekspertów Polskiego Centrum Akredytacji. Auditorzy podczas oceny stwierdzili jedną niezgodność i nie zapisali żadnych spostrzeżeń. Laboratorium przeprowadziło analizę otrzymanej niezgodności oraz zaplanowało korektę, działania korygujące i postępowanie z jej skutkami. Auditorzy PCA zaakceptowali dowody usunięcia niezgodności. Podczas oceny auditorzy stwierdzili, że Laboratorium utrzymuje kompetencje do wykonywania badań wszystkimi metodami badawczymi objętymi zakresem akredytacji. Zespół oceniający pozyskał zaufanie do kompetencji Laboratorium z uwzględnieniem spełnienia wymagań akredytacyjnych i stwierdził, że Laboratorium ustanowiło, wdrożyło i utrzymuje system zarządzania umożliwiający spełnienie wymagań normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02.

2. Doskonalenie systemu zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych.

W 2021 r. Laboratorium wzięło udział w międzynarodowym badaniu biegłości oraz w krajowym porównaniu międzylaboratoryjnym:

- PROCORAD 2021, Francja; wg procedury badawczej QPB 2 „Oznaczenie stężenia promieniotwórczego strontu-90” w próbkach moczu;
- PAA/ICHJT „Pomiary porównawcze w zakresie oznaczania izotopów promieniotwórczych ^3H , ^{226}Ra

i ^{241}Am ” wg procedur badawczych QPB 3, QPB 9 i QPB 1 w próbkach wody pitnej i piasku.

Zgodnie z Planem monitorowania ważności wyników na rok 2021 wykonano: potwierdzenie powtarzalności, odtwarzalności i liniowości metod, sprawdzenie poprawności obliczeń w arkuszu Excel, sprawdzanie aparatury, dodatek wzorca wewnętrznego.

3. Przeprowadzenie dwóch auditów wewnętrznych: systemu zarządzania oraz obszaru technicznego.

Realizując Program auditów wewnętrznych na rok 2021 w Laboratorium przeprowadzone zostały dwa audyty wewnętrzne. W dniach 15 - 16 listopada 2021 r. odbył się audit wewnętrzny nr 1/2021 dotyczący obszaru technicznego systemu zarządzania. W dniach 25 - 26 listopada 2021 r. odbył się audit wewnętrzny nr 2/2021 dotyczący wymagań ogólnych systemu zarządzania. Audyty wewnętrzne przeprowadzone zostały bardzo wnikliwie. Podczas auditów auditor nie stwierdził niezgodności. Audyty wykazały, że system zarządzania Laboratorium jest wdrożony i ciągle doskonalony.

4. Nadzór techniczny i konserwacja wyposażenia badawczego Laboratorium.

W akredytowanych Laboratoriach Wzorcujących, zapewniających spójność pomiarową wykonano wzorcowania wagi elektronicznej OHAUS, wagi analitycznej OHAUS, termometru cieczowego, termohigrometru, cylindrów pomiarowych, wzorców masy oraz odważników kalibracyjnych. Wykonane zostało także okresowe sprawdzanie aparatury oraz wyposażenia pomocniczego Laboratorium.

5. Podnoszenie kwalifikacji pracowników Laboratorium poprzez uczestnictwo w szkoleniach zewnętrznych dotyczących doskonalenia systemu zarządzania

w laboratorium badawczym (organizowanych m.in. przez PCA) oraz szkoleniach z zakresu technicznego m.in. udział w konferencjach naukowych.

Zgodnie z „Planem szkoleń w roku 2021” w Laboratorium odbyło się 6 szkoleń wewnętrznych. Pracownicy Laboratorium wzięli także udział w 12 szkoleniach zewnętrznych dotyczących m.in. potwierdzania ważności

wyników, walidacji metod, oceny niepewności i organizacji badań biegłości.

Praca była finansowana przez Ministerstwo Klimatu na podstawie umowy nr: 48 DB/2021 z dnia 26.04.2021 r.

Oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{232}Th , ^{230}Th i ^{228}Th w butelkowanych wodach mineralnych i źródłanych

E. Starościak, K. Trzpił

Spożywanie wody jest jednym ze sposobów przedostawania się substancji promieniotwórczych do organizmu człowieka. Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 2013/51/EURATOM z dn. 22.10.2013 r. „Określająca wymagania dotyczące ochrony zdrowia ludności w odniesieniu do substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi” oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. „W sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi” (Dz. U. 2017 r. poz. 2294) określają poziomy naturalnych i sztucznych izotopów promieniotwórczych dopuszczalne w wodach pitnych. Szczegółowe wymagania jakie powinny spełniać wody mineralne i źródlane reguluje także rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 31.03.2011 r. „W sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych”.

Praca jest kontynuacją tematu realizowanego w latach 2018-2020. W poprzednich latach zostały oznaczone stężenia promieniotwórcze naturalnych izotopów: ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Po i ^{210}Pb w próbkach mineralnych i źródłanych wód butelkowanych dostępnych w sklepach na terenie Warszawy, pochodzących z ujęć z różnych rejonów Polski. W 2020 r. oznaczono zawartości ^{232}Th , ^{230}Th oraz ^{228}Th w 16 próbkach wód butelkowanych: Buskowińska, Beva IV, Arctik +, Krynka, Muszyńskie źródło, Piwniczanka, Kinga Pienińska, Magnesia, Dobrowianka, Nestle, Żywiec Zdrój, Polonica, Staropolańska 2000, Ustronianka, Wielka Pieniawa, Kropla Beskidu

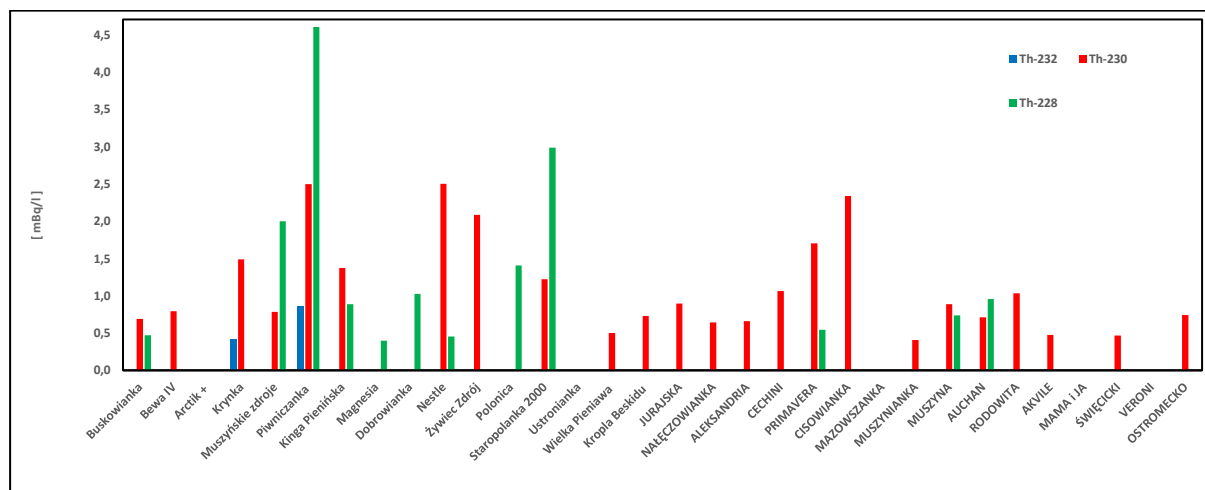
Pienińska, Magnesia, Dobrowianka, Nestle, Żywiec Zdrój, Ustronianka, Wielka Pieniawa, Polonica, Kropla Beskidu i Staropolańska 2000. W roku 2021 r. oznaczono stężenia promieniotwórcze izotopów toru w kolejnych 16 wodach mineralnych i źródłanych: Jurajska, Nałęczowianka, Aleksandria, Cechini, Primavera, Cisowianka, Mazowszanka, Muszynianka, Muszyna, Auchan, Rodowita, Akville, Mama i ja, Święcicki Zdrój, Veroni, Ostromecko.

Stężenia promieniotwórcze ^{232}Th dla dwóch badanych próbek były powyżej granicy oznaczalności ($0,4 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) i wynosiły: $0,42 \pm 0,09 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody Krynka oraz $0,85 \pm 0,14 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody Piwniczanka.

W przypadku ^{230}Th zakres stężeń wynosił od $0,40 \pm 0,12 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody Muszynianka do $2,50 \pm 0,33 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody Nestle. Dla 8 badanych wód stężenia były poniżej granicy oznaczalności.

Stężenia promieniotwórcze ^{228}Th w 12 badanych próbkach wód były powyżej granicy oznaczalności ($0,4 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) i zawierały się w przedziale od $0,40 \pm 0,10 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody Magnesia do $4,60 \pm 0,43 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody Piwniczanka.

Stężenia promieniotwórcze badanych izotopów we wszystkich 32 próbkach wody zostały przedstawione na Wykresie 1.



Wykres 1. Stężenia promieniotwórcze ^{232}Th , ^{230}Th i ^{228}Th .

Przeprowadzone badania poszerzyły wiedzę o poziomach
narażenia ludności Polski od wchłonięć badanych
radionuklidów.

Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach pożywienia w 2021 r.

B. Rubel, M. Kardaś, K. Pachocki, A. Matysiak, M. Kazimierowicz, M. Suplińska, K. Trzpił

Celem pracy było oznaczenie zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach całodziennego pożywienia mieszkańców Warszawy oraz oszacowanie dawki obciążającej od tych radionuklidów wchłanianych z pożywieniem.

Materiał do badań stanowiły próbki całodziennego pożywienia pobrane w stołówce wydającej co najmniej trzy posiłki dziennie. Pobierano po dwa zestawy całodziennego pożywienia przez 5 dni. Całodziennie posiłki pobierano zgodnie z wcześniej opracowaną instrukcją.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczano radiochemicznie (sorpcja na złożu AMP i pomiar promieniowania beta preparatu) i spektrometrycznie (spektrometr Canberra z detektorem HPGe, i oprogramowaniem Genie 2000). Do kalibracji energetycznej i wydajnościowej spektrometru stosowano źródło wzorcowe – mieszaninę wieloizotopową w zakresie energii od 50 keV do 1836 keV. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr oznaczano poprzez pomiar ^{90}Y . Z roztworu analizowanej próbki oddzielano ^{90}Sr i po ustaleniu się równowagi ^{90}Sr - ^{90}Y , wydzielano ^{90}Y w postaci szczawianów itru. Przygotowany preparat pomiarowy z wydzielonym izotopem poddawano pomiarom aktywności beta. Do pomiarów stosowano niskotłowy zestaw pomiarowy oparty na licznikach przepływowych GM (Riso, GM-25-5) [1].

Posiłki analizowano z każdego dnia osobno. Dwie porcje całodziennego pożywienia łączono w celu zwiększenia masy próbki do analizy. Posiłki suszono i mineralizowano w piecu laboratoryjnym do uzyskania jednolitego szarego popiołu. Przygotowany materiał stanowił próbkę do oznaczeń stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr .

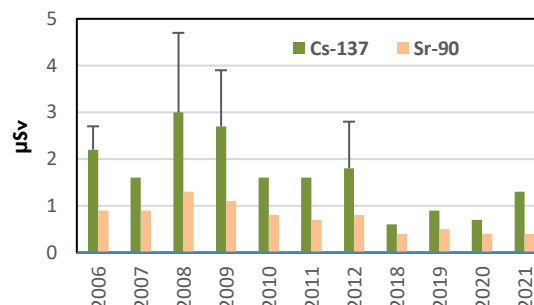
Zakres zawartość ^{137}Cs i ^{90}Sr w całodziennych posiłkach wynosił odpowiednio $0,08 \div 0,44 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ i $0,027 \div 0,034 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$. Rozrzut zmierzonych zawartości izotopu ^{137}Cs w poszczególnych dobowych próbkach zależy od doboru produktów do przygotowania posiłków jak również masy posiłków. Średnia zawartości ^{90}Sr w posiłkach była na poziomie $0,027 \div 0,034 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$. Niewielki rozrzut zawartości

^{90}Sr w poszczególnych dniach był związany głównie z masą posiłków. Stężenie ^{90}Sr w produktach żywnościowych jest na niskim wyrównanym poziomie.

Określona w powyższej pracy zawartość ^{137}Cs i ^{90}Sr w całodziennych posiłkach nie różni się w sposób zasadniczy od zawartości tych radionuklidów w diecie mieszkańców innych krajów europejskich. W 2020 roku zawartość ^{137}Cs w diecie mieszkańców Finlandii wynosiła od $0,13 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ do $1,7 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ w zależności od regionu a zawartość ^{90}Sr od $0,24 \text{ Bq}\cdot\text{tydzień}^{-1}$ do $0,37 \text{ Bq}\cdot\text{tydzień}^{-1}$ [2]. Zawartość ^{137}Cs w 2019 roku w diecie mieszkańców Portugalii była na poziomie poniżej $0,13 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$, a ^{90}Sr poniżej $0,076 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ [3].

Masy całodziennych posiłków różnią się, dlatego też przeliczono zawartość izotopów na kilogram całodziennego pożywienia. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs wynosi $0,11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ a ^{90}Sr $0,012 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Na podstawie oznaczonych zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w całodziennych posiłkach oszacowano roczne wchłonięcia analizowanych izotopów z żywnością i oszacowano dawkę. Dawki te wynosiły odpowiednio $1,3$ i $0,3 \mu\text{Sv}$, dla mieszkańców Warszawy. Na rysunku 1 przedstawiono dawki otrzymywane przez mieszkańców Warszawy w latach 2006 – 2021.



Rys.1. Dawki otrzymywane przez mieszkańców Warszawy w latach 2006 - 2021

Dawki otrzymane przez mieszkańców Warszawy w 2021 od ^{137}Cs są na niższym poziomie niż te otrzymywane w latach

2006-2012, a na nieco wyższym poziomie niż te w latach 2018-2020. Dawki otrzymywane od wchłoneń ^{90}Sr z żywnością są na takim samym poziomie od 2018 roku. Jest to związane z wyrównanym poziomem tego izotopu w różnych produktach żywnościowych. Różnice w wchłonięciach spowodowane są głównie masą spożywanych posiłków.

Średnia dawka skuteczna otrzymana przez mieszkańców Warszawy jak również innych miast Polski (wcześniejsze badania) w wyniku skażeń wewnętrznych stanowi ułamek procenta rocznej dopuszczalnej dawki granicznej wynoszącej 1 mSv.

Praca finansowana zgodnie z umową z Państwową Agencją Atomistyki nr 59/2021/CEZAR/153 z dnia 13.10.2021 r.

Literatura

1. Metodyki stosowane w pracach związanych z monitoringiem środowiska i żywności CLOR, Warszawa, listopad 2015.
2. Aleksu Mattila, Samu Inkinen et al., Environmental Radiation Monitoring in Finland, Annual Report 2020. Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK-B-268/KESAKUU 2021, ISBN 978-952-309-506-9

Maria Jose Madruga et al, Programas de Monitorizacao Radiologica Ambiental (Ano 2019), RelatorioLPSR-A, No 48/2020

Przeprowadzenie pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr dla placówek podstawowych prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju

B. Rubel, M. Kardaś, K. Pachocki, K. Wiatr, K. Trzpił

Celem pracy było przeprowadzenie pomiarów porównawczych, w zakresie oznaczeń aktywności ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach materiału kontrolnego, dla placówek podstawowych prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych w Polsce.

W roku 2021 materiałem kontrolnym była woda pitna do oznaczania ^{137}Cs i ^{90}Sr . Wymagane stężenie promieniotwórcze wynosiły: dla cezu: $0,1 \div 5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ oraz dla strontu: $0,06 \div 5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Zastosowano metodę spektrometryczną do oznaczania ^{137}Cs . Sprawdzone wzorcowanie spektrometru gamma (spektrometr Canberra z detektorami HPGe i oprogramowaniem Genie 2000) za pomocą źródeł wieloizotopowych (mix gamma). Do sprawdzenia kalibracji układu pomiarowego stosowanego do oznaczeń stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr (Niskotłowy zestaw pomiarowy oparty na licznikach przepływowych GM, produkcji duńskiej) wykorzystano roztwór wzorcowy ^{90}Sr . Poprawność wzorcowania była potwierdzona w porównaniach krajowych organizowanych przez IChTJ i PAA i międzynarodowych Procorad.

W celu sporządzenia próbek referencyjnych do oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr pobrano wodę z ujęcia w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Wodę zakwaszono do pH 1. Zgodnie z wymaganiami oznaczono stężenie początkowe ^{137}Cs ($2,1 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) i ^{90}Sr ($2,1 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$).

Woda pitna musiała być domieszkowana izotopami o znanej aktywności tak aby spełnić wymagania

dotyczące poziomu izotopów promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w materiale końcowym. Do domieszkowania używano roztworów promieniotwórczych zakupionych w Połatomie w Świerku. Na każdym etapie przygotowania próbek dla placówek, sprawdzano jednorodność przygotowanych roztworów.

Wykonano pomiary sprawdzające, które wykazały, że próbki przygotowano zgodnie z wymaganiami dotyczącymi homogenności i stężeń. Oznaczone w próbkach domieszkowanej wody pitnej stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs wynosiło $4,31 \pm 0,26 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$, a ^{90}Sr wynosiło $2,70 \pm 0,24 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Otrzymano wyniki pomiarów z 25 placówek. Placówki do oznaczenia ^{137}Cs metodą spektrometryczną stosowały głównie detektory NaI(Tl) o wymiarach 3x3 cale. Detektory współpracowały z analizatorami Canberra, Tukan, Tristan i TDSP-1. Próbki były mierzone głównie w geometrii 1000 cm^{-3} . Aparatura pomiarowa była kalibrowana mieszaniną multigamma lub roztworami ^{137}Cs . Do oznaczania ^{137}Cs i ^{90}Sr metodą radiochemiczną stosowano mierniki współpracujące z sondą z cienkim plastikowym scyntylatorem. Placówki wykonały 23 oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs metodą spektrometryczną w zakresie od $3,76 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ do $4,79 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ i 10 metodą radiochemiczną w od $3,85 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ do $5,08 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Nadesłane wyniki zostały poddane analizie. Nie odrzucono żadnego wyniku. Różnice wartości

oznaczeń w stosunku do wartości referencyjnej wynoszą w metodzie spektrometrycznej od -14,8% do +11,1% oraz od -10,7% do +17,9% w metodzie radiochemicznej. Liczba wyników w przedziale $\pm 25\%$ wartości referencyjnej stanowi 100% nadesłanych wyników. Określano parametr z i $zeta$, oceniono poprawność i precyzję nadesłanych wyników. Wyznaczony parametr z pozwala ocenić dokładność wyniku pomiaru na tle wyników pomiarów wszystkich placówek biorących udział w pomiarach porównawczych. Wartość bezwzględna wyznaczonego parametru z była ≤ 2 dla 22 wyników oznaczeń spektrometrycznych i 9 radiochemicznych, co oznacza, że wynik w sposób istotny nie różni się od wartości referencyjnej. Ponadto po jednym wyniku w każdej metodzie parametr był w zakresie $2 \leq z \leq 3$ co oznacza wynik wątpliwy (nie można jednak stwierdzić, czy wynik istotnie różni się od wartości referencyjnej). Nie było wyników istotnie różniących się od wartości referencyjnej, $z > 3$.

Określany wskaźnik $zeta$, który dla wszystkich wyników był poniżej 2. Świadczy to, że placówki w stosowanych przez siebie budżetach niepewności uwzględniły wszystkie istotne źródła niepewności. Oceniono liczbę E_n . Dla wszystkich wyników liczba E_n nie przekraczała wartości 1, co oznacza wyniki zadowalające. Oceniono również poprawność i precyzję. Wynik pomiaru był akceptowany, jeżeli spełniał obydwa kryteria. Z oceny wynika, że wszystkie wyniki spełniły obydwa kryteria.

Placówki wykonały 4 oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr . Nadesłane wyniki były w zakresie $2,07 \div 3,75 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$. Różnice wartości oznaczeń w stosunku do wartości referencyjnej były w zakresie od -38,9% do -9,3%. Ze względu na małą liczbę wyników nie wyznaczano parametru z . Oceniono jedynie poprawność i precyzję. Liczba E_n dla jednego wyniku była powyżej 1, co oznacza wynik wątpliwy.

Praca finansowana zgodnie z umową z Państwową Agencją Atomistyki nr 37/2021/CEZAR/103 z dnia 12 lipca 2021r.

Literatura

1. PN-EN ISO/IEC 17043 Ocena zgodności – Ogólne wymagania dotyczące badania biegłości.
2. EA-04/16 (European co-operation for accreditation). Wytyczne EA dotyczące wyrażania niepewności w badaniach ilościowych, 2004.
3. Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements. IAEA-TECDOC-1401, July 2004.
4. W.Hyk, Z.Stojek: Analiza statystyczna w laboratorium analitycznym. Komitet Chemii Analitycznej PAN, Warszawa, 2000.

Monitoring i ochrona radiologiczna Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (Otwock-Świerk)

Agnieszka Fulara – Zakład Higieny Radiacyjnej (Z-I)

Krzysztof Isajenko, Barbara Piotrowska – Zakład Dozymetrii (Z-II)

Maciej Norenberg, Zuzanna Pawłowska – Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania (Z-III)

W 2021 roku Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej wykonało usługę dotyczącą bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej obiektów Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) w Otwocku – Świerku oraz ochrony radiologicznej Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie (KSOP).

W ramach w/w przedmiotu umowy zrealizowano:

Część III – Wzorcowanie aparatury dozymetrycznej

Część IV - Monitoring i ochrona radiologiczna terenu KSOP oraz

Część V - Monitoring i ochrona radiologiczna otoczenia KSOP

Prace zostały wykonane przez trzy zakłady:

- Zakład Higieny Radiacyjnej (Z-I)
- Zakład Dozymetrii (Z-II)
- Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania (Z-III)

Część III – Wzorcowanie aparatury dozymetrycznej.

W ramach realizacji umowy wykonano następujące prace:

- wzorcowanie przyrządów na pomiar mocy dawki
- wzorcowanie przyrządów na pomiar skażeń promieniotwórczych
- wzorcowanie przyrządów na pomiar skażeń promieniotwórczych oraz mocy dawki
- wzorcowanie dawkomierzy indywidualnych z odczytem bezpośrednim
- wzorcowanie sondy do pomiaru neutronów

Rys. 1 Stanowisko kalibracyjne gamma.



Rys. 2 Stanowisko kalibracyjne neutronowe.



Część IV - Monitoring i ochrona radiologiczna terenu KSOP

W ramach realizacji tej części umowy wykonano następujące prace:

- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w wodzie wodociągowej na całkowitą aktywność beta i trytu – miejsce poboru: punkt FR, (Czynność 1)
- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w wodzie gruntowej na całkowitą aktywność beta i trytu - miejsce poboru: 8 piezometrów, (Czynność 2)

- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych poprzez laboratoryjny pomiar spektrometryczny gamma w trawie - miejsca poboru: R706, R707, R709, R711, R712 (Czynność 3)
- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych poprzez laboratoryjny pomiar spektrometryczny gamma w glebie - miejsca poboru: G706, G707, G709, G711, G712 (Czynność 4)
- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych aerozoli atmosferycznych (pomiar spektrometryczny filtrów) – miejsca poboru: stacja A104A (Czynność 5)
- pomiar dawki pochłoniętej od tła promieniowania jonizującego (Czynność 6)
- kontrolę szczelności pojemników z odpadami trytowymi. Miejsca pomiarów: pomieszczenie nr 11 w obiekcie nr 1 oraz miejsce przechowywania pojemników z odpadami trytowymi (Czynność 7)
- pomiary zawartości radonu. Miejsce poboru: obiekt nr 1, komory K-4, K-5, K-6, K-6a, K-12 (Czynność 8)
- pomiar radonu metodą z wykorzystaniem detektorów śladów cząstek, miejsce poboru próbek: obiekt numer 1 (Czynność 9)
- pomiar radonu metodą z wykorzystaniem detektorów śladów cząstek, miejsce poboru próbek: obiekt numer 4 (Czynność 10)
- pomiary zawartości pochodnych w powietrzu:
 - ^{220}Rn , ^{222}Rn (Czynność 11.1)
 - całkowita promieniotwórczość alfa (Czynność 11.2)
 - całkowita promieniotwórczość beta (Czynność 11.3)
 - spektrometria gamma (Czynność 11.4)
- pomiary zawartości radonu (Czynność 12):

- pomiar z odległości 10 metrów od obiektu nr 1
- pomiar przy obiekcie nr 4

a.



b.



Rys. 3. Pobór wody

- a) Pojemniki do poboru próbek wody
- b) Pobór próby wody z piezometru

Część V - Monitoring i ochrona radiologiczna otoczenia KSOP

W ramach realizacji tej części umowy wykonano następujące prace:

- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w próbkach wody z rzeki Narwi. Miejsca poboru: W701, W702, W703. (Czynność 1)
- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w wodzie gruntowej (piezometry). Miejsca poboru: 1pN, F2N, F5N, 2pN, 3pN, 8p, 15p, 19p, 20p, 23pN, 24pN, 95p, F1, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19. (Czynność 2)
- pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w wodzie. Miejsca poboru: G1, G2. (Czynność 3)
 - pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w wodach źródłanych. Miejsca poboru: ŻR1, ŻR2. (Czynność 4)

-
- pomiar zawartości substancji promieniotwórczych poprzez laboratoryjny pomiar spektrometryczny gamma w glebie. Miejsca poboru: G701, G702, G703, G704, G705, G708, G710. (7 miejsc). (Czynność 5)
 - pomiar zawartości substancji promieniotwórczych poprzez laboratoryjny pomiar spektrometryczny gamma w: trawie. Miejsca poboru: R701, R702, R703, R704, R705, R708, R710. (7 miejsc). (Czynność 6)
 - pomiar dawki pochłoniętej od tła promieniowania jonizującego (Czynność 7)
 - pomiary zawartości całkowitej aktywności trytu w wodzie wodociągowej – miejsce poboru: ujęcie miejskie dla gminy Różan MR, (Czynność 8)



Rys. 4 Ekspozycja dozymetrów TLD

Praca została zrealizowana zgodnie z Umową nr 3/ZUOP/2021 z dn. 11 stycznia 2021 r. zawartą pomiędzy Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych – Przedsiębiorstwem Państwowym z siedzibą w Otwocku – Świerku a Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Zamawiający nie wyraził zgody na udostępnianie otrzymanych wyników badań

Opracowanie metody oznaczania ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodzie przy pomocy spektrometrii ciekłoscyntylacyjnej.

A. Matysiak, K. Wieprzowski

Rad jest pierwiastkiem promieniotwórczym, występującym w środowisku naturalnym. Znanych jest ponad 30 izotopów jednak, większość jest nietrwała. Do najbardziej stabilnych izotopów zaliczany jest ^{226}Ra , emiter promieniowania α i γ . Występuje w szeregu promieniotwórczym uranoworadowym, a jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1600 lat. Z kolei ^{228}Ra znajdujemy w szeregu Torowym, jego czas połowicznego rozpadu wynosi 5,76 lat i emituje promieniowanie β . Te izotopy obecne są w: skorupie ziemskiej, w wodzie, powietrzu atmosferycznym, glebie oraz w organizmach żywych. Szczególne zagrożenie dla człowieka stanowi przyjęty drogą pokarmową.

Aby kontrolować spożycie ^{226}Ra i ^{228}Ra zawartego w wodzie z dniem 27 listopada w Polsce zaczęło obowiązywać rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, w którym określona jest dopuszczalna zawartość tych izotopów. Metoda oznaczania ^{226}Ra i ^{228}Ra stosowana dotychczas w laboratorium jest czasochłonna przez co ogranicza możliwość wykonania większej ilości ich oznaczeń w próbkach.

Celem pracy było Opracowanie metody oznaczania ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodzie przy pomocy spektrometrii ciekłoscyntylacyjnej.

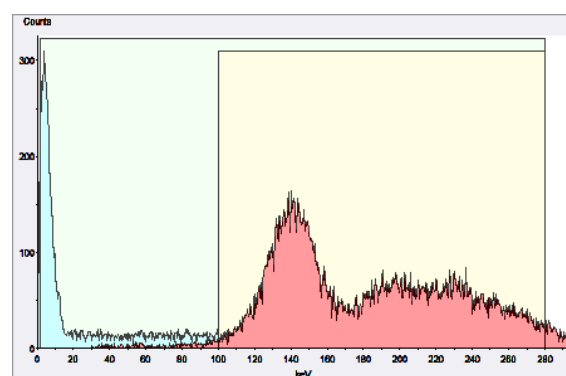
Procedura przygotowania prób opierała się w głównej mierze na dwóch dostępnych metodykach:

- A Procedure for the Rapid Determination of Ra-226 and Ra-228 in Drinking Water by Liquid Scintillation Counting, IAEA, 2014

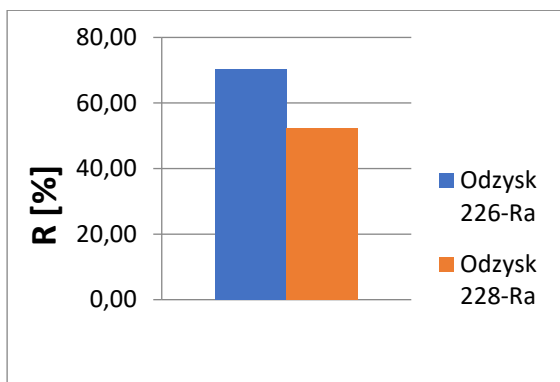
- ISO 22908:2020 Water quality — Radium 226 and Radium 228 — Test method using liquid scintillation counting.

W pierwszej części przeprowadzonych prac, należało wyznaczyć współczynnik dyskryminacji (PSA) dla promieniowania α i β . W tym celu do dwóch wcześniej przygotowanych ślepych prób dodano znane ilości wzorców czystego promieniowania α tj. ^{241}Am oraz czystego promieniowania β , czyli ^{90}Sr . Aparatura pomiarowa Quantulus GCT 6220 umożliwia automatyczne wyznaczanie punktu dyskryminacji, które posłużyło później do przygotowania protokołu pomiarowego.

Druga część obejmowała: określenie czasu potrzebnego do ustalenia się równowagi, określenie wydajności całkowitej zliczeń, wydajności próby kontrolnej oraz odzysk. Badania wykonano z użyciem wzorców ^{226}Ra i ^{228}Ra .



Rys. 1. Widmo r-r zawierający izotop ^{226}Ra i ^{228}Ra o zbliżonych aktywnościach.



Rys 2. Odzysk dla poszczególnych izotopów Radu.

Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że stan uzyskanie stanu równowagi następuje po 21 dniach. W tabeli nr 1 przedstawiono zestawienie wyników z wyznaczanej wydajności pomiarowej.

Tabela 1. Zestawienie wyników.

parametr	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra
ϵ	1,15	1,52
ϵ^c	0,661	0,794
R	52-70%	

Oznaczenie symboli:

ϵ – wydajność zliczeń

ϵ^c – wydajność próby kontrolnej

R – odzysk

Zdecydowanie wyższe wydajności otrzymano w przypadku ²²⁸Ra, jednak może to być wynikiem nie optymalnego wyznaczenia punktu PSA. Rozbieżność między wydajnością dla próbki wzbogaconej wzorcem a próbą kontrolną jest zbyt duża. W wyniku czego odzysk dla tego izotopu plasuje się w granicach 52 %. W przypadku ²²⁶Ra, wydajności które otrzymano są niższe, jednak dla większości prób odzysk mieścił się w granicy 70%.

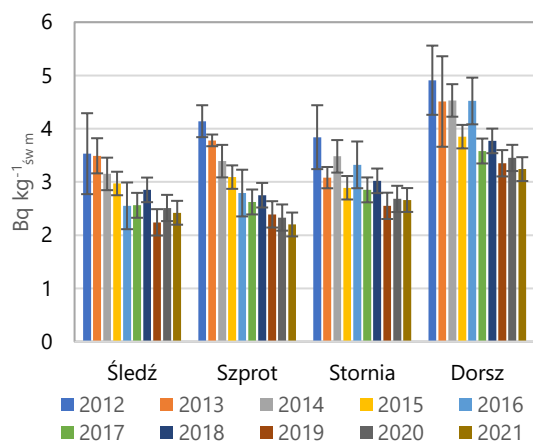
Po optymalizacji punktu dyskryminacji PSA zostanie wykonana walidacja procedury badawczej, która powinna obejmować: liniowość, powtarzalność, odtwarzalność, wyznaczenie granicy oznaczalności, oszacowanie niepewności pomiarowej i obciążenie metody badawczej.

Praca sfinansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i ryb, w ramach prowadzonego monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego

M. Suplińska, A. Fulara, M. Kardaś, A. Matysiak, K. Pachocki, B. Rubel, K. Wiatr

Badania obejmują oznaczanie substancji promieniotwórczych, w środowisku morskim – rejon południowy Morza Bałtyckiego w roku 2021. Prace prowadzone w CLOR są częścią monitoringu koordynowanego przez Komisję Helsińską w którym uczestniczą wszystkie kraje nadbałtyckie. Dane o skażeniach Morza Bałtyckiego przekazywane są każdego roku do Banku Danych Komisji Helsińskiej. W pierwszym etapie prac prowadzono oznaczenia ^{137}Cs , ^{40}K i ^{226}Ra w próbkach ryb pochodzących z Basenu Gdańskiego i Basenu Bornholmskiego. Zakres badań obejmował cztery gatunki, które są najczęściej konsumowane i popularnie występują w Bałtyku Południowym. Były to: szprot, śledź, dorsz i stornia. Oznaczenia prowadzono w filetach ryb, z wyjątkiem próbek szprot, gdzie analizowano całe tuszki. Do oznaczeń ^{137}Cs , ^{40}K – stosowano spektrometrię gamma, a do ^{226}Ra – metodą emanacyjną.

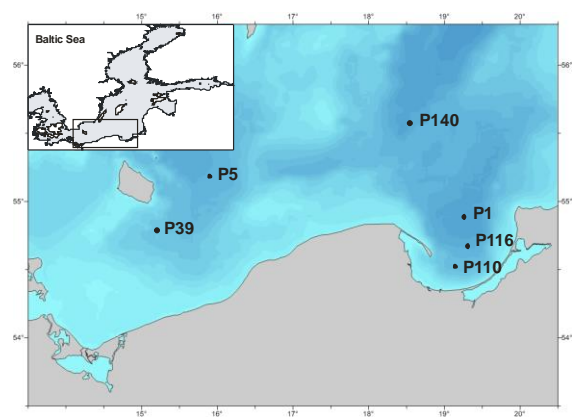


Rys. 1 ^{137}Cs w rybach bałtyckich w latach 2012-2021

W corocznie monitorowanych gatunkach ryb najwyższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs

określono w dorszach – $3,34 \pm 0,27 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, a najniższe w szprotach – $2,20 \pm 0,30 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Średnie stężenie ^{137}Cs dla czterech gatunków ryb w 2021 r. wynosi $2,65 \pm 0,50 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Stężenie ^{137}Cs w każdym z gatunków ryb maleje w kolejnych latach, chociaż znaczące zmiany widoczne są w dłuższych okresach [1]. Stężenia ^{137}Cs w rybach bałtyckich w ostatnim dziesięcioleciu przedstawiono na rysunku 1.

Stężenie ^{226}Ra było zróżnicowane w zależności od gatunku ryb, najwyższe określono w dorszu - $0,084 \pm 0,008 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, a najniższe w śledziu - $0,024 \pm 0,002 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Stężenie promieniotwórcze ^{40}K w rybach było w zakresie $98 \div 125 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$ i tak samo jak w przypadku ^{226}Ra nie zmieniało się znacząco w ciągu wieloletnich badań.



Rys. 2 Miejsca poboru próbek wody i osadów dennych

Próbki wody i osadów dennych pobierano w czerwcu 2021 podczas rejsu realizowanego na statku r/v „Baltica” przez IMGW – PIB. Próbki wody i osadów

dennych pochodziły z sześciu ustalonych miejsc - Rysunek 2.

W próbkach wody (powierzchniowej i przydennej), przeprowadzono oznaczenia ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra i ^3H . W stratyfikowanych próbkach rdzeniowych osadów dennych wykonano oznaczenia ^{137}Cs i ^{40}K oraz oznaczenia ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w dwu wybranych lokalizacjach (w sześciu stacjach w okresie 3 lat). Stront-90 oznaczono w próbkach rdzeniowych bez podziału na warstwy.

Do oznaczeń ^{137}Cs , ^{40}K - stosowano spektrometrię gamma, ^{226}Ra oznaczano metodą emanacyjną. Izotopy plutonu oznaczano metodą radiochemiczną zakończoną pomiarem α - spektrometrycznym, a oznaczenia ^{90}Sr metodą radiochemiczną poprzez pomiar stężenia promieniotwórczego ^{90}Y po ustaleniu równowagi promieniotwórczej $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$. Do oznaczeń ^3H stosowano metodę polegającą na elektrolitycznym ilościowym wzbogaceniu trytu w próbkach, destylacji koncentratów i pomiarze ich radioaktywności za pomocą spektrometru ciepłoscyntylacyjnego.

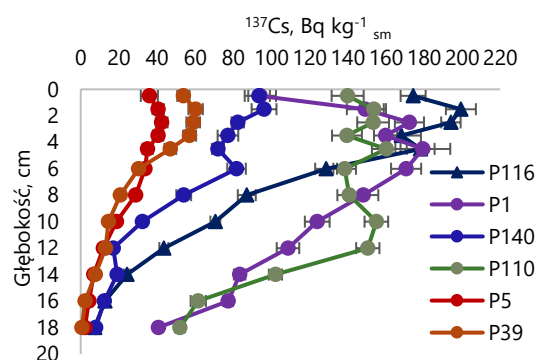
Średnie stężenie ^{137}Cs w wodzie powierzchniowej w 2021 roku wyniosło $17,1 \pm 1,7 \text{ Bq m}^{-3}$, a w wodzie przydennej $16,2 \pm 1,7 \text{ Bq m}^{-3}$.

Stężenie ^{40}K w wodach powierzchniowych zmieniało się w zakresie $2474 \div 2924 \text{ Bq m}^{-3}$. W wodach przydennych stężenia ^{40}K były w zakresie $3368 \div 5869 \text{ Bq m}^{-3}$, wzrastając z ich zasoleniem.

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{226}Ra w wodzie powierzchniowej wynosiło $2,48 \pm 0,30 \text{ Bq m}^{-3}$ a w przydennej $4,00 \pm 1,16 \text{ Bq m}^{-3}$. Stężenia promieniotwórcze ^3H wynosiły odpowiednio: $2,4 \pm 0,4 \text{ kBq m}^{-3}$ oraz $2,1 \pm 0,3 \text{ kBq m}^{-3}$ mieszcząc się w zakresie stężeń charakterystycznych dla całego obszaru Bałtyku [2].

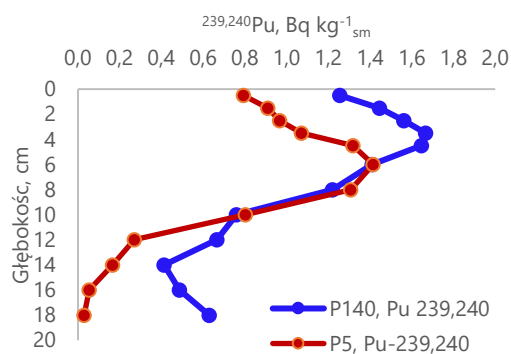
W osadach dennych wyższe stężenia ^{137}Cs obserwowano w górnych warstwach i tak jak w latach

ubiegłych występowały różnice w jego stężeniach związane z lokalizacją [3]. Maksymalne stężenia ^{137}Cs obserwowane w Basenie Gdańskim (P 110, P 116, P 1), obejmowały zakres $(160 \div 199) \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$, natomiast stężenia obserwowane w rejonie Basenu Bornholmskiego (P 5 i P 39) wynosiły $42,5 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$ i $60,3 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$. We wszystkich lokalizacjach stężenia ^{137}Cs zmniejszają się w głąb profili osadowych. (Rysunek 3).



Rys. 3 Stężenia ^{137}Cs w osadach dennych, 2021

Oznaczenia izotopów plutonu w osadach dennych z 6 lokalizacji prowadzone są w cyklu trzyletnim. W 2021 roku oznaczenia przeprowadzono w próbkach z Basenu Gotlandzkiego (P 140) oraz z Głębi Bornholmskiej (P 5). W P 140 najwyższe stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ wynoszące $1,67 \pm 0,07 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$ określono w warstwie 4-5 cm, po czym następował sukcesywny spadek wartości. W profilu P 5 najwyższe stężenia: $1,41 \pm 0,05 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$ określono w warstwie 5-7 cm a najniższe $0,03 \pm 0,01 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$. (Rysunek 4). Stężenia ^{238}Pu w P 140 i P 5 były w zakresach $(0,011 \div 0,063) \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$ i $(<0,002 \div 0,034) \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sm}}$. Stosunek aktywności $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ w analizowanych warstwach był w zakresie $0,02 \div 0,04$, typowy dla opadu promieniotwórczego po testach nuklearnych.



Rys. 4 Stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych, 2021

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w osadach dennych (oznaczane w warstwie 0-19 cm) były wyrównane w całym rejonie będąc w zakresie $3,81 \div 4,46 \text{ Bq kg}^{-1}\text{sm}$. Są one porównywalne do stężeń oznaczonych w latach 2017 - 2020.

Literatura

1. Aust M-O, Suplińska M, Zalewska T. (2018) Radionuclides in biota. In: Thematic Assessment of Radioactive Substances in the Baltic Sea, 2011-2015, BSEP 151. HELCOM 2018
 2. Schmied S., Zalewska T, Jakobson E. (2018) Radionuclides in seawater. In: Thematic Assessment of Radioactive Substances in the Baltic Sea, 2011-2015, BSEP 151. HELCOM 2018
 3. Zalewska T., Suplińska M. (2013), Antropogenic radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in southern Baltic Sea ecosystem., *Oceanologia*, 55 (3) pp.1-33
- Praca realizowana zgodnie z umową z Państwową Agencją Atomistyki nr 12/OR/2020/133.

Oznaczanie stężenia promieniotwórczego ^{241}Pu w osadach dennych południowego Morza Bałtyckiego. ^{241}Pu – postępy w opracowaniu procedury badawczej

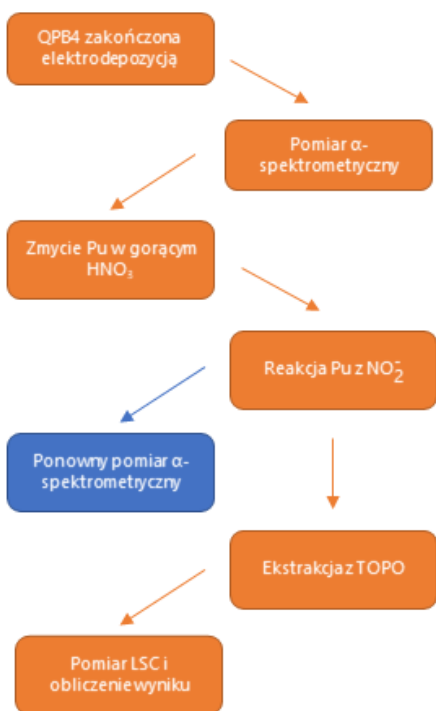
K. Wiatr, M. Suplińska

Celem pracy jest wprowadzenie do codziennego użycia procedury badawczej umożliwiającej oznaczanie stężenia promieniotwórczego ^{241}Pu w próbach środowiskowych, a zwłaszcza w osadach dennych pochodzących z Morza Bałtyckiego. Do osiągnięcia zamierzonego celu opracowywana jest procedura odzyskiwania β -promieniotwórczego ^{241}Pu z dysków stalowych, na których oznaczane były α -promieniotwórcze radionuklidy Pu.

Adaptowana metoda została przedstawiona na rysunku 1. Jej głównym celem jest rozpuszczenie zdeponowanego na stalowych dyskach Pu, wyekstrahowanie go z roztworu kwasu do fazy organicznej i zmieszanie fazy organicznej po ekstrakcji z koktajlem scyntylicyjnym. Ostatnim etapem jest detekcja promieniowania β pochodzącego od ^{241}Pu i sumy aktywności α -promieniotwórczych radionuklidów Pu oraz obliczenie wyniku. Metoda w pierwszym etapie wykorzystuje procedurę oznaczania α -promieniotwórczych radionuklidów Pu stosowaną w CLOR w systemie jakości oznaczoną jako QPB4.

Jednym z etapów wdrażania procedury była kalibracja licznika ciekłoscyntylicyjnego Quantulus 6220. W celu wyznaczenia zakresów pomiarowych aktywności α -promieniotwórczych radionuklidów Pu posłużono się roztworami wzorcowymi ^{242}Pu ($E_{\alpha} = 4984,5$ keV) oraz ^{241}Am ($E_{\alpha} = 5578,3$ keV). Do obliczenia wydajności ekstrakcji oznaczenia ^{241}Pu potrzebna jest znajomość sumarycznej aktywności α -promieniotwórczych radionuklidów Pu oznaczanych metodą z wykorzystaniem spektrometru półprzewodnikowego

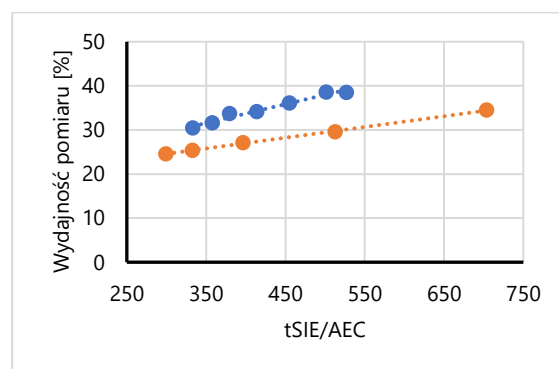
oraz całkowita aktywność promieniowania α w pomiarze ciekłoscyntylicyjnym (LSC). Dodawany na początku metody oznaczania izotopów plutonu znacznik - ^{242}Pu charakteryzuje się najniższą energią promieniowania α i pozycja jego pików na widmie uzyskanym w wyniku pomiaru (LSC) wyznacza dolną granicę zakresu pomiarowego aktywności α -promieniotwórczej w preparacie LSC. Z kolei ^{241}Am ma podobną energię promieniowania α co ^{238}Pu ($E_{\alpha} = 5593,2$ keV) i służy jako jego odpowiednik w celu wyznaczenia górnej granicy zakresu pomiarowego aktywności α -promieniotwórczej. Do wyznaczenia granic zakresu pomiarowego aktywności beta ^{241}Pu posłużono się jego roztworem wzorcowym. Dla poprawnego uwzględnienia wpływu gaszenia scyntytacji na pozycję zakresów pomiarowych użyto opcji „Automatic Efficiency Correction” (AEC) w oprogramowaniu przyrządu Quantulus 6220, która pozwala na śledzenie przesuwania się pozycji pików w zależności od wielkości gaszenia scyntytacji.



Rys. 1. Schemat przebiegu procedury

Kolejnym krokiem w kalibracji aparatury pomiarowej było wykreślenie krzywej gaszenia scyntylacji. Początkowo do tego celu używano preparatu zawierającego ^3H ($E_{\beta\text{max}} = 18,6 \text{ keV}$) radionuklidu mającego podobną energię promieniowania do ^{241}Pu ($E_{\beta\text{max}} = 20,8 \text{ keV}$). Jednakże otrzymano krzywą gaszenia dla preparatów znacznie różniących się zawartością wody od tych otrzymywanych w trakcie planowanej rutynowej analizy. Krzywa gaszenia oparta na ^3H dawała wyższe wydajności pomiaru promieniowania, co w konsekwencji zaniżało otrzymywane wyniki. Podejście polegające na zastosowaniu ^3H jako zamiennika ^{241}Pu w kalibracji aparatury jest często sugerowane w literaturze [1–3]. Należy jednak przy stosowaniu tego podejścia pamiętać o odpowiednio wysokim stężeniu promieniotwórczym ^3H w roztworze standardowym. W próbie wyznaczenia wydajności aparatury na podstawie roztworu standardowego ^3H , którym aktualnie dysponuje laboratorium, należało użyć relatywnie dużych ilości roztworu do uzyskania

odpowiednio wysokiej liczby zliczeń. Do naczynia z koktajlem scyntylacyjnym o objętości 20 ml dodawano 1 ml wodnego roztworu standardowego ^3H , natomiast preparaty pomiarowe otrzymywane w trakcie analizy nie zawierają wody. W celu poprawienia krzywej gaszenia wykonano preparaty oparte na nowo zakupionym roztworze ^{241}Pu , który miał znacznie wyższe aktywności. Pozwoliło to na dodawanie 0,05 ml roztworu, w wyniku tego preparaty standardowe i preparaty z realnych prób nie różniły się znacznie od siebie. Otrzymana krzywa gaszenia na podstawie ^{241}Pu daje niższe i bardziej wiarygodne wartości wydajności pomiaru promieniowania. Obie krzywe porównane są na rysunku 2. Jako miarę stopnia gaszenia stosuje się „transformed Spectral Index of the External Standard” (tSIE) w połączeniu ze wcześniej wspomnianą opcją AEC. Należy też zaznaczyć, że użycie ^3H jako standardu uniemożliwia sprawdzenie etapów analizy poprzedzających pomiar LSC.



Rys. 2 Porównanie krzywych gaszenia (kolor granatowy – ^3H , pomarańczowy – ^{241}Pu)

Pomimo rozwiązania problemów związanych z kalibracją aparatury otrzymywano bardzo rozbieżne wyniki analiz. Porównując stosowaną procedurę z procedurą opisaną w literaturze [3] zaczęto podejrzewać, że dotychczas stosowana procedura elektrodepozycji z zastosowaniem H_2SO_4 nie może być stosowana obecnie. Podczas elektrodepozycji może powstawać nierozpuszczalny osad,

uniemożliwiający całkowite rozpuszczenie i pełną ekstrakcję izotopów plutonu do roztworu scyntylacyjnego.

W następnych krokach wdrażania procedury oznaczania ^{241}Pu zostaną podjęte próby elektrodopozycji Pu wg. zmienionej procedury [3], a także próby całkowitego rozpuszczenia osadu po rutynowej elektrodopozycji z H_2SO_4 .

Literatura

1. Ikäheimonen TK (2000) Measurement of ^{241}Pu in environmental samples. *J Radioanal Nucl Chem* 243:535–541. <https://doi.org/10.1023/A:1016023524695>
2. Xu Y, Qiao J, Hou X, et al (2014) Determination of plutonium isotopes (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu) in environmental samples using radiochemical separation combined with radiometric and mass spectrometric measurements. *Talanta* 119:590–595. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.11.061>
3. Komosa A (2003) Fizykochemiczne problemy oznaczania i zachowanie się izotopów plutonu w środowisku z uwzględnieniem beta - promieniotwórczego ^{241}Pu . Maria Curie-Skłodowska University

Praca realizowana z funduszy Ministerstwa Edukacji i Nauki

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2021-2022

M. Kardaś, M. Suplińska, B. Rubel, A. Matysiak, J. Lemańska, A. Fulara, K. Wiatr, K. Pachocki, E. Starościak, K. Wojtkowski

Monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2021 roku obejmował próbki wody i osadów dennych pobrane dwukrotnie w każdym roku (wiosną i jesienią) w 18 punktach, zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu Odry (5 punktów poboru) i w wybranych jeziorach (6 jezior).



Rys. 1 Usytuowanie punktów poboru.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz izotopów plutonu w osadach dennych oznaczano metodami radiochemicznymi, natomiast stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych oznaczano metodą spektrometrii gamma.

Ogólną ocenę sytuacji radiologicznej powierzchniowych wód w Polsce przeprowadzono na podstawie średnich stężeń izotopów promieniotwórczych w badanych komponentach dla dorzeczy i jezior. Porównanie poszczególnych wyników oznaczeń izotopów wiosną i jesienią przysparza trudności, wynikające przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych w jakich dokonywany jest pobór prób. W przypadku osadów

dennych różnice te wynikają dodatkowo z różnic w składzie osadów nanoszonych w miejscach poboru próbek (od typowo piaszczystych do ilasto gliniastych), w poszczególnych okresach badań.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i wodach jezior były na wyrównanym poziomie i wynosiły odpowiednio: 2,81 mBq l⁻¹, 3,10 mBq l⁻¹, 2,96 mBq l⁻¹. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr zawierały się w granicach 2,51 mBq/l dla jezior– 3,67 mBq/l dla dorzecza Odry.

W osadach dennych rzek i jezior obserwuje się duże różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$. Największe zróżnicowanie obserwowano dla dorzecza Odry. Najmniejsze różnice w stężeniach tych izotopów obserwowano w osadach dennych jezior.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych były także zróżnicowane: najniższe w dorzeczu Odry 2,12 Bq kg⁻¹, a najwyższe dla jezior 2,84 Bq kg⁻¹.

W przypadku $^{239,240}\text{Pu}$ wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były zbliżone dla osadów dorzecza Wisły i Odry, a zdecydowanie niższe dla jezior i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 18,08 mBq kg⁻¹, dla dorzecza Odry – 18,40 mBq kg⁻¹ i dla jezior – 9,11 mBq kg⁻¹.

Zarówno średnie roczne stężenia promieniotwórcze wszystkich badanych nuklidów jak i dane uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody i osadów

dennych nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach.

WNIOSKI

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych pozwala na stwierdzenie, że skażenie wód powierzchniowych takimi nuklidami jak ^{137}Cs i ^{90}Sr jest niewielkie. Podobnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior pozostaje na niskim poziomie.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska.

Prace wykonane na zlecenie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska.

Zakład Dozymetrii

Informacja o działalności Zakładu Dozymetrii w roku 2021

K. Isajenko

W roku 2021 w Zakładzie Dozymetrii pracowało 6 osób: mgr inż. Krzysztof Isajenko (Kierownik Zakładu), mgr Barbara Piotrowska (pełni nieformalną funkcję Zastępcy Kierownika Zakładu) oraz mgr inż. Karol Wojtkowski, mgr Olga Stawarz, Anita Kiełbasińska i Marcin Kozdój.

Czworo pracowników Zakładu Dozymetrii posiada wyższe wykształcenie w dziedzinie fizyki (lub pokrewnej). Troje pracowników może się pochwalić ponad 25-letnim stażem pracy w dziedzinie spektrometrii promieniowania gamma.

W strukturze Zakładu Dozymetrii działa Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej (LPPN), które posiada akredytację (nr AB 1108) na pomiary promieniotwórczości naturalnej w surowcach i materiałach budowlanych. Akredytacja została przyznana 19 listopada 2009 roku. Kierownikiem LPPN jest mgr inż. Krzysztof Isajenko, rolę Kierownika ds. jakości pełni mgr Olga Stawarz, a Kierownikiem ds. technicznych jest mgr Barbara Piotrowska. Laboratorium posiada jedną akredytowaną procedurę.

Prace prowadzone w Zakładzie Dozymetrii

W ramach działalności statutowej (finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego) w Zakładzie Dozymetrii w roku 2021 były prowadzone następujące tematy:

- *Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980 – 2021* – kierownik pracy: Barbara Piotrowska.
- *Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Narwiańskiego Parku Narodowego na podstawie*

badania próbek flory – kierownik pracy: Karol Wojtkowski.

- *Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego na podstawie badania próbek gleby* – kierownik pracy: Olga Stawarz.

Poza tym w Zakładzie prowadzony były prace na zlecenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki:

- *Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową* – kierownik pracy: Krzysztof Isajenko.
- *Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie oraz wokół Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku* – kierownik pracy: Barbara Piotrowska
- *Zorganizowanie i przeprowadzenie pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych dla jednostek organizacyjnych prowadzących takie pomiary* – kierownik pracy: Karol Wojtkowski (Olga Stawarz).

Zakład Dozymetrii prowadził także prace zlecone przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej):

- *Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018 – 2020.*
Zadanie 3: Monitoring stężenia cezu-137 w glebie – kierownik pracy: Krzysztof Isajenko (zakończenie trzeciego, końcowego etapu pracy).
- *Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2020 – 2022.*

Zadanie 3: Monitoring stężenia cezu-137 w glebie
– kierownik pracy: Krzysztof Isajenko (zakończenie drugiego etapu pracy).

W roku 2021 prowadziliśmy także prace finansowane przez Ministerstwo Klimatu (obecnie Ministerstwo Klimatu i Środowiska):

- *Rozwój systemu zapewnienia jakości w akredytowanym Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej w zakresie utrzymania wzorca odniesienia radu ^{226}Ra , toru ^{228}Th i potasu ^{40}K* – kierownik pracy: Olga Stawarz.
- *Inwestycja pn. „Unowocześnienie sieci wczesnego ostrzegania o skażeniach powietrza w Polsce – wykonanie dwóch nowych stacji ASS-500 zasilanych napięciem jednofazowym. Zainstalowanie i uruchomienie nowych stacji w dwóch lokalizacjach w Polsce (Katowice, Łódź)”* – kierownik pracy: Krzysztof Isajenko.

Także po wygranym przetargu w roku 2021 Zakład Dozymetrii realizował prace na zlecenie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych:

- *Monitoring i ochrona radiologiczna w ZUOP (lokalizacja: Otwock – Świerk)* – kierownik pracy z ramienia Z-II: Barbara Piotrowska.
- *Monitoring i ochrona radiologiczna terenu KSOP* – kierownik pracy z ramienia Z-II: Barbara Piotrowska
- *Monitoring i ochrona radiologiczna otoczenia KSOP* - kierownik pracy z ramienia Z-II: Barbara Piotrowska.

Wszystkie trzy tematy były prowadzone w ramach jednej umowy zawartej pomiędzy CLOR i ZUOP pt. *„Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna obiektów ZUOP w Otwocku-Świerku oraz ochrony radiologicznej Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie”* – Koordynatorem tych tematów wykonywanych w trzech Zakładach

w CLOR był w 2021 roku Zakład Higieny Radiacyjnej (Agnieszka Fulara).

Jeśli chodzi o pozostałe (ważniejsze) prace prowadzone w Zakładzie Dozymetrii, to można tutaj wymienić:

- *Ocena promieniotwórczości naturalnej mieszanki popiołowo-żużlowej pochodzącej ze spalania węgla kamiennego w kotłach ciepłowniczych Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. we Włocławku* – kierownik pracy: Barbara Piotrowska. Temat prowadzony na zlecenie Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej we Włocławku.
- *Monitoring gazów szlachetnych w Warszawie i Świerku* – kierownik pracy: Karol Wojtkowski. Temat własny Zakładu Dozymetrii prowadzony za pomocą aparatury (stacji do poboru gazów szlachetnych) wypożyczonej przez BFS Freiburg (Niemcy)
- stacji ASS-500 dla Bośni i Hercegowiny.

W ramach prac prowadzonych w Zakładzie Dozymetrii i na podstawie otrzymywanych w zakładzie wyników powstało kilka publikacji i ważnych opracowań wykonanych na zamówienie IAEA, a mianowicie:

- Artykuł *“Europe-Wide Atmospheric Radionuclide Dispersion by Unprecedented Wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone, April 2020”*- Olivier Masson, Oleksandr Romanenko, Olivier Saunier, Serhii Kirieiev, Valentin Protsak, Gennady Laptev, Oleg Voitsekhovych, Vanessa Durand, Frédéric Coppin, Georg Steinhäuser, Anne de Vismes Ott, Philippe Renaud, Damien Didier, Béatrice Boulet, Maxime Morin, Miroslav Hýža, Johan Camps, Olga Belyaeva, Axel Dalheimer, Konstantinos Eleftheriadis, Catalina Gascó-Leonarte, Alexandra Ioannidou, Krzysztof Isajenko etc.; Environmental

-
- Science & Technology 2021 (140 pkt na liście MNiSzW), 55, p. 13834-13848; <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03314>; data publikacji 29.09.2021 r.
- Artykuł "Analiza stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w cementach (Analysis of the natural radioisotopes in cements)"- Drzymała Tomasz, Łukaszek-Chmielewska Aneta, Lewicka Sylwia, Piotrowska Barbara; Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2021, ISBN 978-83-61331-28-5, Monografie Technologii Betonu, XI Konferencja „Dni Betonu”, Wisła 11-13 października 2021.
 - *Ocena promieniotwórczości naturalnej mieszanki popiołowo-żużlowej pochodzącej ze spalania węgla kamiennego w kotłach ciepłowniczych Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. we Włocławku* - B. Piotrowska, K. Isajenko, I. Kwiatkowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój – Sprawozdanie końcowe dla Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. we Włocławku, Warszawa, CLOR, styczeń 2021.
 - Opracowanie pt.: „Wyniki międzylaboratoryjnych pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych” – K. Isajenko, O. Stawarz, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój, - Sprawozdanie końcowe dla laboratoriów uczestniczących w interkalibracji, Warszawa, CLOR, październik-listopad 2021 r.
 - *Ekspertyza radiologiczna próbek z materiałem promieniotwórczym znajdujących się na stanie: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie* –Barbara Piotrowska, Karol Wojtkowski, Krzysztof Isajenko; czerwiec 2021.
 - Ekspertyza radiologiczna odwiertów Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa SA (PGNiG), Oddział w Zielonej Górze – Karol Wojtkowski, Krzysztof Isajenko, Barbara Piotrowska, Olga Stawarz, Marcin Kozdój, Anita Kiełbasińska, sierpień 2021.
 - *Ekspertyza radiologiczna skanera przemysłowego RTG AICON XR-300 będącego własnością firmy: PID Polska Sp. z o.o. z Warszawy* – Karol Wojtkowski, Krzysztof Isajenko, Barbara Piotrowska, Olga Stawarz, Marcin Kozdój, Anita Kiełbasińska, grudzień 2021.
- Pracownik Zakładu Dozymetrii, mgr inż. Karol Wojtkowski zakończył w roku 2021 podyplomowe studia menadżerskie na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego z oceną bardzo dobrą. Kontynuuje także studia doktoranckie na Politechnice Warszawskiej, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska – rozpoczęte w 2016 roku. Planowane zakończenie i obrona – 2022 rok.
- Plany Zakładu Dozymetrii na rok 2022**
- Plany Zakładu Dozymetrii na 2022 rok sprowadzają się do następujących działań i prac:
- *Zakup nowego toru spektrometrycznego*, który umożliwiłby rozszerzenie sieci stacji ASS-500 o trzy egzemplarze (Koszalin, Olsztyn, Poznań/Piła) – otrzymaliśmy dotację na inwestycję z MKiŚ;
 - *Wykonanie nowego systemu on-line do stacji ASS - 500* – dotacja na inwestycję z MKiŚ na rok 2022 nie została przyznana;
 - *Utrzymanie akredytacji LPPN* (m.in. zmiana przepisów prawnych);
 - *Zakup certyfikowanej rudy uranowej* wykorzystywanej do komercyjnej produkcji wzorców wykorzystywanych przez laboratoria
-

prowadzące pomiary promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych

- *Prowadzenie interkalibracji* (co 1-2 lata) dla laboratoriów prowadzących pomiary surowców i materiałów budowlanych – dotychczas takie pomiary porównawcze prowadził Prezes PAA;
- *Przyjęcie nowego pracownika* do pracy w Zakładzie – do spraw związanych z pomiarami radioaktywności powietrza;
- *Udział w interkalibracjach* międzynarodowych.

W roku 2021 w Zakładzie Dozymetrii odbyło praktyki studenckie trzech studentów:

- Student *Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego* – opiekun praktyk: Olga Stawarz;
- Student *Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej* w Lublinie – opiekun praktyk: Barbara Piotrowska;
- Studentka *Wydziału Ogrodnictwa Szkoły Głównej Gospodarstw Wiejskich* w Warszawie – opiekun praktyk: Karol Wojtkowski;

Barbara Piotrowska przeprowadziła w roku 2021 trzy szkolenia dla osób prowadzących pomiary promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych:

- Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego z Warszawy (przeszkolenie 2 osób),
- Centralne Laboratorium Pomiarowo-Badawcze z Jastrzębia Zdroju (przeszkolenie 1 osoby),
- Instytut Techniki Budowlanej z Warszawy (przeszkolenie 2 osób).

Rzwoj systemu zapewnienia jakości w akredytowanym Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej w zakresie utrzymania wzorca odniesienia radu ^{226}Ra , toru ^{228}Th i potasu ^{40}K w roku 2021

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej (LPPN) posiada akredytację PCA w zakresie określania stężeń promieniotwórczych radu ^{226}Ra , toru ^{232}Th i potasu ^{40}K oraz opisanego w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dn. 17.12.2020 r. (Dz. U. 2021 poz. 33) wskaźnika stężenia promieniotwórczego / w surowcach i materiałach budowlanych oraz odpadach przemysłowych służących do produkcji materiałów budowlanych (numer certyfikatu AB 1108). W 2021 roku Laboratorium wykonało pomiary następujących próbek: mieszanina popiołowo-żuźłowa, żuźel, odpady paleniskowe, popiół lotny, kruszywo naturalne, pustak, beton, gazobeton, ceramika sanitarna, kruszywo sztuczne, kompozyt, płyta izolacyjna oraz różnego typu odpady.

W ramach realizowanego tematu zostały wykonane następujące zadania: nadzór techniczny nad wyposażeniem i prowadzenie okresowych kalibracji spektrometrów, doskonalenie systemu zarządzania, podnoszenie kwalifikacji pracowników poprzez szkolenia zewnętrzne, przeprowadzanie audytów wewnętrznych oraz sprawowanie nadzoru przez PCA nad LPPN.

Nadzór techniczny obejmował działania zaplanowane w harmonogramie kontroli wyposażenia na 2021 rok. W ramach okresowych sprawdzeń wykonano następujące czynności: codzienna kontrola temperatury i wilgotności względnej w pomieszczeniu pomiarowym,

sprawdzenie analizatora MAZAR-95 za pomocą objętościowych wzorców kalibracyjnych (K-056, Ra-056, Th-056, N-056) i próbek inter-kalibracyjnych (CLOR W3P5, popiół wzorcowy Koszyce) oraz pomiar tła dla analizatora (walec aluminiowy). Wykonano kalibrację dwóch analizatorów typu MAZAR. Sprawdzone także prawidłowość działania analizatora MAZAR-95 poprzez powtarzalność i odtwarzalność – dla wybranych próbek i personelu laboratorium. Zewnętrzne laboratorium akredytowane wykonało wzorcowanie termohigrometru.

W 2021 roku Zakład Dozymetrii CLOR zorganizował międzylaboratoryjne pomiary porównawcze zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych. LPPN przygotował próbkę, która została zmierzona na dwóch analizatorach typu MAZAR dla standardowego i wydłużonego do około doby czasu pomiaru. Wszystkie wyniki podane przez nasze laboratorium uzyskały ocenę pozytywną z porównań międzylaboratoryjnych.

W ramach doskonalenia zaktualizowano dokumentację systemu zarządzania, przede wszystkim w odniesieniu do wprowadzonego w życie 07.02.2021 r. RRM z dn. 17.12.2020 r. Ponadto przeanalizowano ryzyka i szanse w odniesieniu do spostrzeżeń z poprzednich audytów, przeprowadzono przegląd zarządzania i szkolenia wewnętrzne oraz wzięto udział w dwóch międzynarodowych porównaniach między-

laboratoryjnych, zorganizowanych przez BfS i JRC. Wyniki nie są jeszcze znane. Ze środków własnych zakupiono także kruszarkę do rozdrabniania próbek surowców i materiałów budowlanych, która znacznie usprawni pracę.

Audyty wewnętrzne odbyły się w czerwcu (systemowy) i w listopadzie (techniczny). Audytorzy pozytywnie ocenili działalność LPPN oraz utrzymanie systemu zarządzania opartego na normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02. W raporcie z audytu systemowego została zapisana jedna niezgodność. Przeprowadzono odpowiednie działania korygujące oraz analizę ryzyk i szans.

Polskie Centrum Akredytacji przeprowadziło dwie oceny LPPN. 1 marca 2021 r. odbył się przegląd techniczny dokumentacji w związku ze zmianą zakresu akredytacji, a 23 lipca 2021 r. ocena w nadzorze. Nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności. Audytorzy pozytywnie ocenili system zarządzania i działalność LPPN. Akredytacja została przedłużona na kolejny cykl.

W ramach podnoszenia kwalifikacji personel laboratorium brał udział w następujących szkoleniach zewnętrznych (on-line): „Nowe wydanie polityki DA- 05. Znowelizowane wymagania dotyczące uczestnictwa w badaniach biegłości z uwzględnieniem działań odnoszących się do ryzyk i szans”, „Produkcja materiałów odniesienia krok po kroku”, „Doskonalimy dokumentację w laboratorium – praktyczny kurs z odchudzania dokumentacji w laboratorium” oraz „Ważne wyniki badań i pomiarów - zasady powoływania się na akredytację”. LPPN utrzymało dotychczasowych klientów i pozyskało nowych. Wzrosła liczba badanych próbek.

Temat został sfinansowany przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego na podstawie badania próbek gleby

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

Celem pracy była ocena sytuacji radiacyjnej Ojcowskiego Parku Narodowego na podstawie badań radiologicznych próbek gleby pobranej z terenu OPN. Metodą spektrometrii promieniowania gamma oznaczono stężenia radionuklidów naturalnych (^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Ac) oraz stężenie radionuklidu pochodzenia sztucznego – cezu ^{137}Cs , będącego pozostałością po awarii Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu w 1986 r. Obliczono depozycję ^{137}Cs . Ocena sytuacji radiacyjnej Ojcowskiego Parku Narodowego polegała na oszacowaniu na podstawie wyników pomiarów stężeń radionuklidów naturalnych rocznej dawki efektywnej, czyli narażenia na promieniowanie jonizujące pracowników OPN, okolicznych mieszkańców oraz turystów. Ponadto uzyskane rezultaty porównano z wartościami średnimi stężeń radionuklidów w próbkach gleby pobranych w poprzednich latach w następujących Parkach Narodowych: Kampinoskim, Poleskim, Narwiańskim i Świętokrzyskim, a także z wartościami średnimi dla Polski i woj. małopolskiego (wyniki pochodzą z opracowania dla GIOŚ, wykonanego w ramach monitoringu radiologicznego gleby pobranej jesienią 2020 roku).

Na terenie OPN pobrano 16 próbek z powierzchniowej warstwy gleby (0-10 cm) za pomocą wykrojnika (cylinder, $d=6,9$ cm) i młotka. W każdym punkcie wzięto siedem porcji, tj. jedną ze środka i sześć z obwodu koła o średnicy 2 m. Rodzaje pobranych próbek to głównie gleby brunatne, rędziny, opadowo-glejowe i mady.

Przygotowanie próbek gleby do pomiaru w laboratorium odbywało się w następujących etapach: suszenie w temperaturze $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, wystudzenie, rozdrobnienie, wyznaczenie masy całkowitej, przesypanie do pojemników pomiarowych przez certyfikowane sito o średnicy oczek 2 mm, wyznaczenie masy próbek, opisanie pojemników.

Próbki gleby zostały zmierzone metodą spektrometrii promieniowania gamma. Pomiar wykonano na torze spektrometrycznym z wykorzystaniem detektora koaksjalnego HPGe o wydajności 25% i rozdzielczości 1,8 keV dla ^{60}Co ($E=1,33$ MeV). Czas pomiaru pojedynczej próbki wynosił 80 000 s. Kalibracja detektora została przeprowadzona za pomocą źródła objętościowego multigamma o gęstości odpowiadającej średniej gęstości próbek, tj. $1,1\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (NCBJ - Ośrodek Radioizotopów POLATOM). Po zakończeniu pomiarów przeanalizowano otrzymane widma. Następnie opracowano wyniki pomiarów stężenia radionuklidów naturalnych (^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Ac) oraz depozycji ^{137}Cs w próbkach gleby, a także oszacowano roczną dawkę efektywną dla osób przebywających na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego.

Wartości depozycji ^{137}Cs w próbkach gleby pobranych na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego mieszczą się w zakresie od $1,14 \pm 0,03\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Prądnik Czajowski) do $11,92 \pm 0,25\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Kolencin). Wartość średnia depozycji ^{137}Cs w próbkach gleby pochodzących z obszaru OPN wynosi $5,32 \pm 0,81\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$.

Wartość średnia stężenia ^{226}Ra w glebie to $36,5 \pm 1,2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (zakres: $27,3 \div 43,1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dla ^{228}Ac wartość średnia stężenia w próbkach gleby wynosi $35,8 \pm 1,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (zakres: $21,8 \div 43,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$). Natomiast wartość średnia stężenia ^{40}K w glebie to $491 \pm 18 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (zakres: $267 \div 562 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Wartość średnia depozycji ^{137}Cs w glebie OPN jest wyższa od wartości średniej dla Polski i dla woj. małopolskiego oraz Kampinoskiego PN, Poleskiego PN, Świętokrzyskiego PN i Narwiańskiego PN. Wartości średnie stężeń naturalnych radio-nuklidów w glebie OPN są wyższe niż wartości średnie dla Polski i woj. małopolskiego oraz ww. Parków Narodowych. Wyjątek stanowi ^{226}Ra , dla którego maksymalna wartość średnia stężenia została obliczona dla woj. małopolskiego.

Na badanym obszarze nie można jednoznacznie wskazać rejonów o wyższych lub niższych wartościach stężeń cezu ^{137}Cs , czy radionuklidów naturalnych. Nie stwierdzono korelacji między stężeniem cezu a stężeniem radionuklidów naturalnych.

Maksymalna roczna dawka efektywna oszacowana na podstawie wyników pomiarów stężeń radionuklidów naturalnych w próbkach gleby pobranych z terenu OPN wynosi $0,61 \text{ mSv}$ (Rezerwat Brzozy Ojcowskiej), co stanowi 25% tła naturalnego dla statystycznego mieszkańca Polski.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że przebywanie ludzi na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego jest bezpieczne z punktu widzenia ochrony radiologicznej.

Dodatkowo do Dyrekcji OPN zostało przesłane sprawozdanie z poboru próbek gleby na terenie OPN oraz sprawozdanie końcowe z wynikami pomiarów próbek gleby.

Temat został sfinansowany przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.

Wyniki międzylaboratoryjnych pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych przeprowadzonych w roku 2021

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

Zgodnie z wymogami Polskiego Centrum Akredytacji pozytywny wynik międzylaboratoryjnych pomiarów porównawczych (ILC) jest jednym z warunków koniecznych do uzyskania bądź utrzymania akredytacji przez laboratorium. Stanowi dowód wykazania kompetencji w zakresie monitorowania działań oraz uznania ważności wyników badań. Zakład Dozymetrii CLOR zorganizował pomiary porównawcze zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach budowlanych w oparciu o normę PN-EN ISO/IEC 17043:2010 „Ocena zgodności. Ogólne wymagania dotyczące badania biegłości”, dokument PCA DA-05 „Polityka dotycząca uczestnictwa w badaniach biegłości” oraz „Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. w sprawie materiałów budowlanych, w przypadku których oznacza się stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wymagań dotyczących dokonywania tych oznaczeń oraz wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego, o której przekroczeniu informuje się właściwe organy” (Dz. U. 2021, poz. 33).

W porównaniach wzięło udział 12 uczestników. Poddano analizie określone przez laboratoria stężenia radionuklidów potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th oraz wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego I w próbkach popiołu paleniskowego, pobranego z elektrofiltrów Elektrociepłowni Siekierki. Przed rozesłaniem próbek

do uczestników porównań zbadano jednorodność poprzez kontrolę liczby zliczeń w fotopikach odpowiadających kilku wybranym energiom promieniowania (^{226}Ra – 186 keV, ^{212}Pb – 239 keV, ^{212}Bi – 727 keV, ^{228}Ac – 911 keV oraz ^{40}K – 1461 keV). W tym celu zastosowano dwa analizatory wielokanałowe z detektorami półprzewodnikowymi HPGe (typu XTRa) oraz analizator wielokanałowy z detektorem koaksjalnym półprzewodnikowym HPGe. Dla wszystkich badanych próbek kontrolnych względna różnica liczby zliczeń nie przekroczyła 4,2%, stąd wysnuto wniosek, że pozyskany materiał charakteryzuje się dobrą jednorodnością. Następnie próbki zostały rozesłane do uczestników pomiarów porównawczych. Dla zachowania poufności rezultatów każde z laboratoriów dostało losowo wybrany numer kodowy.

Laboratoria przeprowadziły pomiary próbek za pomocą trójkanałowego analizatora typu MAZAR lub wielokanałowego spektrometru promieniowania gamma z detektorem HPGe – w standardowym (stosowanym we własnych procedurach) oraz wydłużonym do około doby czasie pomiaru. Po zebraniu wyników od uczestników przeprowadzono testy statystyczne Q-Dixona i T-Grubbsa w celu eliminacji „błędów grubych”. Odrzucono po jednym wyniku (dla obu czasów pomiaru) dla stężenia ^{226}Ra i wskaźnika I . Dla pozostałych wyników obliczono średnie arytmetyczne, które zostały uznane za wartości

referencyjne. Dla standardowego czasu pomiaru wartości wskaźnika stężenia promienio-twórczego / odbiegały od wartości średniej o wartość większą niż niepewność pomiaru dla dwóch laboratoriów. Dla wydłużonego czasu pomiaru wartości wskaźnika / różniły się od wartości średniej o wartość większą niż niepewność pomiaru dla czterech laboratoriów.

Następnie wyniki poddano analizie statystycznej, stosując test Z oraz procedury zalecane przez MAEA i PCA. Testy Z, dokładności i precyzji zostały przeprowadzone w odniesieniu wartości średniej stężeń potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th oraz wyznaczonego wskaźnika I .

Znajomość parametru Z (opisanego poniższym wzorem) pozwoliła ocenić dokładność wyników na tle całej populacji.

$$Z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}$$

gdzie: x – wynik uzyskany przez uczestnika
 X – wartość średnia (referencyjna)
 $\hat{\sigma}$ – odchylenie standardowe.

Dla oceny biegłości laboratorium przyjęto następujące kryteria:

- $|Z| \leq 2$ - wynik zadowolający,
- $2 < |Z| < 3$ - wynik wątpliwy, ale do przyjęcia,
- $|Z| \geq 3$ - wynik niezadowolający, uzasadniający podjęcie działań naprawczych.

Dokładność wyniku była zadowolająca, jeśli:

$$|\text{wynik lab.} - \text{wartość ref.}| \leq 2,58 \cdot \sqrt{U_{ref}^2 + U_{lab}^2}$$

Precyzja wyniku była zadowolająca, jeśli wartość:

$$\sqrt{\left(\frac{U_{ref}}{\text{wartość ref.}}\right)^2 + \left(\frac{U_{lab}}{\text{wynik lab.}}\right)^2} \cdot 100\%$$

była mniejsza lub równa 16% wartości referencyjnej wskaźnika I oraz 25% wartości stężeń aktywności ^{40}K , ^{226}Ra i ^{232}Th (U - niepewność pomiaru).

Do analizy parametru E_n (określonego w normie PN-EN ISO/IEC 17043) wzięto pod uwagę wartości wskaźników stężenia promieniotwórczego I oraz niepewności określone przez uczestników ILC, a także wartość średnią (referencyjną) z rozszerzoną niepewnością. Skorzystano ze wzoru:

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

gdzie: x_{lab} – wynik uzyskany w laboratorium
 x_{ref} – wynik referencyjny
 U_{lab} – rozszerzona niepewność wyniku uczestnika
 U_{ref} – rozszerzona niepewność wartości referencyjnej.

Przy ocenie wyników pomiarów uczestników porównań przyjęto następujące kryteria:

- $|E_n| \leq 1$ - rezultat porównania jest zadowolający
- $|E_n| > 1$ - rezultat porównania jest niezadowolający.

Ocena wyników dla standardowego czasu pomiaru.

W teście Z przy określaniu stężenia ^{40}K jedno laboratorium podało wynik wątpliwy, ale do przyjęcia. Dokładność i precyzja wyników dla wszystkich laboratoriów była zadowolająca.

Przy określaniu stężenia ^{226}Ra jedno laboratorium podało wynik niezadowolający oraz jedno laboratorium podało wynik wątpliwy, ale do przyjęcia. Dokładność była zadowolająca dla wszystkich laboratoriów, oprócz jednego. Precyzja wyników była dla wszystkich laboratoriów zadowolająca.

Wszystkie laboratoria podały wyniki zadowolające w teście Z i precyzyjne przy określaniu stężenia ^{232}Th .

Dokładność była niezadowalająca dla jednego uczestnika.

Podczas analizy określania przez uczestników wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego I stwierdzono, że w teście Z jedno laboratorium podało wynik niezadowalający i jedno laboratorium podało wynik wątpliwy, ale do przyjęcia. Status dokładności dla jednego uczestnika był niezadowalający. Precyzja wyznaczenia wartości wskaźnika I była na zadowalającym poziomie dla wszystkich laboratoriów.

W przypadku testu E_n , zastosowanego dla oceny określenia wartości wskaźników stężenia promieniotwórczego I odrzucone zostały wyniki z dwóch laboratoriów. Dla pozostałych uczestników wynik testu E_n był zatem pozytywny.

Ocena wyników dla wydłużonego czasu pomiaru.

W teście Z przy określaniu stężenia potasu ^{40}K jedno laboratorium podało wynik wątpliwy, ale do przyjęcia. Dokładność i precyzja wyników dla wszystkich laboratoriów była zadowalająca.

W przypadku stężenia radu ^{226}Ra jedno laboratorium podało wynik niezadowalający dla testu Z oraz niedokładny. Precyzja wyników była zadowalająca dla wszystkich uczestników.

Wszystkie laboratoria podały wyniki pomiaru stężenia toru ^{232}Th , które były zadowalające (test Z), dokładne i precyzyjne.

Przy określaniu wartości wskaźnika I jedno laboratorium podało wynik niezadowalający dla testu Z oraz dokładności. Precyzja wyznaczenia wartości wskaźnika I była na zadowalającym poziomie dla wszystkich uczestników porównań.

W przypadku testu E_n , zastosowanego dla oceny określenia wartości wskaźników stężenia promieniotwórczego I odrzucone zostały wyniki z czterech laboratoriów. Dla pozostałych uczestników wynik testu E_n był zatem pozytywny.

Działające w ramach CLOR akredytowane Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej (AB 1108) uzyskało pozytywne wyniki pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach budowlanych dla obu analizatorów typu MAZAR, zarówno w standardowym, jak i w wydłużonym czasie pomiaru.

Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980-2021

B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, K. Wojtkowski, M. Kozdój, A. Kiełbasińska

Do oceny surowców i materiałów budowlanych pod względem obecności stężenia promieniotwórczości stosuje się kryterium zamieszczone w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2020 r. w sprawie materiałów budowlanych, w przypadku których oznacza się stężenie promieniotwórcze izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wymagań dotyczących dokonywania tych oznaczeń oraz wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego, o której przekroczeniu informuje się właściwe organy (Dz. U. 2021, poz. 33).

W 2021 roku Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej wykonało badania i opracowało sprawozdania dotyczące zastosowania materiałów i surowców budowlanych dla 64 próbek nadesłanych z różnych regionów kraju. Były to m.in. mieszaniny popiołowo-żuźlowe (30 próbek), odpady paleniskowe (8 próbek), piasek (4 próbki), żużel (4 próbki) i pozostałe 18 próbek - różne.

Od 1980 roku do końca 2021 roku do ogólnopolskiej bazy danych surowców i materiałów budowlanych zostało wprowadzonych danych dla 51969 próbek. W samym 2021 roku wprowadzono do bazy wyniki dla 729 próbek, w tym:

1. wyniki surowców budowlanych pochodzenia naturalnego: 52
2. wyniki surowców budowlanych pochodzenia przemysłowego: 567
3. wyniki materiałów budowlanych: 110

Zarejestrowano przekroczenia wskaźnika stężenia promieniotwórczego I dla 53,8% partii popiołów

z produktami odsiarczania oraz 28,7% partii popiołu lotnego.

Analizując średnie wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 (od 1980 r. do 06.02.2020 r.) oraz wskaźnika stężenia promieniotwórczego I (od 07.02.2021 r.) określonych dla budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej należy stwierdzić, że:

- w 2021 roku 100% surowców pochodzenia naturalnego mogło mieć zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym (podobnie jak w latach poprzednich).
- z gotowych materiałów budowlanych wyprodukowanych w 2021 roku 8,1% płytek ceramicznych, 9,5% ceramiki sanitarnej i 11,1% cementu nie powinna zostać dopuszczona do zastosowania w budownictwie mieszkaniowym.

Finansowanie

Praca dofinansowana przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.

Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie oraz wokół Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku

*B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, A. Fulara,
A. Matysiak, K. Wojtkowski, M. Kozdój, A. Kiełbasińska, J. Lemańska*

Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie w 2021 roku skupiła się na badaniach próbek wody źródlanej, wody gruntowej, trawy, gleby i aerozoli powietrza oraz wykonaniu pomiarów mocy dawki. Natomiast ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Ośrodka w Świerku w 2021 roku skupiła się na badaniach próbek wody z rzeki Świder, wody studziennej, wody z Oczyszczalni Ścieków w Otwocku, gleby, trawy, aerozoli powietrza, jodu w postaci gazowej, gazów szlachetnych oraz wykonaniu pomiarów mocy dawki.

W otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie.

W pomiarach wstępnych promieniowania gamma wody źródlanej zarejestrowano jedynie w dwóch próbkach Z-2 i Z-3 śladową ilość potasu ^{40}K o zawartości powyżej $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-3}$ oraz cezu ^{137}Cs , dla którego wartość maksymalna stężenia to $8,0 \pm 1,0 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-3}$ (w próbce Z-2).

We wszystkich trzech próbkach zawartość trytu zarejestrowano nieco powyżej dolnej granicy wykrywalności; najwięcej trytu zarejestrowano w próbce Z-2, dla której stężenie wynosiło $3,9 \pm 0,6 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-3}$.

Największą zawartość sumy cezów ^{134}Cs i ^{137}Cs , równą $17,11 \pm 1,77 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-3}$, zarejestrowano w próbce wody źródlanej oznaczonej jako Z-2.

Stężenie aktywności strontu ^{90}Sr w próbce zbiorczej (otrzymanej z połączenia próbek Z-1, Z-2 oraz Z-3

w jedną próbkę) było poniżej dolnego progu wykrywalności.

Analiza promieniowania beta w próbkach wody gruntowej z otoczenia KSOP w Różanie wykazała, że:

- największą zawartość trytu zmierzono w próbce oznaczonej jako P – 16: dla której wartość ta wynosiła: $165,1 \pm 13,0 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-3}$;
- największą całkowitą radioaktywność beta w próbkach oznaczonych jako P - 4: dla której wartość ta wynosiła: $0,36 \pm 0,04 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-3}$.

Badania spektrometryczne promieniowania gamma próbek gleby z otoczenia KSOP w Różanie wykazały ze sztucznych izotopów jedynie obecność cezu ^{137}Cs . Wartość średnia stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs zawierała się w granicach od $0,48 \pm 0,17 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ w punkcie D - 3 do $42,0 \pm 3,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ w punkcie D-1. W analizie widm promieniowania gamma próbek trawy pobranych z otoczenia KSOP w Różanie nie zarejestrowano izotopów promieniotwórczych pochodzenia sztucznego powyżej $1,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy.

Podczas analizy widm promieniowania gamma aerozoli atmosferycznych zebranych na filtrach w przeliczeniu na dzień poboru próbki w zakresie energii od 40 do 2000 keV na poziomie wyższym od limitu detekcji zostały zmierzone jedynie izotopy pochodzenia naturalnego. Wartości stężeń aktywności izotopów zidentyfikowanych w obydwu próbkach tj.: berylu ^7Be i ołowiu ^{210}Pb zawierają się w zakresach wartości stężeń tych izotopów

rejestrowanych w próbkach aerozoli ze stacji ASS-500 rozmieszczonych na terenie całego kraju.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma w otoczeniu KSOP w Różanie kształtowała się w granicach: od $89,8 \pm 3,7 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie D-5 do $120,4 \pm 14,8 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie D-2.

W otoczeniu Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku.

Po przeprowadzeniu analizy spektrometrycznej promieniowania gamma w próbkach wody z otoczenia Ośrodka w Świerku, (2 próbki wody z rzeki Świder, 2 próbki wody studziennej i 2 próbki wody z Oczyszczalni Ścieków w Otwocku) nie stwierdzono obecności izotopów gamma promieniotwórczych pochodzenia sztucznego o stężeniu aktywności powyżej $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-3}$.

Badania zawartości trytu w próbkach wody studziennej i wody z rzeki Świder metodą polegającą na wzbogaceniu trytu metodą elektrolityczną i pomiarze aktywności beta w spektrometrze ciekłoscyntylacyjnym wykazały obecność trytu na niskim poziomie. Maksymalne stężenie trytu w wodzie pobranej z okolic Ośrodka w Świerku zarejestrowano w próbce wody rzecznej WS - 2. Wartość ta wyniosła $2,3 \pm 0,3 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-3}$.

Badanie zawartości cezu $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ w próbkach wody metodą polegającą na selektywnej sorpcji cezu na złożu fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu wykazało, że we wszystkich próbkach poziom aktywności cezu jest na niskim poziomie. Największą średnią zawartość cezu $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ zarejestrowano w próbce wody z Oczyszczalni Ścieków w Otwocku WOS. Wartość średnia stężenia cezów w tej próbce wyniosła $10,22 \pm 1,06 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-3}$.

W próbkach gleby pobranych z otoczenia Ośrodka w Świerku stwierdzono:

- z izotopów pochodzenia naturalnego – obecność izotopów naturalnych szeregów promieniotwórczych tj. radu ^{226}Ra , aktynu ^{228}Ac i ołowiu ^{210}Pb oraz naturalnie występujący izotop potasu ^{40}K , o zawartościach powyżej $2,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- z izotopów sztucznych - obecność cezu ^{137}Cs w czterech próbkach było powyżej $0,7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- maksymalną zawartość cezu ^{137}Cs o stężeniu $11,50 \pm 0,20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ zawierała próbka MD-02;
- najmniejszą zawartość cezu ^{137}Cs o stężeniu $0,40 \pm 0,03 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ zawierała próbka MD-04.

W analizie spektrometrycznej promieniowania gamma w próbkach trawy z otoczenia Ośrodka w Świerku stwierdzono:

- z izotopów sztucznych - obecność cezu ^{137}Cs w trzech próbkach;
- maksymalną zawartość cezu ^{137}Cs wynoszącą $13,1 \pm 1,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ w próbce MD-01;
- z izotopów pochodzenia naturalnego – zawartość ^{40}K i ołowiu ^{210}Pb powyżej $20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ we wszystkich próbkach;
- stężenie promieniotwórcze ^{40}K w trawie (s. m.) zawierało się w granicach od $375 \pm 10 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w próbce pobranej w punkcie MD-01 do $542 \pm 13 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w próbce pochodzącej z punktu MD-06, natomiast wartość stężenia promieniotwórczego ^{210}Pb zawierała się w granicach od $58 \pm 22 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w próbce pobranej w punkcie MD-01 do $132 \pm 26 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w próbce pochodzącej z punktu MD-05 .

Moc dawki zmierzona w otoczeniu Ośrodka w Świerku zawierała się w przedziale $76,4 \pm 0,6 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie MD - 06 do $92,9 \pm 1,9 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie MD - 01.

Na filtrze aerozoli powietrza pobranego z otoczenia Ośrodka w Świerku zarejestrowano izotopy

pochodzenia naturalnego o wartości stężenia promieniotwórczego powyżej dolnej granicy wykrywalności.

Wartości stężeń aktywności izotopów zidentyfikowanych w próbkach aerozoli tj.: berylu ^7Be i ołowiu ^{210}Pb zawierają się w zakresach wartości stężeń tych izotopów rejestrowanych w próbkach aerozoli ze stacji ASS-500 rozmieszczonych na terenie całego kraju.

W analizie widma promieniowania gamma absorbentu jodu postaci gazowej nie zarejestrowano żadnego izotop jodu o wartości powyżej dolnej granicy wykrywalności.

W pomiarze gazów szlachetnych, pobranych z okolicy Ośrodka w Świerku zidentyfikowane zostały trzy izotopy o wartości stężenia promieniotwórczego powyżej dolnej granicy wykrywalności tj.: krypton ^{85}Kr o średnim stężeniu promieniotwórczym $1,39 \pm 0,06 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, $^{131\text{m}}\text{Xe}$ o stężeniu $0,605 \pm 1,157 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz ^{133}Xe o stężeniu średnim $0,026 \pm 0,009 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Wnioski

Praca Ośrodka w Świerku oraz obecność Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie nie stwarzają zagrożenia pod względem radiologicznym dla mieszkańców otoczenia obydwu lokalizacji.

Finansowanie

Praca wykonana na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki.

Monitoring gazów szlachetnych w Warszawie i Świerku w latach 2015-2021

K. Wojtkowski, K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz, M. Kozdój, A. Kiełbasińska

Jedyna w Polsce stacja do poboru gazów szlachetnych z powietrza atmosferycznego jest przewoźnym urządzeniem. W celu uchronienia przepływomierza i zaworu przed zanieczyszczeniem kurzem, powietrze jest pompowane przez filtr z waty bawełnianej. Jest on zespolony z kolumną, w której znajduje się silikat-żel. Jego zadaniem jest absorpcja wody zawartej w pobieranym powietrzu. Następnie powietrze wchodzi do adsorbentu zanurzonego w naczyniu Dewara, w którym znajduje się ciekły azot (temperatura 77K/-196°C). W kolumnie z adsorbentem panuje podciśnienie (poniżej 0,5 bar), które zapobiega skraplaniu się azotu i tlenu. Wartość przepływu powinna wynosić ok. 60 litrów/min. (maksymalnie do 70-75 l/min.). Po poborze gazów szlachetnych na adsorbent, należy je przetransferować do naczyń transportowo-pomiarowych. Aby dokonać transferu gazów szlachetnych należy umieścić kolumnę z adsorbentem w specjalnym piecu. Adsorbent jest wygrzewany przez około 1 godzinę w temperaturze ok. 300 °C. Poprzez wymywanie adsorbentu gazami obojętnymi (azot lub hel) następuje transfer gazów szlachetnych z adsorbentu do pojemników MINICAN, które należy napełnić do ciśnienia 4 bary. Następnie wypełniony MINICAN jest wysyłany do Instytutu BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) we Freiburg (Niemcy). Tam jest mierzona jego zawartość z wykorzystaniem chromatografu gazowego. Następnie do CLOR zostają przesłane wyniki pomiarów. W 2021 roku została zawarta umowa pomiędzy Skarbem Państwa – Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki a Centralnym Laboratorium

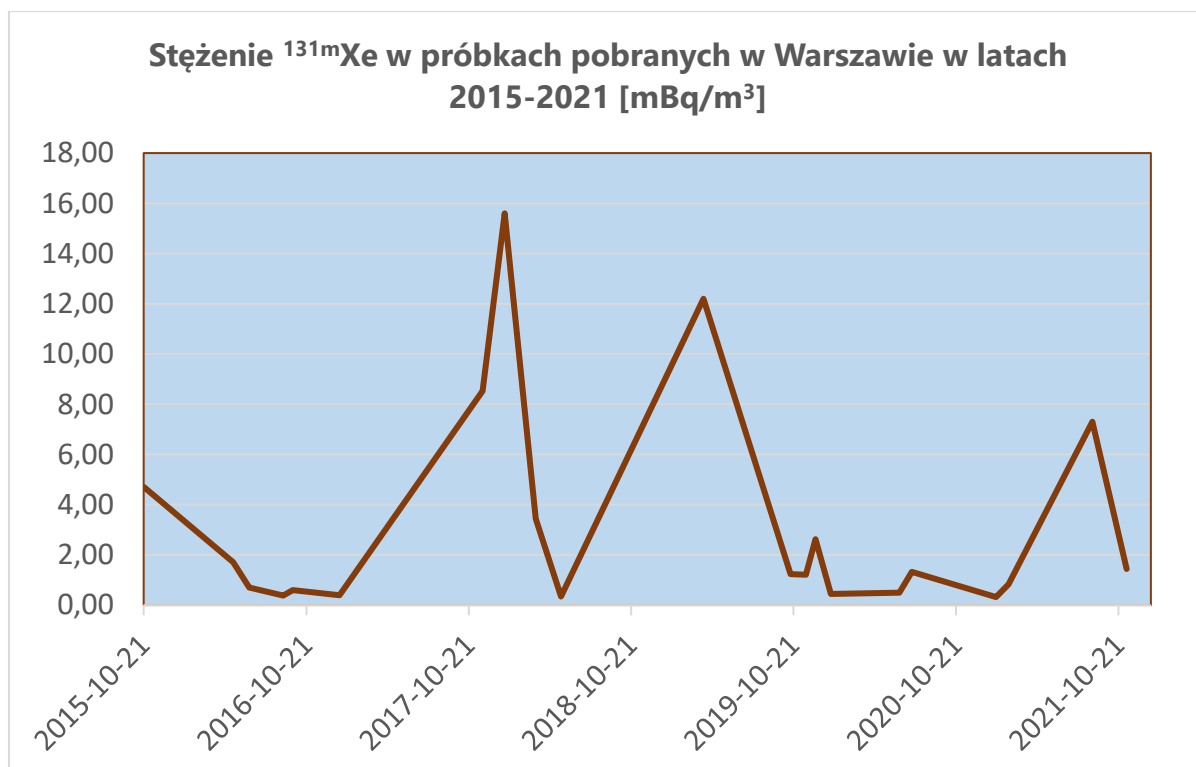
Ochrony Radiologicznej. Przedmiotem Umowy było wykonanie usługi polegającej na pomiarach wielkości uwolnień substancji promieniotwórczych do powietrza w okolicy obiektu jądowego w Świerku. Pobory jednodniowe odbyły się w lipcu, sierpniu i wrześniu 2021 roku. Stacja do poboru gazów szlachetnych została ustawiona w miejscu, w kierunku którego w początkowej fazie poboru wiał wiatr od strony komina reaktora. Jednak dla w pełni miarodajnego określenia stężenia kryptonu ⁸⁵Kr wymagany jest tygodniowy pobór powietrza, albo pobór krótszy (ale nie mniej niż 5 dni) z większym przepływem (zwiększonym do wartości 0,060 – 0,075 m³/h). Datę poboru promieniotwórczych gazów szlachetnych wybrano na podstawie znajomości terminu pracy reaktora MARIA w tzw. „cyklu molibdenowym”, czyli pracy reaktora na jego podwyższonej mocy.

Pobory w Warszawie w Zakładzie Dozymetrii były finansowane ze środków własnych instytutu. Pobory prowadzono przez tydzień każdego miesiąca w roku.

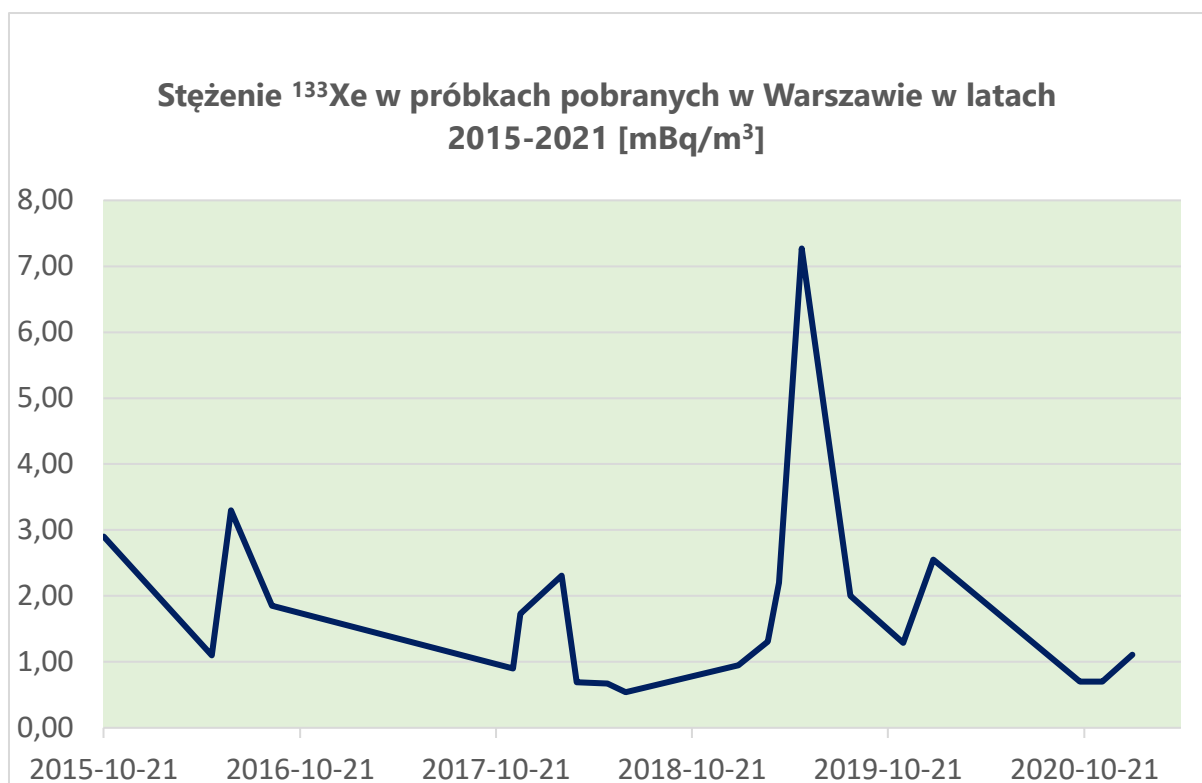
Na podstawie poborów dokonanych w 2021 roku podwykonawcy w BfS Freiburg (Niemcy) udało się określić stężenia kryptonu ⁸⁵Kr. W skali roku wartość średnia stężenia wynosiła 1,39 Bq/m³, przy średnim prognozie detekcji wynoszącym 0,01 Bq/m³. Wg. informacji, jaką otrzymaliśmy od Niemców, wartość ta jest na poziomie tła panującego w Europie Środkowej wynoszącego ok. 1,5 Bq/m³. Poniżej w formie wykresów przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów w Warszawie w latach 2015-2021.



Rys 1. Stężenie ^{85}Kr w próbkach pobranych w Warszawie w latach 2015-2021



Rys 2. Stężenie $^{131\text{m}}\text{Xe}$ w próbkach pobranych w Warszawie w latach 2015-2021.



Rys. 3. Stężenie ^{133}Xe w próbkach pobranych w Warszawie w latach 2015-2021.

Ocena sytuacji radiacyjnej na terenie Narwiańskiego Parku Narodowego (NPN) na podstawie badania próbek flory

K. Wojtkowski, K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

Cel pracy

Praca była finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Jej celem była ocena sytuacji radiacyjnej Narwiańskiego Parku Narodowego na podstawie badań radiologicznych próbek trawy pobranej z terenu NPN. W próbkach trawy mierzono stężenia radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego. Z pośród radionuklidów pochodzenia naturalnego badano: stężenie potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i aktynu ^{228}Ac . Radionuklidem pochodzenia sztucznego, którego stężenie podlegało ocenie był cez ^{137}Cs . Jego obecność w środowisku jest pozostałością po awarii EJ w Czarnobylu w 1986 r.

Ocena sytuacji radiacyjnej Narwiańskiego Parku Narodowego polegała na oszacowaniu narażenia na promieniowanie jonizujące (oszacowanie rocznej dawki efektywnej) na podstawie wyników pomiarów stężeń radionuklidów obecnych w trawie dla osób przebywających na terenie NPN oraz okolicznej ludności.

Pobór próbek

W ramach realizowanego tematu pobrano 24 próbki gleby z terenu Narwiańskiego Parku Narodowego. Obszar Parku obejmuje powierzchnię 7350 ha i otulinę o powierzchni wraz z otuliną 22758 ha wg Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 1 lipca 1996 r. w sprawie utworzenia Narwiańskiego Parku Narodowego. Starano się dobrać równomierne rozmieszczenie punktów poboru próbek. Większość punktów znajdowała się w miejscach dostępnych, blisko charakterystycznych miejsc lub szlaków turystycznych. Miejsca poboru próbek gleby to: Suraż

Krzyż, Łapy Szołajdy, Łapy Wieża, Widokowa, Płonka Strumianka, Bokiny, Wólka Waniewska, Waniewo, Pszczółczyn, Pajewo, Radule, Rzędziany, Pańki, Kruszewo, Śliwno, Izbiszczce, Topielec Kolonia, Zawady, Baciuty, Turośnianka, Bojary, Uhowo-Narew, Uhowo-Kapliczka, Borowskie Żaki, Suraż-Kowale.

Pobór próbek odbywał się zgodnie z metodyką stosowaną przez CLOR na potrzeby monitoringu radiologicznego w Polsce oraz prac wykonywanych na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki. Trawa była ścinana blisko ziemi z wykorzystaniem nożyc. Następnie była zsypywana do jednego worka dla każdego punktu poboru. Worki były opisywane i przewiezione do Zakładu Dozymetrii CLOR.

Przygotowanie próbek do pomiaru

Próbki trawy do pomiaru w laboratorium przygotowano etapowo. Pierwszym etapem było suszenie. Następnie trawę mielono i opisywano. Wysuszoną próbkę ważono i określano masę suchą. Zmieloną trawę przesypywano do pojemników Marinelli ($V=0,5 \text{ [dm}^3\text{]}$) i zalewano wodą destylowaną, tak aby gęstość próbki w pojemniku była zbliżona do gęstości wody. Ostatni etap polegał na określeniu masy próbki w pojemniku, szczelnym jego zamknięciu oraz opisaniu pojemnika z trawą.

Pomiar próbek

Dla próbek trawy przygotowanych w powyższy sposób przeprowadzono pomiary metodą spektrometrii promieniowania gamma. Pomiarów dokonano z wykorzystaniem toru spektrometrycznego współpracującego z germanowym detektorem półprzewodnikowym

(HPGe) o wydajności 25%, rozdzielczości 1,8 [keV] dla II linii ^{60}Co ($E=1332$ [keV]) i $U_p=4000$ V. Czas pomiaru pojedynczej próbki wynosił 80 000 [s]. Po zakończeniu serii pomiarów dokonano analizy raportów z badań z wynikami. Następnie dokonano analizy statystycznej i opracowania wyników stężenia radionuklidów naturalnych ^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Ac i pochodzenia sztucznego – ^{137}Cs w trawie.

Wyniki pomiarów

Wartość średnia stężenia ^{226}Ra w trawie to $2,68 \pm 1,82$ [Bqkg^{-1}] (zakres: 0,24 - 11,49 [Bqkg^{-1}]).

Dla ^{228}Ac wartość średnia stężenia w trawie NPN to $1,23 \pm 0,66$ [Bqkg^{-1}] (zakres: 0,10 - 5,91 [Bqkg^{-1}]).

Natomiast wartość średnia stężenia ^{40}K w trawie NPN wynosi 774 ± 25 [Bqkg^{-1}] (zakres: 346 - 1074 [Bqkg^{-1}]).

Dla ^{137}Cs wartość średnia stężenia w trawie NPN to $0,30 \pm 0,14$ [Bqkg^{-1}] (zakres: 0,03 - 1,05 [Bqkg^{-1}]).

Wnioski i podsumowanie

Analiza wyników badań posłużyła do oceny sytuacji radiacyjnej Narwiańskiego Parku Narodowego, w którym trawa uprzednio nie była badana pod kątem obecności radionuklidów.

Otrzymane wyniki porównano z wynikami pomiarów stężeń radionuklidów w trawie uzyskanymi w ramach prac Zakładu Dozymetrii CLOR.

Na badanym obszarze NPN nie da się określić rejonów o większym lub mniejszym wpływie naturalnych radionuklidów czy pochodzenia sztucznego, ponieważ ich stężenia są na zbliżonym do siebie i dość niskim poziomie.

Literatura

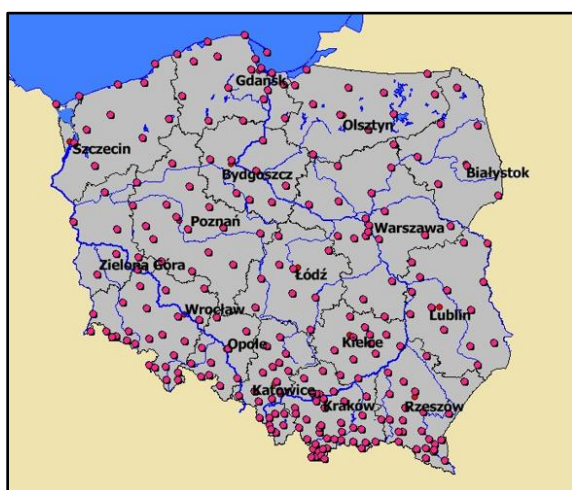
1. Monitoring Promieniowania Jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, Zadanie 3: *Monitoring stężenia ^{137}Cs w glebie*, Raport roczny z trzeciego etapu pracy, K. Isajenko, M. Kardaś, B. Piotrowska, I. Kwiatkowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, CLOR, Warszawa, luty-marzec 2018
2. Ochrona radiologiczna. Wielkości, jednostki i obliczenia. B. Gostkowska, CLOR, Warszawa 2018
3. Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej. B. Gostkowska, CLOR, Warszawa 1992
4. Dozymetria i ochrona przed promieniowaniem. R.G. Jaeger. PWN, Warszawa 1962

Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018-2020 (rok 2021). ZADANIE 3: Monitoring stężenia ^{137}Cs w glebie

Zakład Dozymetrii: K. Isajenko, K. Wojtkowski, B. Piotrowska, O. Stawarz, M. Kozdój, A. Kiełbasińska
Zakład Higieny Radiacyjnej: M. Kardaś, A. Fulara

Badania skażeń promieniotwórczych gleby prowadzone są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w Polsce od roku 1988. Próbkę gleby do pomiarów pobiera się w cyklu dwuletnim w sieci stacji i posterunków meteorologicznych należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – miejsca poboru pokazane są na Rys. 1.

Punkty poboru próbek gleby (254 punkty) są rozmieszczone na terenie całej Polski i zlokalizowane w ogródkach meteorologicznych stacji i posterunków Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Łącznie pobiera się 264 próbki: 254 z warstwy gleby o grubości 10 cm oraz 10 próbek z warstwy o grubości 25 cm.



Rys. 1. Punkty poboru gleby w Polsce (październik 2019 rok)

Próbki gleby pobierane są w miejscach, gdzie mikrośrodowisko nie jest zniekształcane lub zmieniane np. przez oranie lub nawożenie,

co umożliwia ocenę nawet niewielkich zmian poziomu skażeń. Taka lokalizacja punktów poboru posiada szereg zalet, a mianowicie:

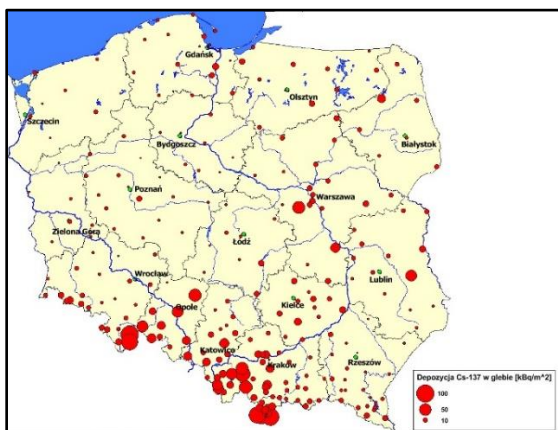
- stałość punktów poboru (możliwość powtarzania badań dla tych samych miejsc, co pozwoli na uchwycenie nawet niewielkich zmian poziomu skażeń);
- w miarę równomierne rozmieszczenie punktów poboru na terenie całego kraju;
- stała obsługa co w przypadku awarii czy wypadku radiacyjnego umożliwia szybkie i sprawne pobranie próbek do badań;
- pobieranie próbek z terenu, gdzie gleba nie była i nie będzie w przyszłości przemieszana (np. orana lub przekopywana) i nawożona, co umożliwia dostarczenie reprezentatywnego materiału do określania stężeń izotopów promieniotwórczych w powierzchniowej warstwie gleby;
- w razie potrzeby możliwość uzyskiwania danych meteorologicznych pozwalających na prowadzenie analiz rozkładów przestrzennych skażeń na danym terenie.

W trzecim etapie pracy (zakończonym 15 kwietnia 2021 roku) wykonano następujące prace:

- ❖ Opracowanie i przedstawienie do akceptacji GIOŚ-u konspektu raportu – do dnia 29 stycznia 2021 roku,

- ❖ Opracowanie raportu rocznego obrazującego depozycję cezu-137 w powierzchniowej warstwie gleby oraz stężenia radionuklidów naturalnych na podstawie pełnej serii pomiarów próbek pobranych w 2019 r. – raport powinien zawierać tabele, wykresy i mapy dotyczące otrzymanych wyników,
- ❖ Uzupełnienie danych pomiarowych za lata 1988-2016 o wyniki otrzymane z pomiarów próbek pobranych w roku 2019,
- ❖ Przygotowanie wyników pomiarów w formatach *.xls, *.xlsx, w postaci danych przestrzennych (*.shp) oraz metadanych dla zbiorów danych przestrzennych (*.xml).

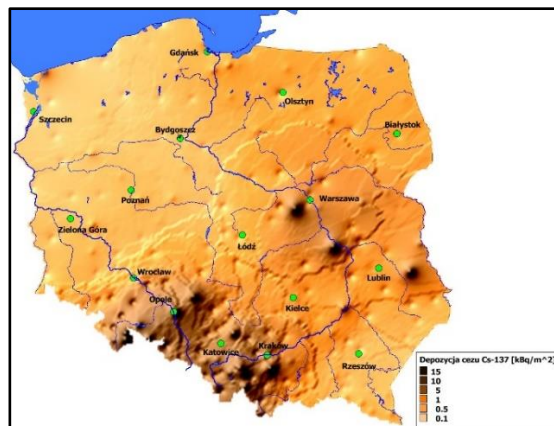
Wyniki



Rys. 2. Depozycja (stężenie powierzchniowe) cezu ^{137}Cs w Polsce (próbki pobrane jesienią 2019r)

Na Rys. 2 została przedstawiona w formie kartodiagramu kołowego depozycja (stężenie powierzchniowe) cezu ^{137}Cs w próbkach gleby pobranych z warstwy 0-10 cm jesienią 2019 roku.

Rys. 3 przedstawia w postaci mapy rastrowej depozycję (stężenie powierzchniowe) cezu ^{137}Cs w próbkach gleby pobranych z warstwy 0-10 cm jesienią 2019 roku.



Rys. 3. Depozycja (stężenie powierzchniowe) cezu ^{137}Cs w Polsce (próbki pobrane jesienią 2019 r.) przedstawiona w postaci mapy rastrowej.

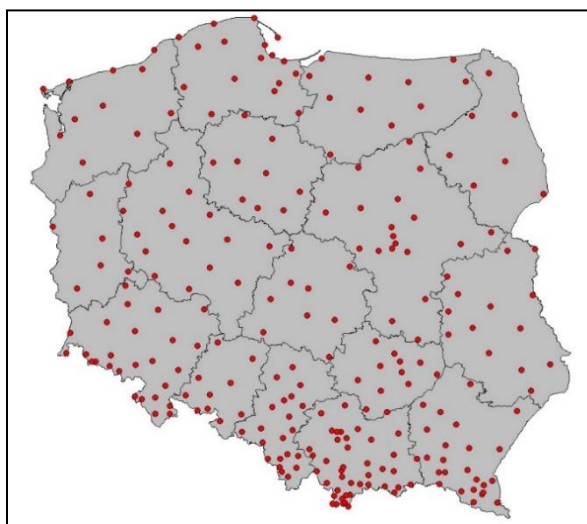
Finansowanie

Temat finansowany był ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy nr 34/2019/F z dnia 17 września 2019 zawartej pomiędzy Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska.

Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2020-2022 (rok 2021). ZADANIE 3: Monitoring stężenia ^{137}Cs w glebie

Zakład Dozymetrii: K. Isajenko, K. Wojtkowski, B. Piotrowska, O. Stawarz, M. Kozdój, A. Kiełbasińska
Zakład Higieny Radiacyjnej: M. Kardaś, A. Fulara

Badania skażeń promieniotwórczych gleby prowadzone są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w Polsce od roku 1988. Próbkę gleby do pomiarów pobiera się w cyklu dwuletnim w sieci stacji i posterunków meteorologicznych należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – miejsca poboru pokazane są na Rys. 1. Punkty poboru próbek gleby (254 punkty) są rozmieszczone na terenie całej Polski i zlokalizowane w ogródkach meteorologicznych stacji i posterunków Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Łącznie pobiera się 264 próbki: 254 z warstwy gleby o grubości 10 cm oraz 10 próbek z warstwy o grubości 25 cm.



Rys. 1. Punkty poboru gleby w Polsce (jesień 2020 rok)

Próbki gleby pobierane są w miejscach, gdzie mikrośrodowisko nie jest zniekształcane lub zmieniane np. przez oranie lub nawożenie, co umożliwia ocenę nawet niewielkich zmian poziomu

skażeń. Taka lokalizacja punktów poboru posiada szereg zalet, a mianowicie:

- stałość punktów poboru (możliwość powtarzania badań dla tych samych miejsc, co pozwoli na uchwycenie nawet niewielkich zmian poziomu skażeń);
- w miarę równomierne rozmieszczenie punktów poboru na terenie całego kraju;
- stała obsługa co w przypadku awarii czy wypadku radiacyjnego umożliwi szybkie i sprawne pobranie próbek do badań;
- pobieranie próbek z terenu, gdzie gleba nie była i nie będzie w przyszłości przemieszana (np. orana lub przekopywana) i nawożona, co umożliwia dostarczenie reprezentatywnego materiału do określania stężeń izotopów promieniotwórczych w powierzchniowej warstwie gleby;
- w razie potrzeby możliwość uzyskiwania danych meteorologicznych pozwalających na prowadzenie analiz rozkładów przestrzennych skażeń na danym terenie.

W drugim etapie pracy (zakończonym 15 października 2021 roku) wykonano następujące prace:

- ❖ Przygotowanie do pomiaru 264 próbek gleby pobranych w październiku 2020 roku z terenu całej Polski,
- ❖ Pomiar spektrometryczny próbek gleby pobranych jesienią 2020 roku.

-
- ❖ Prowadzenie rejestru wyników pomiarów w postaci arkusza kalkulacyjnego MS Excel,
 - ❖ Napisanie sprawozdania zawierającego wyniki pomiarów (cezu ^{137}Cs oraz radionuklidów naturalnych) zmierzonych próbek.

Wyniki

Stosowana metoda pomiarów spektrometrycznych jest częścią metodyki pt. „Metodyka poboru, pomiarów oraz prezentacji wyników określania stężeń radionuklidów gamma promieniotwórczych w powierzchniowej warstwie gleby dla potrzeb radiologicznego monitoringu środowiska w Polsce (Zgodna z wymaganiami Dyrektywy INPIRE)” zatwierdzonej w maju 2014 roku przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

Progi wykrywalności dla mierzonych radionuklidów wynoszą:

- 0,15 Bq/kg (0,02 kBq/m²) dla ^{137}Cs ,
- 2,5 Bq/kg dla ^{40}K ,
- 2,0 Bq/kg dla ^{226}Ra ,
- 0,5 Bq/kg dla ^{228}Ac

Finansowanie

Temat finansowany jest ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy nr ZP/DM/105/2020/F z dnia 09 lipca 2020 zawartej pomiędzy Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska

Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową – sieć stacji ASS-500 (rok 2021).

K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski, M. Kozdój, A. Kiełbasińska

Dla oceny dawki skutecznej od wchłonięcia radionuklidów promieniotwórczych drogą oddechową, korzystaliśmy z następującego wzoru:

$$D = \sum_i D_i$$

Gdzie:

D – jest obliczoną dawką skuteczną otrzymaną od izotopów wchłanianych układem oddechowym,

D_i – jest dawką skuteczną od pojedynczego (i -tego) izotopu. W niniejszej pracy bierzemy pod uwagę tylko dawki otrzymane od następujących izotopów: naturalnych – berylu ^7Be , potasu ^{40}K , ołowiu ^{210}Pb , radu ^{226}Ra i aktynu ^{228}Ac oraz od wszystkich izotopów pochodzenia sztucznego, których stężenia zostały określone na poziomach przekraczających limity detekcji (przy czym cez ^{137}Cs oraz jod ^{131}I uwzględniamy zawsze).

UWAGA – jeśli stężenie jakiegoś radionuklidu nie przekraczało wartości limitu detekcji (LLD), to do obliczenia dawki skutecznej przyjmujemy wartość LLD. W ten sposób oczywiście obliczone dawki skuteczne są zawyżone w stosunku do rzeczywistych dawek otrzymywanych przez mieszkańców Polski.

Dawkę skuteczną otrzymaną od wchłonięcia poprzez układ oddechowy pojedynczego radionuklidu promieniotwórczego (D_i) dla osoby z grupy wiekowej g obliczamy, stosując następujący wzór:

$$D_i = A_{w,i} \cdot e(g)_i \cdot V(g)_{odd} \cdot T$$

Gdzie:

D_i – jest dawką skuteczną od pojedynczego izotopu,

$A_{w,i}$ – jest aktywnością właściwą (stężeniem promieniotwórczym) i -tego izotopu w powietrzu atmosferycznym (zmierzonego w sieci stacji ASS-500 w danej lokalizacji),

$e(g)_i$ – jest wartością obciążającej dawki skutecznej dla i -tego izotopu dla osoby z grupy wiekowej g ,

$V(g)_{odd}$ – jest wydajnością (prędkością) oddychania osoby z grupy wiekowej g ,

T – jest to czas dla jakiego jest liczona dawka skuteczna (czyli tydzień, miesiąc, kwartał lub rok).

Współczynniki inhalacyjne dla dzieci w różnym wieku oraz osób dorosłych zostały określone w „*Human respiratory tract model for radiological protection*”. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994”. Przedstawia je Tabela 1.

Tabela 1. Prędkości oddychania dzieci w różnym wieku oraz osób dorosłych. [2]

Grupa wiekowa	≤ 1 rok	1÷2 lat	2÷7 lat	7÷12 lat	12÷17 lat	> 17 lat
Prędkość oddychania [m ³ /doba]	5,2	6,5	12,2	17,2	21,4	22,2

Obciążającą dawkę skuteczną e(g) dla osób z ogółu ludności od wniknięcia radionuklidu o aktywności 1 Bq drogą oddechową (Rozporządzenie Rady

Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 20/2005, poz. 168)) przedstawia Tabela 2.

Tabela 2. Wartości obciążającej dawki skutecznej od wchłonięcia radionuklidów układem oddechowym dla wybranych radionuklidów (dla różnych grup wiekowych).

Izotop	Okres połowicznego rozpadu	Wartości e(g) w [Sv/Bq] dla grupy wiekowej g:					
		≤ 1 roku	1÷2 lat	2÷7 lat	7÷12 lat	12÷17 lat	> 17 lat
¹³⁷ Cs	30,0 lat	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$
¹³¹ I	8,04 dnia	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$
⁷ Be	53,3 dnia	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$8,3 \cdot 10^{-11}$	$6,2 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$
⁴⁰ K	$1,28 \cdot 10^9$ lat	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-9}$	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$
²¹⁰ Pb	22,3 lat	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$
²²⁶ Ra	$1,60 \cdot 10^3$ lat	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
²²⁸ Ac	6,13 godz.	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$9,7 \cdot 10^{-8}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$

Wyniki

Wyniki pomiarów oparte zostały na pomiarach stężeń radionuklidów promieniotwórczych zmierzonych w filtrach powietrza ekspozycyjnych w sieci stacji ASS-500. Poniżej, na Rys. 1, przedstawiono rozmieszczenie stacji ASS-500 w Polsce:



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji ASS-500 na terenie naszego kraju

Stacje ASS-500 zlokalizowane są w następujących instytucjach:

- **Warszawa** – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Zakład Dozymetrii
- **Białystok** – Uniwersytet Medyczny, Zakład Biofizyki
- **Gdynia** – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, Oddział Morski
- **Katowice** – Główny Instytut Górnictwa, Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej im. Marii Goeppert-Mayer
- **Kielce** – Uniwersytet Jana Kochanowskiego
- **Kraków** – Instytut Fizyki Jądrowej PAN im. Henryka Niewodniczańskiego, Zakład Fizykochemii Jądrowej, Pracownia Badań Skażeń Promieniotwórczych Środowiska
- **Lublin** – Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Wydział Chemii, Zakład Radiochemii i Chemii Koloidów
- **Łódź** – Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej
- **Sanok** – Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Rzeszowie,

Laboratorium Pomiarów Promieniowania
w Sanoku

- **Szczecin** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska
- **Toruń** – Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Fizyki
- **Wrocław** – Politechnika Wrocławska, Zakładowy Inspektor Ochrony Radiologicznej

Zielona Góra – Uniwersytet Zielonogórski,
Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład
Ochrony i Rekultywacji Gruntów.

Wyniki pomiarów stężeń poszczególnych radionuklidów w aerozolach atmosferycznych pobranych z przyziemnej warstwy powietrza atmosferycznego przedstawiono w tabeli 3. W tabeli podano również miejsce i okres wystąpienia maksymalnego stężenia dla każdego radionuklidu.

Tabela 3. Średnie roczne (dla całej Polski) stężenia radionuklidów w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego w 2021 roku

Radionuklid	Stężenie w powietrzu, $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	Zakres	Miejscowość i okres wystąpienia maksymalnego stężenia
^{137}Cs	$0,44 \pm 0,02$	$(<0,08 \div 7,30)$	Katowice, 8.02 – 15.02
^{131}I	$0,70 \pm 0,02$	$(<0,09 \div <4,58)$	Zielona Góra, 15.11 – 22.11
^7Be	3158 ± 71	$(479 \div 14055)$	Katowice, 31.05 – 07.06
^{40}K	$11,1 \pm 0,2$	$(<2,2 \div 38,2)$	Lublin, 18.01 – 25.01
^{210}Pb	408 ± 11	$(92 \div 2499)$	Lublin, 18.01 – 25.01
^{226}Ra	$6,2 \pm 0,2$	$(1,3 \div <41,0)$	Wrocław, 10.05 – 17.05
^{228}Ra	$1,1 \pm 0,0$	$(<0,2 \div <7,6)$	Katowice, 04.01 – 11.01

Dawki skuteczne (efektywne) otrzymane drogą inhalacyjną wahały się od wartości 2,344 mSv rocznie dla dzieci w wieku 2-7 lat mieszkających w Szczecinie do wartości 6,334 mSv dla młodzieży w wieku 12-17 lat. Maksymalna dawka skuteczna została obliczona dla mieszkańców Lublina.

Wnioski

Obliczone dawki pochodzące od radionuklidów znajdujących się w powietrzu atmosferycznym,

otrzymywane przez mieszkańców naszego kraju są bardzo niskie. Wyniki otrzymane w powyższej pracy pokazały, że dawki te są na poziomie ułamkowych części dawek granicznych.

Finansowanie

Praca była finansowana przez Państwową Agencję Atomistyki na podstawie umowy nr 39/OR/2020/391 z dnia 31 grudnia 2020

Unowocześnienie sieci wczesnego ostrzegania o skażeniach powietrza w Polsce – wykonanie dwóch nowych stacji ASS-500 zasilanych napięciem jednofazowym. Zainstalowanie i uruchomienie nowych stacji w dwóch lokalizacjach w Polsce (Katowice, Łódź)

K. Isajenko, K. Wojtkowski, B. Piotrowska, M. Kozdój

Sieć stacji ASS-500 w Polsce działa od roku 1992 (wcześniej działała tylko stacja w CLOR). Obecnie sieć ta składa się z 13 stacji pracujących w systemie wczesnego ostrzegania o skażeniach promieniotwórczych powietrza w Polsce.

Inwestycja otrzymana z Ministerstwa Klimatu i Środowiska na rok 2021 umożliwiła wykonanie i wymianę ostatnich dwóch stacji (w Katowicach i Łodzi).

Opis prac wykonanych w ramach inwestycji

W ramach inwestycji wykonano następujące prace:

- Wykonanie dwóch egzemplarzy stacji – do 15 września 2021 (zgodnie z podpisanym aneksem termin ten został przesunięty na 30 września)
- Testowanie nowo wykonanych stacji – do 31 października 2021
- Zainstalowanie i uruchomienie nowych stacji w Katowicach i Łodzi – do 15 grudnia 2021.

Inwestycja rozpoczęła się w maju 2021, a zakończyła się w grudniu 2021.

W ramach realizacji inwestycji zakupiono oraz wykonano następujące elementy stacji ASS-500:

- Obudowa stacji typu ASS-500
- Wentylator typu HRD 16T FU-105/2,2 z łącznikiem i wibroizolatorami
- Falownik typu VFS15S.2022PL-W

- Regulator wilgotności i temperatury typu AR247/3/S1/P/P/WU/P
- Promienniki podczerwieni typu TEGI-0026 FSR 250W 230V 24108
- Zestaw do pomiaru przepływu zawierający:
 - Przetwornik różnicy ciśnień i przepływu gazów model PHM33-201-MD1
 - Panel pomiarowy model GTA-DA6-A-BRTNVY
 - Zasilacz model DRC-24V30W1A
 - Rurka uśredniająca przepływu dla gazów model AFMT-042-100

Wnioski



Rys. 1. Sieć stacji ASS-500 w Polsce

Obecnie wszystkie trzynaście stacji pracujących w sieci wczesnego ostrzegania o skażeniach powietrza w Polsce, jest stacjami nowego typu, w pełni nowoczesnymi, zapewniającymi najwyższe standardy w monitoringu powietrza w naszym kraju (Rys.1).

W następnych latach planowane jest rozbudowa sieci (zainstalowanie trzech nowych stacji – w Olsztynie, Poznaniu i Koszalinie) oraz unowocześnianie systemu on-line.

Finansowanie

Inwestycja była dofinansowana przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska na podstawie umowy nr 52/DB/2021 z dnia 06 maja 2021.

Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania

Informacje o działalności Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowaniu w 2021r.

K. Wołoszczuk

Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania tworzą dwie pracownie: Pracownia Dawek Indywidualnych i Środowiskowych (PDIŚ) oraz Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR), w których zatrudnionych jest 13 osób. Podstawowymi zadaniami Zakładu jest prowadzenie prac badawczo rozwojowych oraz świadczenie usług z zakresu:

- dozymetrii indywidualnej,
- wzorcowania przyrządów dozymetrycznych,
- wzorcowania przyrządów radonowych,
- ekspozycja detektorów pasywnych w referencyjnych polach promieniowania neutronowego, gamma, X oraz beta,
- ekspozycja pasywnych detektorów radonowych we wzorcowych stężeniach radonu w powietrzu,
- pomiarami jodu promieniotwórczego w tarczycy człowieka,
- pomiaru radonu w wodzie metodą emanometrii i ciekłej scyntylacji,
- pomiarami stężenia aktywności radonu w powietrzu w miejscach pracy i budynkach mieszkalnych.

W ramach rozwoju naukowego pracownicy Zakładu z powodzeniem realizują badania w ramach prac doktorskich. Dzięki stałej współpracy Zakładu z ośrodkami akademickimi w jednostce prowadzone są zajęcia laboratoryjne dla studentów w zakresie dozymetrii oraz metrologii promieniowania jonizującego. Rezultatem tej współpracy są prace inżynierskie i magisterskie.

Prace badawcze prowadzone w Zakładzie publikowane są w czasopismach naukowych. Artykuły naukowe publikowane przez pracowników Zakładu odnaleźć można w takich czasopismach jak: Radiation Protection Dosimetry, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Nukleonika, Central European Journal of Physics czy Physica Scripta. Wyniki prac badawczych prezentowane są również na konferencjach, głównie o zasięgu międzynarodowym.

Zakład nieustannie rozwija swój potencjał badawczy poprzez rozwój infrastruktury badawczej oraz nawiązywanie współpracy naukowej na poziomie krajowym oraz międzynarodowym. Na gruncie krajowym, poza wspomnianą już współpracą z ośrodkami akademickimi, pracownicy Zakładu czynnie uczestniczą w działalności stowarzyszeń oraz platform naukowych. Do najważniejszej działalności w tym zakresie zaliczyć należy przede wszystkim współpracę w ramach Centrum Radonowego. Kolejnym stowarzyszeniem, w którym czynny udział biorą pracownicy Zakładu jest Women in Nuclear Polska (WiN) oraz Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych (PTBR). Oprócz powyższych pracownicy Zakładu są również ekspertami technicznymi Polskiego Centrum Akredytacji, Polskiego komitetu Normalizacyjnego oraz członkami Zespołu do spraw krajowego planu działania w przypadku narażenia na radon Głównego Inspektoratu Sanitarnego.

W ramach współpracy międzynarodowej organizacją, w której udzielają się pracownicy Zakładu jest przede wszystkim grupa EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) ukierunkowana na działania

naukowe oraz wymianę doświadczeń w zakresie dozymetrii promieniowania jonizującego, spektrometrii gamma oraz problemów badawczych w zakresie narażenia różnych grup zawodowych na promieniowanie jonizujące. Kolejną organizacją, w której udzielają się pracownicy Zakładu jest OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development), a dokładnie działania w ramach jednej z agencji tejże organizacji – Nuclear Energy Agency. Pracownicy Zakładu udzielają się również w IPNDV (International Partnership for Nuclear Disarmament Verification).

W ramach badawczej współpracy międzynarodowej w Zakładzie realizowane są prace w ramach międzynarodowych projektów, jak przykładowo traceRadon (<http://traceradon-empir.eu/>), czy EU-RADION (<https://eu-radion.eu/>).

Organizacyjnie w ramach Zakładu wyodrębnione zostały dwie pracownie. Pierwsza - Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR), posiadająca status laboratorium wzorcującego w kontekście wymagań akredytacyjnych PCA oraz druga, funkcjonująca jako laboratorium badawcze - Pracownia Dawek Indywidualnych i Środowiskowych (PDIiŚ).

Wszystkie metody wzorcowania stosowane w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych posiadają akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (AP 057) i są zgodne z wymaganiami normy międzynarodowej ISO/IEC 17025. Infrastruktura badawcza Laboratorium podzielona została na sześć stanowisk pomiarowych: Stanowisko Gamma, Stanowisko RTG, Stanowisko Neutronowe, Stanowisko Radonowe, Stanowisko Beta oraz Stanowisko Skażeń Promieniotwórczych. Aparatura badawcza umożliwia wykonywanie ekspozycji z precyzją wartości wzorcowych na

poziomie 4 %. Laboratorium rocznie realizowanych jest około 1 300 kalibracji przyrządów dozymetrycznych, głównie przy wykorzystaniu promieniowania gamma, promieniowania X oraz źródeł skażeń powierzchniowych. W kontekście wdrażanych wymagań europejskich w zakresie limitów stężenia radonu w budynkach mieszkalnych oraz miejscach pracy, ważną działalnością Laboratorium są prace z wykorzystaniem radonowej komory klimatycznej. Dodatkowo na szczególną uwagę zasługuje wyposażenie komory radonowej, na które składa się między innymi układ RPPSS (Radon Progeny Particle Size Spectrometr) – jedyna tego typu aparatura w Europie oraz jedna z dwóch na świecie, umożliwiająca badanie rozkładu średnic pochodnych radonu. Poza komorą radonową, bez wątpienia unikatową infrastrukturę Laboratorium stanowi generator neutronów typu D-T. Urządzenie jest obecnie jednym z niewielu tego typu w Polsce wykorzystywanym do prac w zakresie metrologii promieniowania neutronowego.

W ramach Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych funkcjonują obecnie cztery stanowiska badawcze: Stanowisko TLD, stanowisko pomiaru jodu w tarczycy, stanowisko pomiarów stężenia radonu w wodzie oraz stanowisko pomiarów stężenia radonu w powietrzu. Badania na wszystkich stanowiskach ukierunkowane są finalnie na ocenę dawek indywidualnych ludności oraz osób narażonych zawodowo na promieniowanie jonizujące, wynikające narażenia zewnętrznego jak i ocenę dawki skutecznej w wyniku wchłonięć izotopów promieniotwórczych (narażenie wewnętrzne). Wszystkie metody badawcze wdrożone w PDIiŚ posiadają akredytację PCA (AB 450). Laboratorium poza pracami badawczymi oraz rutynową kontrolą ludności pełni również zadanie polegające na utrzymywaniu w pełnej gotowości stanowisk badawczych niezbędnych do oceny

narażenia populacji w wyniku zdarzeń radiacyjnych lub awarii jądrowych mających wpływ na stan radiologiczny kraju.

Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania CLOR prowadzi szeroką działalność związaną z zadaniami statutowymi CLOR. Badania prowadzone w Zakładzie mają istotny wpływ na obecny oraz przyszły stan ochrony radiologicznej oraz bezpieczeństwa jądrowego Polski. Jest on jednocześnie doskonałym miejscem kształcenia nowej kadry specjalizującej się w zagadnieniach dozymetrii oraz metrologii promieniowania jonizującego.

Doświadczenie oraz wiedza zdobyta przez pracowników Zakładu, dzięki prowadzonym badaniom oraz współpracy krajowej i międzynarodowej stanowi nieocenioną wartość w kontekście planowanej budowy w Polsce pierwszej elektrowni jądrowej, pomiarów radonu w środowisku, ale również w kontekście ciągłego rozwoju zastosowania źródeł promieniowania jonizującego w medycynie, nauce oraz przemyśle.

Funkcjonowanie Systemu Zarządzania Jakością w Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych w roku 2021

A. Milewska

Pracownia Dawek Indywidualnych i Środowiskowych wchodzi w skład Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowania. Posiada Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego nr AB 450 potwierdzony przez Polskie Centrum Akredytacji. Laboratorium wykonuje badania stosując normę PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02.

Zakres akredytacji obejmuje badania radiochemiczne i promieniowania – w tym nuklearne w obiektach i materiałach biologicznych przeznaczonych do badań, wody, powietrza, wyrobów innych – dawkomierzy.

W roku 2021 kontynuowano prace mające na celu wdrożenie nowego Systemu Zarządzania Jakością, który ostatecznie został wdrożony w czerwcu 2021 r. Nowa dokumentacja została zredukowana, a także przeniesiona do wersji elektronicznej. Wprowadzono nowy system numerowania dokumentów oraz formularzy co w znacznym stopniu ułatwiło poruszanie się po systemie, a dokumenty stanowiące System Zarządzania Jakością zyskały nową szatę graficzną.

W lipcu 2021 r. przeprowadzone zostały 2 audyty wewnętrzne. W raportach z autitów potwierdzono zgodność działalności PDIiŚ z wymaganiami normy oraz dokumentami akredytacyjnymi.

We wrześniu 2021 r. odbył się przegląd zarządzania, na którym omówione zostały wszystkie wymagania ujęte w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 oraz sprawy bieżące. Podczas przeglądu omówione zostały cele i zadania ustanowione na poprzednim

przeglądzie zarządzania. W pełni zostały zrealizowane zadania dotyczące doskonalenia systemu zarządzania poprzez edukację personelu, aktualizację Ankiety zadowolenia Klienta, dostosowania obecnych procedur, instrukcji, formularzy i dokumentów do wersji elektronicznej. Na kolejny okres zaplanowana została dalsza rozbudowa bazy TLD (o możliwość elektronicznej akceptacji świadectw). Natomiast zadanie dotyczące sklepu internetowego nie zostanie zrealizowane z powodów ekonomicznych, tj. nieadekwatności nakładów finansowych do ewentualnych zysków.

W trakcie przeglądu zarządzania przedstawione zostały wyniki Ankiety stopnia zadowolenia Klienta. Łączna ilość Klientów oceniających PDIiŚ na poziomie BARDZO WYSOKIM oraz WYSOKIM utrzymuje się na poziomie analogicznym w porównaniu z wcześniejszym badaniem. Najwyższą notę, tj. 98,90%, PDIiŚ otrzymało za dotrzymywanie terminów realizacji umów. 64,84% Klientów to wieloletni Klienci PDIiŚ. Wynik ten jest drugą najwyższą oceną otrzymaną w przeprowadzonym badaniu. Świadczy to o bardzo dużym przywiązaniu Klientów do PDIiŚ.

We wrześniu 2021 przeprowadzona została ocena w procesie nadzoru. Zgodnie z otrzymanym od PCA raportem z oceny Laboratorium spełnia wymagania akredytacyjne określone w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 oraz specyficzne wymagania akredytacyjne w zakresie posiadanej akredytacji. W raporcie odnotowane zostały 2 niezgodności oraz 3 spostrzeżenia. Do spostrzeżeń oceniony został

poziom ryzyka, natomiast niezgodności zostały przeanalizowane, dokonano korekcji oraz wdrożono działania korygujące.

W roku 2021 nie było zmian wśród personelu. Kierownikiem Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych pozostaje Pani Grażyna Krajewska. Funkcję zastępcy Kierownika PDIiŚ pełni Pani Zuzanna Pawłowska, która jest także Kierownikiem ds. Technicznych.

Struktura PDIiŚ pozostała bez zmian. Pracownia prowadzi badania na 4 stanowiskach pomiarowych, tj.

- ✓ pomiary stężenia radonu w próbkach ciekłych,
- ✓ pomiary stężenia radonu w powietrzu,
- ✓ pomiary indywidualnego narażenia na promieniowanie jonizujące osób zatrudnionych w zakładach stosujących źródła promieniowania jonizującego,
- ✓ pomiary aktywności jodu promieniotwórczego w tarczycy człowieka.

Pracownia Dawek Indywidualnych i Środowiskowych wchodzi w skład Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowania. Posiada Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego nr AB 450 potwierdzony przez Polskie Centrum Akredytacji. Laboratorium wykonuje badania stosując normę PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02.

Zakres akredytacji obejmuje badania radiochemiczne i promieniowania – w tym nuklearne w obiektach i materiałach biologicznych przeznaczonych do badań, wody, powietrza, wyrobów innych – dawkomierzy.

W roku 2021 kontynuowano prace mające na celu wdrożenie nowego Systemu Zarządzania Jakością, który ostatecznie został wdrożony w czerwcu 2021 r. Nowa dokumentacja została zredukowana, a także przeniesiona do wersji elektronicznej. Wprowadzono nowy system numerowania dokumentów oraz

formularzy co w znacznym stopniu ułatwiło poruszanie się po systemie, a dokumenty stanowiące System Zarządzania Jakością zyskały nową szatę graficzną.

W lipcu 2021 r. przeprowadzone zostały 2 audyty wewnętrzne. W raportach z audytów potwierdzono zgodność działalności PDIiŚ z wymaganiami normy oraz dokumentami akredytacyjnymi.

We wrześniu 2021 r. odbył się przegląd zarządzania, na którym omówione zostały wszystkie wymagania ujęte w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 oraz sprawy bieżące. Podczas przeglądu omówione zostały cele i zadania ustanowione na poprzednim przeglądzie zarządzania. W pełni zostały zrealizowane zadania dotyczące doskonalenia systemu zarządzania poprzez edukację personelu, aktualizację Ankiety zadowolenia Klienta, dostosowania obecnych procedur, instrukcji, formularzy i dokumentów do wersji elektronicznej. Na kolejny okres zaplanowana została dalsza rozbudowa bazy TLD (o możliwość elektronicznej akceptacji świadectw). Natomiast zadanie dotyczące sklepu internetowego nie zostanie zrealizowane z powodów ekonomicznych, tj. nieadekwatności nakładów finansowych do ewentualnych zysków.

W trakcie przeglądu zarządzania przedstawione zostały wyniki Ankiety stopnia zadowolenia Klienta. Łączna ilość Klientów oceniających PDIiŚ na poziomie BARDZO WYSOKIM oraz WYSOKIM utrzymuje się na poziomie analogicznym w porównaniu z wcześniejszym badaniem. Najwyższą notę, tj. 98,90%, PDIiŚ otrzymało za dotrzymanie terminów realizacji umów. 64,84% Klientów to wieloletni Klienci PDIiŚ. Wynik ten jest drugą najwyższą oceną otrzymaną w przeprowadzonym badaniu. Świadczy to o bardzo dużym przywiązaniu Klientów do PDIiŚ.

We wrześniu 2021 przeprowadzona została ocena w procesie nadzoru. Zgodnie z otrzymanym od PCA raportem z oceny Laboratorium spełnia wymagania akredytacyjne określone w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 oraz specyficzne wymagania akredytacyjne w zakresie posiadanej akredytacji. W raporcie odnotowane zostały 2 niezgodności oraz 3 spostrzeżenia. Do spostrzeżeń oceniony został poziom ryzyka, natomiast niezgodności zostały przeanalizowane, dokonano korekcy oraz wdrożono działania korygujące.

W roku 2021 nie było zmian wśród personelu. Kierownikiem Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych pozostaje Pani Grażyna Krajewska. Funkcję zastępcy Kierownika PDIŚ pełni Pani Zuzanna Pawłowska, która jest także Kierownikiem ds. Technicznych.

Struktura PDIŚ pozostała bez zmian. Pracownia prowadzi badania na 4 stanowiskach pomiarowych, tj.

- ✓ pomiary stężenia radonu w próbkach ciekłych,
- ✓ pomiary stężenia radonu w powietrzu,
- ✓ pomiary indywidualnego narażenia na promieniowanie jonizujące osób zatrudnionych w zakładach stosujących źródła promieniowania jonizującego,
- ✓ pomiary aktywności jodu promieniotwórczego w tarczycy człowieka.

Utrzymanie Systemu Zarządzania Jakością w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych Radonowych w roku 2021

A. Milewska

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych wchodzi w skład Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowania. Posiada Certyfikat Akredytacji Laboratorium Wzorcującego nr AP 057 potwierdzony przez Polskie Centrum Akredytacji.

Zakres akredytacji obejmuje wielkości dozymetryczne (promieniowanie gamma, beta, X), powierzchniową emisję promieniowania (źródło alfapromieniotwórcze, źródła betapromieniotwórcze oraz pomiary stężenia radonu).

W roku 2021 nie było zmian wśród personelu. Kierownikiem LWPDiR pozostaje Pan Łukasz Modzelewski, który pełnił także funkcję Kierownika ds. Technicznych.

Struktura LWPDiR pozostała bez zmian. Laboratorium prowadzi:

- ✓ wzorcowanie dawkomierzy z komorami jonizacyjnymi, mierników mocy dawki i dawki promieniowania jonizującego, mierników powierzchniowych skażeń promieniotwórczych alfa i beta,
- ✓ działalność w zakresie eksponowania wzorcowymi stężeniami detektorów i przyrządów do pomiaru stężenia radonu,
- ✓ wzorcowania przyrządów do pomiaru stężenia radonu i stężenia energii potencjalnej, a produktów rozpadu radonu,
- ✓ prace w zakresie napromieniania wzorcowymi dawkami dawkomierzy pasywnych.

W roku 2021 r. przeprowadzone zostały 2 audyty wewnętrzne. W raportach auditor nie odnotował żadnych spostrzeżeń oraz niezgodności.

We wrześniu 2021 r. odbył się przegląd zarządzania, na którym omówione zostały wszystkie wymagania ujęte w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 oraz sprawy bieżące. Podczas przeglądu omówione zostały cele i zadania ustanowione na wcześniejszym przeglądzie zarządzania. W pełni zostały zrealizowane zadania dotyczące uczestnictwa personelu w konferencjach, seminariach i szkoleniach, zakupienie/opracowanie nowej bazy do rejestracji przyjmowanych przyrządów do wzorcowania w Laboratorium oraz oprogramowanie do automatycznego odczytu wartości z UNIDOS-a. Na kolejny okres przeniesiono zadanie dotyczące modernizacji systemu kamer oraz monitorów na salach kalibracyjnych używanych podczas procesu wzorcowania.

W trakcie przeglądu zarządzania przedstawione zostały wyniki Ankiety stopnia zadowolenia Klienta. Z analizy ankiet wynika, że Laboratorium spełnia potrzeby i oczekiwania klientów, czego dowodem jest fakt, że 100 % ankietowanych wyraża swoją gotowość polecenia go innym klientom.

W zakresie poziomu obsługi klienta najwyższe noty laboratorium uzyskało za:

- 100% - profesjonalizm i kompetencje,
- 100% - wiedzę merytoryczną pracowników,
- 100% - doradztwo i wsparcie merytoryczne,
- 90% - czas reakcji na zapytanie ofertowe.

W październiku 2021 przeprowadzona została ocena w procesie nadzoru. Zgodnie z otrzymanym od PCA raportem z oceny potwierdzono, że LWPDiR spełnia wymagania akredytacyjne określone w normie

PNEN17025:2018-02 oraz, że pozyskano dowody z oceny uzasadniające dostateczne zaufanie do kompetencji laboratorium AP 057 w obszarze posiadanej akredytacji.

Badanie czynników wpływających na zmianę właściwości detektorów śladowych CR39

M. Norenberg, K. Wołoszczuk

Celem niniejszych badań jest wyznaczenie czynników wpływających na pomiar stężenia aktywności radonu (^{222}Rn) przy użyciu detektorów śladowych CR39. Wykonane pomiary są kontynuacją eksperymentów prowadzonych w 2020 r. Wykonano wówczas szereg ekspozycji detektorów w różnych wzorcowych stężeniach aktywności radonu, przy jednakowym czasie ich trwania. Dla każdej z nich wyznaczono średnią gęstość śladów oraz zależność współczynników kalibracji od wartości ekspozycji. Pomiary wykonano bez ingerencji w warunki środowiskowe, przy wilgotności względnej powietrza na poziomie 32 %. Wyniki te posłużyły jako punkt odniesienia w dalszych badaniach czynników potencjalnie wpływających na właściwości detektorów CR39.

Będące obiektem badań radonowe detektory śladowe składają się z komory dyfuzyjnej, do której dyfunduje powietrze z otoczenia. Na dnie pojemnika umieszczona jest folia CR39 (poliwęglan allilo diglikolowy PADC). Cząstki α przenikając przez folię uszkadzają wiązania chemiczne, tworząc niewidoczny tor utajony. W wyniku wytrawienia chemicznego tor utajony staje się widoczny pod mikroskopem. Gęstość takich śladów, zliczana pod mikroskopem, odpowiada liczbie cząstek α , które je wytworzyły i jest proporcjonalna do stężenia aktywności radonu w badanym powietrzu oraz czasu ekspozycji. Do odczytu detektorów wykorzystano automatyczny system Politrack. W celu określenia wartości ekspozycji układ odczytu musi być uprzednio wykalibrowany przy użyciu detektorów eksponowanych w referencyjnym stężeniu

aktywności radonu. W wyniku kalibracji otrzymuje się współczynnik kalibracji w_k , który przyporządkowuje zmierzoną gęstość śladów N scałkowanemu po czasie stężeniu aktywności radonu Exp_{Rn} (1):

$$w_k = \frac{\text{Exp}_{\text{Rn}}}{N} \quad \left[\frac{\text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}}{\text{śl.} \cdot \text{cm}^{-2}} \right] \quad (1)$$

Dotychczasowe pomiary zostały przeprowadzone w radonowej komorze kalibracyjnej w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Pomiary stężenia aktywności radonu oraz warunków środowiskowych zrealizowano przy użyciu przyrządu AlphaGuard DF 2000.

Wytrawianie eksponowanych detektorów przeprowadzono w stalowej wannie wyposażonej w termostat, w stężonej zasadzie sodowej.

W trakcie badań wykonano dwie ekspozycje w różnych referencyjnych stężeniach aktywności radonu, przy wysokiej wilgotności względnej powietrza wynoszącej 96%. Czas każdej z nich odpowiadał czasowi ekspozycji zrealizowanych w ramach badań z 2020 r. i wynosił 100 godzin. Wartości wykonanych ekspozycji również odpowiadały wartościom uzyskanym w trakcie poprzednich eksperymentów. Za każdym razem eksponowano po 10 detektorów pochodzących z tej samej serii produkcyjnej.

Po zakończeniu ekspozycji wszystkie detektory zostały wytrawione w tych samych warunkach. Tło wyznaczono trawiąc i odczytując 5 nieeksponowanych wcześniej detektorów. W celu

poprawienia dokładności pomiarów każdy detektor biorący udział w eksperymencie został odczytany pięciokrotnie.

Eksperyment miał na celu sprawdzenie wpływu wysokiej wilgotności powietrza na wydajność pomiaru przy użyciu detektorów CR39. Wpływ ten może mieć znaczenie w przypadku pomiarów wykonywanych w miejscach podziemnych, charakteryzujących się podobnymi warunkami środowiskowymi. Porównanie wartości wzorcowych ekspozycji, średnich gęstości śladów oraz wyznaczonych współczynników kalibracyjnych dla pomiarów wykonanych przy niskiej oraz wysokiej wilgotności względnej powietrza przedstawiono w Tabeli 1. Rozkład gęstości śladów na detektorach eksponowanych w różnych warunkach obrazują Wykresy 1 i 2.

Ponadto w ramach badań sprawdzono występowanie zjawiska zaniku lub tworzenia się nowych śladów na eksponowanych i wytrawionych detektorach. W tym celu dokonano ponownego odczytu detektorów

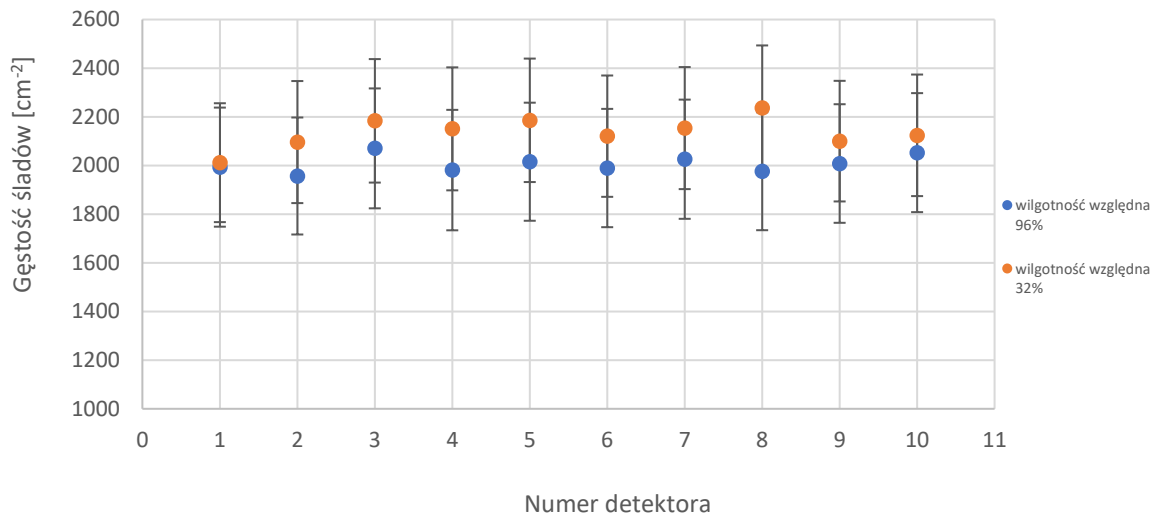
eksponowanych w 2020 r. oraz porównano wyznaczone gęstości śladów z odczytami wykonanymi rok wcześniej. Nie zaobserwowano zmian wykraczających poza niepewność pomiarową. W trakcie badań sprawdzono potencjalne oddziaływanie wilgotności względnej powietrza na pomiar radonu przy użyciu detektorów śladowych CR39. Analizując wstępne wyniki uzyskane w ramach niniejszych eksperymentów można założyć występowanie niewielkiego wpływu wysokiej wilgotności powietrza na gęstość śladów powstałych na detektorze CR39, jednakże jednoznaczne jego stwierdzenie wymaga dalszych badań.

Podczas przeprowadzonych testów stwierdzono brak zmian w gęstości śladów na wcześniej eksponowanych i wytrawionych detektorach. Oznacza to, że mogą one stanowić skuteczny nośnik informacji o wykonanych pomiarach oraz być przechowywane przez długi czas.

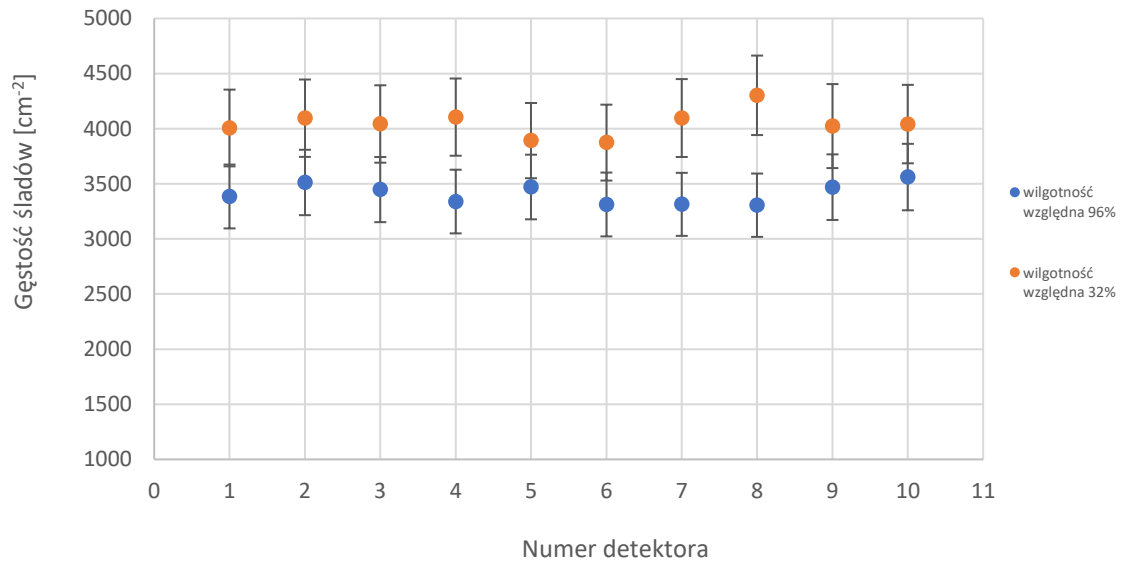
Tabela 1. Wyniki otrzymane w trakcie badań.

Ekspozycja [kBq·h·m ⁻³]	Niepewność ekspozycji [kBq·h·m ⁻³]	Średnia gęstość śladów [cm ⁻²]	Niepewność rozszerzona gęstości śladów [cm ⁻²]	Współczynnik kalibracji $\left[\frac{\text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}}{\text{śl.} \cdot \text{cm}^{-2}}\right]$	Niepewność współczynnika $\left[\frac{\text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}}{\text{śl.} \cdot \text{cm}^{-2}}\right]$	Wilgotność względna [%]
959	51	1965	251	0,488	0,068	32
987	52	1822	241	0,542	0,078	96
2005	95	3877	355	0,517	0,053	32
1985	94	3226	294	0,615	0,063	96

Wykres 1. Porównanie rozkładu gęstości śladów dla ekspozycji około 1000 kBq/m³ przy różnej wilgotności.



Wykres 2. Porównanie rozkładu gęstości śladów dla ekspozycji około 2000 kBq/m³ przy różnej wilgotności.



Utrzymanie gotowości Laboratorium Monitoringu Jodu CLOR do wykonywania pomiarów zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy człowieka

G. Krajewska

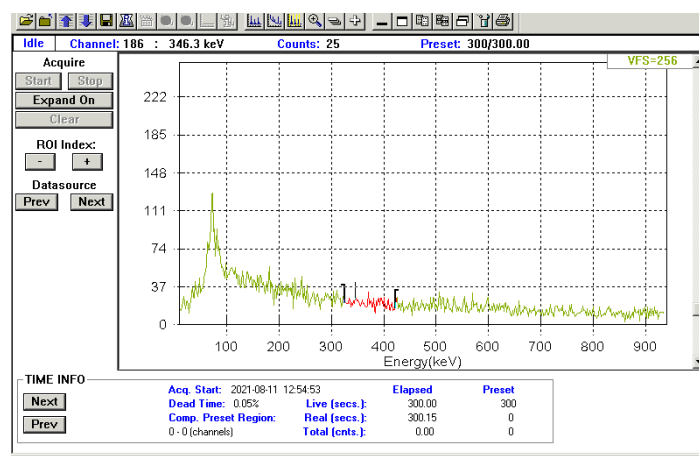
Pomiary aktywności jodu zdeponowanego w tarczycy są wykonywane w Laboratorium Monitoringu Jodu CLOR z użyciem dwóch zestawów spektrometru promieniowania gamma - stacjonarnego i przenośnego. Aparatura umożliwia pomiary jodu w tarczycy w miejscu wystąpienia awarii lub lokalnego skażenia jodem, na stanowiskach pracy z tymi izotopami, a także u ludności na obszarach skażenia promieniotwórczego w przypadku awarii wielkoskalowej np. elektrowni jądrowej. Została wyprodukowana przez firmę Canberra - Packard - detektor stanowi kryształ NaI(Tl) 3 x 3 cale, o rozdzielczości 7.5% dla energii 661,6 keV.

Działania Laboratorium w roku 2021, polegające na utrzymaniu w gotowości aparatury do podjęcia natychmiastowych pomiarów zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy, opierały się na wykonywaniu systematycznych pomiarów tła

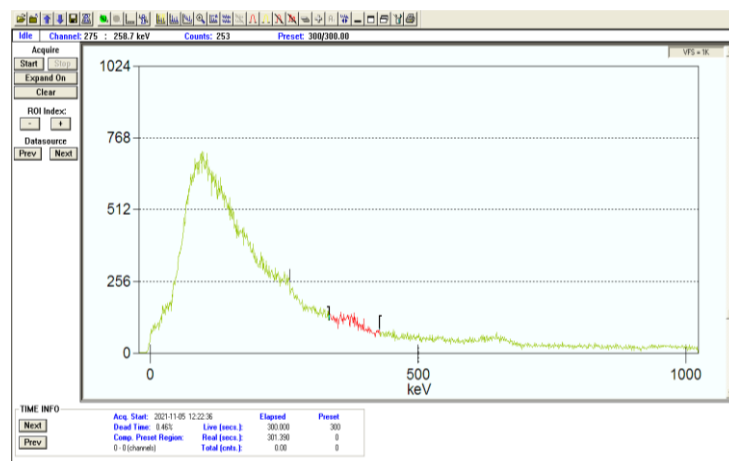
promieniowania w fotopiku izotopów ^{99m}Tc oraz ^{131}I oraz testowaniu prawidłowości działania modułów elektronicznych zestawów pomiarowych i wykonywaniu pomiarów zawartości radioizotopów jodu- 131 i technetu -99m w tarczycy u pracowników zakładów medycyny nuklearnej w Polsce.

Wyniki

Tło w pomieszczeniu Laboratorium Monitoringu Jodu, mierzone dwukrotnie w ciągu miesiąca, wynosiło 4, 3 cps w fotopiku izotopów ^{99m}Tc oraz ^{131}I , odpowiednio, i wahało się w granicach 20% średniego zmierzonego tła rocznego w latach poprzednich, utrzymując się na stałym poziomie oraz determinując niski limit detekcji pomiarów w Laboratorium.. Na Rysunku 1. i Rysunku 2. przedstawiono widmo promieniowania tła zmierzone zestawem stacjonarnym i przenośnym, odpowiednio.



Rys. 1. Widmo tła w pomieszczeniu Laboratorium zmierzone zestawem stacjonarnym.



Rys. 2. Widmo tła w pomieszczeniu Laboratorium zmierzone zestawem przenośnym.

W roku 2021 wykonano pomiary zawartości jodu promieniotwórczego ^{131}I oraz technetu $^{99\text{m}}\text{Tc}$ w tarczycach osób będących pracownikami trzech jednostkach organizacyjnych: Zakładu/Pracowni Medycyny Nuklearnej 1. Mazowieckiego Szpitala Bródnowskiego, 2. Instytutu Pomnika Centrum Zdrowia Dziecka, 3. Międzyleskiego Szpitala Specjalistycznego, w Warszawie.

W powyższych placówkach, z użyciem jodu promieniotwórczego, prowadzone są badania

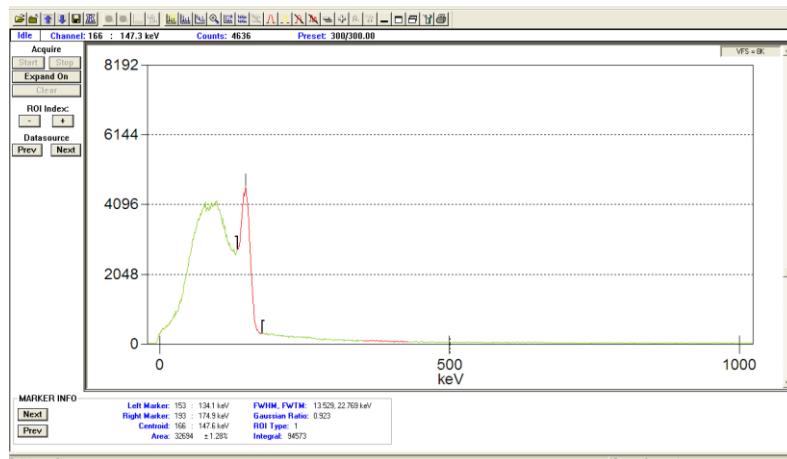
diagnostyczne - scyntygraficzne tarczycy, wychwyt tarczycowy, oznaczanie poziomu hormonów tarczycowych oraz badania terapeutyczne - leczenie schorzeń tarczycy, w tym nowotworów tego gruczołu. Ponadto prowadzone są badania diagnostyczne innych narządów, m.in. z użyciem izotopu technetu.

Wyniki pomiarów aktywności jodu-131 (i technetu-99m) w tarczycy oraz oszacowanych dawek od wchłonięć ^{131}I u pracowników powyższych placówek przedstawiono w Tabeli 1. i na Rysunkach 3 - 4.

Tabela 1. Wyniki pomiarów poziomów aktywności jodu promieniotwórczego u pracowników Zakładów Medycyny Nuklearnej (zaprezentowano tylko pomiary o wartości większej niż najmniejsza mierzalna aktywność, 68 [Bq])

L.p. (Pracownik)	Zmierzona w tarczycy aktywność jodu-131 [Bq]	Oszacowana dawka skuteczna od rocznych wchłonięć jodu-131 [mSv]	Procent maksymalnej dawki skutecznej dla narażonych zawodowo (20 mSv)	Zmierzona w tarczycy aktywność Tc-99m [Bq]
Zakład Medycyny Nuklearnej i Rezonansu Magnetycznego Mazowieckiego Szpitala Bródnowskiego w Warszawie				
1.(K.CH.)	<68	<0.38	<1.90	300
2.(K.W.)	<68	<0.38	<1.90	2700
3.(M.C.)	<68	<0.38	<1.90	400
4.-16.	<68	<0.38	<1.90	-
Zakład Medycyny Nuklearnej Instytutu Pomnika Centrum Zdrowia Dziecka w Warszawie				
1.(A.Ś.)	250	0,75	3,75	-
2.(B.M.)	500	1,50	7,50	42
3. ÷ 8.	<68	<0.38	<1.90	-
Zakład Medycyny Nuklearnej Międzyleskiego Szpitala Specjalistycznego w Warszawie				
1. ÷ 7.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Najmniejsza mierzalna aktywność



Rys. 3. Widmo promieniowania zmierzone K.W.



Rys. 4. Widmo promieniowania zmierzone pracownika u pracownika B.M.

Poziomy aktywności jodu ^{131}I w tarczycy u pracowników Zakładów Medycyny Nuklearnej, w których przeprowadzono pomiary, były niskie (Tabela 1.). Maksymalna dawka wyniosła ok. 1,5 mSv nie przekraczając 8 % rocznego limitu dla narażonych zawodowo (pracownik Zakładu Medycyny Nuklearnej Instytutu Pomnika Centrum Zdrowia Dziecka w Warszawie). U kilku pracowników zarejestrowano wystąpienie w tarczycy izotopu technetu (wysoka wartość u pracownika K.W.).

Finansowanie

Praca była finansowana przez Państwową Agencję Atomistyki w ramach Umów Nr 19/OR/2018/2 oraz Nr 25/2021/CEZAR/52

Walidacja opracowanego w CLOR kodu komputerowego CLRP w ramach programów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA)

G. Krajewska, P. Krajewski

Omawiany model CLRP (Concentrations Levels Rapid Predictions), jest równowagowym modelem deterministyczno-probabilistycznym, służącym do prognozy dawek dla tzw. referencyjnych członków populacji oraz referencyjnych organizmów fauny i flory przy rutynowych uwolnieniach substancji promieniotwórczych z obiektów jądrowych i może służyć do weryfikacji prognoz dawek z tzw. uwolnień projektowych na potrzeby Raportu o oddziaływaniu na środowisko (Raport OOS) planowanej EJ w Polsce.

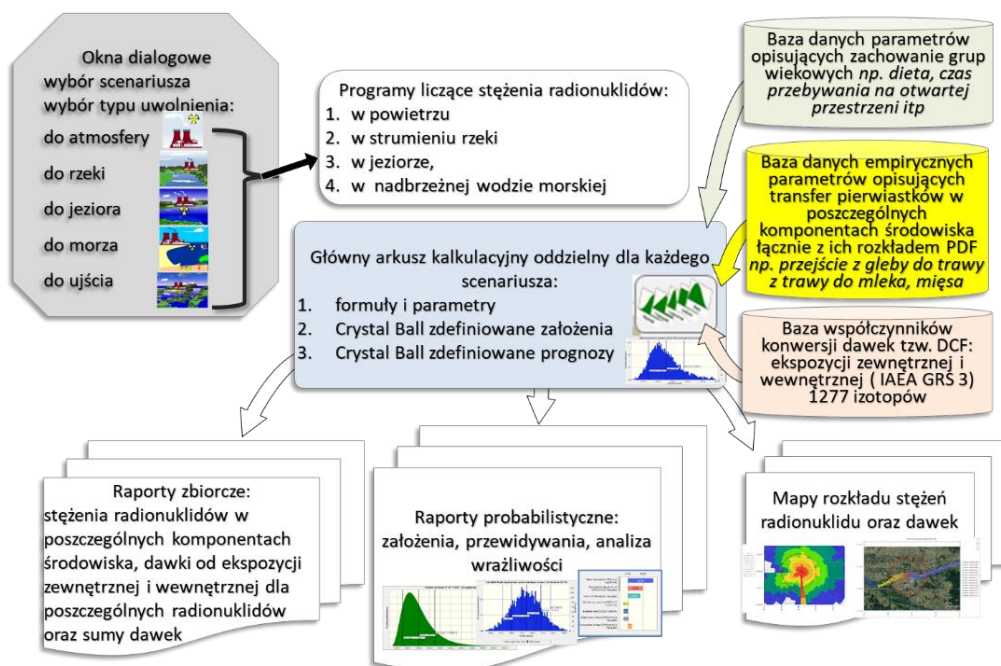
Ewolucja kodu CLRP następowała sukcesywnie, odpowiadając na potrzeby kolejnych międzynarodowych programów MAEA poświęconych zagadnieniom prognozy dawek. W latach 2009-2011, w ramach programu *EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety*, podczas prac grupy *WG 1: Referencyjna metodyka przy rutynowych uwolnieniach z EJ* nad scenariuszami *SIZEWELL B* oraz *Chalk River* [1], powstała pierwsza wersja równowagowego kodu CLRP, przeznaczona do obliczeń dawek dla referencyjnych grup ludności (dorosły i dziecko 1-2 lata) dla rutynowych uwolnień z EJ do atmosfery i do rzeki. Kod został napisany w języku Visual Basic, w oparciu o platformę EXCEL Microsoft Office z probabilistycznym modułem wspomagającym Oracle Crystal Ball (v. 11.1.2.4.850). W oparciu o publikację MAEA SRS 19 [2], zastosowano w kodzie CLRP modele dyspersji w atmosferze oraz w rzece, jak również włączono do kodu bazę danych empirycznych parametrów opisujących transfer pierwiastków w poszczególnych komponentach środowiska łącznie z ich rozkładem

PDF oraz bazę współczynników konwersji dawek tzw. DCF: ekspozycji zewnętrznej i wewnętrznej. Pozwalało to na prowadzenie prognoz uwolnień do środowiska dla 102 izotopów, 55 pierwiastków – (bez węgla ^{14}C i trytu ^3H). W latach 2012 -2015, realizowany był program MODARIA MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments, w którym działała grupa *WG5: Określenie czynników posiadających istotne znaczenie dla niepewności i zmienności wielkości narażenia radiologicznego przy rutynowych uwolnieniach substancji promieniotwórczych*. W ramach prac tej grupy nad scenariuszem CHINON NPP (Loara), w oparciu o nowy podręcznik MAEA TRS No. 472 [3], rozbudowano w kodzie CLRP bazę danych empirycznych parametrów opisujących transfer pierwiastków w poszczególnych komponentach środowiska łącznie z ich rozkładem PDF, a ponad to na bazie w/w podręcznika, włączono do kodu CLRP model zachowania się węgla oraz wodoru w środowisku. Pozwalało na prowadzenie prognoz dawek dla uwolnień węgla ^{14}C oraz wodnej i organicznej postaci trytu HTO i OBT. W latach 2016-2019, w ramach programu MAEA MODARIA II MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments, kontynuowano prace nad rozszerzeniem możliwości prognostycznych modelu. Zasadniczym celem prowadzonych prac było zintegrowanie oceny narażenia dla tzw. grupy referencyjnej populacji z oceną narażenia referencyjnych przedstawicieli fauny i flory przy rutynowych uwolnieniach radioizotopów z różnego

rodzaju obiektów jądrowych, jak na przykład, dla odmiennego typu i mocy reaktorów jądrowych, składowisk odpadów jądrowych, czy też bardziej złożonych kompleksów prowadzących analizy substancji promieniotwórczych. W/w zagadnieniach zajmowała się grupa WG3: *Ocena i kontrola narażenia ludności i bioty (fauny i flory) przy planowanych sytuacjach narażenia*.

W tym okresie nastąpił znaczący rozwój kodu CLRP, m.in. rozszerzono oraz zmodyfikowano bazę DCF dla referencyjnych grup ludności (7 grup wiekowych) według nowych rekomendacji BSS [4] oraz opracowano i dołączono do kodu moduł liczący dawki dla referencyjnych przedstawicieli fauny i flory według ERICA TOOL 1.3, a następnie według ERICA TOOL 2.0. [5]

Schemat ideowy kodu CLRP przedstawiono na Rysunku 1



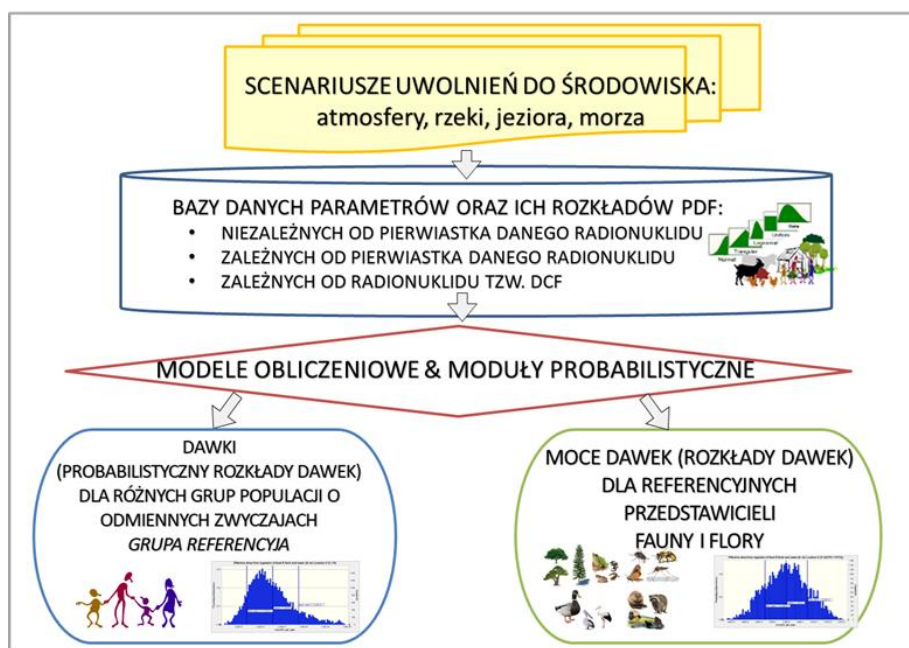
Rys.1. Schemat modułów interfejsu komunikacyjnego zintegrowaną ocenę narażenia referencyjnej oraz modułów liczących modelu CLRP grupy populacji oraz referencyjnych przedstawicieli fauny i flory.

Udział w programach walidacji MAEA, stwarzał okazję, aby poprzez zebranie i porównanie prognoz poszczególnych modeli komputerowych i analizę różnic wyników, przeprowadzić walidację modelu CLRP. Program MODARIA II, zakończył się w 2019 roku, natomiast rok 2020, poświęcono na analizę wyników i edycję raportów [6]. W październiku 2021 roku, otwarto (wirtualnie wskutek pandemii COVID-19), nowy program pt. MEREIA MMethods for Radiological and Environmental Impact Assessments (2021-2025) [7]. Szczegółowy opis programu MODARIA można znaleźć w opracowaniu [8].

Wyniki

Zintegrowana ocena narażenia oznacza, że w jednym etapie obliczeniowym otrzymujemy wielkości dawek dla grupy referencyjnej populacji oraz moce dawek dla referencyjnych przedstawicieli fauny i flory. Wymaga to specyficznej struktury kodu liczącego, co przedstawiono na Rysunku 2.

SCHEMAT ZINTEGROWANEJ OCENY DAWEK DLA GRUPY REFERENCYJNEJ POPULACJI
ORAZ MOCY DAWEK DLA REFERENCYJNYCH PRZEDSTAWICIELI FAUNY I FLORY



Rys. 2. Schemat procesu obliczeniowego umożliwiającego zintegrowaną ocenę narażenia referencyjnych grup populacji oraz referencyjnych przedstawicieli fauny i flory

Walidację kodu CLRP przeprowadzono poprzez zebranie i porównanie prognoz poszczególnych modeli (tzw. models comparison) i dyskusję różnic wyników na podstawie przygotowanych scenariuszy testowych. W prognozie narażenia ocena narażenia dla grupy referencyjnej populacji oraz referencyjnych przedstawicieli fauny i flory brało udział sześć modeli z sześciu krajów:

- model francuski IRSN SYMBIOSE- modułowy model z wbudowanym pakietem probabilistycznym MC, umożliwiający również analizę przestrzenną wyników,
- model słowacki ESTE AI f-my ABMerit, bazujący na platformie GIS, z możliwością prowadzenia obliczeń probabilistycznych,
- model hiszpański CROM rozwijany w CIEMAT, w ramach projektu STAR, z wbudowanym

pakietem probabilistycznym MC, natomiast nie posiadający sub-modelu HTO, OBT oraz 14C,

- model polski CLRP (dla rutynowych uwolnień) oparty na platformie EXEL Microsoft Office 365 z probabilistycznym modułem wspomagającym Crystal Ball Oracle,
- model angielski PC-CREAM oraz MS EXCEL (BIOTA) rozwijany w PHE (Public Health England),
- model argentyński PC CREAM 08 rozwijany przez ARN (Autoridad Regulation Nuclear).

W trakcie trwania programu MODARIA, grupa WG3 opracowała cztery pełne scenariusze testowe:

- CHINON SCENARIO - uwolnienia do atmosfery i rzeki Loary z EJ w CHINON składającej się z 4 bloków PWR o mocy 900 MWe. Scenariusz opracowali naukowcy francuscy z IRSN².

² *Institute de Radioprotection et Sûreté Nucléaire*

- Uwolnienia EJ Chinon do środowiska dominujących radioizotopów były następujące:
- do powietrza: ^3H - 2 TGb/rok; ^{14}C - 0.12 TBq/rok; ^{41}Ar - 0.14 TBq/rok; ^{133}Xe - 0.6 TBq/rok; ^{85}Kr - 0.015 TBq/rok
 - do rzeki Loara: ^3H 54 TGb/rok, ^{14}C 0.05 TBq/rok
- Scenariusz ATUCHA - uwolnienia do atmosfery i do rzeki Paraná de las Palmas z argentyńskiej elektrowni jądrowej typu HWR (z moderatorem tzw. wody ciężkiej D2O) zbudowanej przez SIEMENS'a o mocy 362 MWe. Scenariusz opracowali pracownicy ARN (Argentyńska Agencja Nuklearna). Uwolnienia EJ ATUCHA do środowiska dominujących radioizotopów były następujące:
 - do powietrza: ^3H - 850 TGb/rok; ^{14}C - 0.3 TBq/rok; ^{41}Ar - 15 TBq/rok; ^{87}Kr - 6 TBq/rok; ^{88}Kr - 6 TBq/rok
 - do rzeki: Parana de las Palmas: ^3H - 940 TGb/rok; ^{60}Co - 0.09 TBq/rok; ^{137}Cs - 0.05 TBq/rok
 - Scenariusz AUBE - uwolnienia radionuklidów do atmosfery i do rzeki Noues d'Amance ze składowiska stałych odpadów promieniotwórczych nisko i średnio aktywnych w miejscowości L' Aube, północno-wschodnia Francja, koło Soulaines-Dhuys, 50 km od Troyes. Scenariusz opracowali naukowcy francuscy z CSA-ANDRA³. Uwolnienia ze składowiska AUBE do środowiska dominujących radioizotopów były następujące:
 - do powietrza: ^3H - 50 GBq/rok; ^{14}C - 5 GBq/rok; $^{125}\text{I}+^{129}\text{I}+^{131}\text{I}$ $2 \cdot 10^{-2}$ GBq/rok
 - do rzeki Les Noues d'Amance: ^3H - 5 GBq/rok; ^{14}C - 0.12 GBq/rok; $^{125}\text{I}+^{129}\text{I}+^{131}\text{I}$ - 0.1 GBq/rok
 - CADARACHE CENTRE SCENARIO- uwolnienia radionuklidów do atmosfery i rzeki Durance z francuskiego centrum badań nad energetyką jądrową należące do C.E.A⁴. Centrum liczy 21 stałych instalacji jądrowych, w tym reaktory jądrowe (np. Pegase, Rapsodie), przechowalniki odpadów jądrowych jak również placówki przetwarzania materiałów jądrowych. W 2005 ośrodek został wybrany na miejsce budowy ITER – największego badawczego reaktora termojądrowego. Scenariusz opracowali naukowcy francuscy z C.E.A. Uwolnienia z Centrum CADARACHE do środowiska dominujących radioizotopów były następujące:
 - do powietrza: ^{85}Kr - 130 TBq/rok; ^3H - 15 TBq/rok; ^{222}Rn - 1TBq/rok
 - do rzeki Durance: ^3H - 1.8 TBq/rok; ^{14}C - 0.9 GBq/rok;

Szczegółowe opisy w/w scenariuszy oraz sukcesywnie opracowywane raporty przedstawiające wyniki prognoz poszczególnych modeli są dostępne na stronie MAEA pod adresem <https://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp#6>. Ogólnie nasuwa się wniosek, słuszny dla różnego typu obiektów jądrowych, że niezależnie od wielkości i składu izotopowego uwolnień, średnie prognozowane dawki dla referencyjnych grup populacji mieszkujących w otoczeniu tych obiektów nie przekraczają $1 \mu\text{Sv} \cdot \text{rok}^{-1}$ z błędem jednego rzędu wielkości ($\times 10$; $\times 10^{-1}$), natomiast dawki dla referencyjnych przedstawicieli fauny i flory nie przekraczają $1 \cdot 10^{-5} \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ z tym samym błędem ($\times 10$; $\times 10^{-1}$). Warto przy tym zaznaczyć, że określony

³ L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

⁴ C.E.A Commissariat Energie Atomique

przepisami limit dawki dla ludności od obiektu jądrowego wynosi $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$ a limity mocy dawki dla referencyjnych przedstawicieli fauny i flory wynoszą odpowiednio $40 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ i $400 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

Wszystkie kody dały podobne prognozy odnośnie udziału poszczególnych dróg narażenia oraz udziału poszczególnych radioizotopów w dawce całkowitej. Prognoza kodu CLRP była bliska średniej geometrycznej z prognoz uczestniczących modeli. Główną przyczyną rozrzutu prognoz przewidywanych przez poszczególne kody były różnice w modelach zachowania się trytu HTO, OBT oraz węgla ^{14}C w środowisku oraz odmienna interpretacja danych scenariusza.

Nowy program pt. MEREIA MMethods for Radiological and Environmental Impact Assessments (2021-2025) [7], został ogłoszony wirtualnie w październiku 2021 r., a według opisu wstępnych założeń programu, MEREIA będzie kontynuacją poprzednich międzynarodowych programów MAEA walidacji i rozwoju metod i modeli do oceny ryzyka radioekologicznego o blisko 40-letniej tradycji. Tymczasowo, zdefiniowano ogólne zakresy tematyczne planowanych scenariuszy, które mają dotyczyć planowanych sytuacji narażenia czyli rutynowych uwolnień z obiektów jądrowych oraz istniejących (zastanych) sytuacji narażenia czyli obszarów dawnych historycznych skażeń promieniotwórczych. Tematyka programu MEREIA przedstawia się następująco:

1. Metody oceny dla (różnych) sytuacji narażenia:

Temat 1.1 Ustalenie wymagań oceny dla planowanych i istniejących sytuacji narażenia..

Temat 1.2 Integracja modeli dla oceny narażenia ludzi i bioty,

Temat 1.3 Zastosowanie modeli oceny narażenia (prognozy dawek) ludzi i bioty w różnych strefach klimatycznych (tropik, tereny pustynne)

Temat 1.4 Rozważenie potencjalnego narażenia.

2. Ocena dla przykładowych scenariuszy (case study)

Temat 2.1 Ocena wpływu radiologicznego od obiektów NORM)

Temat 2.2 Ocena wpływu radiologicznego i rekultywacja zastanych lokalizacji skażeń

Temat 2.3 Składowiska odpadów radioaktywnych i pozostałości po odpadach

Temat 2.4 Ocena wpływu radiologicznego od uwolnień NORM

3. Optymalizacja ochrony radiologicznej

Temat 3.1 Ustalenie społecznych, ekonomicznych i nie-radiologicznych aspektów w procesie podejmowania decyzji oraz wprowadzania regulacji prawnych,

Temat 3.2 Ocena wpływu na środowisko (EIA), definicja i kluczowe elementy

REIA versus EIA (wpływ na środowisko a radiologiczny wpływ na środowisko)

4. Mentoring – wskazówki, trening, praktyka

przekazanie mniej doświadczonym uczestnikom wiedzy i praktyki w zakresie oceny narażenia radiologicznego na środowisko – sieci edukacyjne, poradniki, wsparcie eksperckie.

Prace nad wypracowaniem zakresu programu MEREIA nie zostały zakończone, przykładowo biorąc pod uwagę obecną sytuację wojny na Ukrainie, brakuje metod oceny (modeli) dla nadzwyczajnych sytuacji narażenia – użycia materiałów

promieniotwórczych w złych zamiarach oraz wypracowania metodyki oceny narażenia z użyciem broni masowego rażenia.

Finansowanie

Praca była finansowana przez Ministerstwo Nauki i Edukacji w ramach subwencji statutowej.

Literatura

- [1] Performance of Models in Radiological Impact Assessment for Normal Operation, Report of Working Group 1, Reference Methodologies for Controlling Discharges of Routine Releases of EMRAS II Topical Heading, Reference Approaches for Human Dose Assessment Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme, IAEA-TECDOC-1808, IAEA, VIENNA, 2017, <https://gnssn.iaea.org/rtps/general/shared%20documents/forms/allitems.aspx?rootfolder=/rtps/general/Shared+documents/environmental+assessment/emras+ii+reports+final+-+pre-publication>
- [2] SAFETY REPORTS SERIES No. 19, GENERIC MODELS FOR USE IN ASSESSING THE IMPACT OF DISCHARGES OF RADIOACTIVE SUBSTANCES TO THE ENVIRONMENT, IAEA 2001.

[3] HANDBOOK OF PARAMETER VALUES FOR THE PREDICTION OF RADIONUCLIDE TRANSFER IN TERRESTRIAL AND FRESHWATER ENVIRONMENTS, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 472, IAEA 2010, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs472_web.pdf

[4] RADIATION PROTECTION AND SAFETY OF RADIATION SOURCES: INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS; General Safety Requirements Part 3, IAEA 2014

[5] ERICA Tool 2.0 – Release, <https://erica-tool.com/>

[6] Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides, Report of Working Group, Version 6.1, July 2020.

[7] <https://www.iaea.org/events/evt2003621>

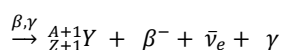
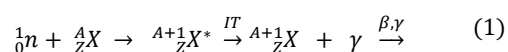
[8] Krajewski, P., Krajewska, G., Rozwój metod i modeli do oceny ryzyka radioekologicznego w ramach międzynarodowego programu MAEA MODARIA (2016-2019), RAPORT CLOR NR 160/161, ISBN 978-83-947765-4-1

Studium wykonalności neutronowej analizy aktywacyjnej (NAA) w laboratorium CLOR

A. Kawalec, B. Kliś

Neutronowa Analiza Aktywacyjna

Analiza aktywacyjna to metoda wykrywania oraz oznaczania zawartości pierwiastków w danym materiale poprzez pomiar promieniowania jonizującego emitowanego przez radionuklidy powstałe w wyniku wybranych reakcji jądrowych. W przypadkach, w których cząstkami użytymi do aktywacji będą neutrony, będziemy mówić o neutronowej analizie aktywacyjnej (NAA). Jej podstawą są najczęściej reakcje wychwytu radiacyjnego (n,γ) [1]. Równanie 1 przedstawia ogólny schemat przemian jądrowych zachodzących podczas NAA.



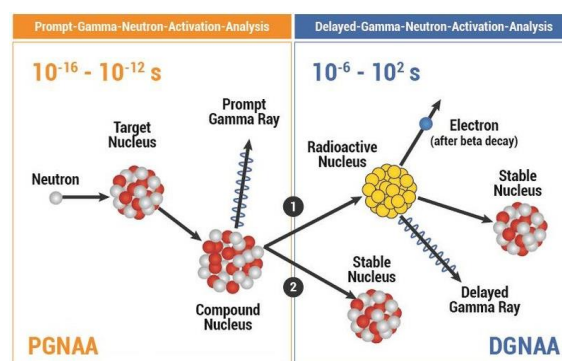
Źródłem neutronów dla NAA są najczęściej reaktory jądrowe, których strumień neutronów wynosi $10^{12} - 10^{15} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Innymi źródłami neutronów są izotopowe źródła neutronowe (np. ${}^{241}\text{Am}/\text{Be}$, ${}^{239}\text{Pu}/\text{Be}$) lub generatory neutronów. Ich zastosowanie jest jednak znacznie rzadsze ze względu, na nawet do kilku rzędów wielkości, niższe wartości strumienia neutronów [1]. Niższy strumień neutronów umożliwia, jednakże badanie próbek, w których mogą powstać radionuklidy o bardzo krótkim czasie połowicznego rozpadu (od kilku minut do kilku godzin). Dużo niższa aktywacja, niż ma to miejsce w reaktorze jądrowym pozwala również na uzyskanie materiału o bardzo niskiej aktywności – próbka po kilku godzinach lub dniach przestaje emitować promieniowanie

jonizujące, nie wymaga więc dłuższego przechowywania, bądź specjalnego postępowania.

Neutronową analizę aktywacyjną można podzielić na dwie kategorie (Rys. 1):

- neutronową analizę aktywacyjną promieniowania natychmiastowego (PGNAA)
- neutronową analizę aktywacyjną promieniowania opóźnionego (DGNAA)

W przypadku PGNAA wykonuje się pomiar promieniowania gamma pochodzącego od wzbudzonego jądra atomu, które powstało w wyniku reakcji jądrowej z udziałem neutronu lub nieelastycznego rozproszenia neutronu. Dla DGNAA najczęściej interesujące jest promieniowanie gamma powstające po rozpadzie beta minus jądra atomu, które wyemitowało już nadmiar energii poprzez przejście wewnętrzne (ang. IT), ale posiada nadmiarową ilość neutronów przez co jest niestabilne.



Rysunek 1. Porównanie PGNAA i DGNAA [2]

Podstawy fizyczne NAA

Jak wspomniano wcześniej, podstawą NAA są najczęściej reakcje wychwytu radiacyjnego (n,γ), szczególnie te zachodzące pod wpływem neutronów

termicznych ($E_n = 0,001 \div 0,2 \text{ eV}$) oraz epitermicznych ($E_n = 0,2 \text{ eV} \div 0,5 \text{ MeV}$) [1]. Fakt ten jest ściśle związany z przekrojami czynnymi danych jąder atomowych na reakcję (n,γ) . Rozważając więc wykorzystanie neutronowej analizy aktywacyjnej należy wziąć pod uwagę właściwości fizyczne mogących wystąpić w badanej próbce izotopów pierwiastków. Do najważniejszych należą:

- przekrój czynny na reakcje jądrowe z neutronami, w szczególności wychwytu radiacyjnego (n,γ)
- czas połowicznego rozpadu produktów aktywacji
- energie i intensywności emitowanych przez produkty aktywacji kwantów gamma

Układ eksperymentalny

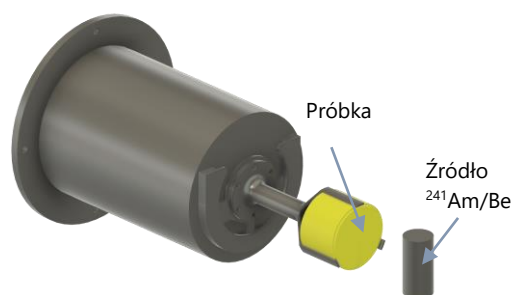
Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR), które mieści się w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie dysponuje dwoma źródłami neutronów:

- izotopowym źródłem neutronów $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ o aktywności ok. 180 GBq i wydatku neutronów $1,1 \times 10^7 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$ (Rys. 2 - po lewej)
- generatorem neutronów D-T emitującym neutrony prędkie o energii 14 MeV i wydatku neutronów $1,2 \times 10^8 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$ (Rys. 2 - po prawej)



Rys.2. Izotopowe źródło neutronów $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ (po lewej) oraz generator neutronów D-T (po prawej) dostępne w LWPDiR CLOR

Próbki materiałowe, które poddaje się aktywacji umieszczane są w bliskiej odległości źródła neutronów (Rys. 3). Testowa geometria aktywowanej próbki została wybrana z dostępnych w CLOR geometrii pomiarowych dla spektrometrii gamma. Należy jednak zaznaczyć, że w przyszłości planowane jest zoptymalizowanie geometrii aktywacyjnej oraz wykonanie niezbędnych elementów przy pomocy druku 3D.



Rys. 3. Projekt CAD eksperymentalnego układu do aktywacji neutronowej z wykorzystaniem izotopowego źródła neutronów $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ [opracowanie własne]

Układ pomiarowy

Układ pomiarowy, którym dysponuje LWPDiR CLOR składa się z:

- spektrometru promieniowania gamma: HPGe, $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ lub $\text{NaI}(\text{Tl})$

-
- domku osłonowego dla detektora
 - analizatora wielokanałowego
 - oprogramowania do akwizycji i analizy widm spektrometrycznych Genie2000

Wstępne wnioski oraz plany na przyszłość

Pierwsze wykonane prace wskazują, że opracowanie oraz wykonanie stanowiska dedykowanego dla DGNAA, jak również do PGNAA w LWPDiR CLOR jest możliwe. Należy tu jednak zaznaczyć, że opracowana metoda będzie charakteryzowała się pewnego rodzaju ograniczeniami, które to wynikają ze stosunkowo niskiego strumienia neutronów, w porównaniu ze strumieniami występującymi w reaktorach jądrowych. Jednakże otwiera to inne możliwości, a mianowicie analizę radionuklidów bardzo krótkożytych ($T_{1/2}$ od kilku minut do kilku dni) oraz radionuklidów, które do aktywacji wymagają neutronów prędkich. Umożliwia to dodatkowo badania wykorzystujące reakcje jądrowe, posiadające wymagane energie progowe neutronów. Co również istotne, posiadane źródła neutronów, pozwalają na aktywację, a następnie pomiar zawartości niektórych radionuklidów w przedmiotach o niestandardowych kształtach oraz wielkości, bez konieczności pobierania próbki materiału, z którego dany przedmiot został wykonany. Mowa tu na przykład o analizie pierwiastkowej monet i innych badaniach nieniszczących.

Prace nad optymalizacją stanowiska oraz procedury do wykonywania NAA w LWPDiR CLOR, zostaną wykonane w roku 2022 w ramach badań statutowych „Opracowanie stanowiska do badań z wykorzystaniem neutronowych metod aktywacyjnych w pracowni neutronowej LWPDiR”.

Literatura

- [1] Dybczyński R., Zastosowanie analizy aktywacyjnej, Raport PTN-5/2001, Warszawa, 2001
- [2] Havenith, et.al (2020). QUANTOM – Non-destructive scanning of waste packages for material characterization. EPJ Web of Conferences. 225. 06013. 10.1051/epjconf/202022506013.

Działalność służby dozymetrycznej CLOR w ramach umowy zawartej z Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki

Ł. Modzelewski

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej zawarło umowę na okres od 01.06.2021 do 01.06.2023 roku z Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki zobowiązującą ekipę dozymetryczną do wyjazdu na polecenie dyżurnego Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych w celu prowadzenia działań i pomiarów na miejscu zdarzenia radiacyjnego oraz dokonywania oznaczeń laboratoryjnych, służących ocenie zagrożenia spowodowanego tym zdarzeniem. Ekipy dozymetryczne CLOR składają się z 5 zespołów po 2 osoby w każdym i pełnią 12 godzinne dyżury.

Zobowiązania wynikające z podpisanej umowy:

- Zapewnienie gotowości wyjazdu ekipy dozymetrycznej na miejsce zdarzenia radiacyjnego w czasie nie dłuższym niż 3 godziny od chwili otrzymania polecenia wyjazdu od dyżurnego CEZAR,
- Zapewnienie utrzymania (z wykorzystaniem własnych środków technicznych) całodobowej łączności telefonicznej pomiędzy dyżurnym CEZAR a Wykonawcą,
- Przeprowadzenie na miejscu zdarzenia z wykorzystaniem przenośnej aparatury pomiarów umożliwiających:
 - określenie wartości przestrzennego równoważnika dawki prom. gamma
 - określenie powierzchniowych skażeń prom. od izotopów alfa, beta, gamma
 - wykrycie izotopowych źródeł neutronowych
- wykrycie i wstępną identyfikację izotopów promieniotwórczych oraz materiałów jądrowych,
- Współdziałanie z dyżurnym CEZAR oraz z innymi służbami działającymi na miejscu zdarzenia w tym z organami ścigania,
- Wykonywanie dokumentacji fotograficznej miejsca zdarzenia oraz zabezpieczonych materiałów jądrowych, źródeł i odpadów promieniotwórczych,
- Zapewnienie wykonywania laboratoryjnych oznaczeń ilościowych i jakościowych izotopów promieniotwórczych w pobranych próbkach przy wykorzystaniu metod spektrometrycznych lub przy zastosowaniu metod radiochemicznych,
- Zapewnienie wykonywania laboratoryjnych określeń procentowego składu izotopowego materiałów jądrowych pochodzących z miejsca zdarzenia radiacyjnego,
- Sporządzanie raportów z wyjazdów ekip dozymetrycznych w terminie do 2 dni od zakończeniu działań na miejscu zdarzenia radiacyjnego,
- Przygotowywanie comiesięcznych sprawozdań dotyczących wywiązywania się z zawartej umowy w formie pisemnej w terminie do 10- ego dnia następnego miesiąca,
- Przeprowadzenie instruktażu teoretycznego i praktycznego związanego z działalnością ekipy dozymetrycznej dla 20 osób wyznaczonych

przez Dyrektora Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych ,

- Uczestnictwo na polecenie Prezesa PAA w ćwiczeniach związanych z reagowaniem na zdarzenia radiacyjne.

Ekipa dozymetryczna Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej do obecnej chwili otrzymała 3 polecenia wyjazdów i prowadzenia działań na miejscach zdarzeń radiacyjnych zlokalizowanych na terenie kraju.

Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej w 2021 r.

Ł. Modzelewski, Ł. Mazur, A. Jakubowska

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych funkcjonuje w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej od 1967 roku. W 2003 roku Laboratorium uzyskało Certyfikat Akredytacji Laboratorium Wzorcującego nr AP 057 potwierdzony przez Polskie Centrum Akredytacji. Od tego czasu wzorcowania wykonywane są zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO/IEC 17025:2019.

Kluczowym zadaniem LWPDiR jest wzorcowanie dawkomierzy z komorami jonizacyjnymi, mierników mocy dawki i dawki promieniowania jonizującego, mierników powierzchniowych skażeń promieniotwórczych alfa oraz beta oraz działalności w zakresie ekspozycji wzorcowymi stężeniami detektorów i przyrządów do pomiaru stężenia radonu oraz wzorcowania przyrządów do pomiaru stężenia radonu i stężenia energii potencjalnej, a produktów rozpadu radonu. Laboratorium prowadzi również prace w zakresie napromieniania wzorcowymi dawkami dawkomierzy pasywnych.

Jest to jedyne w Polsce laboratorium z tak szeroką ofertą pomiarową- akredytowanych jest sześć metod wzorcowania:

- stanowisko kalibracyjne gamma wyposażone w trzy źródła promieniotwórcze ameryk-241, cez-137 oraz kobalt-60, odpowiednio o energii 59,5 keV, 662 keV oraz 1250 keV,
- stanowisk kalibracyjne RTG, umożliwiające wzorcowanie w zakresie widm wąskich N-40 do N-300 (energii od 33 do 250 keV),
- stanowisko kalibracyjne skażeń powierzchniowych wyposażone w trzy źródła

betapromieniotwórcze węgiel-14, stront-90, chlor-36 i jedno alfafpromieniotwórcze-ameryk- 241,

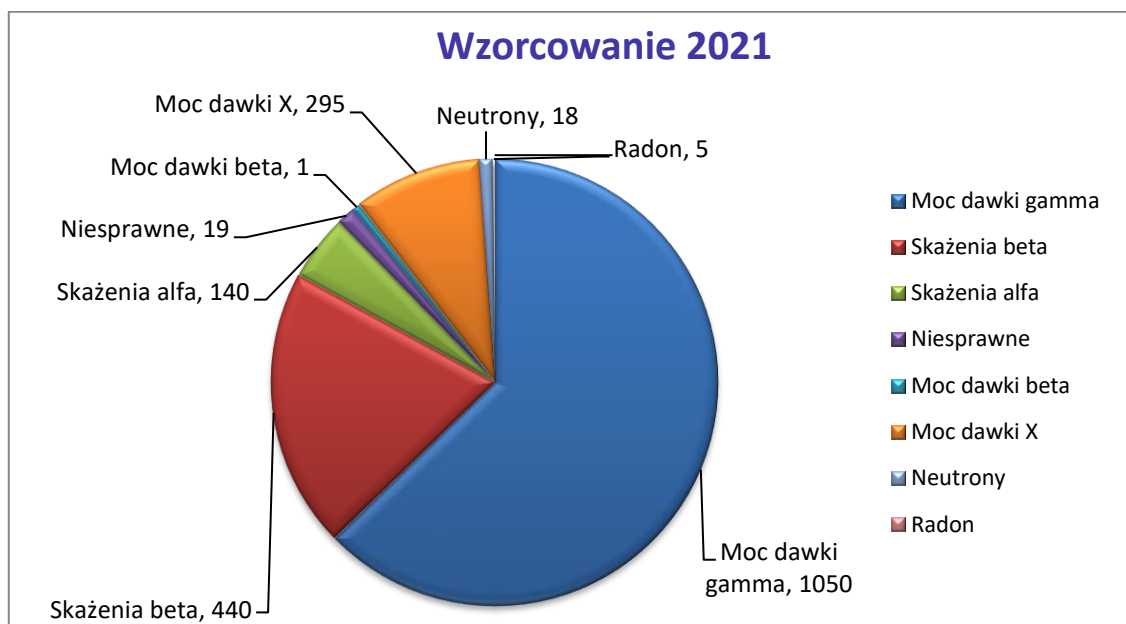
- stanowisko kalibracyjne beta- jedyne w Polsce, umożliwia wzorcowanie przyrządów w wiązce promieniowania beta od źródeł stront-90 lub krypton-85,
- stanowisko kalibracyjne neutronowe wyposażone w źródło ameryk-241/beryl,
- stanowisko kalibracyjne radonowe- wyposażone w komorę radonową o objętości 12 m³, dwa źródła radu-226.

Dzięki tak szerokiej ofercie pomiarowej istnieje możliwość doboru zakresu wzorcowania bardzo dobrze dopasowanego do indywidualnych potrzeb i wymagań klientów.

W 2021 roku do laboratorium wpłynęło 1234 zleceń wzorcowania, wykonano:

- 1050 wzorcowania przyrządów dozymetrycznych na moc dawki promieniowania gamma,
- 580 wzorcowań przyrządów z licznikami wewnętrznymi i sondami do pomiarów skażeń powierzchniowych promieniowania beta i alfa,
- 295 wzorcowań przyrządów dozymetrycznych dla promieniowania X,
- 5 wzorcowania na stanowisku radonowym,
- 18 wzorcowań na stanowisku neutronowym,
- 1 wzorcowanie na stanowisku kalibracyjnym beta.
- 19 protokołów niezdatności

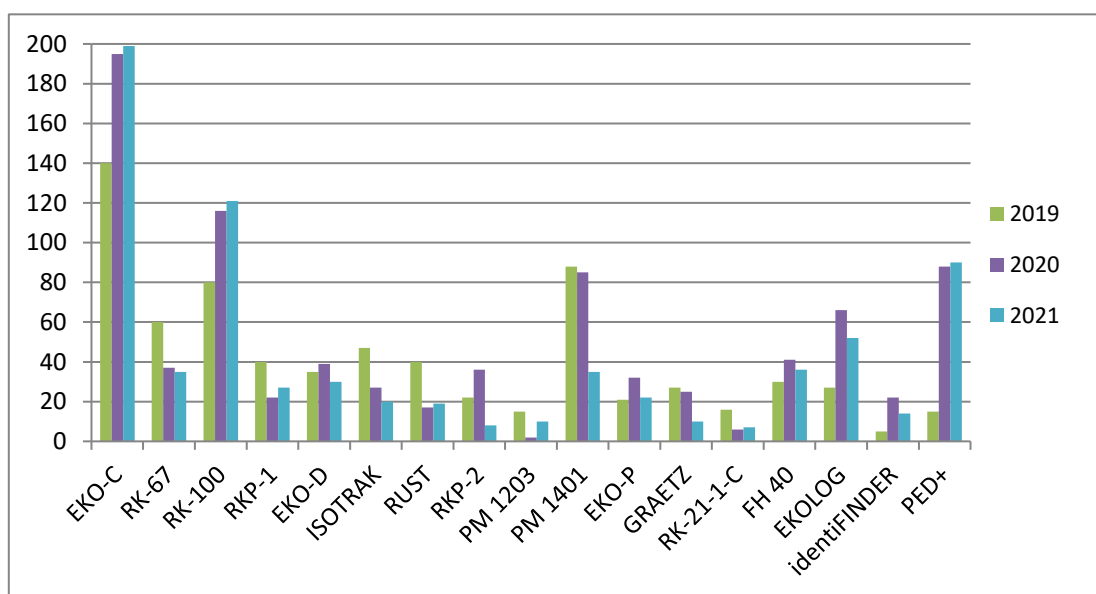
Liczbę przeprowadzonych wzorcowań na danych stanowiskach kalibracyjnych przedstawia wykres kołowy na Rysunku 1.



Rys. 1. Wzorcowania wykonane w 2021 r. w LWPDiR

W 2021 roku najczęściej wzorcowanymi przyrządami były kolejno EKO-C, PED+ oraz RK-100. Należy zaznaczyć, że są to przyrządy polskiej produkcji służące do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma i X, dodatkowo w przypadku EKO-C i RK-100

istnieje możliwość pomiarów skażeń promieniotwórczych emiterami alfa i beta. Zestawienie najczęściej wzorcowanych typów przyrządów na przestrzeni ostatnich trzech lat przedstawiono na Rysunku 2.



Rys. 2. Najczęściej wzorcowane przyrządy w LWPDiR (2019 ÷ 2021 r.)

Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych – część techniczna

Ł. Modzelewski

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych będące częścią Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej uzyskało Akredytację Laboratorium Wzorcującego w 2003 roku wydaną przez Polskie Centrum Akredytacji. Od tego czasu wzorcowania w Laboratorium wykonywane są zgodnie z zakresem akredytacji nr AP 057 oraz wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025:2019.

LWPDiR to jedyne w Polsce laboratorium z tak szeroką ofertą pomiarową- akredytowanych jest sześć metod wzorcowania:

- QPP 1G Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych oraz napromienianie dawkomierzy pasywnych i aktywnych z zastosowaniem promieniowania gamma.
- QPP 1R Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych oraz napromienianie dawkomierzy pasywnych i aktywnych z zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego.
- QPP 2S Wzorcowanie mierników i monitorów powierzchniowej emisji promieniowania emiterami alfa i beta.
- QPP 1WRn Wzorcowanie przyrządów do pomiaru stężenia radonu w powietrzu, stężenia energii potencjalnej α krótkożyciowych pochodnych radonu oraz ekspozycje detektorów wzorcowymi stężeniami radonu.

- QPP B Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych oraz napromienianie dawkomierzy pasywnych i aktywnych z zastosowaniem promieniowania beta.

- QPP N Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych oraz napromienianie dawkomierzy pasywnych i aktywnych z zastosowaniem promieniowania neutronowego.

Według wytycznych normy ISO 17025 ważnym aspektem jest zachowanie spójności pomiarowej. Spójność pomiarowa zachowana jest dzięki wzorcowaniu wzorców odniesienia (przedstawionych na Rysunku 1) w europejskich akredytowanych laboratoriach wzorcujących, takich jak PTB, PTW, STUK, SUJCHBO, GUM. Zachowanie spójności pomiarowej jest warunkiem jednoznaczności wyników pomiarów, umożliwiającym ich wzajemne porównanie.



Rys. 1. Wzorce odniesienia w LWPDiR

Spójność pomiarowa uzyskiwana jest również poprzez udział w porównaniach międzylaboratoryjnych.

Kolejnym ważnym wymaganiem normy 17025 jest monitorowanie zapewnienia jakości wykonywanych

wzorcowań, które w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych polega na:

- kontroli powtarzalności i odtwarzalności na stanowiskach kalibracyjnych,
- sprawdzeniu wzorcowego promieniowania gamma zgodnie z instrukcją QIS 1G,
- sprawdzeniu wzorcowego promieniowania rentgenowskiego zgodnie z instrukcją QIS 1R,
- sprawdzeniu przyrządów stanowiska radonowego zgodnie z instrukcją QIS 1WRn,
- sprawdzeniu źródeł powierzchniowych, zgodnie z instrukcjami zawartymi w procedurze QPP 2S,
- sprawdzeniu wzorcowego promieniowania beta zgodnie z procedurą QPP B,
- sprawdzeniu wzorcowego promieniowania neutronowego zgodnie z procedurą QPP N,
- walidacji obliczeń w arkuszach Excel.

Kontrola jakości pomiarów w roku 2021 obejmowała 31 działań, wszystkie zostały wykonane z powodzeniem. Kontrola jest prowadzona kompleksowo i obejmuje zarówno sprawdzanie sprzętu pomiarowego, charakterystyki wiązki promieniowania, „czynnika ludzkiego”, jak również programu ułatwiającego wyznaczenie współczynnika kalibracji. Każde z wykonywanych sprawdzeń ma określone kryterium, które musi zostać spełnione. Tak szczegółowe sprawdzanie i kontrola gwarantuje wysoką jakość wykonywanych wzorcowań.

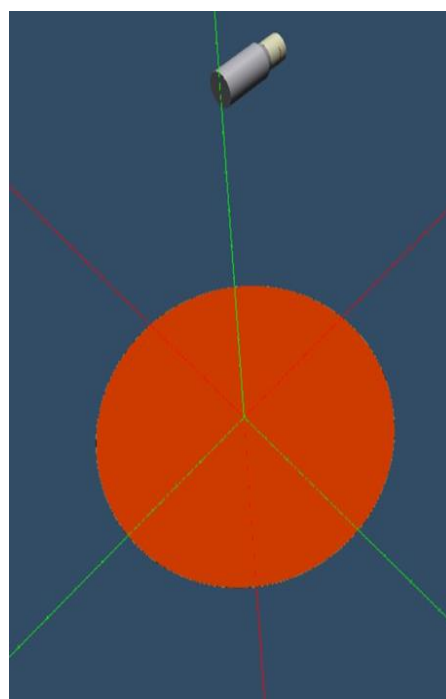
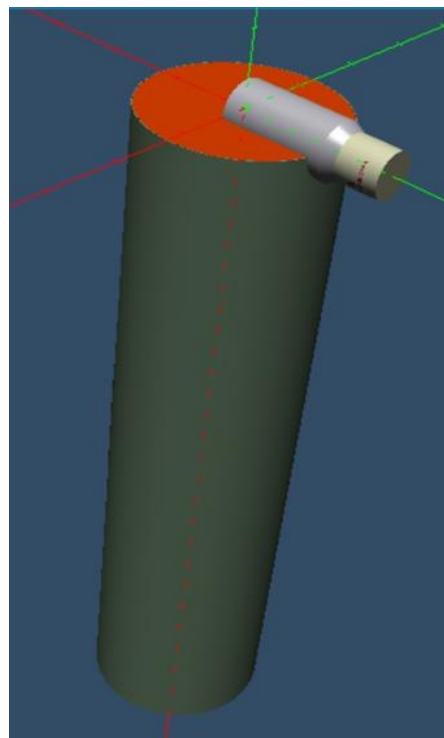
W ramach procesu nadzoru Polskiego Centrum Akredytacji nad laboratorium, 05 października 2021 roku został przeprowadzony w LWPDiR audyt w nadzorze wykonany przez audytorów zewnętrznych polegający na przeglądzie dokumentacji technicznej przez audytora wiodącego i eksperta technicznego.

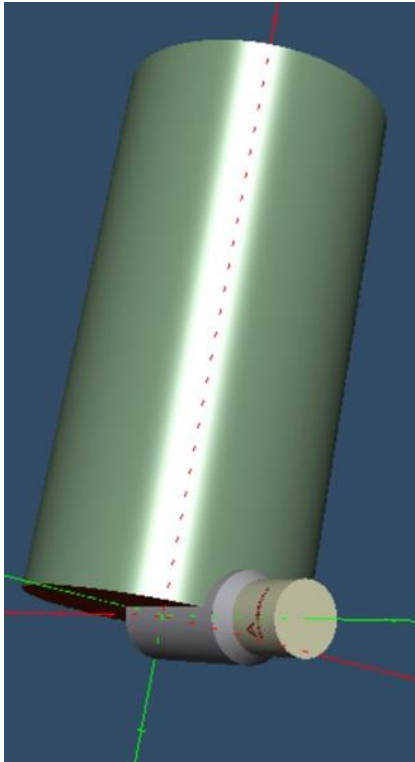
Badanie korelacji pomiędzy wskazaniami spektrometru środowiskowego działającego w oparciu o detektor LaBr_3 , a zawartością radionuklidów w podłożu

Ł. Modzelewski

Monitoring radiacyjny środowiska jest wymogiem stawianym przed każdą krajową służbą wykrywania skażeń. W Polsce działa taki system oparty o stację badającą zawartość radionuklidów w powietrzu. System ten można wzbogacić o wysokoczułe spektrometry promieniowania gamma, które będą pokazywały w czasie rzeczywistym zawartość radionuklidów obecnych w środowisku zarówno w postaci pyłów promieniotwórczych przemieszczających się wraz z masami powietrza jak i opadu promieniotwórczego spoczywającego na powierzchni. Wśród dostępnych detektorów promieniowania gamma na uwagę zasługują szczególnie dwa rodzaje, scyntylicyjny wyposażony w detektor na bazie bromku lantanu aktywowanego cerem oraz niezmiennie detektory półprzewodnikowe. Celem pracy było zbadanie jaka część widma promieniowania gamma zarejestrowanego przez detektor umieszczony in-situ pochodzi od radionuklidów zdeponowanych na powierzchni ziemi lub jej powierzchniowej warstwie a jaka pochodzi od radionuklidów znajdujących się w powietrzu.

Odpowiedzią na postawione zadanie było rozwiązanie analityczne modelu dynamicznego skażenia poprzez sprawdzenie odpowiedzi układu (sondy) na skażenia promieniotwórcze metodami eksperymentalnymi i numerycznymi. Model obejmował skażenie promieniotwórcze powierzchni ziemi oraz skażenie promieniotwórcze powierzchni ziemi i powietrza atmosferycznego (Rysunek 1).





Rys. 1. Model dynamiczny skażenia

W celu rozwiązania takiego modelu wykorzystano następujące metody analityczne do badania wydajności rejestracji fotonów:

1. Analiza trójwymiarowej mapy wydajności rejestracji fotonów dla zmiennej średnicy skażonego obszaru i zmiennej energii fotonów.
2. Analizę przebiegu funkcjonału zbudowanego z elementów będących scałkowanymi wydajnościami absolutnymi dla płaskich skażonych obszarów kołowych o zmieniającej się średnicy i zbadaniu zachowania tego funkcjonału w nieskończoności. Fizycznie poszukiwanie granicy takiej funkcji oznacza wyznaczenie maksymalnego obszaru skażonego spoza, którego promieniowanie nie dociera już do detektora.
3. Analizę przebiegu współczynników wielomianu logarytmicznego opisującego funkcje wydajności dla ciągu średnic płaskiego skażonego obszaru kołowego. Wyznaczenie uniwersalnej funkcji wydajności dla nieskończonego skażonego płaskiego kulistego obszaru i rozpatrywanych orientacji detektora oraz określenie wartości wydajności scałkowanej.
4. Metody wyznaczania mocy przestrzennego równoważnika dawki $H^*(10)$

Uzyskane dane i wyniki z wykonanych badań są niezbędne do prowadzenia skutecznego monitoringu radiacyjnego wobec planów rozwoju energetyki jądrowej w Polsce oraz posiadania takiej energetyki w krajach sąsiednich.

Wykonanie symulacji metodą Monte Carlo obudów do detektorów TLD stosowanych przez Pracownię Dawek Indywidualnych i Środowiskowych CLOR

B. Kliś, K. Kempny, A. Kawalec, Z. Pawłowska

W ramach badań zostały wykonane symulacje metodą Monte Carlo z wykorzystaniem kodu komputerowego GEANT4 w celu ustalenia charakterystyk energetycznych obudów dla detektorów termoluminescencyjnych (TLD) stosowanych do pomiarów dawek indywidualnych. Aby zbadać odpowiedzi dawkomierzy od różnych widm promieniowania obrano 4 widma izotopowe oraz 16 widm wąskich rentgenowskich. Prace dotyczyły opracowania kodu symulacji obliczającego dawkę otrzymywaną przez dozymetry umieszczone na fantomach ciała, głowy, nadgarstka oraz palca. łącznie zaprojektowano 6 modeli obudów, były to kolejno dozymetr oczny, dwa warianty dozymetru pierścieniowego z filtrem aluminiowym (z okienkiem) i bez (zamknięty), dozymetr nadgarstkowy, dwa warianty dozymetru indywidualnego noszonego na klatce piersiowej (PMMA, PMMA+F).

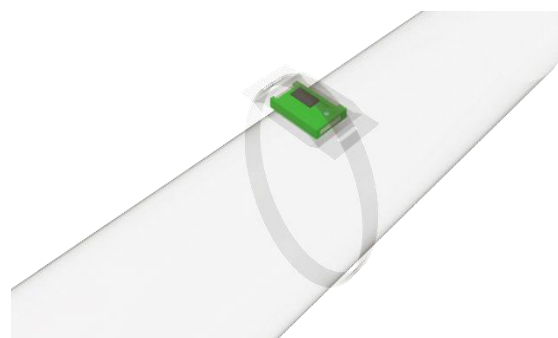
Dla potrzeb symulacji przygotowano modele komputerowe dozymetrów umieszczonych na odpowiednich fantomach. Zaprojektowane modele zostały przekonwertowane do formatu GDML i wykorzystane do obliczeń. Na rysunkach 1-4 przedstawiono geometrie dozymetrów indywidualnych wykorzystanych w symulacjach.



Rys. 1 Dozymetr oczny na fantomie głowy



Rys. 2 Dozymetr pierścieniowy na fantomie palca



Rys. 3 Dozymetr nadgarstkowy na fantomie nadgarstka



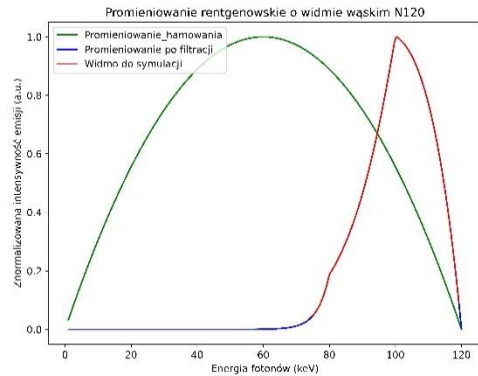
Rys. 4 Dozymetry indywidualne na fantomach ciała (z lewej PMMA, z prawej PMMA+F)

Obliczenia zostały wykonane dla różnych widm promieniowania gamma oraz widm wąskich promieniowania rentgenowskiego. Jako definicje składu widm pochodzących od źródeł izotopowych przyjęto jądrowe dane biblioteczne ENDF/B-VIII.0 dostępne przez oprogramowanie JANIS NEA. W celu zamodelowania składu widm rentgenowskich napisano program generujący dane w postaci histogramu wykorzystując prawa Kramers'a oraz Duane-Hunt'a:

$$dI(\lambda) = K \left(\frac{\lambda}{\lambda_{min}} - 1 \right) \frac{1}{\lambda^2} d\lambda$$

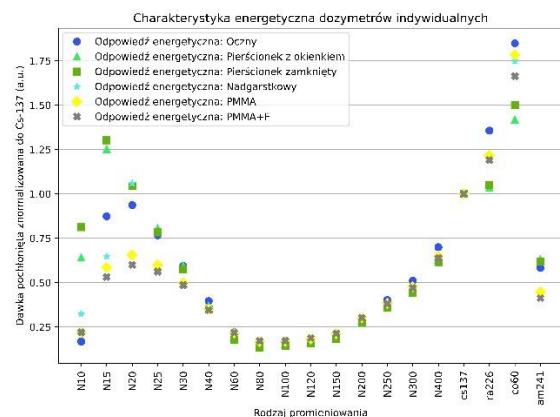
$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$$

gdzie λ – długość fali promieniowania elektromagnetycznego, V – napięcie przyspieszające lampy RTG, K – stała proporcjonalna do liczby atomowej materiału tarczy. Promieniowanie hamowania zostało zmodyfikowane o filtrację zgodną z normą ISO-4037:1 dla widm wąskich. Aby obliczyć wyjściowe widmo wąskie skorzystano z danych NIST masowych współczynników osłabienia promieniowania dla różnych materiałów składowych i energii promieniowania fotonowego. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe widmo wąskie promieniowania rentgenowskiego N120 obliczone przez program:



Rys. 5 Wygenerowane widmo N120 na bazie wymagań normy ISO-4037:1 oraz danych NIST

Korzystając z przygotowanych danych o geometriach dozymetrów i widmach energetycznych promieniowania rentgenowskiego wykonano symulacje dawki pochłoniętej. Uzyskane dane poddano analizie i dokonano ich wizualizacji. Rysunek 6 przedstawia uzyskaną charakterystykę energetyczną obliczoną w odniesieniu do dawki pochłoniętej od energii pików 661.7 keV ^{137}Cs .



Rys. 6 Charakterystyka energetyczna dozymetrów indywidualnych TLD

Wyniki uzyskane drogą symulacji numerycznych wykorzystano w odniesieniu do danych mierzonych eksperymentalnie. Przedstawione trendy zostały potwierdzone przez dane eksperymentalne.

Przeprowadzone prace wskazują na możliwości wykorzystania symulacji numerycznych

do przewidywania wyników eksperymentalnych z dużą dokładnością przed wykonaniem właściwych eksperymentów. Przedstawiona metodologia może znaleźć zastosowanie w przypadkach kiedy wykonanie eksperymentu nie jest możliwe. Wartości przeliczników do charakterystyki energetycznej uzyskane w wyniku przeprowadzonych symulacji Monte Carlo odpowiadają trendowi obserwowanemu eksperymentalnie. Stworzony kod komputerowy może zostać wykorzystany do dalszych badań oraz przeprowadzania wirtualnych eksperymentów przed właściwymi napromienianiami w celu przewidywania ich wyników.

Projekt European System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification: EU-RADION

B. Kliś, P. Lipiński, A. Jakubowska, K. Wołoszczuk

W ramach projektu „European System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification”: EU-RADION realizowane były testy prototypu urządzenia do rozpoznania zagrożeń CBRNE (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosives), zdolnego między innymi do rozpoznawania zagrożeń radiologicznych. Zadaniem CLOR w projekcie była ekspertyza z zakresu rozpoznania czynnika radiologicznego przez urządzenie. Projekt EU-RADION realizowany był przez konsorcjum złożone z 8 europejskich instytucji, przedstawionych na Rysunku 1.



Rys. 1 Konsorcjum EU-RADION

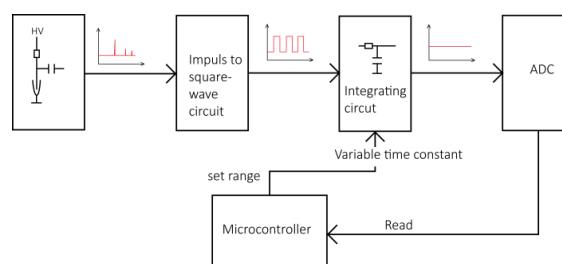
Dla potrzeb projektu sporządzono scenariusze zdarzeń radiologicznych, przegląd rozwiązań w zakresie detekcji promieniowania oraz opracowania wymagań technicznych. Aktywnie uczestniczono w projektowaniu składników systemu, elementów oprogramowania i elektroniki. Stworzono zalecenia dotyczące parametrów urządzeń i ich funkcjonalności, które miały być spełnione. Urządzenia mają również być przystosowane do wykorzystania w bezzałogowych pojazdach naziemnych i powietrznych (UGV i UAV). Opracowane

prototypy zostały poddane testom w laboratorium CLOR. Na Rysunku 2 przedstawiono zdjęcie testowanego prototypu.



Rys. 2 Prototyp EU-RADION 1

Wewnątrz urządzenia umieszczono detektor mocy dawki reagujący na promieniowanie gamma. Zdecydowano się na konstrukcję opartą o licznik Geigera-Mullera. Rysunek 3 przedstawia schemat blokowy układu detekcyjnego.

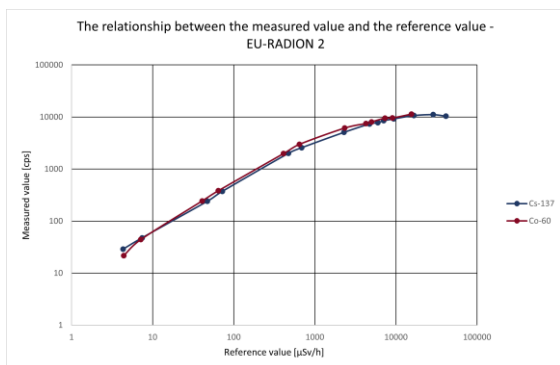


Rys. 3 Schemat układu detektora mocy dawki

Urządzenie posiada również moduł spektrometryczny pozwalający na zbieranie widma promieniowania gamma i jego identyfikację. Wykonano testy dwóch modułów, które mogły spełniać zadanie wykonywania pomiarów spektrometrycznych. Jednym z nich był Kromek GR1

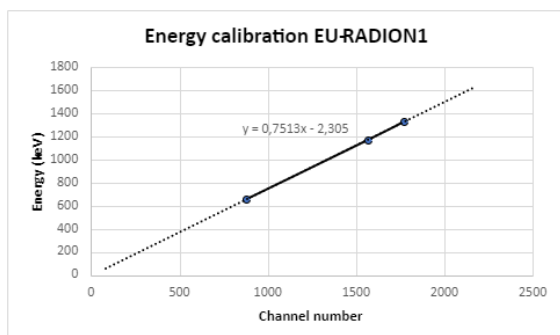
wyposażony w detektor półprzewodnikowy CZT, natomiast drugim był Hamamatsu C12137, który oparty jest o scyntylator CsI(Tl).

Podczas testów sprawdzono podstawowe parametry urządzeń dozymetrycznych i spektrometrów gamma. W kontekście testów zdolności dozymetrycznych sprawdzono liniowość wskazań, charakterystykę energetyczną i czas reakcji na pojawienie się promieniowania jonizującego. Wykres przedstawiony na Rysunku 4 pokazuje zależność wskazań urządzenia od przestrzennego równoważnika mocy dawki $H^*(10)$.



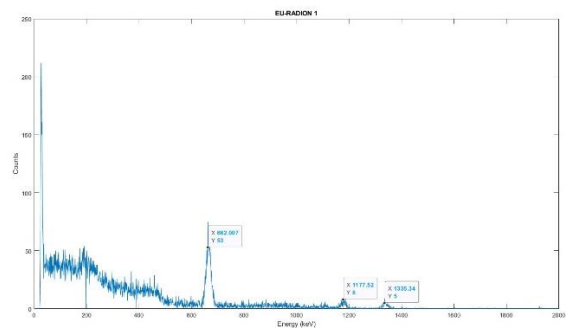
Rys. 4 Zależność wskazań urządzenia od przestrzennego równoważnika mocy dawki $H^*(10)$

Oba urządzenia zostały poddane kalibracji energetycznej oraz sprawdzono ich zdolności w kontekście identyfikowania wybranych radionuklidów. Rysunek 5 przedstawia kalibrację energetyczną spektrometru GR1.



Rys. 5 Kalibracja energetyczna detektora GR1

Podczas pracy z prototypami urządzeń zasugerowano również wiele zmian konstrukcyjnych oraz rozwiązań dotyczących się analizy danych. Należały do nich między innymi zmiany w geometrii przyrządu i rozmieszczenia jego elementów detekcyjnych, wybór i interpretacja odpowiedniego formatu danych jądrowych o radionuklidach, czy też zalecenia co do algorytmów identyfikujących radionuklidy na bazie widma promieniowania gamma. Rysunek 6 przedstawia widmo zebrane gdy w pobliżu urządzenia umieszczono źródła ^{137}Cs i ^{60}Co .



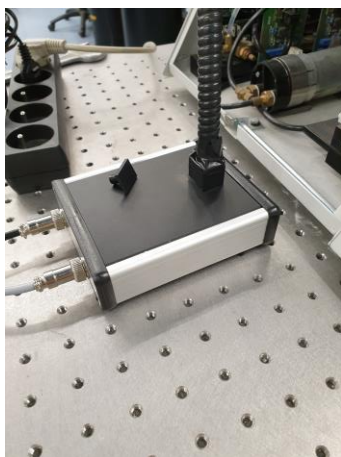
Rys. 6 Widmo zebrane przez detektor GR1 podczas ekspozycji urządzenia przy źródłach ^{137}Cs i ^{60}Co .

Projekt realizował rozwiązanie technologiczne dostosowane do wymagań współczesnych zagrożeń CBRNE. Dzięki multidyscyplinarnemu podejściu do problemu, powstałe urządzenie jest w stanie sprostać różnego rodzaju zagrożeniom oraz ich dowolnej kombinacji. Ponadto wykorzystano rozwiązania „state of the art” w kontekście detekcji i analizy informacji radiologicznych. W 2023 roku planowane jest przeprowadzenie testów terenowych urządzenia, oraz zorganizowanie pokazów demonstracyjnych dla służb ratowniczych.

Badania półprzewodnikowych detektorów do pomiaru sygnałów optycznych z detektorów termoluminescencyjnych

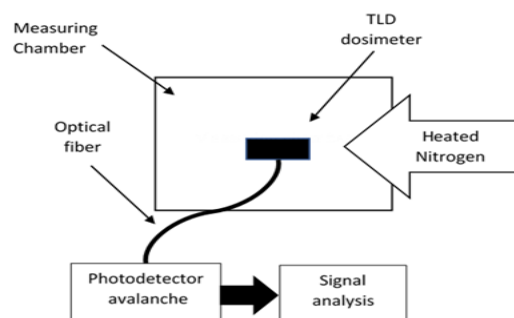
B. Kliś, P. Sobotka, Z. Pawłowska

W ramach współpracy z Wydziałem Fizyki Politechniki Warszawskiej, przeprowadzono testy nowatorskiego systemu do odczytu detektorów termoluminescencyjnych (TLD), który został oparty o detektory półprzewodnikowe SiPM. Urządzenie złożone było z autorskiej elektroniki oraz detektorów w wariantach chłodzonym i bez chłodzenia. Detektorowi do odczytu nadano roboczą nazwę PWAC. Na Rysunku 1 przedstawiono wygląd detektora PWAC.



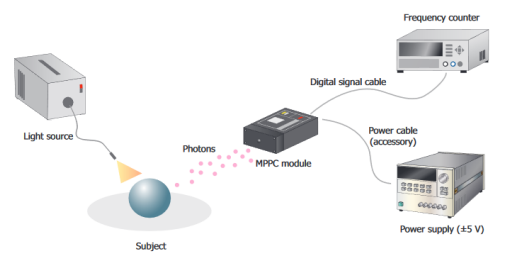
Rys. 1 Detektor PWAC

Parametry urządzenia zostały porównane z komercyjnym urządzeniem do odczytu TLD: RADOS wykorzystywanym w CLOR. Testy urządzenia były skoncentrowane na odczycie małych dawek. Ogólny schemat układu eksperymentalnego przedstawia Rysunek 2.



Rys. 2 Schemat układu eksperymentalnego

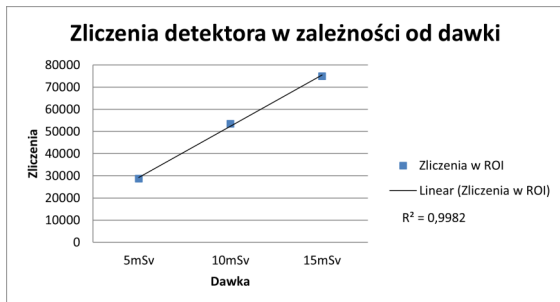
Dodatkowo zbadano możliwości prototypowego detektora względem komercyjnego detektora pojedynczych fotonów Hamamatsu MPCC C13366. Rysunek 3 przedstawia zastosowanie tego detektora do zliczania pojedynczych fotonów, opracowanie producenta[1].



Rys. 3 Przykładowe zastosowanie detektora MPCC [1]

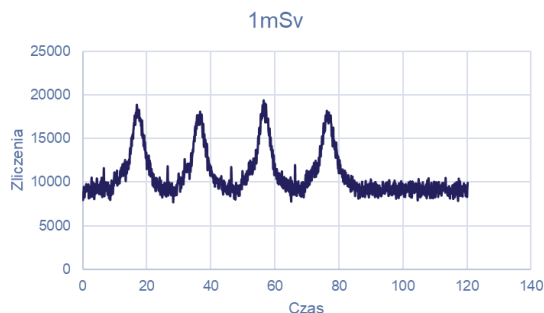
Przygotowano serię napromienionych dozymetrów TLD dwoma zakresami dawek od źródła ^{137}Cs . Pierwszy obejmował wartości indywidualnego równoważnika dawki $H_p(10)$ wynoszące kolejno: 1 mSv, 5 mSv, 10 mSv i 15 mSv. Druga seria obejmowała mniejsze dawki wynoszące kolejno: 0.1 mSv, 0.3 mSv, 0.5 mSv. Napromienione dozymetry podzielono na dwie partie, jedną przeznaczoną do odczytu na systemie CLOR a drugą do testów

nowych detektorów, pozwoliło to na wiarygodną ocenę możliwości opracowywanego prototypu. Na Rysunku 4 przedstawiono zależność zliczeń od dawki dla opracowanego detektora w zakresie dawek 5-15 mSv.

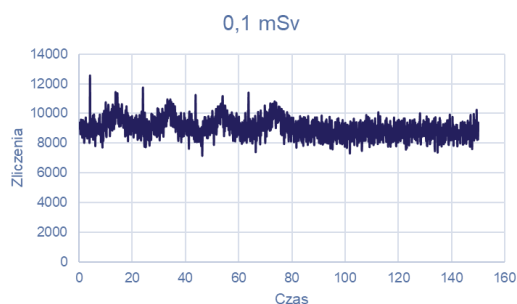


Rys. 4 Liniowość detektora PWAC

Testy detektora PWAC w zakresie dawek 0.1-1 mSv wykazały że detektor skutecznie zlicza sygnał optyczny związany z dawką. Dwa wybrane testy dla wartości brzegowych pokazane są na Rysunku 5 i 6.



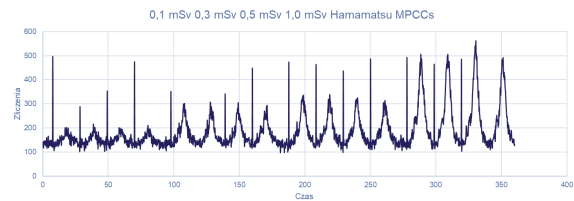
Rys. 5 Odpowiedź PWAC dla dawki 1 mSv



Rys. 5 Odpowiedź PWAC dla dawki 0.1 mSv

Porównanie wykonane za pomocą MPCC wskazało również możliwość budowy czytnika TLD w oparciu o półprzewodnikowy detektor. Rysunek 6

przedstawia zebrane widma dla serii dozymetrów o dawkach 0.1 mSv, 0.3 mSv, 0.5 mSv i 1 mSv.



Rys. 6 Odpowiedź MPCC na dawki 0.1 mSv, 0.3 mSv, 0.5 mSv i 1 mSv.

Przeprowadzone prace wskazują na możliwości wykorzystania PWAC do budowy czytnika TLD. Urządzenie do odczytu sygnałów z TLD w oparciu o detektor PWAC jest przedmiotem zgłoszenia patentowego pt. „Półprzewodnikowy detektor do pomiaru sygnału optycznego z detektorów termoluminescencyjnych”.

Referencje:

MPCCs datasheet:

<https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu->

[photronics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/c13366-1350gd_etc_kacc1229e.pdf](https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photronics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/c13366-1350gd_etc_kacc1229e.pdf)

Prace teoretyczne nad funkcjami wydajności rejestracji fotonów gamma przez detektory scyntylacyjne i półprzewodnikowe

B. Kliś, S. Jednoróg

W radiometrii a w szczególności spektrometrii γ konieczne jest opracowanie takiej strategii pomiaru aby otrzymać najwyższą istotność wyników. W wyniku badań opracowano kryterium analityczne pozwalające ocenić ilościowo różne geometrie pomiarowe i wybrać spośród nich prowadzącą do najmniejszego błędu pomiaru. Udowodniono, że integrated absolute full energy peak efficiency (IAFEPE), superficial integrated full energy peak efficiency (SIAFEPE), mass integrated absolute full energy peak efficiency (MIAFEPE) mogą pełnić rolę takiego kryterium. Szczegółowo przedstawiono IAFEPE, która jest pierwotną wielkością względem MIAFEPE i SIAFEPE. Wykonano symulacje numeryczne i na tej podstawie graficznie zilustrowano związek IAFEPE z pierwotnymi wielkościami spektrometrycznymi takimi jak wydajność rejestracji, rozdzielczość i pole pod pikiem całkowitego pochłaniania energii. Rozważana metodyka ma charakter ogólny i może być stosowana do wszystkich rodzajów detektorów.

Zależność od energii funkcji wydajności rejestracji fotonów w pikie całkowitej absorpcji energii (FEAP-ang. full energy absorption peak) wyraża się równaniem:

$$AFEPE = eff(E_{\gamma,i}) = \frac{N_i}{t \cdot P_{\gamma,i} \cdot A_i}$$

gdzie: N_i - ilość zliczeń w FEAP, t - czas pomiaru, $P_{\gamma,i}$ - wydajność emisji fotonów o energii $E_{\gamma,i}$, A_i - aktywność i -tego radionuklidu. Kalibracja wydajnościowa spektrometru prowadzi do otrzymania funkcji ciągłej dopasowanej do szeregu wartości AFEPE zależnych od różnych energii

fotonów. Jedną z takich funkcji może wyrażać równanie:

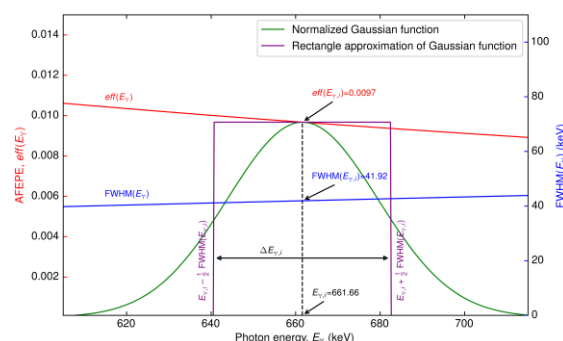
$$eff(E) = e^{\sum_{i=0}^n A_i \ln(E)^i}$$

gdzie: A_i - współczynniki wielomianu logarytmicznego. Funkcja rozdzielczości jest wynikiem kalibracji kształtu opisana jest równaniem:

$$FWHM(E_\gamma) = A_1 + A_2 \sqrt{E_\gamma}$$

gdzie: A_1 i A_2 - parametry dopasowania.

Bazując na AFEPE oraz FWHM możliwe jest aproksymowanie pojedynczego FEAP za pomocą prostokąta o parametrach, które przedstawia Rysunek 1.



Rys.1 Aproksymacja FEAP prostokątem o parametrach wyrażonych przez $eff(E)$ i $FWHM$ dla spektrometru z detektorem NaI

U podstaw wyprowadzenia leży definicja całki Riemanna. Załóżmy że $[a, b]$ jest przedziałem zamkniętym w \mathbb{R} . Skończony zbiór punktów $\mathcal{P} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ taki że $a = x_1 < x_2 < \dots < x_m = b$ nazywamy partycją zbioru $[a, b]$. Natomiast $I_i = [x_{(i-1)}, x_i]$ gdzie $i = 1, \dots, m$ jest i -tym przedziałem partycji \mathcal{P} . Szerokość I_i wynosi $\Delta_i = x_i - x_{i-1}$, elementem i -tego przedziału

nazywamy element ξ_i taki że $x_{(i-1)} \leq \xi_i \leq x_i$. Wtedy suma Riemanna zdefiniowana jest jako:

$$\mathfrak{R}(f, \mathcal{P}) = \sum_{i=1}^m f(\xi_i) \Delta_i$$

Jeżeli f jest funkcją ciągłą zmiennej x i $\max(\Delta_i) \rightarrow 0$, wtedy granica $\mathfrak{R}(f, \mathcal{P})$ istnieje i wynosi:

$$I = \lim_{\max(\Delta_i) \rightarrow 0} \sum_{i=1}^m f(\xi_i) \Delta_i = \int_a^b f(x) dx$$

Wartość ta nazywana jest całką Riemanna.

Jeżeli wyrazimy szerokość pików poprzez rozdzielczość detektora jako:

$$\Delta E_{\gamma,i} = \left(E_i + \frac{FWHM(E_{\gamma,i})}{2} \right) - \left(E_i - \frac{FWHM(E_{\gamma,i})}{2} \right)$$

oraz przekształci się wzór na AFEPE, można zapisać ilość zliczeń w FEAP za pomocą równania:

$$N_i \cong P_{\gamma,i} \cdot A_i \cdot eff(E_{\gamma,i}) \Delta E_{\gamma,i} \cdot t$$

Korzystając z definicji całki Riemanna można zauważyć analogię:

$$eff(E_{\gamma,i}) \cdot \Delta E_{\gamma,i} \cong f(\xi_i) \cdot \Delta_i$$

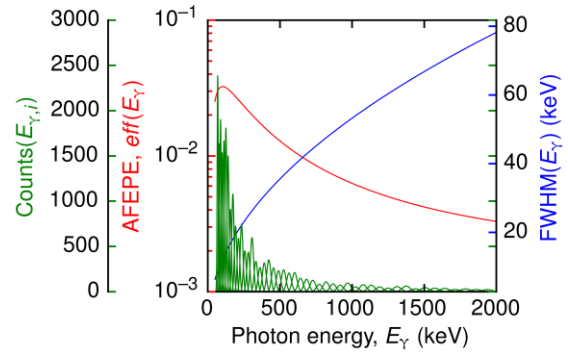
Gdy liczba pików branych pod uwagę rośnie, wartość sumy zbliża się do wartości granicznej:

$$IAFEPE \cong \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_i^n eff(E_{\gamma,i}) \Delta E_{\gamma,i}$$

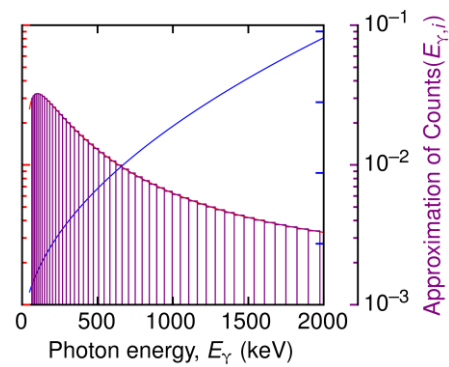
Co jest równoważne z tym że:

$$IAFEPE = \int_{E_{min}}^{E_{max}} eff(E_{\gamma}) dE_{\gamma}$$

Rysunki 2 i 3 przedstawiają działanie kodu komputerowego obliczającego IAFEPE jak również sam proces zbierania się sumy aproksymowanych prostokątów do wartości IAFEPE.



Rys. 2 Widmo spektrometryczne γ oraz jego parametry



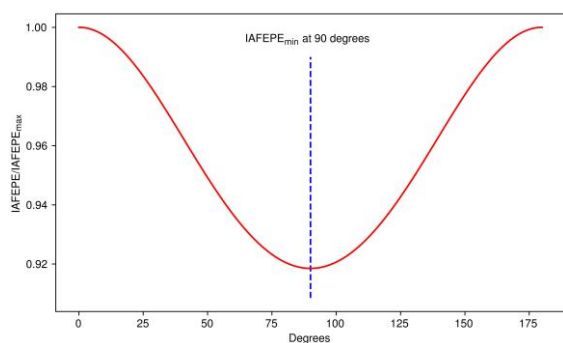
Rys. 3 Zbieżność sumy prostokątów aproksymujących do wartości IAFEPE

Przykładem zastosowania IAFEPE jest ocena geometrii pomiarowej, w której nieważkie źródło liniowe promieniowania obraca się wokół punktu umieszczonego na osi detektora. Napisano program ilustrujący zmiany wartości IAFEPE w funkcji kąta pomiędzy prostą na której umieszczone jest źródło promieniowania a osią detektora. Rozważaną geometrię pomiaru przedstawia Rysunek 4.



Rys. 4 Nieważkie liniowe źródło promieniowania obracające się wokół punktu będącego jego środkiem i znajdującego się na osi detektora.

W wyniku przeprowadzenia sparametryzowanej symulacji, sporządzono zależność IAFEPE od kąta φ , przedstawioną na Rysunku 5.



Rys. 5 Zależność IAFEPE od φ

Z zależności IAFEPE od kąta widać że źródło umieszczone wzdłuż osi detektora stanowi najlepszą geometrię pomiarową. Uzyskana zależność i jej interpretacja demonstrują jedno z możliwych zastosowań wielkości IAFEPE.

W oparciu o metodę IAFEPE możliwa jest ocena jakości geometrii pomiarowych również o bardziej skomplikowanych kształtach i ich wzajemnej orientacji w przestrzeni. W ramach prowadzonych prac badawczych omawiana wielkość jest z powodzeniem wykorzystywana przez autorów do porównywania jakości wykonanych kalibracji wydajnościowych spektrometrów gamma i samych konfiguracji pomiarowych z ich wykorzystaniem.

Wykorzystanie algorytmu symulowanego wyżarzania do optymalizacji parametrów funkcji opisującej rozkład ziarnowy aerozoli promieniotwórczych zgodnie z modelem Porstendörfera

B. Kliś, K. Wołoszczuk

W ramach badań nad areozolami promieniotwórczymi od pochodnych radonu przygotowano program komputerowy analizujący dane ze spektrometrów średnic areozoli środowiskowych oraz urządzenia do wyznaczania rozkładu średnic aerozoli promieniotwórczych RPPSS. Program ten dokonuje obliczenia aktywności właściwej na podstawie dystrybucji średnic areozoli. Zagadnienie to stanowi problem odwrotny który rozwiązano korzystając z metod dekonwolucyjnych, w tym celu sformułowano spłot funkcji który odpowiadał opisywanemu zjawisku fizycznemu. W tym celu wykorzystano zmodyfikowany model Porstendörfera który można wyrazić następującym równaniem:

$$X = \int_0^{\infty} \beta(d_p) Z'(d_p) d d_p$$

gdzie: X – szybkość przechwytywania krótkożyciowych produktów rozpadu radonu, $\beta(d_p)$ – współczynnik wychwytywania, $Z'(d_p)$ – rozkład stężenia aerozoli w powietrzu w funkcji ich rozmiarów. Funkcję wyrażającą współczynnik wychwytywania dla frakcji wolnej zależną od czterech parametrów można wyrazić za pomocą równania:

$$\beta(d_p) = \frac{2\pi D_f (d_p - d_{pf})}{\left(\frac{8D_f}{(d_p - d_{pf})^{v_f}} + \frac{(d_p - d_{pf})}{2 \left(\frac{(d_p - d_{pf})}{2} + \lambda_f \right)} \right)}$$

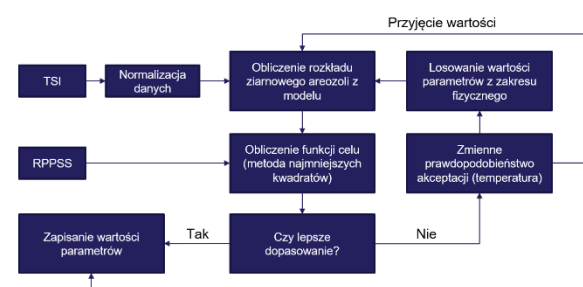
gdzie: D_f [m²/s] – współczynnik dyfuzji cząstek, v_f [m/s] – średnia prędkość termiczna cząstek, λ_f [m] – średnia droga swobodna cząstek, d_{pf} [nm] – średni

rozmiar cząstek. Parametry tego równania należało zoptymalizować w granicach fizycznych dla każdej serii danych eksperymentalnych. Gdy znana jest funkcja $\beta(d_p)$ oraz rozkład $Z'(d_p)$ można obliczyć prawdopodobieństwo generacji areozoli promieniotwórczych, przedstawia go poniższe równanie:

$$\frac{\partial X}{\partial d_p} = \beta(d_p) Z'(d_p) \Rightarrow P_k(d_{pi}) \approx \frac{\beta(d_{pi}) Z'(d_{pi})}{\sum_{d_{pi}} \beta(d_{pi}) Z'(d_{pi})} = \frac{\beta(d_{pi}) \frac{\Delta Z(d_{pi})}{\Delta d_{pi}}}{\sum_{d_{pi}} \beta(d_{pi}) \frac{\Delta Z(d_{pi})}{\Delta d_{pi}}}$$

Za pomocą prawdopodobieństwa generacji areozoli promieniotwórczych można odtworzyć widmo aktywności właściwej.

Aby uzyskać optymalne parametry funkcji $\beta(d_p)$ napisano program komputerowy w języku Python, oparty o algorytm symulowanego wyżarzania. Schemat blokowy działania programu przedstawia Rysunek 1.



Rys. 1 Schemat blokowy programu DisFit

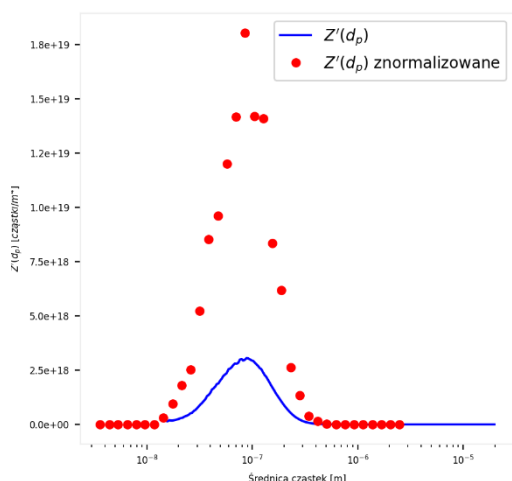
Działanie programu odnoszono do dwóch serii danych zwracanych przez urządzenie RPPSS. Urządzenie to oblicza aktywność właściwą w oparciu o algorytm Emax i Twomey. Poniżej przedstawiono kolejno równania opisujące te algorytmy dekonwolucyjne:

$$X_j^{p+1} = X_j^p \frac{\sum_i Z_i P_{ij}}{\sum_j P_{ij} X_j^p} \cdot \frac{1}{\sum_i P_{ij}}$$

$$X_j^{p+1} = X_j^p + X_j^p P_{ij} \left(\frac{Z_i}{(\sum_j P_{ij} X_j^p)} - 1 \right)$$

gdzie: p – kroki iteracyjne, P_{ij} – macierz współczynników przechodzenia j -tych średnic cząstek przez i -te sekcje detekcyjne, Z_i – zliczenia w i -tej sekcji detekcyjnej.

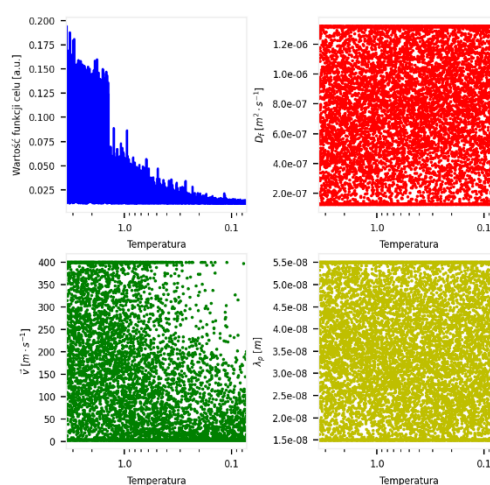
Opracowany program w pierwszej kolejności dokonywał normalizacji danych wejściowych, ponieważ dane różniły się zakresem pomiarowym i rozdzielczością (liczbą binów danych). TSI wykonuje histogramowanie w 160 kanałach gdy RPPSS w 43, narzuca to potrzebę selektywnego sumowania danych z TSI do mniejszej ilości binów odpowiadającej RPPSS. Rysunek 2 przedstawia zastosowaną normalizację danych.



Rys. 2 Normalizacja danych z TSI do formatu RPPSS

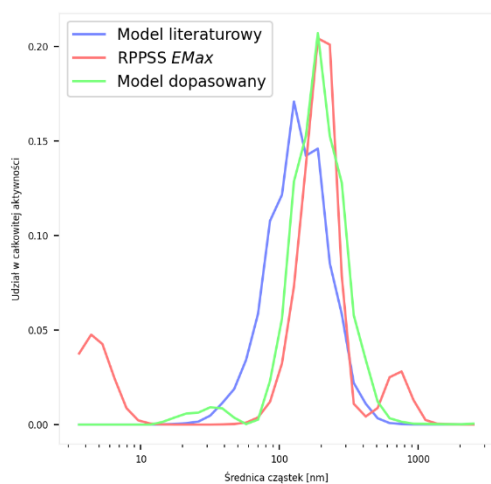
Następnie na podstawie modelu Porstendörfera i parametrów początkowych obliczano rozkład ziarnowy aerozoli promieniotwórczych. Uzyskany rozkład porównywany był z rozkładem RPPSS, proces porównania oparty był o metodę najmniejszych kwadratów, która była tzw. funkcją celu. Program w wielu powtórzeniach losował nowe wartości parametrów tak aby funkcja celu została zminimalizowana. Program decydował o zmianach parametrów i mógł zaakceptować zmianę

parametrów na mniej optymalne z pewnym prawdopodobieństwem. Wyżarzanie polegało na tym że program zmniejszał prawdopodobieństwo akceptowania nowych mniej optymalnych wartości wraz z ilością iteracji co odpowiadało tzw. temperaturze. W wyniku wyżarzania program mógł zbadać wiele ekstremów funkcji celu i wybrać najlepsze z nich, czego klasyczny algorytm iteracyjny nie potrafi. Rysunek 3 przedstawia wyniki działania programu w postaci zmian funkcji celu oraz wartości parametrów.



Rys. 3 Zmiany parametrów modelu podczas symulowanego wyżarzania

Gdy program wykonał od kilku tysięcy do kilku milionów iteracji zwracał zoptymalizowane wartości parametrów do funkcji $\beta(d_p)$. Po procesie optymalizacji modelu, obliczenie wartości rozkładu ziarnowego aerozoli promieniotwórczych z danych TSI zwracało znacząco lepsze wyniki, porównywalne z tymi z dedykowanego urządzenia RPPSS. Rysunek 4 przedstawia porównanie oryginalnego modelu Porstendörfera i zmodyfikowanego poddanego optymalizacji z danymi RPPSS.



Rys. 4 Porównanie modeli z RPPSS

Wykorzystanie zaawansowanych metod komputerowych pozwala na znaczącą poprawę działania klasycznych modeli. Program DisFit pozwala na ustalenie rozkładu ziarnowego aerozoli promieniotwórczych z danych spektrometrów środowiskowych, które dysponują dużo lepszą precyzją pomiaru rozkładu średnic, natomiast nie mierzą promieniowania explicite.

Opracowanie zależności między różnymi obudowami TLD stosowanymi przez PDIiŚ CLOR dla różnych źródeł promieniowania

Z. Pawłowska

Celem pracy było wyznaczenie współczynników przeliczeniowych dla obudów TLD stosowanych w Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych dla różnych źródeł promieniowania.

Materiały:

W badaniach stosowane były pastylki termoluminescencyjne o składzie LiF:Mg,Cu,P (nazwa handlowa MCP-N) oraz wszystkie obudowy stosowane rutynowo w PDIiŚ.



Rys. 1 Obudowy stosowane w PDIiŚ, od lewej: PMMAF, PMMA, nadgarstek, pierścionek, oko

Przebieg badań:

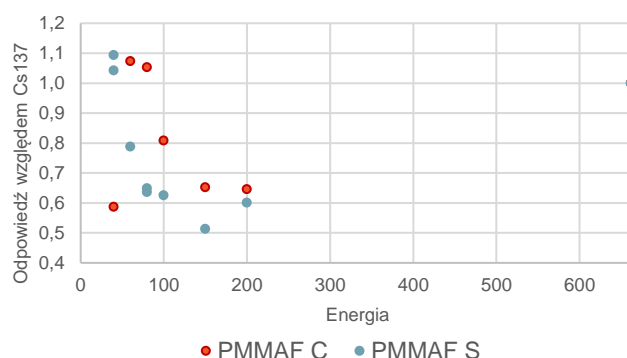
Dla każdej z obudów wykonano ekspozycję korzystając ze źródeł/energii: Cs-137, N40, N60, N80, N100, N150, N200. Jako wartość odniesienia traktowano wynik dla dozymetru ciała w obudowie PMMAF od źródła Cs-137. W każdej serii pomiarowej stosowano 5 detektorów na punkt pomiarowy, dodatkowo 5 detektorów tła i 5 detektorów odniesienia.

Wyniki:

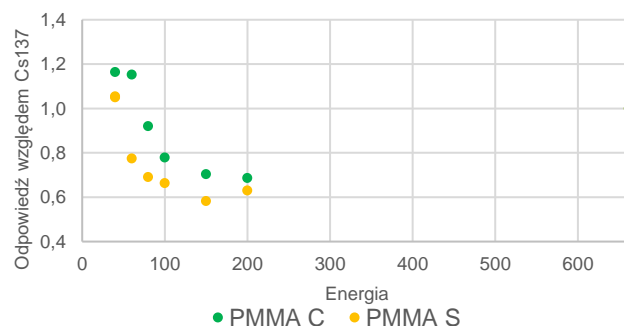
W ramach badań otrzymano charakterystyki energetyczne dla wszystkich badanych obudów oraz współczynniki przeliczeniowe, odwołujące się

do wyznaczonego dozymetru odniesienia. Dodatkowo sprawdzono stałość wskazań dozymetrów odniesienia w trakcie trwania pomiarów.

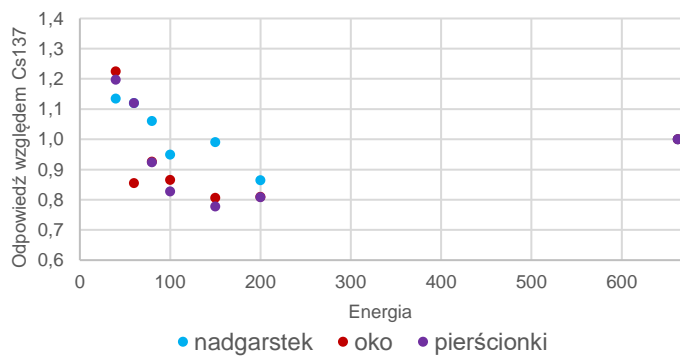
Otrzymane współczynniki przeliczeniowe umożliwiają częstsze wykonywanie kalibracji systemu dozymetrycznego stosowanego w PDIiŚ poprzez kalibrowanie dozymetrów odniesienia i przeliczanie współczynników dla pozostałych obudów.



Rys. 2 Charakterystyka energetyczna dla obudowy PMMAF do pomiaru Hp(10) – PMMAF C i H*(10) – PMMAF S



Rys. 3 Charakterystyka energetyczna dla obudowy PMMA do pomiaru Hp(10) – PMMA C i H*(10) – PMMA S



Rys. 4 Charakterystyka energetyczna dla obudów typu nadgarstek, oko, pierścionek

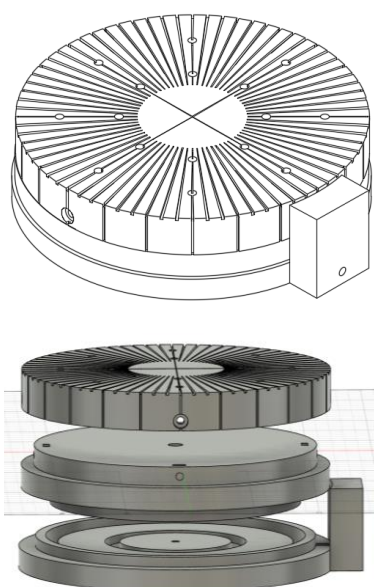
Opracowanie i wykonanie stanowiska do określania charakterystyki kątovej dozymetrów i przyrządów dozymetrycznych

Z. Pawłowska, A. Parada*, B. Kliś* Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki

Celem pracy było wykonanie stolika kątowego umożliwiającego wykonanie charakterystyki kątovej dozymetrów pasywnych i przyrządów dozymetrycznych.

Projekt stolika:

Stolik został zaprojektowany w programie Fusion 360, a następnie wydrukowany na drukarce 3D dostępnej w CLOR z użyciem materiału PLA. Całość wykorzystuje łożysko kulkowe 51117. Dodatkowo poza samym stolikiem zaprojektowane i wydrukowane zostały uchwyty pod jedne z najbardziej popularnych przyrządów dozymetrycznych oraz uniwersalny uchwyt do mocowania detektorów pasywnych.



Rys. 5 Projekt stolika, po prawej razem z uchwytem na detektory pasywne

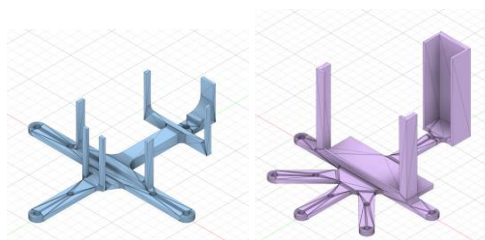
Dodatkowo zrealizowana została praca inżynierska na wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej.

Temat: Wyznaczenie charakterystyki kątovej wybranych przyrządów dozymetrycznych.

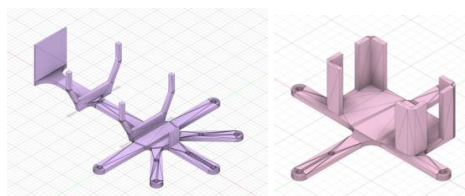
Autor: Alina Parada

W ramach pracy wykonano:

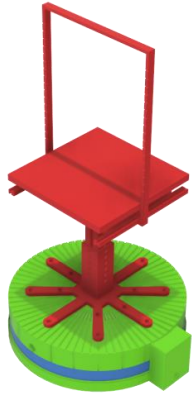
- projekt stolika kątowego.
- Wydruk stolika kątowego na drukarce 3D dostępnej w CLOR.
- Wydruk uchwytów pod przyrządy: EKO-C, FH-40, RKP-2, RK-100
- Pomiary przestrzennego równoważnika dawki w polu promieniowania gamma od źródła ^{137}Cs w zależności od kąta padania promieniowania na licznik.



Rys. 6 uchwyty na przyrządy od lewej : RK-100, RKP-2



Rys. 7 uchwyty na przyrządy od lewej : FH-40, EKO-C



Rys.8 Projekt stolika razem z uchwytem na detektory pasywne

Pomiar stężenia radonu w miejscach pracy, w których istnieje znaczące ryzyko przekroczenia poziomu referencyjnego 300 Bq/m³

K. Wołoszczuk, M. Norenberg, D. Tchórz-Trzeciakiewicz

W wyniku wprowadzenia Dyrektywy Rady Unii Europejskiej 2013/59/EURATOM ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego zalecane jest ustanowienie w krajach członkowskich Unii Europejskiej poziomu referencyjnego stężenia radonu w powietrzu w miejscach pracy 300 Bq/m³, jako poziomu uznawanego za względnie bezpieczny dla człowieka.

Jak wynika z dotychczas prowadzonych badań, z uwagi na warunki panujące w kopalniach i jaskiniach, istnieje znaczące ryzyko, że w tych miejscach poziom referencyjny stężenia radonu może zostać przekroczony, a tym samym może występować zwiększone narażenie osób tam przebywających wynikające z ekspozycji na radon i krótkożyciowe produkty jego rozpadu.

Wykonano pomiary stężenia aktywności radonu w powietrzu z wykorzystaniem metody detektorów pasywnych CR-39 (Rys. 1).



Rys. 1 Detektory pasywne CR-39

Ekspozycja detektorów trwała minimum 30 dni, pomiary wykonano w miejscach pracy. W każdym miejscu wypełniono kwestionariusz, z informacjami niezbędnymi do późniejszej analizy danych. W kwestionariuszu pytania dotyczyły m.in. rodzaju wykonywanej pracy (fizyczna/biurowa), liczby pracowników, ich płeć, wiek, itp.

Detektory rozmieszczane były zgodnie z zaleceniami International Radon Measurement Association (IRMA):

- pomiary prowadzono w pomieszczeniach regularnie zajmowanych przez pracowników przez minimum 4 godziny dziennie, lub
- wszystkie pomieszczenia, w których istniało znaczne ryzyko dużego przenikania radonu, które mogą być miejscem pracy osób przez ponad 50 godzin rocznie (około jednej godziny tygodniowo).
- w piwnicy i na parterze pomiary przeprowadzono we wszystkich pokojach, W przypadku większych pomieszczeń i przestrzeni umieszczano co najmniej jeden detektor na 150 m².
- na wyższych kondygnacjach: co najmniej dwa detektory na piętrze i co najmniej jeden detektor na 250 m².

Dodatkowo, przy współpracy z Uniwersytetem Wrocławskim, wykonano analizę geologiczną terenów, na których wykonywano pomiary.

Podsumowanie:

- wykonano ekspozycję ponad 500 detektorów śladowych CR-39,
 - pomiary wykonano w 316 lokalizacjach,
 - ekspozycje przeprowadzono głównie w miejscach pracy,
 - w każdej lokalizacji została wypełniona ankieta z danymi dot. czasu przebywania, ilości osób, dotyczące wdrożenia płci, itp.
- w 398 lokalizacjach zmierzono stężenie wyższe niż 100 Bq/m^3
 - w 164 lokalizacjach zmierzono stężenie wyższe niż rekomendowany poziom referencyjny 300 Bq/m^3
 - w 3 lokalizacjach zmierzono stężenie wyższe niż $1\,000 \text{ Bq/m}^3$

Metoda wyznaczania rozkładu ziarnowego aerozoli promieniotwórczych na podstawie rozkładu aerozoli środowiskowych

K. Wołoszczuk

Celem zrealizowanego tematu była optymalizacja metody wyznaczania rozkładów ziarnowych aerozoli promieniotwórczych zawierających produkty rozpadu radonu na podstawie rozkładów aerozoli środowiskowych. Rozkład ziarnowy średnic aerozoli promieniotwórczych pozwala na dokładniejsze wyznaczenie współczynników konwersji dawki (DCF), określających relację pomiędzy ekspozycją na pochodne radonu i odpowiadającą jej dawką efektywną. Istnieją dwa podejścia wyznaczania współczynników DCF- metoda epidemiologiczna i metoda dozymetryczna. Pierwsza z nich wykorzystuje wyniki badań epidemiologicznych wykonanych na grupach górników pracujących w podziemnych kopalniach, natomiast podejście dozymetryczne rekomendowane w Publikacji 66 ICRP z 1994 r., pt. "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection", oparte jest na zastosowaniu modeli dozymetrycznych. Modele te uwzględniają zależność dawki od miejsca depozycji w układzie oddechowym, co z kolei jest silnie związane ze średnicami aerozoli zawierającymi krótkożyciowe produkty rozpadu radonu. W praktyce stosuje się zwykle metodę

epidemiologiczną szacowania dawki, ponieważ pomiar widma średnic pochodnych radonu wymaga specjalistycznej i kosztownej aparatury i dlatego nie jest powszechnie stosowany.

Celem badań prowadzonych w pracy było rozpoznanie rozkładów ziarnowych aerozoli środowiskowych i aerozoli promieniotwórczych związanych z produktami rozpadu radonu oraz wyznaczenie kluczowych parametrów, takich jak współczynniki dyfuzji i szybkość przechwytywania promieniotwórczych izotopów. Umożliwiło to powiązanie obydwu typów rozkładów i wyznaczenie odpowiednich współczynników konwersji ekspozycji na dawkę. W konsekwencji pozwala to na zastosowanie bardziej dostępnych na rynku spektrometrów średnic aerozoli środowiskowych, do wyznaczania rozkładu ziarnowego średnic aerozoli promieniotwórczych. Wyznaczenie takiej korelacji ma duże znaczenie ponieważ rozkłady ziarnowe aerozoli środowiskowych można wyznaczyć ze znacznie większą rozdzielczością niż rozkłady aerozoli promieniotwórczych.

Dział Szkolenia i Informacji

Podsumowanie prac Działu Szkolenia i Informacji w roku 2021

P. Lipiński, D. Wieczorek, Z. Samborska-Zajkowska

Dział Szkolenia i Informacji Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej prowadzi następujące prace:

1. Przygotowanie i organizacja szkoleń dla osób ubiegających się o uzyskanie uprawnień IOR-1 (IOR-1R, IOR-1Z) lub IOR-3 prowadzonych zarówno w siedzibie, jak i poza siedzibą CLOR, w tym m.in. przygotowanie programów szkolenia, przygotowanie i dystrybucja materiałów szkoleniowych, przygotowanie i przechowywanie odnośnych dokumentów, prowadzenie korespondencji z uczestnikami kursów, wykładowcami oraz jednostkami egzaminującymi.
2. Przygotowanie i organizacja szkoleń aktualizujących wiedzę dla IOR-1 i IOR-3.
3. Przygotowanie i organizacja kursów dla kandydatów na operatorów prowadzonych zarówno w siedzibie, jak i poza siedzibą CLOR.
4. Prowadzenie prac związanych z przygotowaniem, organizacją i przebiegiem szkoleń innych niż wymienione powyżej prowadzonych zarówno w siedzibie, jak i poza siedzibą CLOR.
5. Utrzymywanie stałych kontaktów z PAA, GIS oraz RIS w sprawach związanych ze szkoleniami.
6. Nadzór nad działalnością biblioteki.
7. Nadzór nad działalnością archiwum.
8. Przygotowanie i edytowanie raportów CLOR.

9. Przygotowanie, organizacja i obsługa wizyt edukacyjno-szkoleniowych w CLOR (w tym seminariów CLOR).

W roku 2021 – mimo trwających ograniczeń z powodu pandemii – zorganizowano 14 szkoleń, w których uczestniczyło 190 osób:

- ✓ Trzy szkolenia dla osób ubiegających się o nadanie uprawnień IOR: łącznie 49 osób, w tym:
 - IOR-1: 25 osób;
 - IOR-1R: 4 osoby;
 - IOR-1Z: 4 osoby;
 - IOR-3: 16 osób.
- ✓ Cztery szkolenia dla osób aktualizujących wiedzę w ramach przygotowania do ponownego egzaminu na uprawnienia IOR: łącznie 43 osoby, w tym:
 - IOR-1: 24 osoby;
 - IOR-1Z: 2 osoby;
 - IOR-3: 17 osób.
- ✓ Siedem szkoleń dla operatorów typu A-A, S-A oraz S-Z: łącznie 98 osób (129 uprawnień), w tym:
 - A-A: 23 osoby;
 - S-Z: 52 osoby;
 - S-A: 77 osób.⁵

⁵ Liczba wydanych uprawnień oraz liczba przeszkolonych osób mogą się różnić ze względu na to, że dana osoba

może być przeszkolona w zakresie więcej niż jednego uprawnienia.

English version

Introduction

The present report delivers comprehensive descriptions of main works of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) that were realized in the year 2021. The full particulars one could find in the expertise and issues that were published on the cooperating with CLOR institutions websites or could upload them on the CLOR's website. Here, it is worth to remain the origin of CLOR's which was established in 1957, as an independent specialistic research institute with mission to provide operational and development work related to the radiation safety of the country, particularly around this nuclear object, just a year before the start-up of the first research nuclear reactor EWA in Świerk. Presently the Institute performs its mission, through-out a wide range of national monitoring assignments, preventive operational tasks, delivery data on environmental radio-contaminants, comprehensive analysis of radiological situation of the country, assessment of population and occupational hazard, and also an evaluation of men exposure from acute radioactive releases, terror attacks as well as prolonged routine releases from nuclear objects. The Institute performs research activity in the country and abroad. Institute activities reflects current State's requirements and safety growth of advanced technologies to develop nuclear energy sources with no emission of greenhouse gases. The Institute serves Governmental Bodies, society, state economy and environment.

The CLOR's activities encompass several characteristics areas, which differ by financial support, range of investigations and engagement of experienced staff, as following:

- 1) Tasks within the national wide monitoring for the President of National Atomic Energy Agency (PAA),
- 2) Tasks within the national wide monitoring for the Main Inspectorate of Environmental Protection,
- 3) Research and implementation activities,
- 4) Country wide and international cooperation,
- 5) Commercial activities

Tasks within the national wide monitoring for the President of National Atomic Energy Agency (PAA),

The most important task, from point of view radiation safety of country, is the constant monitoring of air-borne radioactive contamination over whole country with the net-work of high-sensitive ASS-500 stations. This task entitled "An assessment of effective dose of Poland inhabitants due to intake of atmospheric aerosols by inhalation" has being realized by CLOR's Dosimetry Department. In 2021, the implementation of the new type station ASS-500 (the Patent PL 184966) for whole network has been completed. Performed studies (2018-2020), have confirmed modernity and high sensitivity of the stations. The results of radioactive pollution in air are published in the quarterly reports about radiative situation of the country in Low Gazette R.P. „The monitor of Poland" by the President of the National Atomic Energy Agency (PAA) as well as could be find in the annual reports of PAA. Based on this network data the radiation protection experts could with full responsibility formulate statements about the lack of the radiological threat in Poland. The stations network covers entire country, stations are situated in 13 locations i.e.: Warsaw, Bialystok, Gdynia, Katowice, Cracow, Lublin, Łódź, Sanok, Szczecin, Toruń, Wrocław, Zielona Góra and Kielce (Katowice and Łódź – modernization in 2021). Despite of the great importance of the network maintenance there are serious problems to establish stable and firm source of funding, that appeared due to unclear regulations. Although the working of the ASS-500 network is formally coordinated by the, President of National Atomic Energy Agency (par. 74 of the Atomic Law), nevertheless the financial support cannot be legally assigned to the President, because he is not owner of the stations, which is obligatory according low. Therefore, only remains par. 78 of the Atomic Low stated that " *that President of PAA can temporary commission some important*

radiological protection jobs to specialized institution in the target areas", but in practice it means to publish every year tenders in a frame of so called "public order" and undergo uphill and time consuming procedures. There is a chance to change this situation in the 2022 year, when the new regulation will directly allocate obligation of Ministry of Environment to support country monitoring system.

- In 2021, the Department of Dosimetry also conducted air pollution tests in the surrounding of the MARIA reactor in Świerk and the Waste Repository in Rózan with the portable air sampling station (the Patent PL 216990 B1 (2014)). No emission of radioactive aerosols of anthropogenic radioactive isotopes above limit of detection was found from these objects. Simultaneously possibility of the emissions of the radioiodine ^{131}I around the reactor Maria was examined with the station PS3PJ (the portable station for monitoring three forms of radioiodine). None essential emissions of this radioactive isotope in any physicochemical forms were detected.
- Base of the contracts commissioned every year by the President of the National Atomic Energy Agency (NAEA), mentioned above departments performed a regular monitoring and assessment of the radiological state in surrounding of the National Waste Disposal (NWD) in Rózan and around the National Center of Nuclear Research.
- Regarding the contracts of the President of NAEA, it is worth to mention that CLOR has maintained the Round-the-clock Emergency Service for the Center on Emergency Incidents of National Atomic Energy Agency. This task (started at 2018 and continued up to now) is commonly performed by the Department of Dosimetry and Department the Department of Personal Doses Control and Standardization, the main CLOR's experts activity of the service is an assessment of radiological risk and design of preventive action at place of the radiation incident due to support uniform services of border guards and customs when dangerous CBRN materials are intercepted on the border.

The second one task performed commonly by teams of the Department of Dosimetry and the Department of Personal Doses Control and Standardization, consists in the Round-the-clock Emergency Service for the Centre on Radiation Incidents of the National Atomic Energy Agency. Within this task (since 2018 year) the CLOR's experts, at the place of the radiation incident, conduct radiological risk assessment and undertake preventing action to support the services

- Next operational task for the President of NAEA carried out by the Department of Individual Doses Control and Standardization is related to The Maintenances of Readiness the Laboratory of the Monitoring of Iodine to perform the measurements of the content of radioiodine in thyroid, that task concerned on evaluation of occupational exposure of workers in nuclear medicine sector as a result of doses in thyroid, due to radioactive iodine ^{131}I and technetium $^{99\text{m}}\text{Tc}$ intakes via inhalation.
- In the same mode of funding of The President of NAEA, there is a task performed by the Department of Radiation Hygiene entitled "Managing and organization of proficiency tests with isotopes ^{137}Cs and ^{90}Sr for country basic monitoring stations to confirm their performance and accuracy.
- Also, an there is another task related to Measurement of radio-contaminations in samples of water, sediments and fish, within the HELCOM MORS framework for monitoring of radio-pollution of the Baltic Sea - which fulfils Poland duty as a member of Helsinki Commission, Baltic Marine Environmental Protection .

Tasks within the national wide monitoring for the Main Inspectorate of Environmental Protection,

On the basis of two-year contracts founded by the Environment Protection Found, the Department of Radiation Hygiene and the Dosimetry Department together, conducted a radiological monitoring of soils and rivers and lakes for the Main Inspectorate of Environment Protection (MIEP) in Poland. These tasks have been realized by CLOR since 1988. The legal framework is constituted by: Atomic Law and Environment Protection Law as well as Regulation of Council of Ministers on 17 December 2002 (in amendment course) and Recommendation of EU Commission on 8 June 2000. The first task i.e. soil monitoring, is conducted in the two years cycle: the first year – sampling from 10 cm surface soil layer in about 250 points, located in stations and posts of

Institute of Meteorology and Water Management then spectrometric measurements of suitably prepared samples in order to determine deposition of anthropogenic cesium ^{137}Cs and naturally occurring radionuclides radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac and potassium ^{40}K .

The second task i.e. monitoring of surface waters is conducted in the one year cycle, sampling of water and sediments in the following locations:

- rivers: Wisła- (Kraków Tyniec, Annopol, Warszawa, Płock i Kieźmark); Narew – (Pułtusk); Bug – (Wyszków); Odra – (Chałupki, Wrocław, Głogów i Krajnik); Warta – (Poznań).
- lakes: Wielkie Partęczyny (woj. kujawsko-pomorskie); Drawsko (woj. zachodnio-pomorskie); Wadąg (woj. warmińsko-mazurskie); Rogóźno (woj. lubelskie); Niesłysz (woj. lubuskie); Wigry (woj. podlaskie),

Next, measurements of concentrations of anthropogenic radionuclides: cesium ^{137}Cs and strontium ^{90}Sr in water and plutonium ^{238}Pu and $^{239/240}$ in sediments.

The main aim of presented above tasks is a current assessment of contamination levels of soil and surface waters and sediments over the country and preparation updated radiological maps for Poland. Measurements data are elaborated in form of reports of the MIEP (published on the MIEP's website) and aggregated data are delivered to the National Atomic Energy Agency and the Main Statistical Office.

Scientific, Researches and Implementations Activities

Within the statutory subsidy of the Ministry of Science and Education, CLOR performs usually a dozen or so scientific studies devoted to development of new metrological methods or unique specialistic environmental studies to perform an exposures assessment of critical groups of population.

Specialistic environmental studies performed in 2021 in order to assess exposure of particular groups of populations in specific locations or les investigated sources of hazard, concerned:

- a) Determination of radioactive concentrations of isotopes of thorium ^{232}Th , ^{230}Th and ^{228}Th in bottled mineral and spring waters,
- b) Determination of radioactive concentrations of plutonium ^{241}Pu I the sediments of Baltic See,
- c) An Assessment of radiological state in the Polish National Parks on the basis of samples of soils and grass measurements, for instance: Ojcowski National Park and Narwiński National Park.
- d) Analysis and Evaluation of the Radioactivity of Raw and Building Materials Used in Poland in years 1980-2021,
- e) Noble gases ^{133}Xe , $^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{85}Kr monitoring in Warsaw and Świerk in 2015-2021
- f) Measurement of radon activity concentration in workplaces where is a significant risk of exceeding the reference level $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$

Development of new metrological methods or improvement current methodology regarding its higher efficiency and shorter time of measurement, herein, the particular attention would call the works of the Department of Personal Dose Control and Standardization (DPDCS) that focused on the issue of modernization and implementation own system-procedures to meet requirements of new recommendations and directives of EU Commission which became finally transposed to the national law concerned radon ^{222}Rn or innovative method of determination natural background dose rate. i.e.:

- a) Adaptation of method for determined of radioactive radium ^{226}Ra and ^{228}Ra in water with the LSC technique,
- b) Investigation of factors influencing properties of trace detectors Cr -39,
- c) Elaboration of precursor methodology of estimation of the dose rate from natural background radiations with passive methods TLD i.e.:
 - i. Monte Carlo simulations of housings for TLD used by Laboratory of Personal and Environmental Doses at CLOR,
 - ii. Determine of the conversion factors for TLD holders used in the Laboratory of Individual and Environmental Doses (PDIŚ) for various radiation sources,
 - iii. Development and execution of the station for angular characteristics of doseimeters,
- d) Optimization of the method for determining the size distribution of radioactive aerosols based on the size distribution of ambient aerosols,
- e) The use of the simulated annealing algorithm to optimize the parameters of the Porstendörfer model describing the particle size distribution of radioactive aerosols,
- f) Theoretical works on the functions of gamma photon registration efficiency by scintillation and semiconductor detectors,
- g) Study of the correlation between the indications of the environmental spectrometer based on the LaBr_3 detector and the content of radionuclides on the soil surface,
- h) There are also conducted activities toward elaboration of own computer code CLRP for verification prognosis of doses concerning requirement of the Report on Environmental Impact of Nuclear Facilities planed NPP in Poland, in a frame of international programs IAEA.

Country wide and international cooperation

The CLOR's activity toward the strengthening of the country system of radiation protection were performed at wide cooperation with foreign scientific centers and were granted by the EU Horizon H2020 i.e.:

In 2021 CLOR has gained the found in the following H2020 projects:

- The traceRADON project, (Reference No. 19ENV01) "Radon metrology for use in climate change observation and radiation protection at the environmental level", (realization period from 06.2020 to 05-2023)
- The project EU-RADION Horizon 2020, Call: H2020-SOU-SEC-2018-2019-2020, (Security) "European the System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification, (realization period from 8.2020 to 7.2023)

In 2021 CLOR continued also the cooperation related to the undersigned earlier contracts with the important scientific institutions abroad i.e.:

- In 2020, the four-year term for the CLOR representative the Ph.D. Paweł Krajewski, the member of the Group of Experts referred to in Article 31 of the Euratom Treaty has been extended to 2025,
- The CLOR contract on 8 July 2015 with the German Federal Office of Radiation Protection (Bundesamt für Strahlenschutz BfS) concerning measurement of noble gases Kr-85 and Xe-133 around National Centre for Nuclear Research in Świerk consisting of the reactor „Maria” and the Nuclear Research Radioisotope Centre POLATOM, has been extended to 2022.
- The CLOR's experts have participated in activities of the Committee on Radiation Protection and Public Health” (CRPPH).

Commercial activities

The expert and service activity of CLOR is mainly based on orders of analysis or expertise that external institutions applied to CLOR's accredited Laboratories. CLOR disposes of three accredited investigation laboratories i.e.:

- *The Laboratory of Personal and Environmental Doses* (accreditation N# AB 450). The Unit performs measurements and assessment of personal doses for occupationally exposed workers (nuclear medicine, industry, uniform services). Base on thermo-luminescent method (TLD), the Laboratory perform personal monitoring for around 8000 workers per year. Additionally, accreditation range includes measurements of ambient dose rate (so called: background natural gamma radiation) as well as determination of radon ^{222}Rn in liquid samples (since 2019) and new one method of measurements of radon ^{222}Rn concentration in air with passive methods base on CR-39 foil. Moreover, the accreditation range of the Unit includes also *Laboratory of Radioactive Iodine Measurements*, has been created after Chernobyl Accident in 1989 and has been assigned to conduct rapid assessment of radiological hazard from ^{131}I of polish population in a case of releases of ^{131}I iodine from any nuclear facility object. Currently, the Laboratory performs an assessment of occupational exposure hazard for nuclear medicine staff from ^{131}I and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ inhalation and reports results to President of National Atomic Energy Agency.
- *The Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis* (accreditation N# AB 1215), performs tests of radioactive contamination in environmental, food and feed and drinking water samples according to the national and European Union regulations. Accreditation scope encompasses wide analytical spectrum of numerous alpha, beta and gamma emitters e.g.: strontium ^{90}Sr in water, soil, sediments, feed and various food products, as milk, vegetables, meat, fish and mixing diet; tritium ^3H in water, urine samples, global alpha and global beta in water as well as uranium 238 , 234 , ^{235}U , plutonium 239 , ^{240}Pu , polonium ^{210}Po , lead ^{210}Pb and americium ^{241}Am . The laboratory perform yearly about 4000 tests.
- *The Laboratory of Natural Radioactivity Measurements* (accreditation N# AB 1108) fills up monitoring system of environmental radioactive contamination by the network of natural radiation measurements in row and building materials. This network performs qualification and evaluation of building materials concerning concentrations of natural radionuclides (i.e. Uranium, Thorium chains and Potassium.) than their applicability for different types of building.
- CLOR also possesses one accredited standardization (metrological) laboratory e.g.: *The Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments* (accreditation N# AP 057). The Laboratory offers calibration service, type control and certification for dosimetry instruments and remains only one unit in the country that presents the widest range of accredited standardized radiation fields X-ray, gamma, beta and neutron radiation as well as standards of surface contamination (alpha and beta).

Moreover, the Laboratory owns The Radon Standard Installation-(RSI) which is equipped with calibration chamber with unique devices support, that is used for calibrating instruments to measuring the potential alpha energy and radon

concentrations in air and water. The activity RSI has a country and international range i.e.: performs intercomparison tests related to the validation of European calibrating laboratories; significant investigation of dose conversion factors DCF correlated with the distribution of aerosols diameters of in air, performs calibration for the Radon Centre and co-organized domestic laboratory intercomparisons of the radon concentrations in water.

- Besides the service provided by accredited laboratories, other form of the CLOR's commercial activity is trainings of radiation protection inspectors on the levels of (IOR-1, IOR-1R, IOR-3) and operators of equipment producing the ionizing radiation on the levels (AA, SA, SZ). Every year CLOR organizes training courses for about 50 candidates applying for IOR licenses and about 100 persons renewing licenses and 150 persons applying for licenses of radiation operator. Since 2016 training offer of CLOR has been extended to veterinary service and medical staff for Main Sanitary Inspectorate needs.
- Realizing requirement of the Program of Polish Nuclear Energy related to the education of new cadres of specialists for needs of polish nuclear energy program, the CLOR continued a cooperation with higher colleges i.e.: the Warsaw University of Technology (the faculty of Physics and Mechatronics) and with the Warsaw University (the faculty of Chemistry and Physics) as well as with The Main School of Fire Service.

With a well-educated staff of rich and long-standing research and operational experience in the field of radiological protection and having at one's disposal the unique and sensitive country-wide methods for determining of radio-isotopes in the environment and in man organism, the CLOR has played an excellent role as the Technical Support Organization (TSO) with high competence and credibility. The multidisciplinary character of the CLOR activity and synergy of scientific research and operational activities as well as an independence from users of radioactive sources constitute an unique feature of our institution and it has been confirmed many times in situations of significant radiological threats.

In the summary, it should be stressed that the achieving of a high degree of competence and good substantial and financial results in 2021 has occurred owing the contribution of the entire CLOR crew, who here should be thanked for its effort by the Director. High level of competence, independent and objective opinion and commitment and openness in contacts with non-professionals will be resulted in a positive impact on the social acceptance of the development of nuclear energy in Poland.

Director

Central Laboratory for
Radiological Protection



Dr Paweł Krajewski

Department of Radiation Hygiene

Department of Radiation Hygiene

Department of Radiological Hygiene has been established in 1971 r. In 2021 there were 13 employees working for the Department:

Head of the Dept. – Małgorzata Kardaś PhD.

Employees: Agnieszka Fulara MSc, Agnieszka Matysiak MSc, Joanna Lemańska MSc, Małgorzata Kazimierowicz MSc-Eng, Krzysztof Pachocki PhD, Barbara Rubel MSc-Eng, Ewa Starościk PhD, Maria Suplińska PhD, Katarzyna Trzpił, Karol Wiatr MSc, Kamil Wieprzowski MSc, Adam Adamczyk.

Below is a list of main tasks which are obligatory for the Department:

- research and commercial service on the field of radiological hygiene and radiological protection
- monitoring of foodstuff, environment along with fresh waters and sea for natural and anthropogenic radioisotopes with estimation of radiological risk for the public
- development of techniques and methods of determination for radioisotopes
- supervision and organisation of inter-laboratory comparative tests for other units conducting environmental monitoring for the radionuclides
- taking part in proficiency tests and inter-laboratory comparative tests on national and international level in regard of natural and anthropogenic radionuclides

In 2021 the Department has been conducting following monitoring projects:

1. Measurements of radiological contamination in samples of water, sediments and fish from the Baltic Sea
2. Determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr concentrations in foodstuff samples
3. Organisation of inter-laboratory comparative tests for units running national monitoring program for determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr
4. Monitoring of ionizing radiation as a part of the national environment monitoring program. Stage 2: Monitoring of radiological contamination of surface waters and bottom sediments 2019-2021.
5. Nuclear and radiological protection service for the ZUOP facilities in Otwock - Świerk and radiological protection of the National Radioactive Waste Landfill (KSOP) in Różan.

Moreover the Department has been conducting works which were financed by the Ministry of Science and Higher Education:

1. Adaptation of the determination method for ^{226}Ra in water samples via liquid scintillation technique
2. Determination of radioactivity concentrations of ^{232}Th , ^{230}Th and ^{228}Th in bottled mineral and spring waters
3. Determination of the activity concentration of ^{241}Pu in the bottom sediments of the southern Baltic Sea

The Department is a host for accredited Laboratory of Spectral and Radiochemical Analysis which is specialised in determination of gamma-emitters, ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , $^{234,235,238}\text{U}$ in environmental and foodstuff samples and total alfa/beta activity and tritium in water. The accreditation certificate №

AB 1215 currently confirms departments competence in analysis for:

- radioactivity concentration of radioisotopes in foodstuff, fodder, water, soil, wood and bottom sediments samples by gamma spectrometry
- radioactivity concentration of tritium, ^{90}Sr , $^{234,235,238}\text{U}$ and total alfa/beta radioactivity in water samples via radiochemical method
- radioactivity concentration of tritium, $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{238}Pu , 234 , 235 , ^{238}U , in urine samples via radiochemical method
- radioactivity concentration of $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{238}Pu , 234 , 235 , ^{238}U in foodstuff samples via radiochemical method
- radioactivity concentration ^{90}Sr in foodstuff and fodder samples via radiochemical method,
- radioactivity concentration of $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{238}Pu in soil and sediment samples via radiochemical method
- radioactivity concentration of ^{226}Ra – new procedure
- total alfa radioactivity,
- total beta radioactivity.

Over 1800 gamma spectrometry and about 1100 radiochemical analysis have been done this year for national and foreign clients.

Proficiency of the Department has been confirmed by positive results in one national and one international inter-laboratory comparison tests.

1. PAA/IChTJ Comparative measurements in the field of determination of plutonium isotopes: H-3, Ra-226, Am-241 by specialist units conducting measurements of radioactive contamination as part of national radiation monitoring, Warsaw, 2021;

2. PROCORAD Intercomparison 2021: Association for the Promotion of Quality Control in Radiotoxicological Analysis LBM CEA Fontenay-aux-roses Cedex, France.

The Department conducts scientific research and in 2021 following publications and conference posters have been published:

Conference poster:

Divagations on the subject energy.

Krzysztof Pachocki

XXVI Autumn School of Polish Radiation Research Society, Memorial to Maria Skłodowska-Curie, Zakopane, 17-22 of October, 2021

Master thesis

Radiation monitoring of the environment based on the measurement of radioisotopes of ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{40}K in samples of selected plant species.

Małgorzata Kazimierowicz

The Department's equipment:

- two Low Level Beta GM Multicounter System, from Risø, Denmark
- low background detectors with Lucas chambers (coated with ZnS) connected to TD-electronics unit and a computer with ALFA-1 software for Windows. The device measures radon activity in order to calculate radium activity
- six gamma radiation detectors HPGe (Canberra), relative efficiency 33%-50%, for identification and quantification of radioisotopes emitting gamma radiation. All detectors are connected to computers with software GENIE-2000.
- two PIPS detectors with efficiency 32% for identification and quantification of radioisotopes emitting alfa radiation. All

detectors are connected to computers with software GENIE-2000

- alfa-beta spectrometer iSolo (Canberra) with silicon PIPS detector
- low background liquid scintillation counter WALLAC 1410
- liquid scintillation counter Quantulus GCT-6220.

Maintenance of accreditation in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis performing measurements for assessing doses from internal exposure

E. Starościak, A. Fulara, B. Rubel, M. Kardaś, M. Suplińska, A. Matysiak, K. Trzpił, K. Wieprzowski, K. Pachocki, K. Wiatr, J. Lemańska.

Work "Maintenance of accreditation in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis performing measurements for assessing doses from internal exposure" was carried out in the Radiation Hygiene Department of the Central Laboratory for Radiological Protection in 2021, the following subjects were realized:

1. Supervision of the accredited Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis by Polish Centre for Accreditation (PCA) - surveillance audit carried out by the experts of the PCA.

In the Laboratory took place an external audit carried out by experts from Polish Centre for Accreditation on April 16, 2021. During the audit the auditors found one incompatibility and did not record any observations. The Laboratory analyzed the received incompatibility and planned the correction, corrective actions and dealing with its consequences. The auditors accepted the evidence of incompatibility.

During the assessment, the auditors found that the Laboratory is competent to perform tests with all methods covered by the scope of accreditation. The evaluation team gained confidence in the Laboratory's competences, including the fulfillment of the accreditation requirements, and stated that the Laboratory has established, implemented and maintains a management system that allows it to meet the requirements of the PN-EN ISO/IEC 17025: 2018-02 standard.

2. Improving management system in Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis:

Following the PCA recommendation on participation in proficiency testing and interlaboratory comparisons (DA-05) the Laboratory participated in 2021 in one international and one national proficiency testing organized by:

- PROCORAD 2021 Radiotoxicological Intercomparisons, France, whose subject was the determination of the activity concentration of ^{90}Sr in urine sample by procedure QPB 2.
- PAA/ICH TJ: determination of the activity concentrations of ^3H , ^{226}Ra and ^{241}Am in samples of drinking water and sand by procedures QPB 3, QPB 9, QPB 1.

According to the Results validity monitoring plan for 2021 carried out confirmation of repeatability, reproducibility and linearity of methods, checking the correctness of calculations in the Excel, checking the research equipment, addition of an internal standard.

3. Two internal audits: management system and technical area:

According to a Program of audits for the year 2021 two internal audits were conducted in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis. Internal audit No. 1/2021 checking the technical area of management system and internal audit No. 2/2021 concerning general requirements of management system. Internal audits were carried out very carefully.

Auditor not found an incompatibility during the audits. Audits have shown that the Laboratory management system is implemented and continuously improved.

4. Technical supervision and repair of Laboratory research equipment:

In accredited Calibration Laboratories were done calibrations of OHAUS electronic balance and OHAUS analytical balance, liquid thermometer, thermohygrometer, measuring cylinders, mass standards and calibration weights. Periodically checking of Laboratory research equipment and auxiliary equipment were done.

5. Raising the qualifications of the Laboratory employees by participating in external trainings on improving the management system in the research laboratory and trainings in the technical field.

According to the Training Plan 2021 in the Laboratory took place 6 internal trainings. The Laboratory staff also participated in 12 external trainings concerning: validation of results, method validation, uncertainty assessment and organization of proficiency tests.

The work was financed by the Ministry of Climate under contract No. 48 DB/2021 of 04/26/2021.

Determination of activity concentration of ^{232}Th , ^{230}Th and ^{228}Th in bottled mineral and spring waters

Ewa Starościak, Katarzyna Trzpił

The consumption of water is one of the ways passage of radioactive substances to the human body. Council directive 2013/51/EURATOM of 22 October 2013 "Laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption" and Minister of Health regulation of December 7, 2017 "On the quality of water intended for human consumption" (J. of L. 2017. pos. 2294) determine the levels of natural and artificial radionuclides permitted in drinking waters. Detailed requirements to be met by mineral and spring waters also regulates Minister of Health regulation of 31.03.2011 "On natural mineral waters, spring waters and table waters".

The work is a continuation of the subject implemented in 2018-2020. The aim of the study was to determine the activity concentrations of natural isotopes: ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{210}Po and ^{210}Pb in samples of mineral and spring bottled samples from stores in Warsaw, from shots from various regions of Poland. In 2020 the following activity concentration were determined: ^{232}Th , ^{230}Th and ^{228}Th in the 16 samples of water: Buskowińska, Beva IV, Arctik +, Krynka, Muszyńskie Zdroje, Piwniczanka, Kinga Pienińska, Magnesia, Dobrowianka, Nestle,

Żywiec Zdrój, Ustroniana, Wielka Pieniawa, Polonica, Kropla Beskidu and Staropolanka 2000. In 2021 the activity concentration of thorium isotopes were determined in the next 16 mineral and spring waters: Jurajska, Nałęczowianka, Aleksandria, Cechini, Primavera, Cisowianka, Mazowszanka, Muszynianka, Muszyna, Auchan, Rodowita, Akvile, Mama i ja, Święcicki Zdrój, Veroni, Ostromecko.

The activity concentration of ^{232}Th for the two tested samples were above the limit of detection ($0,4 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$): $0,42 \pm 0,09 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water Krynka and $0,85 \pm 0,14 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water Piwniczanka.

In the case of ^{230}Th concentration range is from $0,40 \pm 0,12 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water Muszynianka to $2,50 \pm 0,33 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for Nestle water. For the 8 tested waters, the activity concentration were below the limit of detection.

Activity concentration of ^{228}Th in 12 samples were above the limit of detection and ranged from $0,40 \pm 0,10 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water Magnesia to $4,60 \pm 0,43 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water Piwniczanka.

The resulting activity concentrations of thorium isotopes in all 32 water samples are shown in Figure 1.

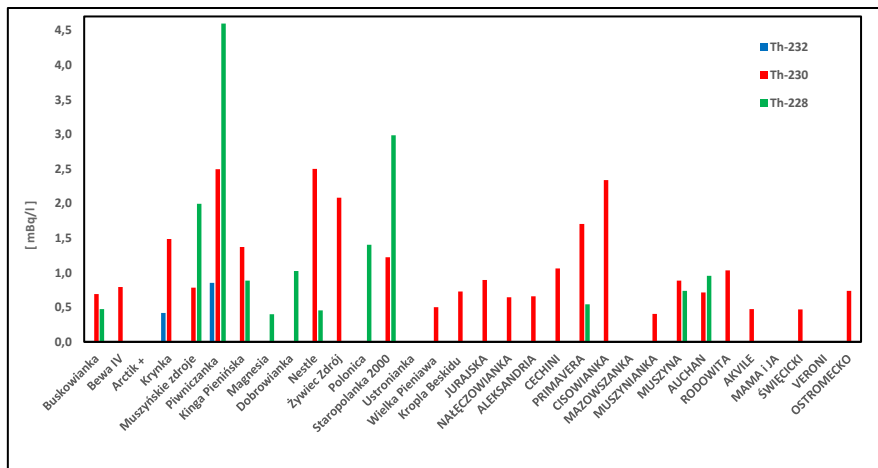


Fig. 1. Activity concentration of ²³²Th, ²³⁰Th and ²²⁸Th

The research extended the knowledge on the levels of exposure of the Polish population to the absorption of the tested radionuclides.

The subject was financed by the Ministry of Science and Higher Education.

Determination of the activity concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in meals samples in 2021

B. Rubel, M. Kardaś, K. Pachocki, A. Matysiak, M. Suplińska, M. Kazimierowicz

Radioactivity in foodstuffs is an important indicator of the transfer of radionuclides from the environment to man. We can express the radioactivity content of foodstuffs per unit weight or to estimate the ingestion activity per day per person.

This paper presents results of dose assessment based on ingestion of prepared complete meals from Warsaw. Dose assessment had been done due to intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

Samples of complete meals were collected from canteen through 5 days in June in 2021 according to prepare earlier instruction. The meals were analyzed separately for each day. Meals were dried and mineralized in laboratory oven to obtained grey ash, which was a sample for determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

Two method were applied to determine activity of ^{137}Cs in meals: (1) spectrometric (spectrometer Canberra with HPGe detectors and Genie 2000 software), mix gamma sources in energy range $50 \div 1836$ keV were used to calibration.

(2) radiochemical method (sorption on AMP bed).

Activity of ^{90}Sr was determined from beta radiation of ^{90}Y , after equilibrium $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ was reached [1]. The activity of ^{90}Y was measured using Low Level GM Multicounter system (production Risoe, Denmark).

Range of content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diets was respectively: $0.08 \div 0.44$ Bq·d⁻¹ and $0.027 \div 0.034$ Bq·d⁻¹.

The differences in ^{137}Cs in daily meals are attributed to the variation in the ^{137}Cs activity in food products

used to prepare meals and mass of meals. The concentration of ^{90}Sr in meals was on the similar level. Small differences was mainly due to mass of daily diet. The content of these isotopes in Polish meals do not differ significantly compared to activity of meals in other countries. The average content of ^{137}Cs in daily diet in Finland in 2020 was in range $0.13 \div 1.7$ Bq·d⁻¹ depends on region. Content of ^{90}Sr was in range $0.24 \div 0.37$ Bq·week⁻¹ [2]. Content of ^{137}Cs in Portugal diet was on level below 0.13 Bq·d⁻¹ and ^{90}Sr below 0.076 Bq·d⁻¹ [3].

Due to differences in the weight of daily meals, the activity concentration of analyzed isotopes were also presented per kilogram. Average activity, concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in meals is respectively 0.11 Bq·kg⁻¹ and 0.012 Bq·kg⁻¹.

Based on concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diet annual intake and effective dose were assessed. The doses were respectively: 1,3 and 0.3 μSv .

Dose received by Warsaw population in 2006-2021 is presented on Fig.1.

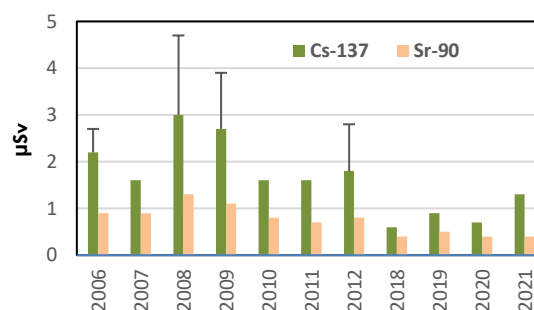


Fig.1. Dose received by Warsaw inhabitants in 2006-2021

Based on the data obtained it can be concluded that the annual effective dose related to ^{137}Cs and ^{90}Sr received via food ingestion by Polish population is on a very low level. This is less than 1% of the permissible dose of 1 mSv.

Contract: National Atomic Agency
no 59/2021/CEZAR/153 z dnia 13.10.2021 r.

Literature

1. Metodyki stosowane w pracach związanych z monitoringiem środowiska i żywności CLOR, Warszawa, listopad 2015.
2. Aleksis Mattila, Samu Inkinen et al., Environmental Radiation Monitoring in Finland, Annual Report 2020. Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK-B-268/KESAKUU 2021, ISBN 978-952-309-506-9
3. Maria Jose Madruga et al, Programas de Monitorizacao Radiologica Ambiental (Ano 2019), RelatorioLPSR-A, No 48/2020

Comparative measurements regarding ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope determination by basic units performing radioactive contamination measurements within the framework of radiation monitoring of the country

B.Rubel, M.Kardaś, K.Pachocki, K.Wiatr, K.Trzpił

The project aimed at comparative measurements of ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope content in samples of control material with pre-determined amount of these isotopes. The study was carried out by basic units responsible for monitoring and measurements of local radioactive contamination in Poland.

Tap water to determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr spiked with ^{137}Cs and ^{90}Sr were used as a control material (required activity concentration of ^{137}Cs : $0,1 \div 5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and ^{90}Sr : $0,06 \div 5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$).

Spectrometric method was applied to determination of ^{137}Cs . Calibration of gamma spectrometers (Canberra spectrometer with HPGe detectors and Genie 2000 software) was checked using multi-isotopic calibration sources. Radiochemical method to ^{90}Sr determination was applied. Calibration of Low Level GM Multicounter System used to ^{90}Sr determination was checked using certificated solution of ^{90}Sr . The accuracy of calibration was confirmed in domestic intercomparison organized by IChTJ/PAA and international organized by Procorad. The results obtained met all the requirements of the organizer.

To prepare the samples of control materials, the tap water samples were taken in Central Laboratory for Radiological Protection. Samples were spiked with isotopes of ^{137}Cs and ^{90}Sr (separately). The activity concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in water and spiked water were determined. Also homogeneity

of samples was checked. The results showed, that the reference material is homogenous and the activity concentration of ^{137}Cs was $4,31 \pm 0,26 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and ^{90}Sr : $2,70 \pm 0,24 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ in water samples and is consistent with requirements.

In the final stage 25 samples of tap water to determination ^{137}Cs and 4 samples to determination ^{90}Sr had been prepared. Each sample of reference materials was accompanied with blank forms to be filled out with data regarding the laboratory location, staff doing the analysis, method(s) of measurement and apparatus type.

Results of measurements of activity concentration of ^{137}Cs in the control samples were received from 25 units. The only spectrometric method was used by 15 units, only radiochemical determination was performed by 3 units, and 7 units used both methods to determine activity concentration of ^{137}Cs in tap water samples.

The submitted measurement results were recorded, compared to reference values and analysis was performed. The activity concentration of ^{137}Cs was in range $3,76 \div 4,79 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ in spectrometric methods and $3,85 \pm 5,08 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ in radiochemical method.

The results from the methods used in the determination of ^{137}Cs were analyzed separately. The differences in the reported values with respect to the reference value varied from -14.8% to +11.1% in spectrometric method, and from

-10.7% to +17.9% with the radiochemical approach. All submitted results were within $\pm 25\%$ of the reference value. Also parameter "z" was determined. Its value $|z| \leq 2$ was observed for 31 results (22 results from spectrometric and 9 from radiochemical analyses), which means that the result does not significantly differ from the reference value. Moreover, one result in radiochemical method and one in spectrometric method were in range $2 \leq |z| \leq 3$. Determined zeta index in all cases was below 2. Thus proving that the laboratories took into account all significant sources of uncertainty. The parameter E_n was also evaluated. All results were below 1, which means satisfactory results. Correctness and precision were assessed. The result was accepted if it met both criteria. The evaluation shows that 25 results have both criteria.

Results of measurements of activity concentration of ^{90}Sr in the control samples were received from 4 units. The submitted results ranged from $2.07 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ to $3.75 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$. Because of the small number of results, the z parameter was not determined. The differences in the values of the determinations in relation to the reference value ranged from - 38,9% to -9.3%. For one results parameter E_n was above 1.

Contract National Atomic Agency
no. 37/2021/CEZAR/103, issue on July, 12th, 2021

Literature

1. PN-EN ISO/IEC 17043 Ocena zgodności – Ogólne wymagania dotyczące badania biegłości.
2. EA-04/16 (European co-operation for accreditation). Wytyczne EA dotyczące wyrażania niepewności w badaniach ilościowych, 2004.
3. Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements. IAEA-TECDOC-1401, July 2004.
4. W.Hyk, Z.Stojek: Analiza statystyczna w laboratorium analitycznym. Komitet Chemii Analitycznej PAN, Warszawa, 2000

Monitoring and radiological protection of the Radioactive Waste Management Plant (Otwock-Świerk)

A. Fulara – Department of Radiation Hygiene (Z-I)

K. Isajenko, B. Piotrowska – Dosimetry Department (Z-II)

M. Norenberg, Z. Pawłowska – Department of Individual Monitoring and Calibration (Z-III)

In 2021, the Central Laboratory for Radiological Protection performed a service on nuclear safety and radiological protection of the facilities of the Radioactive Waste Management Plant in Otwock-Świerk and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository in Różan.

As part of the contract, the following works were performed:

Part III - Calibration of dosimetric equipment

Part IV - Monitoring and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository area and

Part V - Monitoring and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository environment

The works was carried out by three departments:

- Department of Radiation Hygiene (Z-I)
- Dosimetry Department (Z-II)
- Department of Individual Monitoring and Calibration (Z-III)

Part III - Calibration of dosimetric equipment

As part of the contract, the following works were performed:

- Calibration of instruments for dose rate measurement,
- Calibration of instruments for measuring radioactive contamination,
- Calibration of instruments for measuring radioactive contamination and dose rate,

- Calibration of individual dosimeters with direct reading,
- Calibration of the neutron probe.



Fig. 1 a) Gamma calibration station,



Fig 1 b) Neutron calibration station

Part IV - Monitoring and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository area

As part of the contract, the following works were performed:

- measurements of radioactive substances in tap water for total beta and tritium activity - collection site: point FR, (Activity 1)

- measurements of the content of radioactive substances in the groundwater for the total activity of beta and tritium - place of collection: 8 piezometers, (Activity 2)
- measurements of radioactive substances content by laboratory gamma spectrometric measurement in grass - collection sites: R706, R707, R709, R711, R712 (Activity 3)
- measurements of radioactive substances content by laboratory gamma spectrometric measurement in soil - collection sites: G706, G707, G709, G711, G712 (Activity 4)
- measurements of the content of radioactive substances in atmospheric aerosols (spectrometric measurement of filters) - place of collection: station A104A (Activity 5)
- measurement of the dose absorbed from the background of ionizing radiation (Activity 6)
- checking the tightness of tritium waste containers. Measurement sites: room 11 in facility 1 and the place of storage of tritium waste containers (Activity 7)
- measurements of the radon content. Place of collection: facility No. 1, chambers K-4, K-5, K-6, K-6a, K-12 (Activity 8)
- measurement of radon using the method using particle track detectors, place of sampling: object number 1 (Activity 9)
- measurement of radon by the method using particle track detectors, place of sampling: object number 4 (Activity 10)
- measurements of the derivatives content in the air:
 - ^{220}Rn , ^{222}Rn (Activity 11.1)
 - total alpha radioactivity (Activity 11.2)
 - total beta radioactivity (Activity 11.3)
 - gamma spectrometry (Activity 11.4)
- measuring radon content (Activity 12):

- measurement from a distance of 10 meters from the facility No. 1
- measurement at the facility No. 4

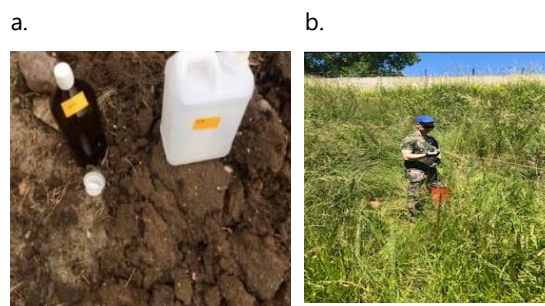


Fig. 2. Water intake a) Containers for water sampling. b) Taking a water sample from the piezometer

Part V - Monitoring and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository environment

As part of the contract, the following works were performed:

- measurements of the content of radioactive substances in water samples from the Narew River. Outlets: W701, W702, W703. (Activity 1)
- measurements of the content of radioactive substances in groundwater (piezometers). Sampling points: 1pN, F2N, F5N, 2pN, 3pN, 8p, 15p, 19p, 20p, 23pN, 24pN, 95p, F1, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19. (Activity 2)
- measurements of the content of radioactive substances in water. Collection points: G1, G2. (Activity 3)
- measurements of the content of radioactive substances in spring waters. Collection points: ŽR1, ŽR2. (Activity 4)
- measurement of radioactive substances content by laboratory gamma spectrometric measurement in soil. Sampling points: G701, G702, G703, G704, G705, G708, G710. (7 seats). (Activity 5)
- measurement of radioactive substances content by laboratory gamma spectrometric measurement in: grass. Outlets: R701, R702,

R703, R704, R705, R708, R710. (7 seats). (Activity 6)

- measurement of the dose absorbed from the background of ionizing radiation (Activity 7)
- measurements of the total tritium activity content in tap water - place of collection: municipal intake for the commune of Rózan MR, (Activity 8)

The work was carried out in accordance with Agreement No. 3 / ZUOP / 2021 dated of January 11, 2021, concluded between the Radioactive Waste Management and the Central Laboratory for Radiological Protection. The contracting authority did not agree to share the obtained test results.



Fig. 3 Display of TLD dosimeters

Development of a method for the determination of ^{226}Ra and ^{228}Ra in water by liquid scintillation spectrometry

A. Matysiak, K. Wieprzowski

Radium is one of known radioactive elements, that can be found in the natural environment. We can distinguished more than 30 isotopes. However, most of them are unstable. The most stable radionuclides are ^{226}Ra , the emitter of α and γ radiation. It occurs in the radioactive uranium-radium series, and its half-life is 1600 years. In turn, we find ^{228}Ra in the Torah series, its half-life is 5.76 years and it emits β radiation. These isotopes are present in the earth's crust, water, atmospheric air, soil and living organisms. When ingested through the alimentary tract, it poses a particular threat to humans.

On 27 November in Poland came into force Regulation of Minister of Health of 13 November 2015 on the quality of water intended for human consumption in order to control the consumption of radionuclides contained in water. The acceptable content of ^{226}Ra and ^{228}Ra are specified. Determination of concentration activity of these isotopes is time-consuming, which limits the possibility for more samples to be analyzed in the same amount of time.

The sample preparation was mainly based on two available procedures:

- A Procedure for the Rapid Determination of ^{226}Ra and ^{228}Ra in Drinking Water by Liquid Scintillation Counting, IAEA, 2014
- ISO 22908:2020 Water quality — Radium 226 and Radium 228 — Test method using liquid scintillation counting.

In the first stage of the work carried out, it was necessary to determine the optimal discrimination factor (PSA) for separation of α and β radiation. For this purpose, the use of pure α and β emitter standards was required. In this case ^{241}Am and ^{90}Sr , were added respectively to two previously prepared blank samples.

Quantulus GCT 6220 enables automatic determination of the discrimination point, which was later used to prepare the measurement protocol.

The second part included: determination of the time needed to establish equilibrium, determination of the total counting efficiency, overall efficiencies in quality control samples and chemical recovery. The tests were performed with the use of ^{226}Ra and ^{228}Ra standards.

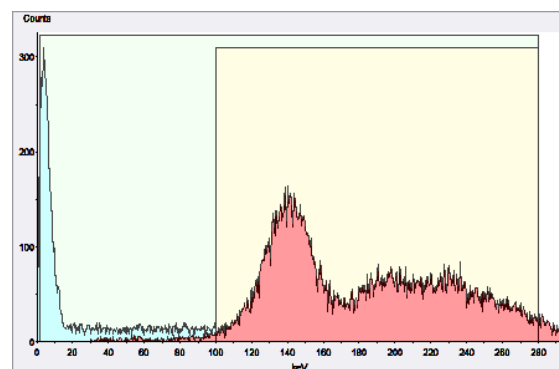


Figure 1. Spectrum of mix sample with ^{226}Ra and ^{228}Ra

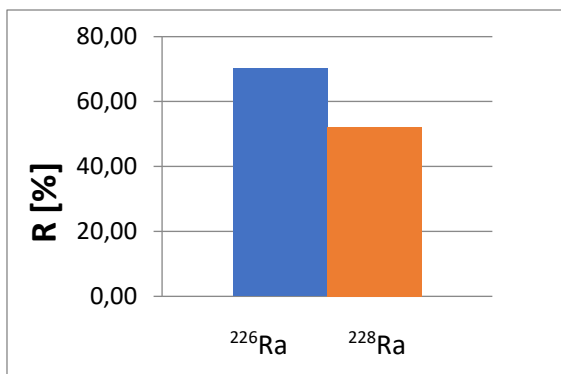


Figure 2. Chemical Recovery

Based on the results, it can be concluded that the equilibrium state is achieved after 21 days. Table 1 presents the results of the determined measuring efficiency.

Table 1. Results

	^{226}Ra	^{228}Ra
ϵ	1.15	1.52
ϵ^c	0.661	0.794
R	52-70%	

Designation of symbols:

ϵ – counting efficiencies

ϵ^c – overall efficiencies in quality control sample

R – chemical recovery

Much higher yields were obtained in the case of ^{228}Ra , however, this may be due to suboptimal PSA point determination. Discrepancy between performance for a sample spiked with the standard and the control sample is too large. As a result, the recovery for this isotope is within 52%. In the case of ^{226}Ra , the yields obtained are lower. However, for most samples, the recovery was in the range of 70%.

After optimizing the PSA discrimination point, validation of the test procedure will be performed, which should include: linear response range, repeatability, reproducibility, determination of detection limit, estimation of measurement uncertainty and test method bias.

Work financed by Ministry of Science and Higher Education

Measurements of radioactive contaminations in samples of water, bottom sediments, and fish in the framework of the monitoring of radioactive contamination of the Baltic Sea

M. Suplińska, A. Fulara, M. Kardaś, A. Matysiak, K. Pachocki, B. Rubel, K. Wiatr

Research includes determination of radioactive contaminations in the marine environment - southern Baltic Sea in 2021 year. The work carried out at CLOR is a part of the monitoring performed by all the Baltic countries, coordinated by the Helsinki Commission. The data on radioactive contamination are submitted to the Data Bank of Helsinki Commission.

In the first stage of work, determinations of ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra in fish samples were performed. Samples of cod, sprat, herring, and plaice came from the Gdansk Basin and the Bornholm Basin. The determinations were carried out in the fish fillets, with exception of sprat which analyzed whole fish without a head. Determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed by gamma spectrometry, and ^{226}Ra – by emanation method.

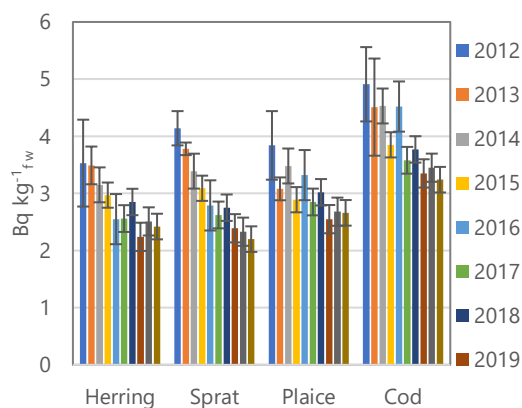


Fig 1. The concentrations of ^{137}Cs in Baltic fish, 2012-2021

In four fish species analysed each year, the highest average activity concentration of ^{137}Cs was found in cod – $3.34 \pm 0.27\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{fw}}$, and the lowest in sprat

– $2.20 \pm 0,30 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$. The average ^{137}Cs concentration calculated for the four species in 2021 was $2.65 \pm 0.50 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$. Activity concentration of ^{137}Cs in each kind of the Baltic Sea fish has decreased in years, although significant changes are visible over longer periods [1]. Concentrations of ^{137}Cs in Baltic Sea fish in years 2012-2021 are presented in figure 1.

Activity concentrations of ^{226}Ra were more varied than ^{137}Cs , the highest value was specified in cod – $0.084 \pm 0.008 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$, the lowest in herring – $0.024\pm 0.002 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$. Activity concentrations of ^{40}K ranged from $98 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$ to $125 \text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$ and as in the case of ^{226}Ra were stable during long-term research.

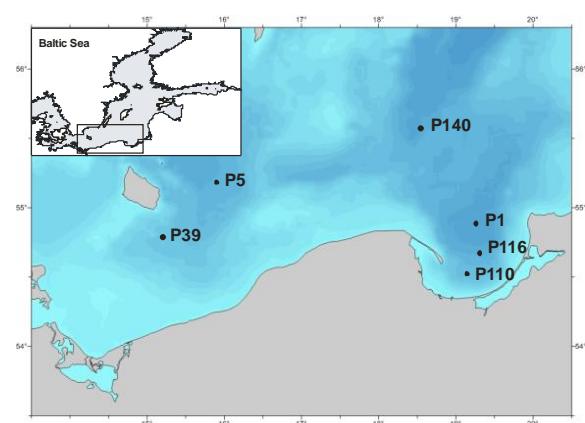


Figure 2. Bottom sediment and water sampling stations

Water samples and sediment core samples were taken during the cruise carried out by the IMWM- PIB, in permanently selected six sampling stations, (Figure 2).

Determinations of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra and ^3H in water were performed in surface and near bottom layers. In the bottom sediment samples determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed in stratified core samples from all six locations. Determination of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ were done like each year in two of them (six in three-year period). Strontium-90 was performed in the pooled samples for each sampling station.

Determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed by gamma spectrometry, Plutonium isotopes were determined by radiochemical method and alpha spectrometry measurement, ^{226}Ra – by emanation method and ^{90}Sr was performed using radiochemical method and measurement of ^{90}Y activity concentration after establishing the radioactive equilibration of ^{90}Sr - ^{90}Y .

Tritium was determined by the method based on electrolytic quantitative enrichment of ^3H in samples, distillation of concentrates and measurement of their radioactivity using a liquid scintillation spectrometer.

The average concentrations of ^{137}Cs in surface and nearbottom waters were $17.1 \pm 1.7 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ and $16.2 \pm 1,7 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. The ^{40}K radioactive concentration in surface waters varied in the range of $2474 \div 2924 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. In the near bottom waters, concentrations of ^{40}K were higher and increased with salinity, covering the range of $3368 \div 5869 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. The average ^{226}Ra concentrations in surface and near bottom waters were $2.48 \pm 0.30 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ and $4.00 \pm 1.16 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively.

Determinations of tritium were carried out in pooled samples of surface and near bottom waters. Activity concentrations of ^3H were $2.4 \pm 0.4 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ and $2.1 \pm 0.3 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Concentrations of

^3H in the southern Baltic Sea water are consistent with concentrations characteristic for the entire Baltic Sea area [2].

In bottom sediments higher activity concentrations of ^{137}Cs were observed in the upper sediment layers. The same as in previous years differences in the concentrations related to the location were observed, [3].

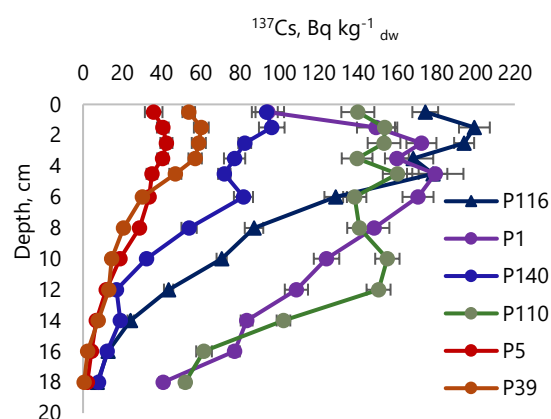


Figure 3. Concentrations of ^{137}Cs in bottom sediments, 2021

The highest concentrations of ^{137}Cs , observed in Gdansk Basin (P 110, P 116, P 1) were in range $(160 \div 199) \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$, while in Bornholm Basin (P 5, P 39) they were $42.5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ and $60.3 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$, respectively. In all locations, concentrations of ^{137}Cs decrease along the sediment profiles (Figure 3).

Determination of plutonium in bottom sediments at six sampling stations are carried out every three years. In 2021 plutonium determinations were performed in Gotland Basin (P 140) and Bornholm Deep (P 5). In P 140 sediment profile, maximum activity concentration of $^{239,240}\text{Pu}$ – $1.67 \pm 0.07 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ was observed in the 4-5 cm layer and then it decreased successive. At P 5 the highest concentration of $^{239,240}\text{Pu}$ $1.41 \pm 0.05 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ was determined in 5-7 cm layer and decreased to

0.03 ± 0.01 Bq·kg⁻¹_{dw} in the lowest layer (Figure 4). Activity concentrations of ²³⁸Pu in P 140 were in the range (0.011 ÷ 0.063) Bq·kg⁻¹_{dw} and in P 5 in range (<0.002 ÷ 0.034) Bq·kg⁻¹_{dw}. The rate of ²³⁸Pu to ^{239,240}Pu in both locations was in range of 0.02 ÷ 0.04, being similar to that, determined for the fallout from nuclear weapons tests.

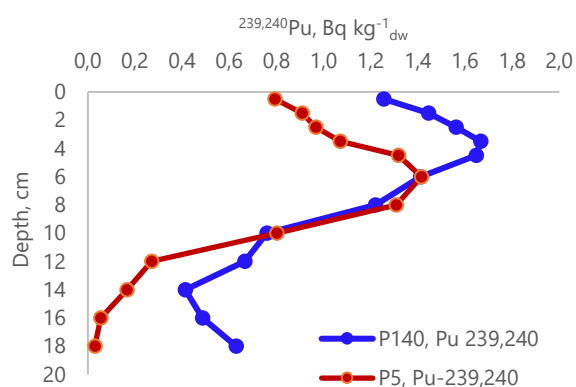


Figure 4. ^{239,240}Pu concentrations in bottom sediments, 2021

Activity concentrations of ⁹⁰Sr in bottom sediments (performed in samples for 0-19 cm layer) were aligned in southern Baltic Sea being in range of (3.81 ÷ 4.46) Bq·kg⁻¹_{dw} comparable to those determined in the years 2017-2020.

References:

1. Aust M-O., Suplińska M., Zalewska T. (2018) Radionuclides in biota. In: Thematic Assessment of Radioactive Substances in the Baltic Sea, 2011-2015, BSEP 151. HELCOM 2018
2. Schmied S., Zalewska T., Jakobson E. (2018) Radionuclides in seawater. In: Thematic Assessment of Radioactive Substances in the Baltic Sea, 2011-2015, BSEP 151. HELCOM 2018
3. Zalewska T., Suplińska M. (2013), Anthropogenic radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in southern Baltic Sea ecosystem., *Oceanologia*, 55 (3) 1-33

This work was carried out in accordance with the agreement with the State Atomic Agency No. 12/OR/2020/133.

Determination of ^{241}Pu radioactive concentration in the sediment from the southern Baltic Sea. ^{241}Pu – progress in procedure adaptation

K. Wiatr, M. Suplińska

The aim of this work is introduction of the procedure for ^{241}Pu determination in environmental samples, mainly sea bottom sediments from the southern Baltic Sea. The procedure is based on β -emitting ^{241}Pu recovery from steel discs which are used for determination of α -emitting Pu radionuclides.

Figure 1 illustrate the flow chart of the procedure, which can be divided into three main steps: Pu dissolution in acid, Pu extraction with trioctylphosphine oxide (TOPO) and addition of the organic phase to the scintillation cocktail. Then measurement by liquid scintillation counting (LSC) gives activity of β -emitting ^{241}Pu and summary activity of α -emitting Pu radionuclides. Steel discs with electrodeposited Pu are prepared earlier with accredited procedure – QPB4.

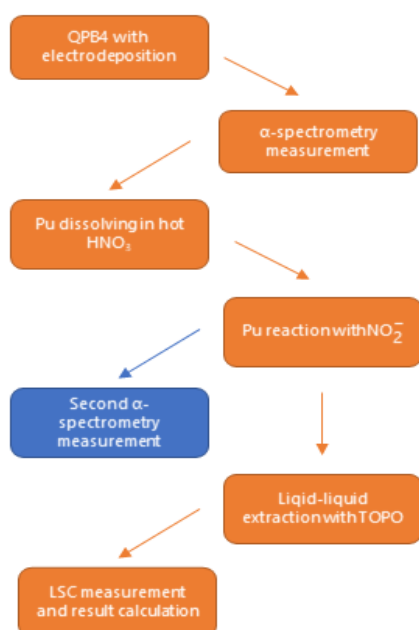


Fig. 1. Flow chart of the procedure

During calibration of the Quantulus 6220 it was necessary to properly determine energy ranges within which activity of α -emitting Pu radionuclides is measured. To determine lower end of this range ^{242}Pu ($E_{\alpha} = 4984,5$ keV) was used as a marker and for higher end ^{241}Am ($E_{\alpha} = 5578,3$ keV). From all of Pu radionuclides ^{242}Pu has the lowest radiation energy and is used as a tracer in determination of α -emitting Pu therefore should be used as such marker. The highest energy belongs to ^{238}Pu ($E_{\alpha} = 5593,2$ keV), however its standard is unavailable therefore ^{241}Am was used as a replacement. Accurate activity of α -emitting Pu radionuclides in LSC and α -spectrometry measurements are required in order to calculate ^{241}Pu extraction efficiency. Energy range for ^{241}Pu was established with standard solution containing this radionuclide. Further "Automatic Efficiency Correction" (AEC) option in Quatnulus 6220 software was enabled. This allows the detector to adjust position of measurement ranges to strength of scintillation quench for each individual sample.

For determination of counting efficiency of ^{241}Pu a quench curve was drawn. At first ^3H ($E_{\beta\text{max}} = 18,6$ keV) solution was used as a standard because it has similar radiation energy to ^{241}Pu ($E_{\beta\text{max}} = 20,8$ keV). This approach is often used and described in the literature [1–3]. However ^3H based quench curve led to overestimation of the counting efficiency. It was caused by relatively high amount of aqueous ^3H solution (1 ml) required to obtain sufficient activity. Such calibration standards differ from solutions prepared

in the procedure because latter ones do not contain water at all. New quench curve was drawn based on recently bought ^{241}Pu standard solution. This allowed to add smaller amounts of aqueous ^{241}Pu solution (0.05 ml). In result new quench curve is more reliable. Both curves are compared in figure 2. As a quench measure "transformed Spectral Index of the External Standard" (tSIE) was used. It is important to stress that use of ^3H as standard in ^{241}Pu determination is acceptable for detector calibration but it prohibits testing of preceding steps of the procedure.

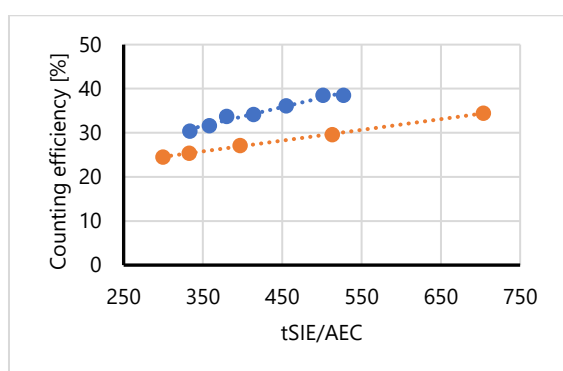


Fig. 2. Comparison of the quench curves (blue – ^3H , orange – ^{241}Pu)

Despite solving the problems described above obtained results were divergent. Whole determination process was compared to procedure described in the literature [3]. It was concluded that currently used electrodeposition technique, which uses H_2SO_4 , is unsuitable for ^{241}Pu determination. During electrodeposition on the surface of steel disc forms a sparingly soluble precipitate which restricts Pu extraction. To counter this problem test with electrodeposition technique described in the literature [3] and test with dissolution of the deposit will be conducted.

Literature

1. Xu Y, Qiao J, Hou X, et al (2014) Determination of plutonium isotopes (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu) in environmental samples using radiochemical separation combined with radiometric and mass spectrometric measurements. *Talanta* 119:590–595. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.11.061>
2. Ikäheimonen TK (2000) Measurement of ^{241}Pu in environmental samples. *J Radioanal Nucl Chem* 243:535–541. <https://doi.org/10.1023/A:1016023524695>
3. Komosa A (2003) Fizykochemiczne problemy oznaczania i zachowanie się izotopów plutonu w środowisku z uwzględnieniem beta - promieniotwórczego ^{241}Pu . Maria Curie-Skłodowska University

Work funded by Ministry of Education and Science

Monitoring of radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2021-2022

M. Kardaś, M. Suplińska, B. Rubel, A. Matysiak, J. Lemańska, A. Fulara, K. Wiatr, K. Pachocki, E. Starościak, K. Wojtkowski

In the frame of monitoring of radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in year 2018, samples of water and bottom sediment were collected twice a year (in spring and autumn) in 18 sampling points. These sampling points were located along the Vistula river (7 sampling points), and along the Odra river (5 sampling points). Six sampling points were located in the selected Polish lakes.



Fig. 1. Location of sampling points.

^{137}Cs and ^{90}Sr in water and plutonium in bottom sediments were determined by radiochemical methods. ^{137}Cs in bottom sediments was determined using gamma spectrometry.

For an overall assessment of the radiological situation in the Polish inland waters the averages values of activity concentrations of analyzed radionuclides are compared. The unambiguous evaluation and comparison of particular data regarding determinations of water and bottom sediments obtained in spring and autumn, causes some difficulties. They result mainly from

the different atmospheric conditions under which the sampling was carried out.

The average activity concentrations of ^{137}Cs in water from basins of the Vistula River, Odra River and from Polish lakes were similar and was respectively: 2,81 mBq l⁻¹, 3,10 mBq l⁻¹, 2,96 mBq l⁻¹. The average activity concentrations of ^{90}Sr ranged from 2,51 mBq l⁻¹ for Odra river basin – 3,67 mBq l⁻¹ for.

In bottom sediments of rivers and lakes, large variations in the activity concentrations of ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ were observed. The largest difference was observed for Odra river basin. The smallest differences in concentrations of these isotopes were observed in the bottom sediments for lakes.

The average activity concentrations of ^{137}Cs in bottom sediments were varied also: the lowest was observed in the basin of the Odra (2,12 Bq kg⁻¹), and the highest for lakes (2,84 Bq kg⁻¹).

In case of plutonium, its annual average activity concentrations in bottom sediments were similar for Vistula river basin and Odra river basin amounted to 18,08 mBq kg⁻¹ for the basin of Vistula River, 18,40 mBq kg⁻¹ for basin Odra River, and significantly lower for lakes – 9,11 mBq kg⁻¹.

Both, the annual average concentrations of analysed radionuclides and the data obtained for single determinations for water and sediment

samples do not differ from data obtained in previous years.

CONCLUSIONS

Monitoring of radioactive contamination of surface waters and sediments leads to the conclusion that ^{137}Cs and ^{90}Sr contamination of surface waters is low. Also, the concentration of radioactive ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in bottom sediments of rivers and lakes remains on low level.

Our determinations confirm that there were no new releases of radioactive isotopes into the environment.

The work done on request of the National Fund for Environmental Protection

Dosimetry Department

Information on the activities of the Dosimetry Department in 2021

K. Isajenko

In 2021 at the Dosimetry Department worked 6 people: M.Sc. Eng. Krzysztof Isajenko (Head of the Department), M.Sc. Barbara Piotrowska (informal function of the Deputy Head of the Department) and M.Sc. Eng. Karol Wojtkowski, M.Sc. Olga Stawarz, Anita Kiełbasińska and Marcin Kozdój.

Four employees of the Dosimetry Department have higher education in physics (or related). Three employees have been employed for more than 25 years of work experience in the field of gamma radiation spectrometry.

The Natural Radioactivity Measurement Laboratory (LPPN) operates within the structure of the Dosimetry Department, which is accredited (No. AB 1108) for the measurement of natural radioactivity in raw and building materials. Accreditation was granted on November 19, 2009. The head of LPPN is M.Sc. Eng. Krzysztof Isajenko, the role of the Quality Manager is performed by M.Sc. Olga Stawarz, and the technical manager is M.Sc. Barbara Piotrowska. The laboratory has one accredited procedure

Works performed in the Dosimetry Department

As part of the statutory activity (financed by the Ministry of Science and Higher Education), the following topics were conducted in the Department of Dosimetry in 2021:

- *Analysis and Evaluation of the Radioactivity of Raw and Building Materials Used in Poland*

in years 1980-2021 – topic manager: Barbara Piotrowska

- *Analysis of the radiation situation in the Narwianski National Park (NPN) based on the study of soil samples* – topic manager: Karol Wojtkowski
- *Assessment of the radiation situation in the Świętokrzyski National Park area based on the measurements of the flora samples* – topic manager: **Olga Stawarz**

In addition, the works were carried out at the Dosimetry Department at the request of the President of the National Atomic Energy Agency:

- *Assessment of effective dose for residents of Poland from inhalation of atmospheric aerosols – network of ASS-500 stations* – topic manager: Krzysztof Isajenko
- *The estimate of the situation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan and around National Centre for Nuclear Research in Świerk* – topic manager: Barbara Piotrowska
- *Organizing and conducting comparative measurements of the content of natural radioactive isotopes in raw and building materials for institutions providing such measurements* – topic manager: Karol Wojtkowski (Olga Stawarz)

The Dosimetry Department also conducted works commissioned by the Chief Inspectorate

for Environmental Protection (financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management):

- *Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring in 2018-2020.*

TASK 3: Monitoring of cesium-137 concentration in soil – topic manager: Krzysztof Isajenko (end of the third, and last part of work)

- *Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring in 2020-2022.*

TASK 3: Monitoring of cesium-137 concentration in soil – topic manager: Krzysztof Isajenko (end of the second part of work)

In 2021, the Dosimetry Department also conducted works financed by the Ministry of Climate (currently the Ministry of Climate and Environment):

- *Development of the quality assurance system in accredited Natural Radioactivity Measurements Laboratory in the scope of radium Ra-226, thorium Th-228 and potassium K-40 reference standard maintenance* – topic manager: Olga Stawarz
- The investment entitled: *“Modernization of the early warning network on air contamination in Poland – performing of two new ASS-500 stations powered with single-phase voltage. Installation and commissioning of new stations in two locations in Poland (Katowice, Łódź)”* – topic manager: Krzysztof Isajenko

Also after winning the auction in 2021, the Dosimetry Department carried out work

on behalf of the Radioactive Waste Management Plant:

- *Monitoring and radiological protection of the Radioactive Waste Management Plant (location: Otwock – Świerk)* – topic manager on behalf Z-II: Barbara Piotrowska
- *Monitoring and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository (NRWR) in Różan* – topic manager on behalf Z-II: Barbara Piotrowska
- *Monitoring and radiological protection around of the NRWR in Różan* – topic manager on behalf Z-II: Barbara Piotrowska

All three topics were conducted under one agreement concluded between CLOR and ZUOP entitled *“Nuclear safety and radiological protection of the RWMP facilities in Otwock-Świerk and radiological protection of the National Radioactive Waste Repository in Różan”* – The coordinator of these topics carried out in three Departments at CLOR in 2021 was the Radiation Hygiene Department (Agnieszka Fulara).

As for the other (more important) work carried out at the Dosimetry Department, it can be mentioned here:

- *Assessment of radioactivity of natural ash-slag mixture from hard coal combustion in heating boilers of Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. in Włocławek* – topic manager: Barbara Piotrowska

The topic was commissioned by Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej in Włocławek

- *Monitoring of noble gases in Warsaw and Świerk* – topic manager: Karol Wojtkowski

Own topic of the Dosimetry Department conducted with the use of equipment (noble gas collection station) borrowed by BfS Freiburg (Germany)

- Made the ASS-500 station for Bosnia and Herzegovina to order by the IAEA.

As part of the work carried out in the Dosimetry Department and on the basis of the results obtained, the Department has produced several publications and important studies, namely:

- The article entitled: *"Europe-Wide Atmospheric Radionuclide Dispersion by Unprecedented Wildfires in the Chernobyl Exclusion Zone, April 2020"* - Olivier Masson, Oleksandr Romanenko, Olivier Saunier, Serhii Kirieiev, Valentin Protsak, Gennady Laptev, Oleg Voitsekhovych, Vanessa Durand, Frédéric Coppin, Georg Steinhäuser, Anne de Vismes Ott, Philippe Renaud, Damien Didier, Béatrice Boulet, Maxime Morin, Miroslav Hýža, Johan Camps, Olga Belyaeva, Axel Dalheimer, Konstantinos Eleftheriadis, Catalina Gascó-Leonarte, Alexandra Ioannidou, Krzysztof Isajenko etc.; *Environmental Science & Technology* 2021, 55, p. 13834-13848; <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03314>; Date of publication 29.09.2021 r.
- The article entitled: *"Analiza stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w cementach (Analysis of the natural radioisotopes in cements)"* - Drzymała Tomasz, Łukaszek-Chmielewska Aneta, Lewicka Sylwia, Piotrowska Barbara; *Cement Producers Association, Kraków 2021, ISBN 978-83-61331-28-5, Monografie Technologii Betonu, "Concrete Days" XI conference, Wisła, October 11-13, 2021*

- The study entitled: *Assessment of radioactivity of natural ash-slag mixture from hard coal combustion in heating boilers of Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. in Włocławek* - B. Piotrowska, K. Isajenko, I. Kwiatkowska, O. Stawarz, Karol Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój – Final report for Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o. in Włocławek, Warsaw, CLOR, January 2021
- Study entitled: *"Results of interlaboratory comparative measurements of the content of natural radioactive isotopes in raw and building materials"* – K. Isajenko, O. Stawarz, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój, - Final report for laboratories participating in the intercalibration, Warszawa, CLOR, October-November 2021 r,
- *Radiological expertise of samples with radioactive material in stock: Łukasiewicz Research Network - Institute of Precision Mechanics in Warsaw – Barbara Piotrowska, Karol Wojtkowski, Krzysztof Isajenko; June 2021,*
- *Radiological expertise of the wells of the Polish Oil and Gas Company (PGNiG), Zielona Góra Branch – Karol Wojtkowski, Krzysztof Isajenko, Barbara Piotrowska, Olga Stawarz, Marcin Kozdój, Anita Kiełbasińska, August 2021,*
- *Radiological expertise of the industrial RTG AICON XR-300 scanner owned by the company: PID Polska Sp. z o.o. from Warsaw – Karol Wojtkowski, Krzysztof Isajenko, Barbara Piotrowska, Olga Stawarz, Marcin Kozdój, Anita Kiełbasińska, December 2021.*

Employee of the Department of Dosimetry, mgr inż. Karol Wojtkowski completed postgraduate management studies at the Faculty of Management of the University of Warsaw in 2021 with a very good grade. He is also continuing doctoral studies at the Warsaw University of Technology, Faculty of Building Installations, Hydrotechnics and Environmental Engineering - started in 2016. Planned graduation - 2022.

Plans of the Dosimetry Department for 2022

The plans of the Dosimetry Department for 2022 include the following activities and works:

- *Purchase of a new spectrometric track*, which would enable the expansion of the ASS-500 station network by three stations (Koszalin, Olsztyn, Poznań / Piła) - we received a subsidy for an investment from the Ministry of Climate and Environment;
- *Implementation of a new on-line system* for the ASS-500 station - the subsidy for the investment from the Ministry of Climate and Environment in 2022 was not awarded;
- *Maintaining the LPPN accreditation* (including changes in legal regulations);
- *Purchase of certified uranium ore* used for commercial production of standards used by laboratories conducting measurements of natural radioactivity of raw materials and building materials
- *Conducting intercalibration* (every 1-2 years) for laboratories conducting measurements of raw and building materials - so far such comparative measurements were carried out by the PAA President;

- *Employment of a new employee* to work in the Dosimetry Department - for matters related to the measurement of air radioactivity;
- *Participation in international intercalibrations.*

In 2021, three students underwent student internships at the Dosimetry Department:

- Student of the Faculty of Physics at the University of Warsaw - internship supervisor: Olga Stawarz;
- Student of the Faculty of Mathematics, Physics and Computer Science at the Maria Curie-Skłodowska University in Lublin - internship supervisor: Barbara Piotrowska;
- Student of the Faculty of Horticulture at the Warsaw University of Life Sciences - internship supervisor: Karol Wojtkowski.

Barbara Piotrowska conducted three trainings in 2021 for people conducting measurements of natural radioactivity of raw and building materials:

- Łukasiewicz Research Network - Institute of Mechanization of Construction and Rock Mining from Warsaw (training for 2 people);
- Central Measurement and Research Laboratory from Jastrzębie Zdrój (training for 1 person);
- Building Research Institute in Warsaw (training for 2 people).

Development of the quality assurance system in an accredited Laboratory of Natural Radioactivity Measurements in the scope of radium ^{226}Ra , thorium ^{228}Th and potassium ^{40}K reference standard maintenance in 2021

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

The Laboratory of Natural Radioactivity Measurements (LPPN) has PCA accreditation in the field of determining the radioactive concentrations of radium ^{226}Ra , thorium ^{232}Th and potassium ^{40}K and the radioactive concentration index I , described in the Regulation of the Council of Ministers of 17.12.2020 (Journal of Laws of 2021, item 33) in raw and building materials and industrial waste used for the production of building materials (certificate number AB 1108). In 2021, the Laboratory made measurements of the following samples: ash-slag mixture, slag, furnace waste, fly ash, natural aggregate, airbrick, concrete, aerated concrete, sanitary ceramics, artificial aggregate, composite, insulation board and various types of waste.

As part of the topic, the following tasks were performed: technical supervision over the equipment and conducting periodic calibrations of spectrometers, improving the management system, improving the qualifications of employees through external training, conducting internal audits and supervising LPPN by the PCA.

The technical supervision included activities planned in the equipment inspection schedule for 2021. As part of periodic checks, the following activities were performed: daily control of temperature and relative humidity in the measuring room, checking the MAZAR-95

analyzer using volumetric calibration standards (K-056, Ra-056, Th-056, N-056) and intercalibration samples (CLOR W3P5, Koszyce standard ash) and background measurement for the analyzer (aluminum cylinder). Two MAZAR type analyzers were calibrated. The correctness of the MAZAR-95 analyzer has been checked through repeatability and reproducibility – for selected samples and laboratory personnel. An external accredited laboratory performed calibration of the thermohygrometer.

In 2021, the CLOR Dosimetry Department organized interlaboratory comparison measurements of the content of natural radioactive isotopes in raw and building materials. LPPN prepared a sample that was measured on two MAZAR type analyzers for a standard and extended measurement time. All the results given by our laboratory were positive from interlaboratory comparisons.

As part of the improvement, the documentation of the management system has been updated, primarily in relation to the Regulation of the Council of Ministers of 17.12.2020, which was implemented on 07.02.2021. In addition, risks and opportunities were analyzed in relation to insights from previous audits, management reviews and internal training were carried out, and two international interlaboratory comparisons organized by the BfS and the JRC were taken part.

The results are not yet known. A crusher for shredding samples of raw and building materials was also purchased from own funds, which will significantly improve the work.

Internal audits took place in June (system) and November (technical). The auditors positively assessed the activities of LPPN and the maintenance of the management system based on the PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 standard. In the report from the system audit, one non-compliance was recorded. Appropriate corrective actions and analysis of risks and opportunities were carried out.

The Polish Centre for Accreditation carried out two evaluations of LPPN. On 1 March 2021, a technical review of the documentation took place in connection with the change in the scope of accreditation, and on 23 July 2021 evaluation in supervision. No observations or non-compliances were noted. The auditors positively assessed the management system and activities of LPPN. The accreditation was extended for another cycle.

As part of the upskilling, the laboratory staff took part in the following external trainings (on-line): "New edition of the DA-05 policy. Amended requirements for participation in proficiency tests, including activities related to risks and opportunities", "Production of reference materials step by step", "Improving documentation in the laboratory – practical course on slimming documentation in the laboratory" and "Important results of research and measurements - principles of invoking accreditation".

LPPN retained existing customers and created new ones. The number of samples tested increased. The subject was financed by the Ministry of Climate and Environment.

Assessment of the radiation situation in the Ojcowski National Park on the basis of the soil samples measurements

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

The aim of the study was to assess the radiation situation of the Ojcowski National Park on the basis of radiological measurements of soil samples taken from the area of this National Park. The concentrations of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{228}Ac) and the concentration of the radionuclide of artificial origin – cesium ^{137}Cs , a remnant of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident in 1986 were determined by gamma spectrometry method. The deposition of ^{137}Cs was calculated. The assessment of the radiation situation of the Ojcowski National Park consisted in estimating, based on the results of measurements of natural radionuclide concentrations, the annual effective dose, i.e. exposure to ionizing radiation of OPN employees, local residents and tourists.

In addition, the obtained results were compared with the mean values of radionuclide concentrations in soil samples taken in previous years in the following National Parks: Kampinoski, Poleski, Narwiański and Świętokrzyski, as well as with mean values for Poland and the Małopolska Voivodeship (the results come from a study for GIOŚ, performed as part of radiological monitoring of soil taken in autumn 2020).

On the OPN area, 16 samples were taken from the surface layer of soil (0-10 cm) using a die (cylinder, $d=6.9$ cm) and a hammer. At each point, seven portions were taken, i.e. one from the center and six from the circumference of a circle with a diameter of 2 m. The types of samples taken are mainly brown gullies.

Preparation of the soil samples for measurements in the laboratory was carried out in the following stages: drying at a temperature of 105°C , cooling, grinding, determination of total mass, pouring into measuring containers through a certified sieve with a mesh diameter of 2 mm, determination of the mass of samples, description of containers.

Soil samples were measured by gamma spectrometry. Measurements were made on a spectrometric track using the HPGe coaxial detector with an efficiency of 25% and resolution of 1.8 keV for ^{60}Co ($E=1.33$ MeV). The measurement time of a single sample was 80 000 s. The detector's calibration was carried out using a multigamma volumetric source with a density corresponding to the average density of the samples, i.e. $1.1\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (POLATOM). After the measurements were completed, the obtained spectra were analyzed. Subsequently, the results of measurements of the concentration of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{228}Ac) and ^{137}Cs deposition in soil samples were developed, as well as estimated annual effective dose for people staying in the Ojcowski National Park.

Values of the ^{137}Cs deposition in soil samples taken in the Ojcowski National Park range from $1.14 \pm 0.03\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Prądnik Czajowski) to $11.92 \pm 0.25\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Kolencin). The mean value of the deposition of ^{137}Cs in soil samples taking from the OPN area is $5.32 \pm 0.81\text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$.

The mean value of ^{226}Ra concentration in soil is equal to $36.5 \pm 1.2\text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (range:

27.3 ÷ 43.1 Bq·kg⁻¹). The mean value of ²²⁸Ac concentration in soil is equal to 35.8 ± 1.4 Bq·kg⁻¹ (range: 21.8 ÷ 43.9 Bq·kg⁻¹). Mean value of ⁴⁰K concentration in soil is equal to 491 ± 18 Bq·kg⁻¹ (range: 267 ÷ 562 Bq·kg⁻¹).

The mean value of the ¹³⁷Cs deposition in the OPN soil is higher than the mean value for Poland, for the Małopolska Voivodeship and for Kampinoski National Park, Poleski National Park, Świętokrzyski National Park and Narwiański National Park. The mean values of concentrations of natural radionuclides in the OPN soil are higher than the mean values for Poland and the Małopolska Voivodeship and the above-mentioned National Parks. The exception is ²²⁶Ra, for which the maximum mean value of the concentration was calculated for the Małopolska Voivodeship.

In the study area, it is not possible to clearly indicate regions with higher or lower values of ¹³⁷Cs or natural radionuclides concentrations. There was no correlation between cesium concentration and natural radionuclide concentrations.

The maximum annual effective dose estimated on the basis of the results of measurements of natural radionuclide concentrations in soil samples taken from the Ojcowski National Park area is 0.61 mSv (Rezerwat Brzozy Ojcowskiej), which represents 25% of the natural background for a statistical inhabitant of Poland.

On the basis of the conducted research, it can be concluded that people staying in the Ojcowski National Park is safe from the radiological protection point of view.

In addition, a report on soil sampling at the OPN and final report with the results of soil sample measurements were sent to the OPN's Management.

The subject was financed by the Ministry of Education and Science.

Results of the interlaboratory comparison measurements of natural radioactive isotopes content in raw and building materials carried out in 2021

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, M. Kozdój

In accordance with the requirements of the Polish Centre for Accreditation, a positive result of interlaboratory comparative measurements (ILC) is one of the conditions necessary to obtain or maintain accreditation by the laboratory. It is proof of the demonstration of competence in monitoring activities and recognition of the validity of research results. The CLOR Dosimetry Department organized comparative measurements of the content of natural radioactive isotopes in raw materials based on the PN-EN ISO/IEC 17043:2010 standard "Conformity assessment. General requirements for proficiency testing", PCA document DA-05 "Policy on participation in proficiency tests" and "Regulation of the Council of Ministers of 17 December 2020 on building materials for which the radioactive concentration of radioactive isotopes of potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and thorium ^{232}Th is determined, the requirements for making these determinations and the value of the radioactive concentration index, the exceeding of which is notified to the competent authorities" (Journal of Laws of 2021, item 33).

12 participants took part in the comparisons. The concentration of potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and thorium ^{232}Th determined by laboratory laboratories and the values of the radioactive concentration indicator I in samples of bottom ash, taken from the Siekierki CHP Plant were analyzed.

Before sending samples to the participants of the comparisons, homogeneity was investigated by controlling the number of counts in photopics corresponding to several selected radiation energies (^{226}Ra – 186 keV, ^{212}Pb – 239 keV, ^{212}Bi – 727 keV, ^{228}Ac – 911 keV and ^{40}K – 1461 keV). For this purpose, two multi-channel analyzers with HPGe semiconductor detectors (XTRa type) and a multi-channel analyzer with HPGe coaxial semiconductor detector were used. For all the test control samples, the relative difference in the number of counts did not exceed 4.2%, hence the conclusion that the obtained material is characterized by good homogeneity. The samples were then sent to the participants of the comparative measurements. To preserve the confidentiality of the results, each of the laboratories was given a randomly selected code number.

The laboratories carried out measurements of samples using a three-channel MAZAR analyzer or a multi-channel gamma spectrometer with an HPGe detector – in a standard (used in their own procedures) and extended to about a day measurement time. After collecting the results from the participants, statistical tests of Q-Dixon and T-Grubbs were carried out to eliminate gross errors. One result (for both measurement times) for the concentration of ^{226}Ra and the indicator I was rejected. For the remaining results, arithmetic means were calculated, which were considered

as reference values. For the standard measurement time, the values of the radioactive concentration indicator *I* deviated from the mean value by a value greater than the measurement uncertainty for two laboratories. For the extended measurement time, the values of the indicator *I* differed from the mean value by a value greater than the measurement uncertainty for the four laboratories.

The results were then statistically analyzed using the Z test and the procedures recommended by the IAEA and PCA. Z, accuracy and precision tests were carried out against the average concentration value of potassium ⁴⁰K, radium ²²⁶Ra and thorium ²³²Th and the designated indicator *I*.

Knowledge of the Z parameter (described in the formula below) allowed to assess the accuracy of the results against the background of the entire population.

$$Z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}$$

where: *x* – the result obtained by the participant
X – mean (reference) value
 $\hat{\sigma}$ – standard deviation.

The following criteria have been adopted to assess the proficiency of the laboratory:

$|Z| \leq 2$ - satisfactory result,
 $2 < |Z| < 3$ – a questionable result, but acceptable,
 $|Z| \geq 3$ - an unsatisfactory result, justifying corrective action.

The accuracy of the result was satisfactory if:

$$|lab.result - ref.value| \leq 2,58 \cdot \sqrt{U_{ref}^2 + U_{lab}^2}$$

The precision of the result was satisfactory if the value:

$$\sqrt{\left(\frac{U_{ref}}{ref.value}\right)^2 + \left(\frac{U_{lab}}{lab.result}\right)^2} \cdot 100\%$$

was less than or equal to 16% of the *I* reference value and 25% of the ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th activity concentrations (U - measurement uncertainty).

For the analysis of the *E_n* parameter (defined in the PN-EN ISO/IEC 17043 standard), the values of the radioactive concentration indicators *I* and uncertainties determined by the ILC participants were taken into account, as well as the mean (reference) value with extended uncertainty. The following formula was used:

$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

where: *x_{lab}* – laboratory result
x_{ref} – reference result
U_{lab} – extended uncertainty of the participant's result
U_{ref} - extended uncertainty of the reference value.

When evaluating the results of measurements of the participants of the comparisons, the following criteria were adopted:

$|E_n| \leq 1$ - the result of the comparison is satisfactory
 $|E_n| > 1$ - the result of the comparison is unsatisfactory.

Evaluation of the results for standard measurement time

In the Z test, when determining the concentration of ^{40}K , one laboratory gave a questionable result, but acceptable. The accuracy and precision of the results for all laboratories were satisfactory.

When determining the concentration of ^{226}Ra , one laboratory gave an unsatisfactory result and one laboratory gave a questionable, but acceptable result. The accuracy was satisfactory for all but one of the laboratories. The precision of the results was satisfactory for all laboratories.

All laboratories reported satisfactory results in the Z test and precise results in the determination of the ^{232}Th concentration. The accuracy was unsatisfactory for one participant.

During the analysis of the determination by the participants of the value of the radioactive concentration index I , it was found that in the Z test, one laboratory gave an unsatisfactory result and one laboratory gave a questionable, but acceptable result. The accuracy status for one participant was unsatisfactory. The precision of the value of indicator I determination was at a satisfactory level for all laboratories.

In the case of the E_n test used to assess the determination of the values of the radioactive concentration indicators I , the results from two laboratories were rejected. For the other participants, the E_n test result was therefore positive.

Evaluation of the results for extended measurement time

In the Z test when determining the concentration of potassium ^{40}K , one laboratory gave a questionable, but acceptable result. The accuracy and precision of the results for all laboratories were satisfactory.

For radium ^{226}Ra , one laboratory reported a result unsatisfactory for the Z test and an inaccurate result. The precision of the results was satisfactory for all participants.

All laboratories reported the results of measuring the ^{232}Th concentration, which were satisfactory (Z test), accurate and precise.

When determining the value of indicator I , one laboratory reported an unsatisfactory result for the Z test and accuracy. The precision of determining the value of indicator I was at a satisfactory level for all participants of the comparisons.

In the case of the E_n test, used to assess the determination of the values of the radioactive concentration indicators I , the results from four laboratories were rejected. For the other participants, the E_n test result was therefore positive.

The accredited Laboratory of Natural Radioactivity Measurements (AB 1108) obtained positive results of the comparison measurements of the content of natural radioactive isotopes in raw materials for both MAZAR analyzers, both in standard and extended measurement time.

Analysis and Evaluation of the Radioactivity of Raw and Building Materials Used in Poland in years 1980-2021

B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, K. Wojtkowski, M. Kozdój, A. Kiełbasińska

To the evaluation of raw and building materials in terms of the presence of radioactivity concentration shall apply the criteria published in the Ordinance of the Council of Ministers of 17 December 2020, (Journal of laws 2021, poz. 33) "on the requirements regarding the building materials for which the radioactive concentration of radioactive isotopes of potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and thorium ^{232}Th is determined, the requirements for making these determinations and the value of the radioactive concentration index, the exceeding of which shall be notified to the competent authorities".

In 2021 the Laboratory for Measurements Natural Radioactivity completed studies and developed opinions on application of building and raw materials for the 64 samples were from different regions of the country. They were e.g mixture ash-slag (30 samples), furnace waste (8 samples), sand (4 samples), slag (4 samples) and another 18 samples.

From 1980 to the end of 2021 to a Polish national database of raw and building materials has been entered for 51969 samples. In the same year entered to the database results for 729 samples, including:

- the results of raw materials of natural origin: 52
- the results of the building materials industrial origin: 567
- the results of building materials: 110.

In 2021 the year was registered more excess of the limit values are defined the index I for housing and utilities, compared to the previous year. Overshoot recorded for 53.8%, ashes with desulphurization products, and 28.7% ashes.

By analyzing the average values of the index I of the entire database is specified for housing construction and public service in the years 1980-2021 it should be stated that:

- in 2021 recorded a little smaller value index I for ashes in compared to 2020 y. and slightly higher values index I for building ceramics in compare to 2020 y.
- in 2021 year 100% raw materials of natural origin would apply in building residential (as in previous years).
- from the ended building materials produced in 2021 year 8.1% ceramic tiles, 9.5% sanitary ceramics and 11.1% cements haven't been authorized for use in building housing.

Financing

Work co-financed by the Ministry of Education and Science.

The estimate of the situation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan and around National Centre for Nuclear Research in Świerk

B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, A. Fulara, A. Matysiak, K. Wojtkowski, M. Kozdój, A. Kielbasińska, J. Lemańska

The assessment of the radiation situation in the vicinity of the National Radioactive Waste Repository (NRWR) in Różan in 2021 focused on testing spring water, groundwater, grass, soil and air aerosol samples as well as on dose rate measurements. On the other hand, the assessment of the radiation situation in the vicinity of the National Center for Nuclear Research in Świerk in 2021 focused on the study of water samples from the Świder River, well water, water from the sewage treatment plant in Otwock, soil, grass, air aerosols, iodine in the form of gas, noble gases and performing dose rate measurements.

Surroundings National Radioactive Waste Repository (NRWR) in Różan

Study environment the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan, in the analysis of spectrometry of ionizing radiation in samples of spring water with three points (Z-1, Z-2, Z-3):

- registered gamma radioactive isotope artificial concentration $> 0.1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ only in two points;
- content of tritium was recorded in all samples of water a little above low level detectable. Maximum of tritium was content sample Z-2 ($3.9 \pm 0.6 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$).
- maximum content of cesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) was registered in spring water from point Z-2: $17.11 \pm 1.77 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$; activity concentration of strontium ^{90}Sr in bulk sample (Z-1 + Z-2 + Z-3) was registered in spring water below low level detectable.

Analysis of the beta ray in samples of ground water from around KSOP in Różan showed:

- maximum content of tritium in the sample marked P-16: $165.1 \pm 13.0 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$
- the largest total radioactivity beta ray $0.36 \pm 0.04 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ (sample P - 4).

Spectrometric study of gamma radiation samples of soil from the surroundings KSOP in Różan have shown with artificial isotopes-the presence of cesium (^{137}Cs); with more content in sample marked D-1 ($42.0 \pm 3.0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$).

In the analysis of spectrometry of gamma radiation in samples of grass in the KSOP Różan have shown no any artificial isotopes. Concentrations of activity of the isotopes have been below low level detection.

In the analysis of the spectra of gamma radiation aerosols collected on filters of air per day collecting samples in the field of energy between (40-2000) keV hasn't been recorded artificial isotope.

Concentrations of activity of the isotopes identified in both samples: beryllium (^7Be) and lead (^{210}Pb) correspond to average the values of concentrations of these isotopes recorded in samples of aerosols from the ASS-500 placed throughout the country and working continuously.

Exposition dose rate of radiation in the environment in the KSOP Różan is between $89.8 \pm 3.7 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ in point D-5 to $120.4 \pm 14.8 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ in point D-2.

Surroundings National Centre for Nuclear Research in Świerk

Study environment by Institute in Świerk, after analysis of the spectrometry of gamma radiation in samples of water from the River Świder (WS-1 and WS-2 samples), the water from well (G-106 and G-108) and samples of water from the Canal outlet of sewage treatment plant in Otwock (RSD) was not found the presence of radioactive isotopes gamma artificial content $> 0.1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Measurement of content for tritium (^3H) in samples of well water and water from the River Świder method of enrichment of tritium electrolytic method and measurement of the activity of beta ray by means of spectrometry LSC showed the presence of tritium at low level. Maximum activity concentration of tritium in water collected in surrounding Institute of Świerk registered in sample of water from the River Świder WS-2. This value equal $2.3 \pm 0.3 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Measurement of content for cesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) in samples of water by method of selective sorption of cesium on a fluid quinoline ammonium (AMP) and measuring the activity of β ray preparation has shown that in all samples the cesium activity level is low. The largest average content of cesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) was registered in water from the Canal outlet of sewage treatment plant in Otwock (RSD). The average value of the activity concentration of cesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) in this sample of water were $10.22 \pm 1.06 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

After the analysis of the spectrometry of gamma radiation in soil samples from the around Institute in Świerk found: Isotopes natural origin – presence natural isotopes i.a. radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac , lead ^{210}Pb and potassium ^{40}K below $2.5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

- isotopes artificial - the presence of cesium (^{137}Cs) in all samples (only in four below $0.7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$);

- maximum activity of cesium (^{137}Cs): $11.50 \pm 0.20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (point MD-02);
- minimum activity of cesium (^{137}Cs): $0.40 \pm 0.03 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (point MD-04).

In the analysis of spectrometry of gamma radiation in samples of grass from surrounding Institute in Świerk found: Artificial isotopes - in three samples the presence of cesium (^{137}Cs). The maximum concentration of activity $13.1 \pm 1.0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (sample MD-01). Isotopes natural origin – in all samples concentration of activity ^{40}K and lead ^{210}Pb was below $20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

Concentration of activity ^{40}K in sample of grass was in ranges: $375 \pm 10 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ in sample MD-01 to $542 \pm 13 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ in sample MD-06. The value activity of lead ^{210}Pb was contest: $58 \pm 22 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ in sample MD-01 to $132 \pm 26 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ in sample MD-05.

Exposition dose rate in around Institute in Świerk is in range from $76.4 \pm 0.6 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ in point MD-06 to the value $92.9 \pm 1.9 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ point MD-01.

Only natural origin isotopes recorded on filters of aerosols of air collected with surrounding Institute in Świerk. Concentration of activity this isotope was below the lower limit of detection. Concentrations of activity of the isotopes identified in both samples: beryllium (^7Be) and lead (^{210}Pb) correspond to average the values of concentrations of these isotopes recorded in samples of aerosols from the ASS-500 placed throughout the country and working continuously.

In the analysis of the gamma spectrum of the iodine absorbent of the gas form, iodine isotope with a value bellow the lower limit of detection was registered.

In the measurement of noble gases taken from the area of the Center Świerk were identified three

isotopes ^{85}Kr krypton, $^{131\text{m}}\text{Xe}$ and ^{133}Xe xenon value radiation level well above the lower limit of detection.

Conclusions

Work Centre in Świerk and the presence of Radioactive Waste in Różan not pose a risk in terms of radiological environment for the residents of both locations.

Financing

The work done at the request of the State Agency for Atomic Energy.

Noble gas monitoring in Warsaw and Świerk in 2015-2021

K. Wojtkowski, K. Isajenko, B. Piotrowska, O Stawarz, M. Kozdój, A. Kiełbasińska

The station for collecting noble gases from atmospheric air is a transportable device. In order to protect the flow meter and valve against dust, air is pumped through a cotton wool filter. He is fused with a column in which there is a silicate gel. Its task is to absorb water contained in the intake air. Then the air enters the submerged adsorbent in a Dewar vessel with liquid nitrogen (77 K / -196 °C). The adsorbent column has a vacuum (below 0.5 bar) which prevents the condensation of nitrogen and oxygen. The flow rate should be around 60 liters/min. (up to 70-75 l/min.). After collecting the noble gases on the adsorbent, they should be transferred to the transport and measuring vessels. To transfer inert gases, place the adsorbent column in a special furnace. The adsorbent is heated for about 1 hour at a temperature of about 300 °C. By washing the adsorbent with inert gases (nitrogen or helium), the inert gases are transferred from the adsorbent to MINICAN containers that must be filled to a pressure of 4 bar. The completed MINICAN is then sent to the BfS Institute (Bundesamt für Strahlenschutz) in Freiburg (Germany). Its content is measured using a gas chromatograph. Then the measurement results are sent to CLOR. In 2021, an agreement was concluded between the Treasury - the President of the National Atomic Energy Agency and the Central Laboratory for Radiological Protection. The subject of the Agreement was the performance of a service consisting in measuring the amount of radioactive substances released into the air in the vicinity of the nuclear facility in Świerk. The noble gas extraction station was set up in a place where the wind was blowing from the chimney side

at the initial reactor. Based on the abstracts made in one day in July, August and September 2021. However, for fully reliable determination of krypton ⁸⁵Kr concentration, weekly air intake is required, or shorter intake (but not less than 5 days) with higher flow (increased to 0.060 - 0.075 m³/h). The date of uptake of radioactive noble gases was chosen on the basis of knowledge of the MARIA reactor operation date in the "Molybdenum cycle", i.e. the work of the reactor at its increased power.

The measurements in Warsaw at the Department of Dosimetry were financed from the funds of the institute. Measurements were leading by week in each month of the year. The subcontractors at BfS Freiburg (Germany) were able to determine krypton concentrations of ⁸⁵Kr. The mean concentration was 1,39 Bq/m³, with an average detection threshold of 0.01 Bq/m³. According to the information we received from the Germans, this value is at the level of the background prevailing in Central Europe of about 1.5 Bq/m³. The results of measurements in Warsaw obtained in 2015-2021 are presented below in the form of charts.

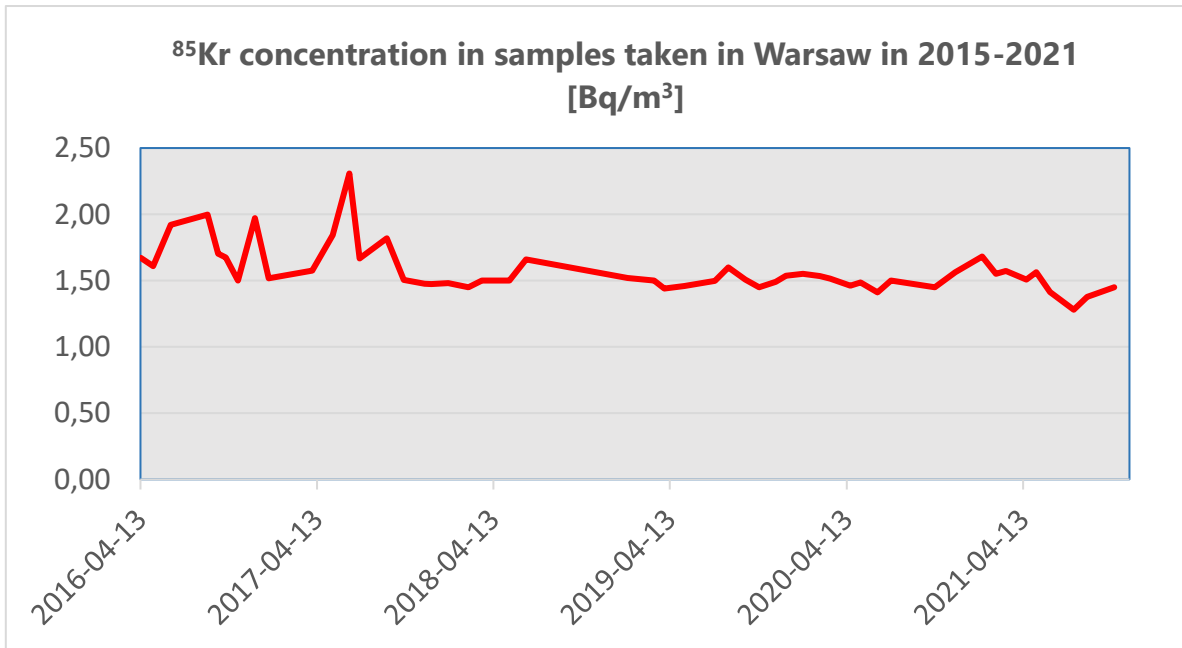


Fig 1. ^{85}Kr concentration in samples taken in Warsaw in 2015-2021

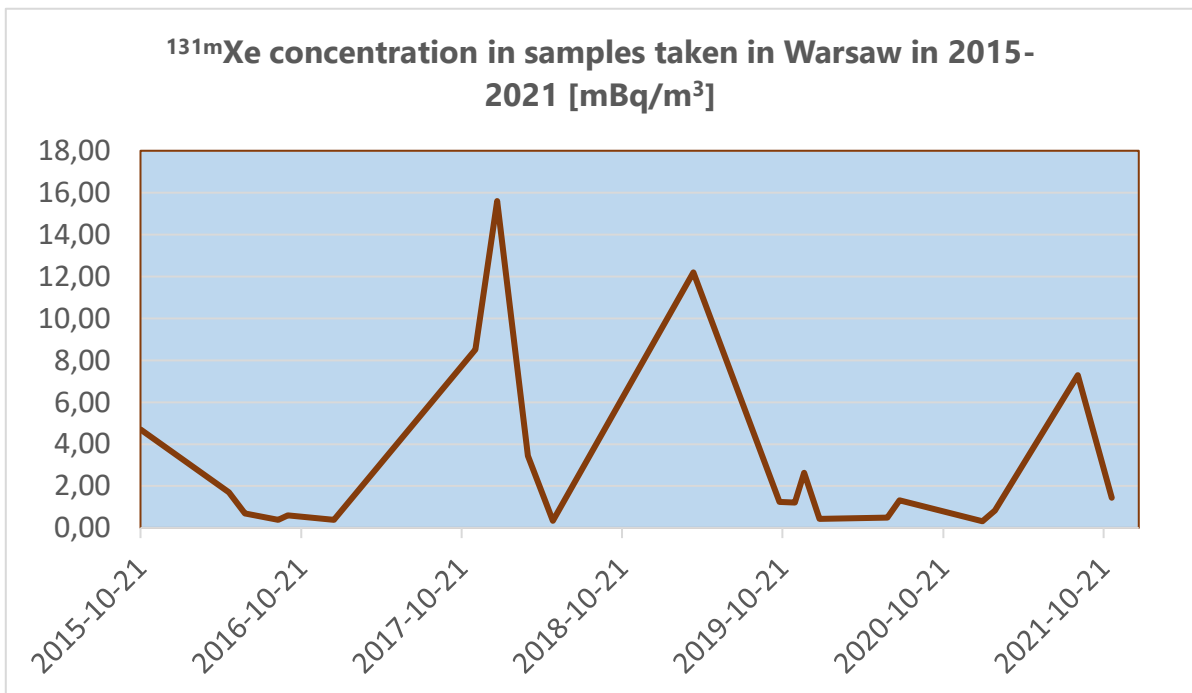


Fig 2. $^{131\text{m}}\text{Xe}$ concentration in samples taken in Warsaw in 2015-2021.

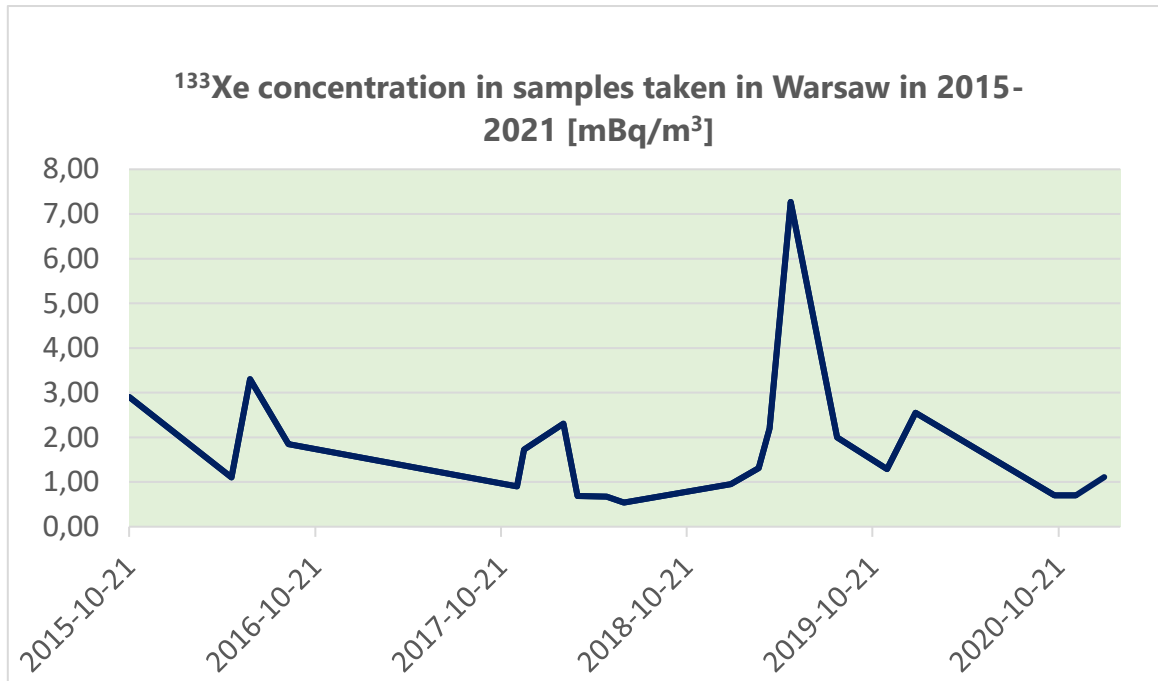


Fig 3. ^{133}Xe concentration in samples taken in Warsaw in 2015-2021.

Analysis of the radiation situation in the Narwianski National Park based on the study of grass samples.

K. Wojtkowski, K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz, A. Kiełbasińska, M. Kozdój, S. Kolasa

Objective of the project

This project was financed by the Ministry of Science and Higher Education. Its aim was to assess the radiation situation of Narwianski National Park (NPN) based on radiological studies of grass samples collected from the NPN site. The concentrations of natural and artificial radionuclides were measured in grass samples. Among natural radionuclides were studied the concentration of: potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and actinium ^{228}Ac . Radionuclide of artificial origin, whose concentration was assessed was ^{137}Cs . Its presence in the environment is a remnant of the failure of the EJ in Chernobyl in 1986. The assessment of the radiation situation of the Narwianski National Park consisted in estimation of exposure to ionizing radiation (estimation of the annual effective dose) based on the results of measurements of radionuclides present in the grass for people staying in the PPN and the surrounding population

Sampling

The grass sampling sites are: As part of the topic, 24 grass samples were collected from the Narwianski National Park. The area of the Park covers of 7350ha and the buffer zone of 22758ha according to the Regulation of the Council of Ministers on the Narwianski National Park of July 1, 1996. An even distribution of sampling points was sought. The most of the points was in places accessible, close to characteristic places or tourist routes.

The soil sampling sites are: Suraż Krzyż, Łapy Szolajdy, Łapy Wieża, Widokowa, Płonka Strumianka, Bokiny, Wólka Waniewska, Waniewo, Pszczółczyn, Pajewo,

Radule, Rzędziany, Pańki, Kruszewo, Śliwno, Izbiszczce, Topielec Kolonia, Zawady, Baciuty, Turośnianka, Bojary, Uhowo-Narew, Uhowo-Kapliczka, Borowskie Żaki, Suraż-Kowale. Sampling took place in accordance with the methodology used by CLOR for radiological monitoring in Poland and works for National Atomic Agency. The grass was cut close to the ground using shears. Then it was poured into one bag for each collection point. The bags were described and transported to the CLOR Dosimetry Department.

Preparation of samples for measurement

Grass samples for measurement in the laboratory were prepared in stages. The first stage was drying. The grass was then ground and labeled. The dried sample was weighed and the dry weight determined. Ground grass was poured into Marinelli containers ($V = 0.5 \text{ [dm}^3\text{]}$) and poured with distilled water so that the density of the sample in the container was close to the density of water. The last stage was to determine the weight of the sample in the container, seal it tightly and describe the container with grass.

Measurement of samples

For grass samples prepared in the above manner, measurements were made by radiation spectrometry gamma. To measurements were used a cooperating spectrometric path with a germanic semiconductor detector (HPGe) with a capacity of 25%, resolution 1.8 [keV] for the second line ^{60}Co ($E = 1332 \text{ [keV]}$) and $U_p = 4000 \text{ V}$. The measurement time of a single sample was 80000 [s]. After completing the series of measurements, the test reports with results were

analyzed. Then a statistical analysis and analysis of the results of the concentration of natural radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra and ^{228}Ac and of artificial origin - ^{137}Cs in the grass.

The results of measurements

The average value of ^{226}Ra concentration in the grass is $2,68 \pm 1,82$ [Bqkg $^{-1}$] (range 0,24 - 11,49 [Bqkg $^{-1}$]).

Average concentration for ^{228}Ac in grass NPN is $1,23 \pm 0,66$ [Bqkg $^{-1}$] (range: 0,10 - 5,91 [Bqkg $^{-1}$]).

The average concentration of ^{40}K , on the other hand in grass NPN is 774 ± 25 [Bqkg $^{-1}$] (range: 346 – 1074 [Bqkg $^{-1}$])

Average value for ^{137}Cs in grass NPN is 2.81 ± 0.27 [Bqkg $^{-1}$] (range: 0,03 - 1,05 [Bqkg $^{-1}$]).

Applications and summary

The analysis of the test results was used to assess the radiation situation of Narwianski National Park, in which the grass had not previously been tested for the presence of radionuclides.

The obtained results were compared with the results of measurements of radionuclide concentrations in the grass obtained as part of the CLOR Dosimetry Plant.

In the studied NPN area, it is not possible to identify regions with a greater or lesser impact of natural radionuclides or artificial origin, because their concentrations are at a similar and quite low level.

Literature

1. Monitoring of Ionizing radiation carried out as part of the State Environmental Monitoring, Task 3: Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil, Annual report from the third stage of work, K. Isajenko, M. Kardaś, B. Piotrowska, I. Kwiatkowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, CLOR, Warsaw, February-March 2018
2. Radiological protection. Size, unit and calculation. B. Gostkowska, CLOR, Warsaw 2018
3. Physical basis of radiological protection. B. Gostkowska, CLOR, Warsaw 1992
4. Dosimetry and radiation protection. R.G. Jaeger. PWN, Warsaw 1962

Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring in 2018-2020 (year 2021). TASK 3: Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil

K. Isajenko, K. Wojtkowski, B. Piotrowska, O. Stawarz, M. Kozdój, A. Kiełbasińska Dosimetry Department

M. Kardaś, A. Fulara Radiation Hygiene Department

Introduction

The investigations of radioactive contaminations of soil are performed in the frame of Polish National Environmental Monitoring System since 1988. The soil samples for measurements are taken every two years in the network of meteorological stations of the Institute of Meteorology and Water Management – the sampling points are shown in Fig. 1

Soil sampling points (254 points) are located throughout Poland and are located in meteorological gardens of stations of the Institute of Meteorology and Water Management. A total of 264 samples are taken: 254 from a 10 cm layer of soil and 10 from 25 cm layer.

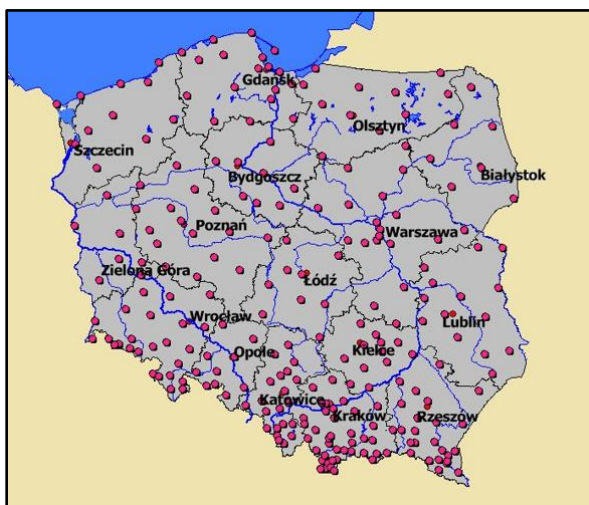


Fig. 1. Soil sampling points in Poland (October 2019)

Soil samples are collected in areas where the micro-environment is not distorted or altered, for example,

by plowing or fertilization, which makes it possible to assess even minor levels of contamination. This location of collection points has several advantages, namely:

- the stability of sampling points (the possibility of repeating surveys for the same places, which will allow catch changes in the level of the contamination);
- a uniform distribution of collection points in Poland;
- continuous service in case of a radiological accident, enables quick and efficient sampling;
- samples from areas where the soil has not been and will not be mixed in the future (e.g. plowed or dredged) and fertilized so as to provide a representative material for determining the concentrations of radioactive isotopes in the surface layer of the soil;
- the possibility of obtaining meteorological data allowing analysis of spatial distribution of contamination in a given area.

In the third part of work (completed on April 15, 2021), the following works were carried out:

- ❖ Preparation and presentation for the GIOŚ approval of the report's outline – by 29 January 2021,
- ❖ Preparation of an annual report with the cesium ^{137}Cs deposition in the surface soil layer and the concentration of natural radionuclides based on a full series of measurements

of samples collected in 2019 – report should contain tables, charts and maps concerning the results obtained,

- ❖ Supplementing the measurement data for the years 1988-2016 by the results obtained from measurements of samples collected in 2019,
- ❖ Preparation of measurement results in *.xls, *.xlsx formats, in the form of spatial data (*.shp) and metadata for spatial data sets (*.xml).

Results

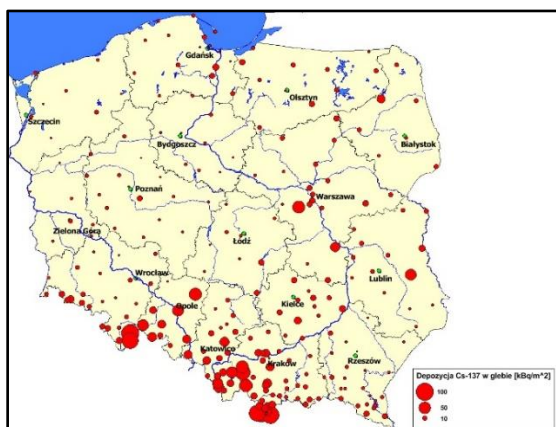


Fig. 2. Deposition (Surface concentration) of cesium ^{137}Cs in Poland (samples collected in autumn 2019)

In Fig. 2, deposition (surface concentration) of cesium ^{137}Cs in soil samples taken from the 0-10 cm layer in autumn 2019 is presented in the form of a circular diagram.

Fig. 3 shows in the form of a raster map the deposition (surface concentration) of cesium ^{137}Cs in soil samples taken from the 0-10 cm layer in autumn 2019.

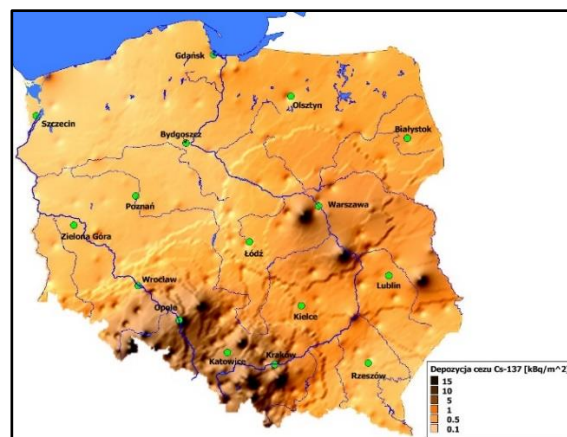


Fig. 3. Deposition (surface concentration) of cesium ^{137}Cs in Poland (samples collected in autumn 2019) presented in the form of a raster map.

Financing

The work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management under the agreement No 34/2019/F of September 17, 2019 signed between the Central Laboratory for Radiological Protection and the Chief Inspectorate for Environmental Protection.

Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring in 2020-2022 (year 2021). TASK 3: Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil.

K. Isajenko, K. Wojtkowski, B. Piotrowska, O. Stawarz, M. Kozdój, A. Kielbasińska Dosimetry Department

M. Kardaś, A. Fulara Radiation Hygiene Department

Introduction

The investigations of radioactive contaminations of soil are performed in the frame of Polish National Environmental Monitoring System since 1988. The soil samples for measurements are taken every two years in the network of meteorological stations of the Institute of Meteorology and Water Management – the sampling points are shown in Fig. 1

Soil sampling points (254 points) are located throughout Poland and are located in meteorological gardens of stations of the Institute of Meteorology and Water Management. A total of 264 samples are taken: 254 from a 10 cm layer of soil and 10 from 25 cm layer.

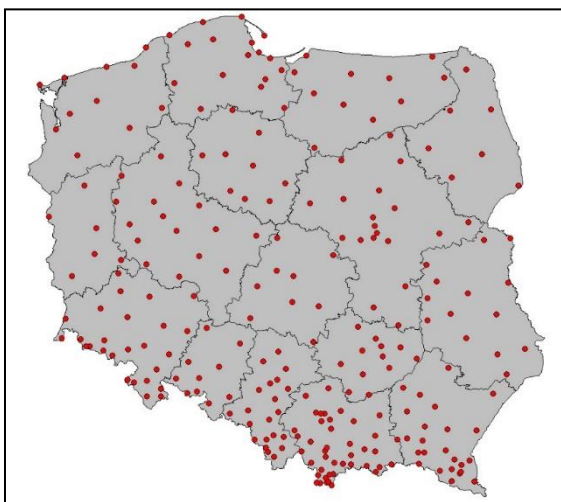


Fig. 1. Soil sampling points in Poland (autumn 2020)

Soil samples are collected in areas where the micro-environment is not distorted or altered, for example,

by plowing or fertilization, which makes it possible to assess even minor levels of contamination. This location of collection points has several advantages, namely:

- the stability of sampling points (the possibility of repeating surveys for the same places, which will allow catch changes in the level of the contamination);
- a uniform distribution of collection points in Poland;
- continuous service in case of a radiological accident, enables quick and efficient sampling;
- samples from areas where the soil has not been and will not be mixed in the future (e.g. plowed or dredged) and fertilized so as to provide a representative material for determining the concentrations of radioactive isotopes in the surface layer of the soil;
- the possibility of obtaining meteorological data allowing analysis of spatial distribution of contamination in a given area.

In the second part of work (completed on October 15, 2021), the following works were carried out:

- ❖ Preparation of 264 soil samples collected in October 2020 from all over Poland for measurement,
- ❖ Spectrometric measurements of soil samples taken in autumn 2020,

-
- ❖ Keeping a register of measurement results in the form of an MS Excel spreadsheet,
 - ❖ Writing a report containing the measurement results (cesium ^{137}Cs and natural radionuclides) of the measured samples.

Results

The method of spectrometric measurements used is the part of the methodology entitled "*Methodology of collection, measurements and presentation of the results of determining the concentrations of radioactive gamma radionuclides in the surface layer of soil for the purposes of radiological monitoring of the environment in Poland (compliant with the requirements of the INPIRE Directive)*" approved in May 2014 by the President of the National Atomic Energy Agency.

The detection thresholds for the measured radionuclides are:

- 0,15 Bq/kg (0,02 kBq/m²) for ^{137}Cs ,
- 2,5 Bq/kg for ^{40}K ,
- 2,0 Bq/kg for ^{226}Ra ,
- 0,5 Bq/kg for ^{228}Ac

Financing

The work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management under the agreement No ZP/DM/105/2020/F of July 09, 2020 signed between the Central Laboratory for Radiological Protection and the Chief Inspectorate for Environmental Protection.

Assessment of effective dose for residents of Poland from inhalation of atmospheric aerosols – network of ASS-500 stations (in the year 2021)

K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski, M. Kozdój, Anita Kiełbasińska

Introduction

For the assessment of the effective dose from the absorption of radionuclides by inhalation, we used the following formula:

$$D = \sum_i D_i$$

Where:

D - is the calculated effective dose resulting from isotopes absorbed through the respiratory system,

D_i - is the effective dose from a single (i-th) isotope.

In this paper, we consider only the dose received from the following isotopes: natural - beryllium ^7Be , potassium ^{40}K , lead ^{210}Pb , radium ^{226}Ra and actinium ^{228}Ac and from all artificial isotopes, whose concentrations were set at levels above the LLD (cesium ^{137}Cs and iodine ^{131}I we always take into account).

NOTE - if the concentration of a radionuclide not exceed the limit of detection (LLD), then to calculate the effective dose we accept the value of LLD. In this way, of course, the calculated effective doses are inflated in comparison to the actual doses received by the Polish population.

Effective dose resulting from the absorption of single radionuclides by inhalation (D_i) for people in the age group g is calculated using the following formula:

$$D_i = A_{w,i} \cdot e(g)_i \cdot V(g)_{odd} \cdot T$$

Where:

D_i – is an effective dose from a single isotope,

$A_{w,i}$ – a specific activity (radioactivity concentration) of i-th isotope in ambient air (measured by the station ASS-500 in her localisation),

$e(g)_i$ – the value of the aggravating effective dose for the i-th isotope for a person of the age group g ,

$V(g)_{odd}$ – the efficiency (speed) of the breathing for person of the age group g ,

T – is the time for which the calculated effective dose (ie, week, month, quarter or year).

Inhalation rates for children of different ages and adults are specified in the "*Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994*". They are presented in Table 1

Age group	≤ 1 year	1+2 years	2+7 years	7+12 years	12+17 years	> 17 years
Speed of breathing [m ³ /day]	5,2	6,5	12,2	17,2	21,4	22,2

Table 1. Speed breathing for children of different ages and adults. [2]

Aggravating effective dose $e(g)$ for members of the public from penetrating radionuclide activity 1 Bq by inhalation (Council of Ministers of 18

January 2005 on ionizing radiation dose limits (Dz. U. No. 20/2005, pos. 168)) is presented in Table 1.

Isotope	Half-life	The value of $e(g)$ in [Sv/Bq] for age group g :					
		≤ 1 year	1+2 years	2+7 years	7+12 years	12+17 years	> 17 years
¹³⁷ Cs	30,0 years	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$
¹³¹ I	8,04 days	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$
⁷ Be	53,3 days	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$8,3 \cdot 10^{-11}$	$6,2 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$
⁴⁰ K	$1,28 \cdot 10^9$ years	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-9}$	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$
²¹⁰ Pb	22,3 years	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$
²²⁶ Ra	$1,60 \cdot 10^3$ years	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
²²⁸ Ac	6,13 hours	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$9,7 \cdot 10^{-8}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$

Table 2. The values of the aggravating effective dose for absorption of radionuclides by respiratory system for selected radionuclides (for different age groups).

Results

The results of the measurements are based on measurements of the concentrations of radionuclides in the air filters exposed on the network ASS-500 station. Below (on the picture 1 and on the list) are presented localization of the ASS-500 station in Poland:



Pic. 1. Localization of the ASS-500 station in Poland:

- **Warszawa** – Central Laboratory for Radiological Protection, Dosimetry Department
- **Białystok** – Medical University of Białystok, Department of Biophysics
- **Gdynia** – Institute of Meteorology and Water Management - National Research Institute, the Maritime Branch in Gdynia
- **Katowice** – Central Mining Institute, Silesian Centre for Environmental
- **Kielce** – Jan Kochanowski University
- **Kraków** – The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Department of Nuclear Physical Chemistry, Laboratory of Radioactivity Analyses
- **Lublin** – Maria Curie-Skłodowska University, Department of Chemistry, Department of Radiochemistry and Colloid Chemistry
- **Łódź** – Technical University of Lodz, Department of Chemistry, Institute of Applied of Radiation Chemistry
- Sanok** – Provincial Sanitary-Epidemiological Station in Rzeszów, Laboratory of Radiation in Sanok
- **Szczecin** – West Pomeranian University of Technology, Institute of Chemical Engineering and Environmental Protection Processes
- **Toruń** – Nicolaus Copernicus University, Institute of Physics
- **Wrocław** – Wrocław University of Technology, the Radiological Protection Supervisor
- **Zielona Góra** – University of Zielona Góra, Institute of Environmental Engineering, Department of Conservation and Land Reclamation.

The results of measurement of the concentration of various radionuclides in atmospheric aerosols taken from ground level air are shown in Table 3. In the table is also given place and time of maximum concentration for each radionuclide.

Radionuclide	The concentration in air, $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	Range	Location and timing of maximum concentration
^{137}Cs	$0,44 \pm 0,02$	$(<0,08 \div 7,30)$	Katowice, 8.02 – 15.02
^{131}I	$0,70 \pm 0,02$	$(<0,09 \div <4,58)$	Zielona Góra, 15.11 – 22.11
^7Be	3158 ± 71	$(479 \div 14055)$	Katowice, 31.05 – 07.06
^{40}K	$11,1 \pm 0,2$	$(<2,2 \div 38,2)$	Lublin, 18.01 – 25.01
^{210}Pb	408 ± 11	$(92 \div 2499)$	Lublin, 18.01 – 25.01
^{226}Ra	$6,2 \pm 0,2$	$(1,3 \div <41,0)$	Wrocław, 10.05 – 17.05
^{228}Ra	$1,1 \pm 0,0$	$(<0,2 \div <7,6)$	Katowice, 04.01 – 11.01

Table 3. Average annual (for the whole Poland) concentrations of radioactive radionuclides in ground-level air in 2021

Effective doses received by inhalation varied in the range of 2,344 mSv per year for children aged 2-7 residing in Szczecin to the value of 6,334 mSv for young people aged 12-17 years. The maximum effective dose was calculated for the residents of Lublin.

Conclusions

Calculated doses from radionuclides in the air, received by the people of our country are very low. The results obtained in the above work have shown that these doses are at the fractional part of the dose limits.

Financing

The work was financed by the National Atomic Energy Agency under contract No. 39/OR/2020/391 of 31 December 2020

Modernization of the early warning network on air contamination in Poland – performing of two new ASS-500 stations powered with single-phase voltage. Installation and commissioning of new stations in two locations in Poland (Katowice, Łódź).

Krzysztof Isajenko, Karol Wojtkowski, Barbara Piotrowska, Marcin Kozdój

Introduction

The network of ASS-500 stations in Poland has been operating since 1992 (previously only the station at CLOR was operated). Currently, this network consists of 13 stations working in the early warning system on radioactive air contamination in Poland.

The investment received from the Ministry of Climate and Environment in 2021 made it possible to perform and exchange the last two stations (in Katowice and Łódź

Description of work carried out as part of the investment

As part of the investment, the following works were planned:

- Making of the two stations - until September 15, 2021 (in accordance with the signed annex, this date was postponed to September, 30, 2021)
- Testing newly created stations - until October 31, 2021
- Installation and commissioning of new stations in Katowice and Łódź – until December 15, 2021.

The investment started in May 2021 and ended in December 2021.

As part of the investment, the following elements of the ASS-500 station were purchased and made:

- ASS-500 station housing
- Fan HRD 16T FU-105 / 2,2 with connector and vibration isolators
- VFS15S.2022PL-W Inverter

- Regulator of humidity and temperature type AR247/3/S1/P/P/WU/P
- Infrared heaters type TEGI-0026 FSR 250W 230V 24108Flow measurement set containing:
 - Differential pressure and gas flow transmitter model PHM33-201-MD1
 - Measuring panel model GTA-DA6-A-BRTNVY
 - Model DRC-24V30W1A power supply
 - Averaging gas flow tube model AFMT-042-100

Conclusions

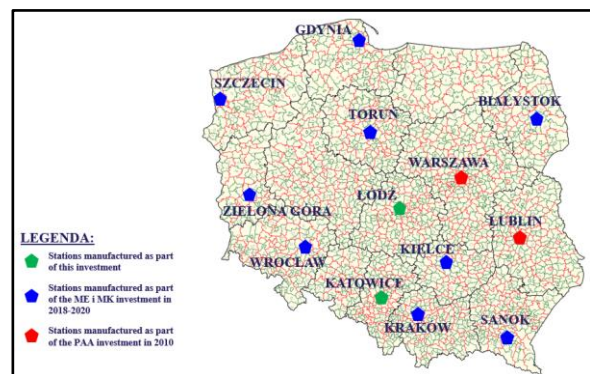


Fig. 1. A network of ASS-500 stations in Poland

Currently, all thirteen stations operating in the early warning network about air pollution in Poland are new type stations, fully modern, ensuring the highest standards in air monitoring in our country (Fig.1).

In the following years, it is planned to expand the network (install three new stations - in Olsztyn, Poznań and Koszalin) and modernize the on-line system.

Financing

The investment was financed by the Ministry of Climate and Environment under contract No. 52/DB/2021 signed of May 06, 2021.

*Department of Individual
Monitoring and Calibration*

Department of Individual Monitoring and Calibration

K. Wołoszczuk

The Department Individual Monitoring and Calibration consists of two laboratories: The Individual and Environmental Monitoring Laboratory (PDIŚ) and Laboratory for Calibration Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR), in which 12 people are employed. The basic tasks of the Department are to conduct research and development works and provide services in the field of:

- individual dosimetry,
- calibration of dosimetric instruments,
- calibration of radon instruments,
- exposure of passive detectors in reference fields of neutron, gamma, X and beta radiation,
- exposure of passive radon detectors in standard radon concentrations in the air,
- measurements of radioactive iodine in the human thyroid,
- measurement of radon in water by emanometry and liquid scintillation methods,
- measurements of the radon concentration in the air in workplaces and buildings.

As part of the scientific development, the employees of the Department successfully conduct research as part of their doctoral dissertations. Thanks to the constant cooperation of the Department with academic centers, the unit conducts laboratory classes for students in the field of dosimetry and ionizing radiation metrology. The result of this cooperation are engineering and master's theses. All research works carried out in the Department are published in scientific journals. Scientific articles published by the Department's employees can be found in such journals as: Radiation Protection Dosimetry, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Nukleonika, Central European Journal of Physics or Physica Scripta. The results of research work are also presented at conferences, mainly of international scope.

The department constantly develops its research potential through the development of research infrastructure and establishing scientific cooperation at the national and international level. On the national level, apart from the cooperation with academic centers mentioned above, the employees of the Department actively participate in the activities of associations and scientific platforms. The most important activity in this area is, first of all, cooperation within the Radon Center. Another association in which the employees of the plant actively participate is Women in Nuclear Polska (WiN) and PTBR. In addition to the above, the employees of the Department are also technical experts of the Polish Centre for Accreditation, the Polish Committee for Standardization and members of the Team for The National Action Plan In The Event Of Exposure To Radon Of The Chief Sanitary Inspectorate.

As part of international cooperation, the organization in which the employees of the Department work is primarily the EURADOS group (European Radiation Dosimetry Group) focused on scientific activities and exchange of experience in the field of ionizing radiation dosimetry, gamma spectrometry and research problems in the field of exposure of various professional groups to ionizing radiation. Another organization in which the employees of the Department work is OECD (The Organization for Economic Co-operation and Development), and more precisely, activities within one of the agencies of this organization - the Nuclear Energy Agency. The employees of the Department are also active in IPNDV (International Partnership for Nuclear Disarmament Verification). As part of international research cooperation, the Department carries out work under the traceRadon (<http://traceradon-empir.eu/>) and EU-RADION (<https://eu-radion.eu/>) projects.

Organizationally, two laboratories have been separated within the Department. The first - Laboratory for Calibration Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR), with the status of a calibration laboratory in the context of PCA accreditation requirements, and the second, functioning as a research laboratory - Individual and Environmental Monitoring Laboratory (PDiŚ). All calibration methods used in the LWPDiR are accredited by the Polish Centre for Accreditation and comply with the requirements of the international standard ISO / IEC 17025. The laboratory's research infrastructure has been divided into six measuring stands: Gamma Stand, X-ray Stand, Neutron Stand, Radon Stand, Beta Stand and Radioactive Contamination Stand. The research equipment enables the exposure to be made with the uncertainty of 4%. The Laboratory carries out about 1,300 calibrations of dosimetric instruments annually, mainly with the use of gamma radiation, X radiation and sources of surface contamination. In the context of the implemented European requirements regarding the limits of radon concentration in residential buildings and workplaces, an important activity of the Laboratory is work with the use of a radon climatic chamber. In addition, the equipment of the radon chamber deserves special attention, including the RPPSS (Radon Progeny Particle Size Spectrometry) system - the only apparatus of this type in Europe and one of the two in the world, enabling the study of the diameter distribution of radon daughters. Apart from the radon chamber, the D-T neutron generator is undoubtedly the unique infrastructure of the Laboratory. The device is currently the only one of its kind in Poland used for works in the field of neutron radiation metrology.

All calibration procedures used in the Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments are accredited by the Polish Center for Accreditation and comply with the requirements of the international standard PN: EN ISO / IEC 17025. The research infrastructure of the Laboratory was divided into six measurement stands: Gamma Stand, X-ray Stand,

Neutron Stand, Radon Stand, Beta Stand (Beta Secondary Standard 2) and Radioactive Contamination Stand. The testing apparatus enables exposures to be carried out with a reference value with an uncertainty of 4%. About 1 000 calibrations of dosimetric instruments are carried out annually in the Laboratory, mainly on gamma radiation stand, X-ray stand and Radioactive Contamination Stand.

Apart from the radon chamber, the laboratory's undoubtedly unique infrastructure is the D-T neutron generator. The device is currently the only one of its kind in Poland used for work in the field of neutron radiation metrology.

Within Individual and Environmental Monitoring Laboratory main research topics are: thermoluminescent dosimetry, measurement of ¹³¹I activity in human thyroid, measurement of radon activity concentration in water, and measurement of radon activity concentration in air. Research is focused on the assessment of individual doses of the population and occupational to ionizing radiation, resulting from external exposure as well as the assessment of the effective dose as a result of the absorption of radioactive isotopes. As before, all research procedures developed and implemented in PDiŚ are accredited by PCA.

The Department of Individual Monitoring and Calibration conducts extensive activities related to the statutory tasks of CLOR. Research conducted at the Department has a significant impact on the current and future state of radiation protection and nuclear safety of Poland. It is also a great place to educate new staff specializing in dosimetry and ionizing radiation metrology.

The experience and knowledge gained by the employees of the Department, thanks to the conducted research and national and international cooperation, is an invaluable value in the context of the planned construction of the first nuclear power plant in Poland, radon measurements in the environment, also in the context of the continuous development of the use of ionizing radiation sources

in medicine, science and industry.

Quality Management System in the Laboratory of Personal and Environmental Doses in 2021

A. Milewska

The Laboratory of Personal and Environmental Doses is part of the Dose Control and Calibration Department. It has the Accreditation Certificate of the Research Laboratory No.AB 450, confirmed by the Polish Center for Accreditation. The laboratory performs measurements according to the PN EN ISO / IEC 17025: 2018 02 standard.

The scope of accreditation covers radiochemical and radiation tests - including nuclear tests in biological facilities and materials intended for research, water, air, and other products - dosimeters.

In 2021, work continued to implement the new Quality Management System, which was finally implemented in June 2021. The new documentation was reduced and transferred to the electronic version. A new system of numbering documents and forms was introduced, which greatly facilitated navigation in the system, and the documents constituting the Quality Management System gained a new graphic design.

In July 2021, 2 internal audits were carried out. Audit reports confirmed the compliance of PDIŚ activities with the requirements of the standard and accreditation documents. In September 2021, a management review took place, during which all the requirements included in the PN-EN ISO / IEC 17025: 2018-02 standard and current matters were discussed. During the review, the goals and tasks established in the previous management review were discussed. The tasks related to the improvement of the management system by educating the staff, updating the Customer Satisfaction Survey,

and adapting the current procedures, instructions, forms, and documents to the electronic version have been fully completed. Further expansion of the TLD database (with the possibility of electronic acceptance of certificates) is planned for the next period. On the other hand, the task regarding the online store will not be completed for economic reasons, i.e. inadequacy of financial outlays to possible profits.

During the management review, the results of the Customer Satisfaction Survey were presented. The total number of Clients evaluating PDIŚ at the VERY HIGH and HIGH levels remains at the same level as in the previous survey. The highest score, ie 98.90%, was received by PDIŚ for meeting the deadlines for the implementation of contracts. 64.84% of clients are long-term clients of PDIŚ. This result is the second highest score obtained in the conducted study. This proves that customers are very much attached to PDIŚ. In September 2021, an assessment was carried out in the supervisory review process. According to the assessment report received from PCA, the Laboratory meets the accreditation requirements specified in the PN-EN ISO / IEC 17025: 2018-02 standard and specific accreditation requirements in the scope of the accreditation held. There were 2 inconsistencies and 3 observations in the report. The level of risk was assessed for insights, while non-conformities were analyzed, corrected and corrective actions were implemented. There was no change in staff in 2021. Mrs. Grażyna Krajewska remains the head of the Laboratory of Personal

and Environmental Doses. The function of the Deputy Manager of PDIŚ is performed by Mrs. Zuzanna Pawłowska, who is also the Technical Manager.

The structure of PDIŚ remained unchanged. The laboratory conducts measurements on 4 measuring stations, i.e.

- ✓ measurements of radon concentration in liquid samples
- ✓ measurements of radon concentration in the air
- ✓ measurements of personal exposure
- ✓ measurements of radioactive iodine activity in the human thyroid gland

Quality Management System in the Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR) for the 2021

A. Milewska

The Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR) is part of the Dose Control and Calibration Department. It has the Accreditation Certificate of the Calibration Laboratory No.AP 057, confirmed by the Polish Center for Accreditation.

The scope of accreditation covers dosimetric values (gamma, beta, X radiation), surface radiation emission (alpha-radioactive source, beta-radioactive sources, and measurements of radon concentration. There was no change in staff in 2021. Łukasz Modzelewski remains the head of LWPDiR, as well as the Technical Manager.

The structure of the LWPDiR remained unchanged. The laboratory runs:

- ✓ calibration of dosimeters with ionization chambers, dosimeters of dose rate and dose of ionizing radiation, dosimeters of alpha and beta radioactive contamination
- ✓ activities in the field of exposure of detectors and instruments for measuring the radon concentration
- ✓ calibration of instruments for measuring radon concentration and potential energy concentration, and of radon decay products
- ✓ work in the field of exposure of passive dosimeters.

In 2021, 2 internal audits were carried out. The auditor did not note any observations or non-conformities in the reports. In September 2021, a management review took place, during which all the requirements included in the PN-EN ISO / IEC 17025: 2018-02

standard and current matters were discussed. During the review, the goals and tasks established in the previous management review were discussed. The tasks related to the participation of staff in conferences, seminars, and training, the purchase/development of a new database for the registration of accepted calibration instruments in the Laboratory, and the software for automatic reading of values from UNIDOS have been fully implemented. The task related to the modernization of the camera system and monitors in the calibration rooms used during the calibration process was transferred to the next period.

During the management review, the results of the Customer Satisfaction Survey were presented. The survey analysis shows that the Laboratory meets the needs and expectations of customers, as evidenced by the fact that 100% of respondents express their readiness to recommend it to other customers. In terms of the level of customer service, the laboratory received the highest marks for :

100% - professionalism and competence

100% - substantive knowledge of employees

100% - consulting and substantive support

90% - response time to an inquiry.

In October 2021, an assessment was carried out in the supervisory review process. According to the assessment report received from PCA, it was confirmed that the LWPDiR meets the accreditation requirements specified in the PNEN17025: 2018-02 standard and that evidence from the evaluation was

obtained justifying sufficient confidence
in the competence of the AP 057 laboratory
in the area of accreditation.

Study of factors influencing the change of properties of CR39 nuclear track detectors

M. Norenberg, K. Wołoszczuk

The aim of this study is to determine the factors influencing the measurement of radon activity concentration (^{222}Rn) with the use of CR39 trace detectors. The performed measurements are a continuation of the experiments carried out in 2020. At that time, a series of exposures of detectors were carried out in different reference radon activity concentrations, with the same duration. For each of them, the average track density and the dependence of the calibration factors on the exposure value were determined. The measurements were made without interfering with the environmental conditions, with the relative air humidity at the level of 32%. These results were used as a reference point in further studies of the factors potentially influencing the properties of CR39 detectors.

Solid state nuclear track detectors being the subject of this research consist of a diffusion chamber into which air from the atmosphere diffuses. At the bottom of the container, there is a CR39 foil (PADC). Penetrating through the foil, α particles damage chemical bonds, creating an invisible, latent track. As a result of chemical etching, the latent track becomes visible under the microscope. The density of such tracks, counted under the microscope, corresponds to the number of α particles that produced them and is proportional to the radon activity concentration in the tested air and the exposure time. An automatic Politrack system was used to read the detectors. To determine the exposure value, the reading system must first be calibrated using detectors exposed

in the reference radon activity concentration. As a result of the calibration, the calibration factor w_k is obtained, which assigns the measured trace density N to the time-integrated radon activity concentration Exp_{Rn} (1):

$$w_k = \frac{\text{Exp}_{\text{Rn}}}{N} \left[\frac{\text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}}{\text{śl.} \cdot \text{cm}^{-2}} \right] \quad (1)$$

The measurements were carried out in the walk-in radon calibration chamber at the Central Laboratory for Radiological Protection.

Measurements of radon activity concentration and environmental conditions were made using the AlphaGuard DF 2000 device.

The etching of the exposed detectors was carried out in a steel bathtub equipped with a thermostat, in a concentrated sodium base.

During the research, two exposures were made at various reference radon activity concentrations, at a high relative air humidity of 96%. The time of all exposures corresponded to the time of the realized exposures in 2020 and amounted to 100 hours. The values of the performed exposures also corresponded to the values obtained during the previous experiments. Each time, 10 detectors from the same production series were exposed.

After the exposure was completed, all detectors were etched under the same conditions. The background was determined by etching and reading 5 previously unexposed detectors from the same series.

To improve the accuracy of the measurements, each detector participating in the experiment was read five times.

The experiment was aimed at checking the influence of high air humidity on the measurement performance with the use of CR39 detectors. This influence may be important in the case of measurements taken into underground locations with similar environmental conditions. A comparison of the reference exposure values, average track densities and the determined calibration factors for measurements performed at low and high relative air humidity are presented in Table 1. The distribution of the track density on detectors exposed to various conditions is shown in Graphs 1 and 2.

In addition, as part of the research, the occurrence of the phenomenon of disappearance or formation of new tracks on exposed and etched detectors was

checked. For this purpose, the detectors exposed in 2020 were read again and the determined track densities were compared with the readings made a year earlier. No changes beyond the measurement uncertainty were observed.

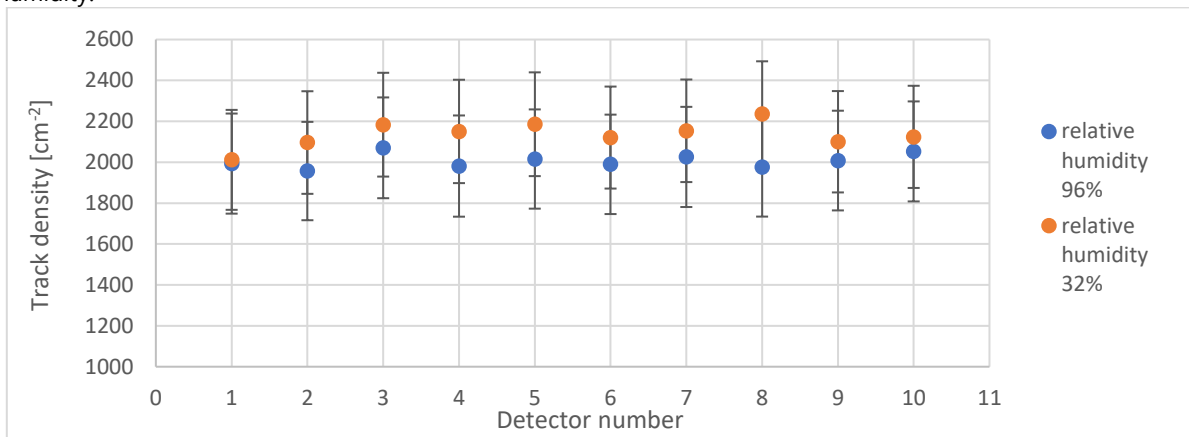
During the research, the potential influence of air relative humidity on radon measurement with the use of CR39 trace detectors was checked. Analyzing the preliminary results obtained in the present experiments, it can be assumed that there is a slight influence of high air humidity on the track density formed on the CR39 detector, however, its unequivocal determination requires further research.

No changes in the track density were found on previously exposed and etched detectors. This means that they can be an effective carrier of information about the exposure and can be stored for a long time.

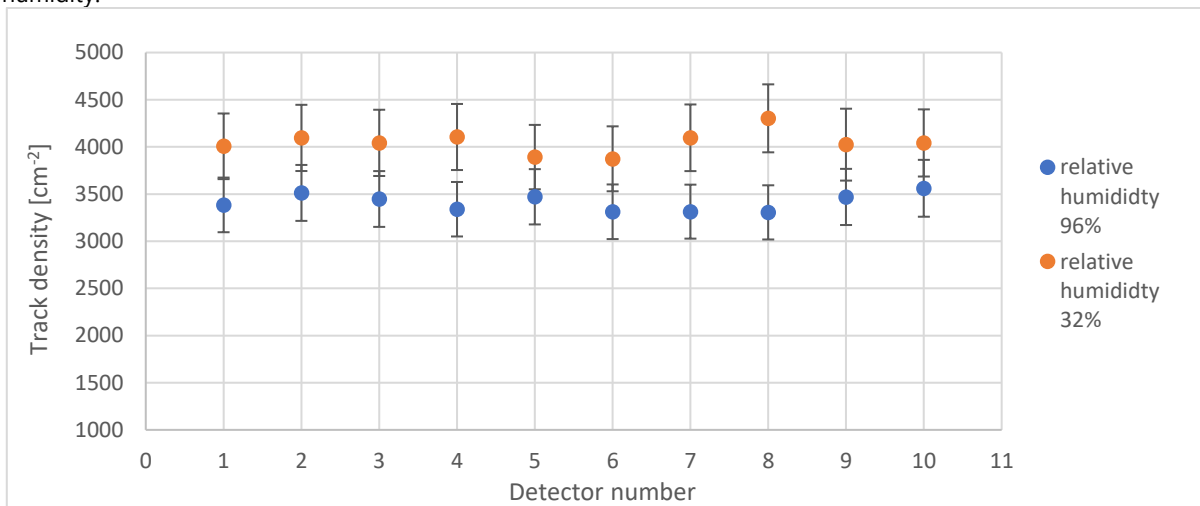
Table 1. Results obtained during the tests.

Exposure number	Exposure value [kBq·h·m ⁻³]	Exposure uncertainty [kBq·h·m ⁻³]	Mean track density [cm ⁻²]	Track density uncertainty [cm ⁻²]	Calibration factor $\left[\frac{\text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}}{\text{śl.} \cdot \text{cm}^{-2}} \right]$	Relative humidity [%]
959	51	1965	251	0,488	0,068	32
987	52	1822	241	0,542	0,078	96
2005	95	3877	355	0,517	0,053	32
1985	94	3226	294	0,615	0,063	96

Graph 1. Comparison of the track density distribution for exposures of approximately 1000 kBq/m³ at various humidity.



Graph 2. Comparison of the track density distribution for exposures of approximately 2000 kBq/m³ at various humidity.



Maintenance of the CLOR Iodine Monitoring Laboratory to perform measurements of radioactive iodine in the human thyroid

G. Krajewska

Introduction

Measurements of the activity of iodine deposited in the thyroid gland are performed at the CLOR Iodine Monitoring Laboratory using two sets of gamma radiation spectrometers - stationary and portable. The equipment enables iodine measurements in the thyroid gland at the site of an accident or local iodine contamination, at workplaces with these isotopes, and in the population in radioactive contamination areas in the event of a large-scale accident, e.g. a nuclear power plant. It was produced by Canberra - Packard - the detector is a 3 x 3 inch NaI (TI) crystal, with a resolution of 7.5% for an energy of 661.6 keV.

The activities of the Laboratory in 2021, consisting in keeping the equipment ready for immediate measurements of the radioactive iodine content in the thyroid gland, were based on performing

systematic measurements of the radiation background in photopeaks of isotopes ^{99m}Tc and ^{131}I and testing the correct operation of the modules of electronic measurement sets and measuring the content of iodine-131 and technetium -99m in the thyroid gland in employees of nuclear medicine departments in Poland.

Results

Background in the room of the Iodine Monitoring Laboratory, measured twice a month, was 4, 3 cps in the photopic of the isotopes ^{99m}Tc and ^{131}I , respectively, and fluctuated within 20% of the average measured annual background in the previous years, remaining constant and determining a low measurement detection limit in the Laboratory. Figure 1 and Figure 2 show the spectrum of background radiation measured with a stationary and portable set, respectively.

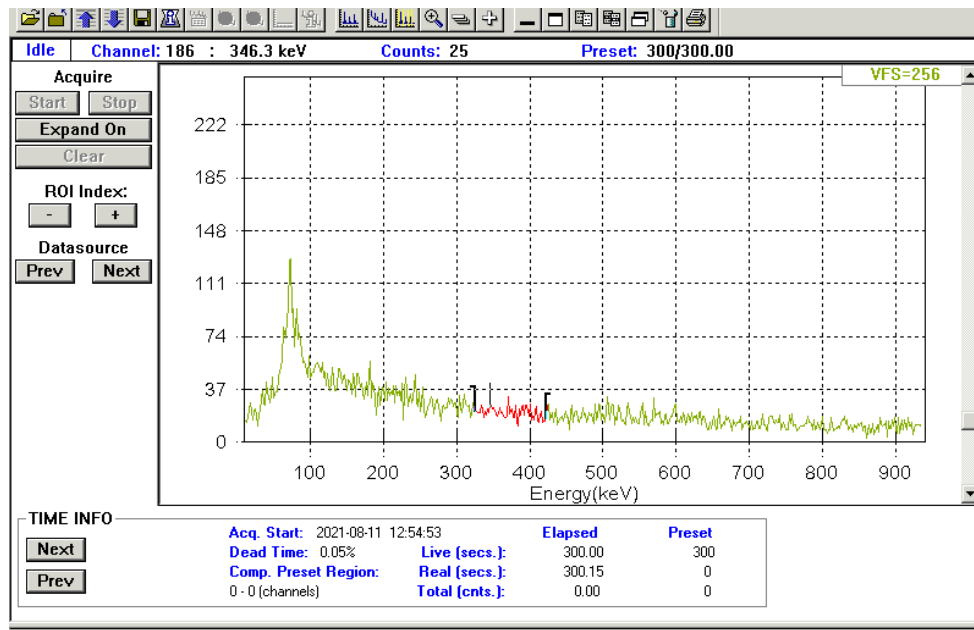


Fig. 1. The background spectrum in laboratory measured with stationary set

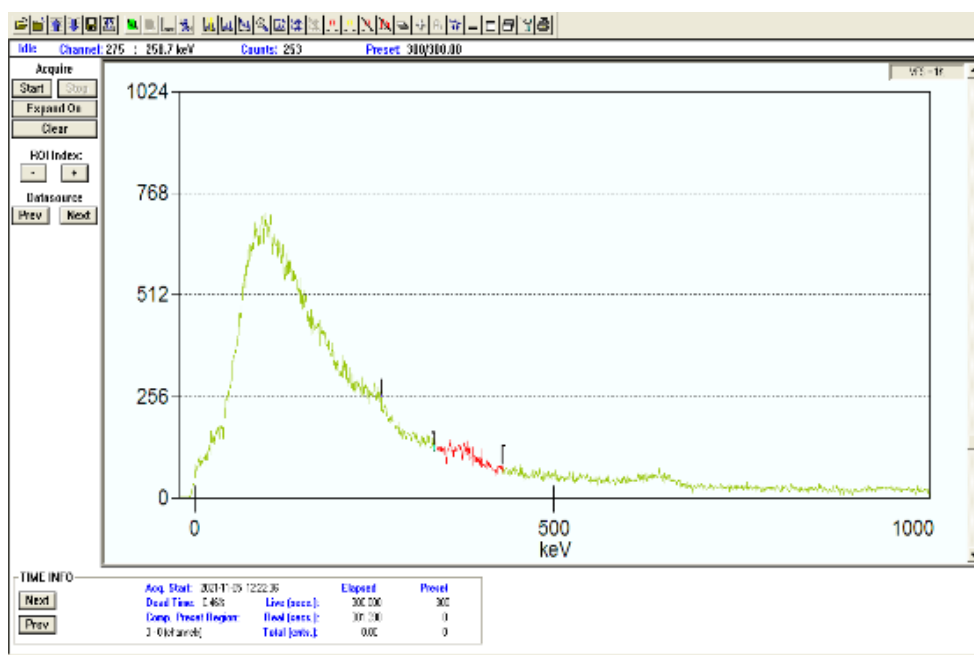


Fig. 2. The background spectrum in laboratory measured with mobile set

In 2021, the content of radioactive iodine ^{131}I and technetium $^{99\text{m}}\text{Tc}$ was measured in the thyroid glands of people who were employees of three organizational units: Nuclear Medicine Department / Laboratory of the 1. Mazovian Brodno Hospital, 2. Institute "Memorial - Children's Health Center", 3. Międzyzyleski Specialist Hospital, in Warsaw.

In the above-mentioned facilities, diagnostic tests are carried out with the use of radioactive iodine - scintigraphy of the thyroid gland, thyroid uptake, determination of the level of thyroid hormones and therapeutic tests - treatment of thyroid diseases, including tumors of this gland. In addition, diagnostic tests of other organs are carried out, including using the technetium isotope.

The results of measurements of iodine-131 (and technetium-99m) activity in the thyroid gland and estimated doses of ¹³¹I uptake in employees

of the above facilities are presented in Table 1 and Figures 3-4.

Tab. 1. The results of measurements of the activity levels of radioactive iodine and technetium in employees of the Departments of Nuclear Medicine (only measurements with a value greater than the minimum measurable activity were presented, 68 [Bq])

No. (Employee)	Measured in thyroid activity of iodine -131 [Bq]	The estimated annual effective dose from the absorptions of iodine-131 [mSv]	Percentage of maximum effective dose for occupationally exposed (20 mSv)	Measured in thyroid activity of technetium-99m [Bq]
Department of Nuclear Medicine and Magnetic Resonance, Mazovian Brodno Hospital in Warsaw				
1.(K.CH.)	<68	<0.38	<1.90	300
2.(K.W.)	<68	<0.38	<1.90	2700
3.(M.C.)	<68	<0.38	<1.90	400
4.-16.	<68	<0.38	<1.90	-
Department of Nuclear Medicine, Institute "Memorial - Children's Health Center" in Warsaw				
1.(A.Ś.)	250	0,75	3,75	-
2.(B.M.)	500	1,50	7,50	42
3. ÷ 8.	<68	<0.38	<1.90	-
Department of Nuclear Medicine, Miedzyleski Specialist Hospital in Warsaw				
1. ÷ 7.	<68	<0.38	<1.90	-

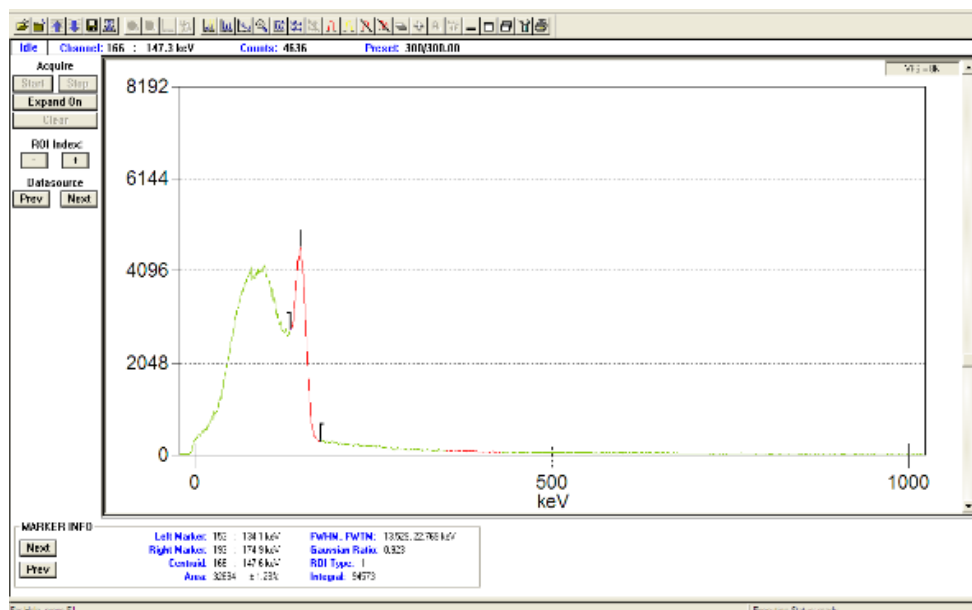


Fig. 3 The spectrum of radiation measured in the employee K.W.

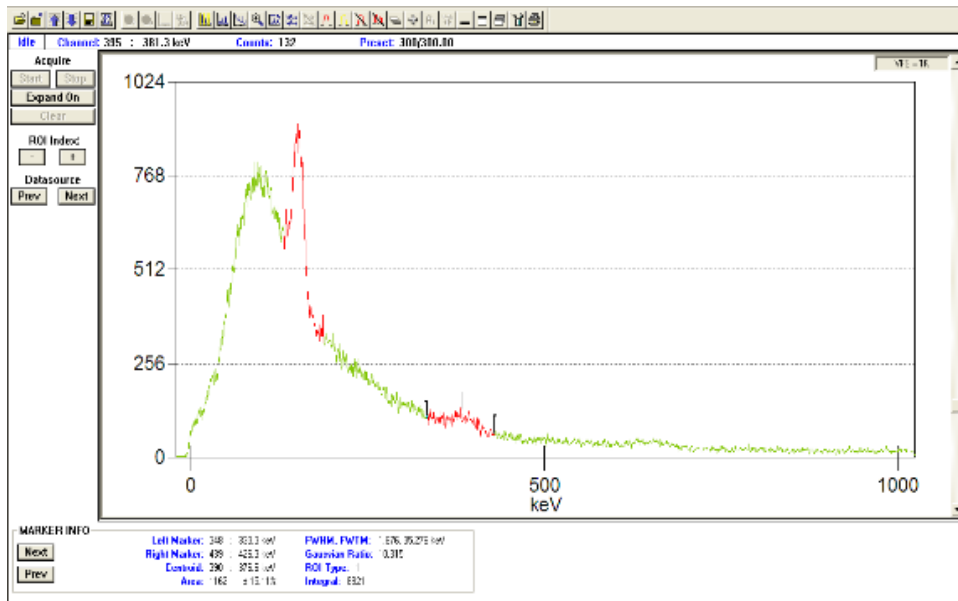


Fig. 4. The spectrum of radiation measured in the employee B.M.

The levels of I-131 iodine activity in the thyroid gland of employees of the Nuclear Medicine Departments where the measurements were carried out were low (Table 1).

The maximum dose was approximately 1.5 mSv, not exceeding 8% of the annual limit for occupational exposure (employee of the Department of Nuclear Medicine, Institute "Memorial - Children's Health Center" in Warsaw). The occurrence of technetium isotope in the thyroid gland was recorded in a few employees (high value in the case of an employee of K.W.).

Financing

The work was funded by the National Atomic Energy Agency under the Contract No. 19/OR/2018/2 and No. 25/2021/CEZAR/52

Validation of elaborated in CLOR code CLRP in a frame of international programs IAEA

G. Krajewska, P. Krajewski

Introduction

Presented code CLRP (Concentration Levels Rapid Predictions) is deterministic-probabilistic equilibrium model that serves as a tool for prediction of doses for reference groups of population and reference animals and plants due to routine releases of radioactive substances from nuclear facilities and can be applied for verification of calculated doses from projected releases referred in the Report of Environmental Impact planed EJ in Poland.

The evolution of the CLRP code has alternated consecutively as response of the requirement of following IAEA programmes in the area of environmental modeling. In the period of 2009-2011, in a frame of *EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety*, due to activity of *Working Group 1: Reference Methodologies for "Controlling Discharges" of Routine Releases* and its work on the scenarios SIZEWELL B and Chalk River [1], the first version of equilibrium code CLRP, designed to calculate doses for reference group of population (adult and child 1-2 years old) for routine NPP releases to atmosphere and river. The code has been written in MS Visual Basic for Applications language, based on MS EXCEL platform with support of Oracle Crystal Ball probabilistic module (v. 11.1.2.4.850). The atmospheric and in river dispersion models where applied upon IAEA publication SRS 19 [1] as well as item published the semi-empirical data base of environmental transfer factors of various elements together with theirs PDF distribution and isotopes dose conversion factors DCF for external and internal exposures have been included in the CLRP code.

It enabled to perform prognosis of doses for 102 isotopes and 55 elements (excluding carbon ^{14}C and tritium ^3H). In the period of 2012-2014, the MODARIA program (Modelling and Data for Radiological Impact Assessments) was realized, and within the program the *Working Group 5 – Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides* was acting. In the scope of the group and work on scenario CHINON NPP (Loara river), the data base of the CLRP code was extended on the updated environmental transfer factors with PDF distributions taken from new IAEA publication TRS No. 472 [3] and moreover on the basis of this publication the new calculation model for discharges of carbon ^{14}C and tritium in the forms of HTO and organic OBT was implemented. In the period of 2016-2019, in the frame of IAEA MODARIA II Program (MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments) the efforts to extend prediction ability of the CLRP code was continued. proba named MODARIA II (2016-2019), was seventh succeeding program of IAEA, in which for 30 years has been participating CLOR, concerning problems of accuracy and validation of prognosed exposure levels of the public and in the environment with computer models of the fate of radionuclides in the environment. The main objective of the activities in environmental modelling was an integrated risk assessment of reference group of population and biota associated with radionuclides releases from various kind of nuclear facilities as from different type and power nuclear reactors, radioactive waste disposal and more complex nuclear research

facility. This task was performed by *Working Group 3 - Assessments and Control of Exposures to the Public and Biota for Planned Releases to the Environment*. During this period the significant evolution of the CLRP code appeared, for instance: data base of DCF factor was enlarged and updated on the basis of the new published Basic Safer Standard [4] and new calculating module enabling dose assessment for reference animals and plants (REPs) was implemented according to ERICA TOOL 1.2 and next ERICA TOOL 2.0 [5]. Figure 1 shows schema of interface modules and calculation modules of CLRP. The participation in the IAEA programs on validation of environmental models offered unique opportunity to collect and compare exposures predicted by particular models and to perform validation study of CLRP code.

Program MODARIA II formally ended in 2019, but followed year 2020 was assigned for preview results and edition of reports [6]. In October 2021, the IAEA's new program on Methods for Radiological and Environmental Impact Assessment (MEREIA) was launched (virtually because of COVID-19 pandemic). More detailed description of MODARIA program one can find in the CLOR report [8].

Results

Integrated risk assessment means, that in the one calculation run, one can get quantities of doses for reference groups of population and dose rates for reference representatives of biota. It requires of specific structure of calculation code, what is presented on Figure 2.

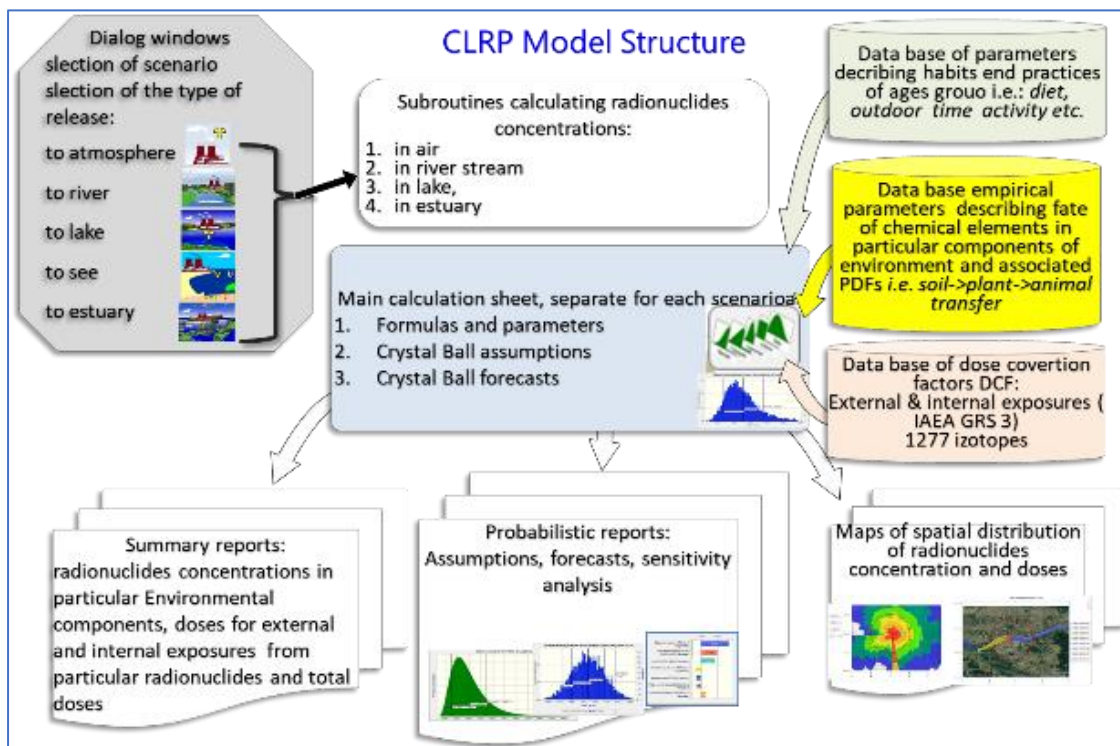


Fig. 1. Schema of interface modules and calculation modules of CLRP reference groups of population and reference animals and plants

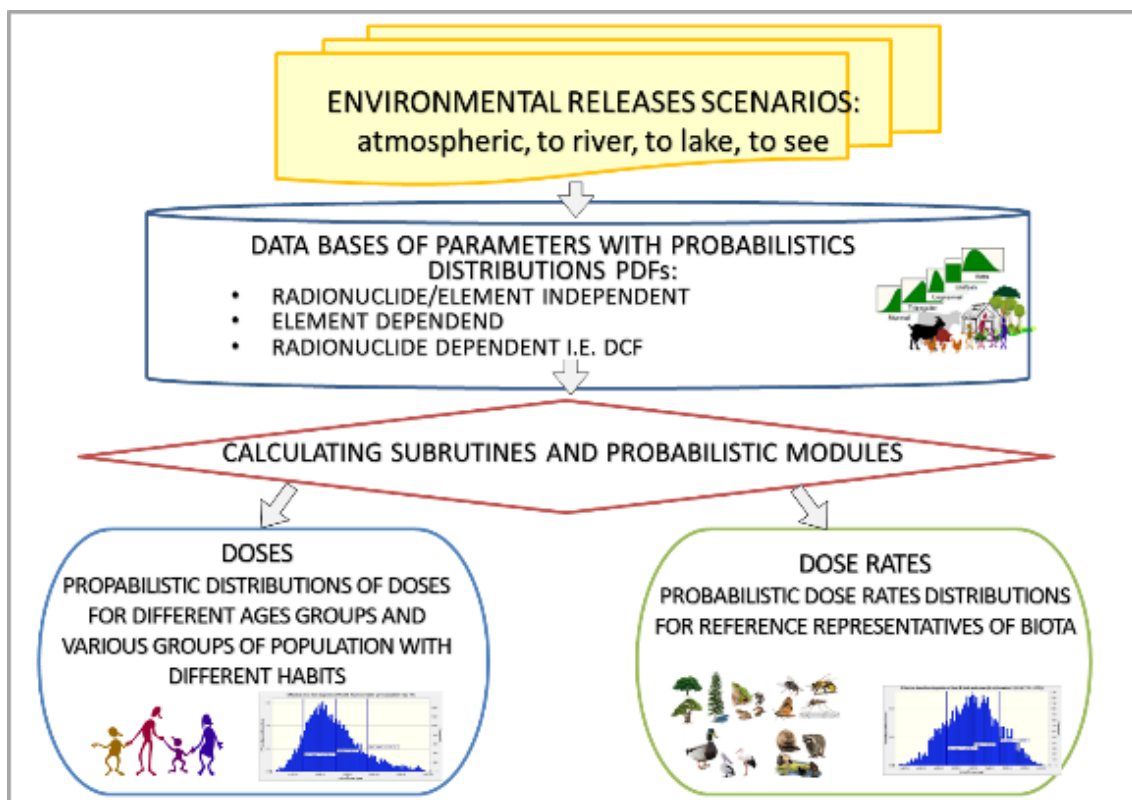


Fig. 2. The code structure that groups of population and reference representatives of biota.

The validation of CLRP code has been performed by models comparisons i.e. by collecting results of predicted exposures and discussion and clarification of discrepancies, based on preprepared test scenarios.

- Six various models from different organizations participated in the validation study, as follow:
- SYMBIOSE – the French model, developed by IRSN – modular code with build-in probabilistic package MC and also enables special analysis of results of predictions,
- ESTE AI – the Slovak model, developed by ABMerit, based on GIS platform with own probabilistic package MC,
- CROM – the Spanish model, developed by CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) in a frame of EU STAR project with build-in own probabilistic package MC, but without possibility

of calculation doses from tritium HTO, OBT and carbon ^{14}C ,

- CLRP (routine releases) – the Polish model developed in CLOR, based on EXCEL Microsoft Office 365 supported by probabilistic package Crystal Ball Oracle,
- PC-CREAM – English model, developed by PHE plus MS EXCEL worksheet to calculate doses for `biota
- PC CREAM 08 – Argentinian model developed by ARN (Autoridad Regulation Nuclear)

In progres of MODARIA II program, the WG3 have been elaborated four full standard scenarios, as follow:

- CHINON SCENARIO - radioactive releases to atmosphere and river Loara from NP in CHINON which consists of 4 blocks PWR of power 900 MWe. CHINON scenario was

compiled by French scientists of IRSN⁶. Discharges from CHINON NPP of dominant isotopes are as follow:

- atmospheric: ³H - 2 TGB/y; ¹⁴C - 0.12 TBq/y; ⁴¹Ar - 0.14 TBq/y; ¹³³Xe - 0.6 TBq/y; ⁸⁵Kr - 0.015 TBq/y
- to Loara river: ³H 54 TGB/y, ¹⁴C 0.05 TBq/y
- ATUCHA SCENARIO - radioactive releases to atmosphere and river Paraná de las Palmas from argentina nuclear power plant HWR (D2O heavy water as moderator) build by SIEMENS'a with power of 362 MWe. Scenario ATUCHA was compiled by Staff of ARN⁷. Discharges from ATUCHA NPP of dominant isotopes are as follow:
 - atmospheric: ³H - 850 TGB/y; ¹⁴C - 0.3 TBq/y; ⁴¹Ar - 15 TBq/y; ⁸⁷Kr - 6 TBq/y; ⁸⁸Kr - 6 TBq/y
 - to Parana de las Palmas river: ³H - 940 TGB/y; ⁶⁰Co - 0.09 TBq/y; ¹³⁷Cs - 0.05 TBq/y
- AUBE SCENARIO - radioactive releases to atmosphere and river Noues d'Amance from low and medium waste disposal in the location of village L' Aube). AUBE scenario was compiled by French scientists of CSA-ANDRA⁸. Discharges from AUBE waste disposal of dominant isotopes are as follow:
 - atmospheric: ³H - 50 GBq/y; ¹⁴C - 5 GBq/y; ¹²⁵I+¹²⁹I+ ¹³¹I - 2·10⁻² GBq/y
 - to Les Noues d'Amance river: ³H - 5 GBq/y; ¹⁴C - 0.12 GBq/y; ¹²⁵I+¹²⁹I+ ¹³¹I - 0.1 GBq/y
- CADARACHE CENTRE SCENARIO- radioactive releases to atmosphere and river Durance from the French research center on nuclear matter,

belonging to C.E.A⁹. The Center consists of 21 constant nuclear instalations including nuclear reactors (Pegase, Rapsodie), nuclear waste repositories as well as the nuclear materials reprocessing plants. In 2005 the Center was selected for location of ITER¹⁰ – the biggest thermonuclear experimental reactor. CADARACHE scenario was compiled by French scientists of C.E.A. Discharges from CADARACHE CENTRE of dominant isotopes are as follow:

- atmospheric: ⁸⁵Kr - 130 TBq/rok; ³H - 15 TBq/rok; ²²²Rn - 1TBq/rok
- to Durance river: ³H - 1.8 TBq/rok; ¹⁴C - 0.9 GBq/rok;

The detailed description and successively compiled reports showing results of predictions of particular models one could find on the IAEA web site at address:

<https://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp#6>.

One come up to the general conclusion valid for different nuclear facilities, that apart from quantity and isotopic composition of discharges, predicted average doses of reference groups of inhabitants in vicinity of facility do not excided 1 μSv per year with uncertainty of order of magnitude i.e. (×10; ×10-1) whereas doses of reference animal and plants do not excided 1· 10⁻⁵ μGy·h⁻¹ with similar uncertainty i.e. (×10; ×10-1). It is worth to emphasis that specified by regulation dose limit for population near nuclear facility is 100 μSv per year and dose rate limit for reference animal and plants is equal respectively to 40 μGy·h⁻¹ and 400 μGy·h⁻¹. All models showed similar predictions regarding the contribution of the particular hazard pathways to the total dose as

⁶ Institute de Radioprotection et Sùreté Nucléaire

⁷ Nuclear Regulatory Authority of Argentina

⁸ L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

⁹ C.E.A Commissariat Energie Atomique

¹⁰ International Thermonuclear Experimental Reactor

well as the contribution of dominant radionuclides to the item. The total dose prediction by CLRP code was close to the geometric mean of overall predictions of participating models. The main sources of discrepancies of predictions among the participating codes were another approaches in physical models of the behavior of tritium HTO, OBT and carbon 14C in the environment as well as somewhat different interpretation of scenario information.

The new IAEA program named *MEREIA (MEthods for Radiological and Environmental Impact Assessments)* (2021-2025) was launched virtually on October 2021 and according to preliminary objectives and scope of the MEREIA program, MEREIA will build on the results of the earlier programmes EMRAS and MODARIA and will continue the IAEA's activities in the field of developing capability and capacity in its Member States on radiological impact assessment and guidance on the application of assessment approaches with almost 40-years traditions. Provisionally, the general framework of the MEREIA program and the thematic areas were established, that shall related to the assessment approaches for planned exposure situations as well as existing exposure situations so areas with historical radiological contaminations.

Thematic areas and topics within the MEREIA program are given below:

Thematic Area 1 – Assessment Approaches for Exposure Situations;

- Topic 1.1 – Understanding the assessment requirements for planned and existing exposure situations;
- Topic 1.2 – Integration of models for human and biota exposures;

- Topic 1.3 – Application of models for human and biota exposures in different climates (including in tropical areas);
- Topic 1.4 – Consideration of potential exposures.

Thematic Area 2 – Assessment case studies:

- Topic 2.1 – Radiological impact for NORM facilities;
- Topic 2.2 – Radiological impact and remediation of legacy sites;
- Topic 2.3 – Disposal of radioactive waste and residues;
- Topic 2.4 – Radiological impact of NORM releases;

Thematic Area 3 – Optimization of protection:

- Topic 3.1 – Considerations of societal, economical and other non-radiological aspects in decision making and the regulatory process;
- Topic 3.2 – EIA definition and elements.

Thematic Area 4. Mentoring scheme

An integral element of the MEREIA program will be a mentoring program designed to help young professionals and less experienced experts, especially from developing countries, to improve their knowledge and expertise in the area of radiological environmental assessments

The works to elaborate overall objectives of MEREIA program has been yet not finished, for instance, taking in to account present situation due to war in Ukraine, still lack methodology (models) for hazard assessment in emergency situation, i.e. using of radioactive materials in malevolent intention and focusing on methodology to hazard assessment in situation of using weapon of mass destruction.

Financial support

This work was financed by the Ministry of Science and Education, found under subvention in 2021.

References

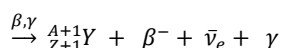
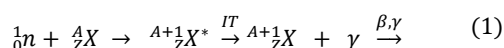
- [1] Performance of Models in Radiological Impact Assessment for Normal Operation, Report of Working Group 1, Reference Methodologies for Controlling Discharges of Routine Releases of EMRAS II Topical Heading, Reference Approaches for Human Dose Assessment Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme, IAEA-TECDOC-1808, IAEA, VIENNA, 2017, <https://gnssn.iaea.org/rtps/general/shared%20documents/forms/allitems.aspx?rootfolder=/rtps/general/shared+documents/environmental+assessment/emras+ii+reports+final+-+pre-publication>
- [2] SAFETY REPORTS SERIES No. 19, GENERIC MODELS FOR USE IN ASSESSING THE IMPACT OF DISCHARGES OF RADIOACTIVE SUBSTANCES TO THE ENVIRONMENT, IAEA 2001.
- [3] HANDBOOK OF PARAMETER VALUES FOR THE PREDICTION OF RADIONUCLIDE TRANSFER IN TERRESTRIAL AND FRESHWATER ENVIRONMENTS, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 472, IAEA 2010, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs472_web.pdf
- [4] RADIATION PROTECTION AND SAFETY OF RADIATION SOURCES: INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS; General Safety Requirements Part 3, IAEA 2014
- [5] ERICA Tool 2.0 – Release, <https://erica-tool.com/>
- [6] Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides, Report of Working Group, Version 6.1, July 2020.
- [7] <https://www.iaea.org/events/evt2003621>
- [8] Krajewski, P., Krajewska, G., Rozwój metod i modeli do oceny ryzyka radioekologicznego w ramach międzynarodowego programu MAEA MODARIA (2016-2019), RAPORT CLOR NR 160/161, ISBN 978-83-947765-4-1

Feasibility study of neutron activation analysis (NAA) in CLOR laboratory

A. Kawalec, B. Kliś

Neutron Activation Analysis

Activation analysis is the method of detecting and determining the concentration of elements in a given material by measuring the ionizing radiation emitted by radionuclides that were created as a result of selected nuclear reactions. In the case of using neutrons, as the activation particles, we will talk about neutron activation analysis (NAA). It is usually based on neutron radiation capture reactions (n,γ) [1]. Equation 1 shows the nuclear reactions that occur in NAA.



The most common neutron sources for NAA are nuclear reactors, which have a neutron flux of 10^{12} - 10^{15} $n\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$. Other neutron sources are isotopic neutron sources (e.g. ${}^{241}\text{Am}/\text{Be}$, ${}^{239}\text{Pu}/\text{Be}$) or neutron generators. However, their usage is much rarer due to, up to several orders of magnitude, lower neutron flux [1]. The lower neutron flux, though, gives the opportunity to study the samples that may create radionuclides with a very short half-life time (minutes to hours). Much lower activation, than it is in the case of nuclear reactors, allows to obtain very low activity in the activated material – the sample stops emitting ionizing radiation after a few hours or days, thus it does not require longer storage or special handling.

Neutron activation analysis can be divided into two categories (Fig. 1):

- prompt-gamma neutron analysis activation (PGNAA)

- delay-gamma neutron analysis activation (DGNA)

For PGNAA, the measurement is conducted by gamma radiation emitted from the excited nucleus that was created as a result of a nuclear reaction with neutron or inelastic neutron scattering. In the case of DGNA, what is the most interesting is gamma radiation that appears after the beta-minus decay of a nucleus, which has already emitted an excess of energy through an internal transition (IT) but has an excess of neutron which make it unstable.

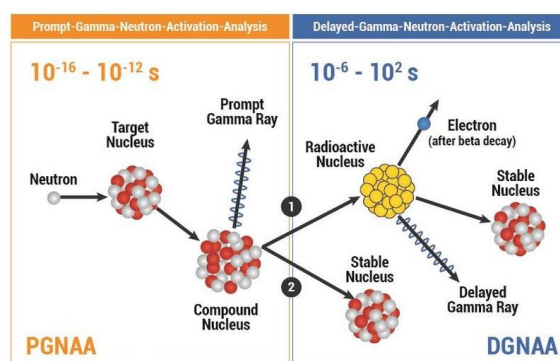


Fig. 1. The comparison of PGNAA and DGNA [2]

Physics background of NAA

As mentioned above, NAA is usually based on neutron radiation capture reactions (n,γ), especially those occurring as an interaction with thermal ($E_n = 0,001 \div 0,2$ eV) or epithermal ($E_n = 0,2\text{eV} \div 0,5$ MeV) neutrons [1]. This fact is closely related to the (n,γ) reaction cross-sections of the specified nucleus. Thus, considering the use of neutron activation analysis, the physical properties of isotopes of elements in the examined sample should be taken into account. Among the most important can be found:

- a cross-section for nuclear reactions with neutrons, in particular, radiation capture (n,γ)
- half-life of activation products
- energies and intensity of emitted gamma radiation of activation products

Experimental set-up

The Laboratory for Dosimetric and Radon Instruments Calibration (LWPDiR), which is a part of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in Warsaw, is equipped with two neutron sources:

- $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ isotopic neutron source with an estimated activity of 180 GBq and neutron yield of $1,1 \times 10^7 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fig. 2 – at left)
- D-T neutron generator which creates fast neutrons with energy of 14 MeV, its neutron yield totals $1,2 \times 10^8 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$ (Fig. 2 – at right)



Fig. 2. $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ isotopic neutron source (left) and D-T neutron generator (right) in LWPDiR CLOR

Samples that undergo neutron activation are placed at a close distance to the neutron source (Fig. 3). The test geometry of the activated samples was selected from the available CLOR measurement geometries for gamma spectrometry. However, what should be noted, in the future it is planned to optimize the activation geometry and fabricate the necessary components using a 3D printer.

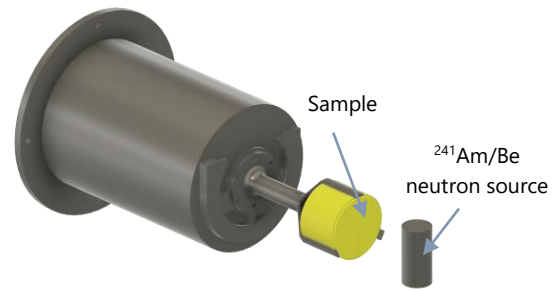


Fig. 3. CAD project of experimental set-up dedicated to neutron activation with the use of $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ isotopic neutron source [created by authors]

Measurement system

The measurement system which is available in LWPDiR CLOR includes:

- gamma-ray spectrometer: HPGe, $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$, or $\text{NaI}(\text{Tl})$
- lead housing for detector
- multichannel analyzer
- Genie2000 – software for acquisition and analysis of gamma spectrometry data

Initial conclusions and further plans

The first performed works indicate that the development and implementation of the set-up intended for DGNAA, as well as, PGNAA in LWPDiR CLOR is possible. It should be noted, though that the developed method will be characterized by certain limitations, which result from the relatively low flux of neutron, compared to neutron fluxes occurring in nuclear reactors. However, it opens other possibilities, namely the analysis of very short-lived radionuclides ($T_{1/2}$ from several minutes to several days) and radionuclides that for activation require fast neutrons, as well. This additionally enables research using nuclear reactions, which require threshold energies of neutrons. What is also important, neutron sources in LWPDiR CLOR, allow for activation and measurement of some radionuclides contained in non-standard shape and size objects, without

taking a sample of the material from which the object was made. Speaking of examples, elemental analysis of coins and other non-destructive tests can be mentioned.

Work on the set-up optimization and procedure for NAA will be performed in 2022 as a part of statutory research titled 'Development of a Neutron Activation Analysis set-up for research in the LWPDiR'.

References

- [1] Dybczyński R., Zastosowanie analizy aktywacyjnej, Raport PTN-5/2001, Warszawa, 2001
- [2] Havenith, et.al (2020). QUANTOM – Non-destructive scanning of waste packages for material characterization. EPJ Web of Conferences. 225. 06013. [10.1051/epjconf/202022506013](https://doi.org/10.1051/epjconf/202022506013).

The operation of the Central Laboratory of Radiological Protection (CLOR) dosimetry services within the framework of an agreement concluded with the Radiation Emergency Center (CEZAR) from the National Atomic Energy Agency

Ł. Modzelewski

The Central Laboratory for Radiological Protection concluded an agreement for the period from 01/06/2021 to 01/06/2023 with the Radiation Emergency Center (CEZAR) from the National Atomic Energy Agency. Due to this agreement, at the request of the duty officer from Radiation Emergency Center, dosimetry teams are obliged to visit and carry out measurements at the radiation site and make laboratory markings to assess the threat caused by the incident. CLOR dosimetry services consist of 5 teams, 2 people in each. They perform 12 hours long shifts.

Obligations resulting from the signed agreement:

- Ensuring readiness of the dosimetry team to go to the radiation occurrence site within no more than 3 hours from the moment of receiving the departure order from the duty officer of CEZAR,
- Ensuring the maintenance (using own technical means) of 24-hour telephone communication between the CEZAR's duty officer and the Contractor,
- Carrying out measurements with use of portable measuring equipment (at the radiation site), that allow:
 - determination of the value of the ambient equivalent dose of gamma radiation
 - determination of surface radiation contamination from alpha, beta, gamma isotopes
 - detection of isotopic neutronic sources
 - detection and initial identification of radioactive isotopes and nuclear materials,
- Collaborating with CEZAR's duty officer and other on-site services including law enforcement agency,
- Making photographic documentation of the radiation site and secured nuclear materials, sources and radioactive waste,
- Ensuring the laboratory quantitative and qualitative marking of radioisotopes in collected samples using spectrometric methods or radiochemical methods,
- Ensuring the laboratory determination of the percentage composition of nuclear materials originating from the radiation site,
- Preparing reports on dosimetry teams services within 2 days from the completion of all activities at the radiation incident site,
- Delivering monthly reports on performance under the agreement for a given month in writing by the 10th day of the following month,
- Conducting theoretical and practical training related to the dosimetry team performance for 20 people appointed by the Director of the Radiation Emergency Center,
- Participating in training related to reacting to radiation incidents on the instructions

of the National Atomic Energy Agency
President

So far the dosimetry team from the Central Laboratory for Radiological Protection has received 3 departure commands to perform the duties on radiation sites located in the country.

Calibration dosimeters for radiation protection purpose in 2021.

Ł. Modzelewski, Ł. Mazur, A. Jakubowska

Calibration Laboratory was established in 1967. In 2003 LWPDiR was accredited by Polish Centre for Accreditation (PCA). It is the only calibration laboratory in Poland with such a broad range of measurement services. The laboratory is equipped with modern calibration stands: X-ray, gamma, beta, surface contamination and the largest radon chamber in Poland, enabling calibration of radon instruments.

LWPDiR is accredited in:

18.01 Dosimetric quantities.

- gamma radiation (^{137}Cs , ^{60}Co and ^{241}Am),
- beta radiation ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{85}Kr)
- X-ray (narrow series- N-40 ÷ N-250)

18.02 Surface emission.

- alfa- radiation source- ^{241}Am ,
- beta- radiation sources - ^{90}Sr , ^{14}C , ^{36}Cl

18.03 Radon measurements.

- radon concentration in air,
- equivalent equilibrium radon concentration EEC.

Typically in a year Laboratory of Dosemeters and Radon Devices Calibration performed about 1234 calibrations, most of them are devices calibrated in gamma radiation field.

In 2021 Laboratory received 1234 contracts for calibration of more than 50 types of instruments:

- 1050 calibration certificates for gamma dose rate,
- 580 calibration certificates for surface contamination monitors,
- 295 calibration certificates for X-ray dose rate,
- 5 calibration certificates in radon calibration stand,
- 18 calibration certificates in neutron calibration stand,
- 1 calibration certificate in for beta calibration stand,
- 19 unserviceable protocols.

The number of calibrations carried out on the calibration stands is shown in the diagram in Figure 1.

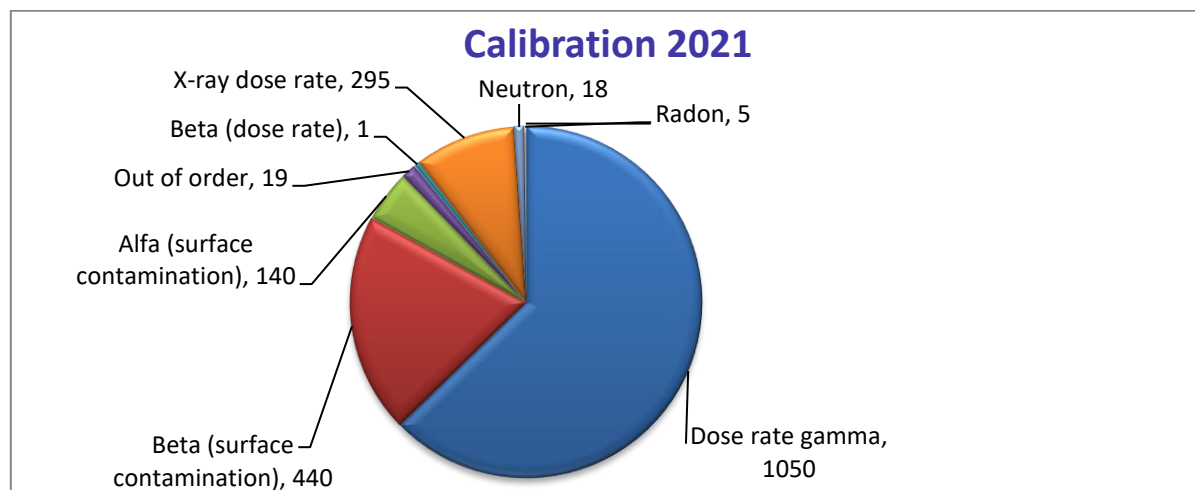


Fig. 1. Calibrations made in 2020

In 2021, the most frequently calibrated instruments were successively EKO-C, PED+ and RK-100. The list

of the most frequently calibrated instrument types over the last three years is shown in Figure 2.

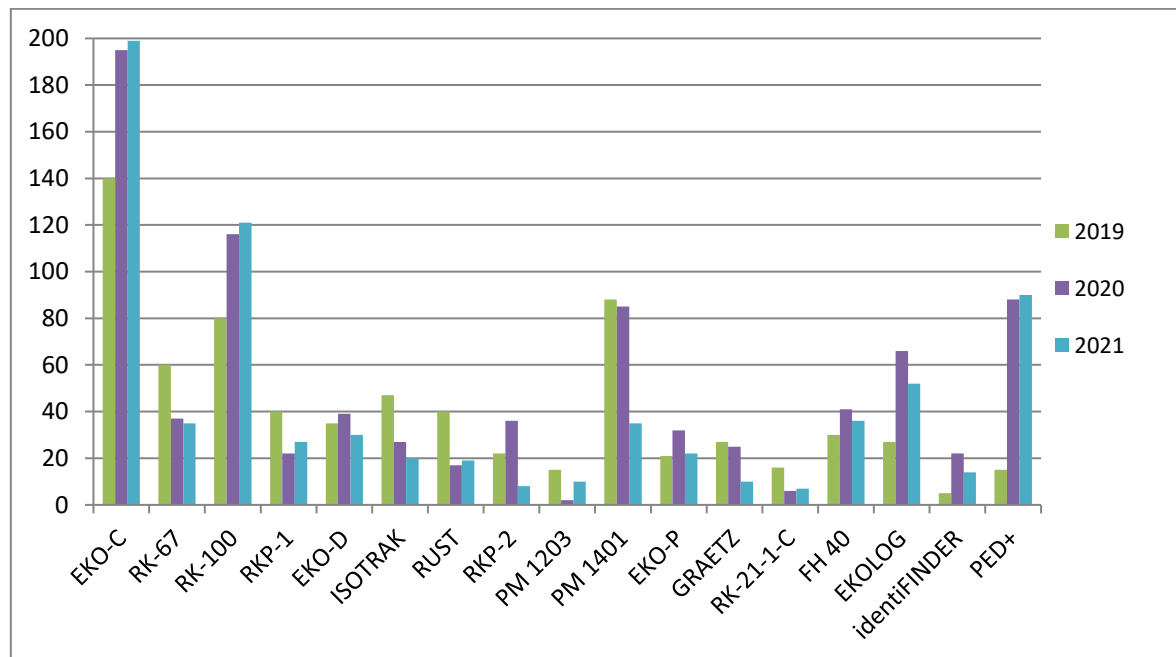


Fig. 2. Most often calibrated of dosimeters in LWPDiR (2019 ÷ 2021 yr).

Assurance and support of the quality system in Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments– technical part

Ł. Modzelewski

Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR)

In 2003 LWPDiR was accredited by Polish Centre for Accreditation (PCA). It is the only calibration laboratory in Poland with such a broad range of measurement services. Calibrations for the following measuring quantities are available:

- air kerma, K_a [Gy]
- ambient equivalent dose, $H^*(10)$ [Sv]
- photon equivalent dose, H_x [Sv]
- personal dose equivalent, $H_p(d)$ [Sv]
- exposure, X [R]
- absorbed dose, D [Gy]
- radon concentration, [Bq/m³]
- equivalent equilibrium radon concentration EEC, potential alpha energy concentration [uJ/m³]

Main scope of activity

The laboratory is equipped with modern calibration stands: X-ray, gamma, beta, surface contamination and the largest radon chamber in Poland, enabling calibration of radon instruments.

LWPDiR is accredited in:

18.01 Dosimetric quantities.

- gamma radiation (cez-137, kobalt-60 and ameryk-241),
- beta radiation (stront-90, krypton-85)
- X-ray (narrow series- N-40 ÷ N-250)

18.02 Surface emission.

- alfa- radiation source- ameryk-241,

- beta- radiation sources - stornt-90, węgiel-14, chlor-36

18.03 Radon measurements.

- radon concentration in air,
- equivalent equilibrium radon concentration EEC.

The quality control of measurements in 2021 included 31 activities, and all of them were carried out successfully. The control is carried out comprehensively and includes both checking the measuring equipment, the characteristics of the radiation beam, the "human factor", as well as the program facilitating the determination of the calibration coefficient. Each of the checks performed has a specific criterion that must be met. Such detailed checking and control guarantee high quality of performed calibrations.



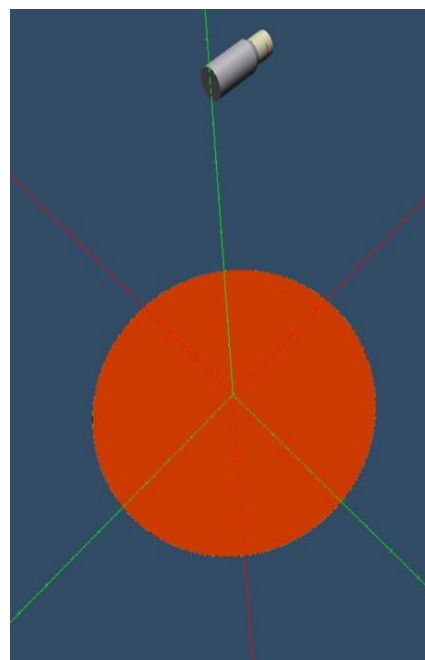
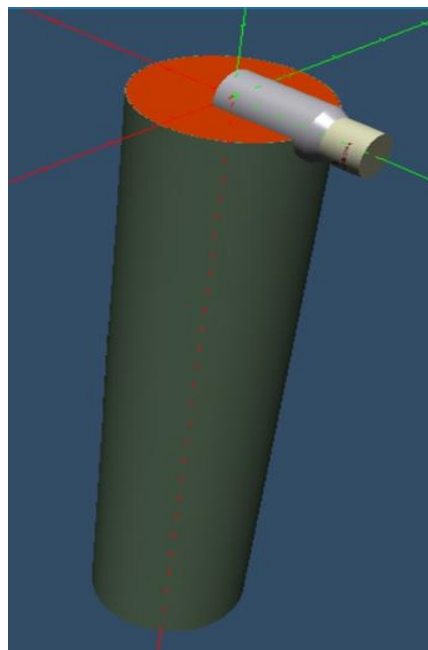
Fig. 1. Reference instrument in LWPDiR

Study of the correlation between the indications of the environmental spectrometer based on the LaBr3 detector and the content of radionuclides on the soil surface

Ł. Modzelewski

Radiation monitoring of the environment is a requirement for any national contamination detection service. In Poland, there is such a system based on a station that tests the content of radionuclides in the air. This system can be enriched with highly sensitive gamma radiation spectrometers, which will show in real-time the content of radionuclides present in the environment, both in the form of radioactive dust moving along with air masses and radioactive fallout resting on the surface. Among the available gamma radiation detectors, two types are particularly noteworthy: scintillation equipped with a cerium-activated lanthanum bromide detector and invariably semiconductor detectors. The study aimed to investigate what part of the gamma radiation spectrum recorded by the in-situ detector comes from the radionuclides deposited on the earth's surface or its surface layer and what part comes from the airborne radionuclides.

The answer to the task was the analytical solution of the dynamic contamination model by checking the system (probe) response to radioactive contamination with the use of experimental and numerical methods. The model covered radioactive contamination of the earth's surface as well as radioactive contamination of the earth's surface and atmospheric air (Figure 1).



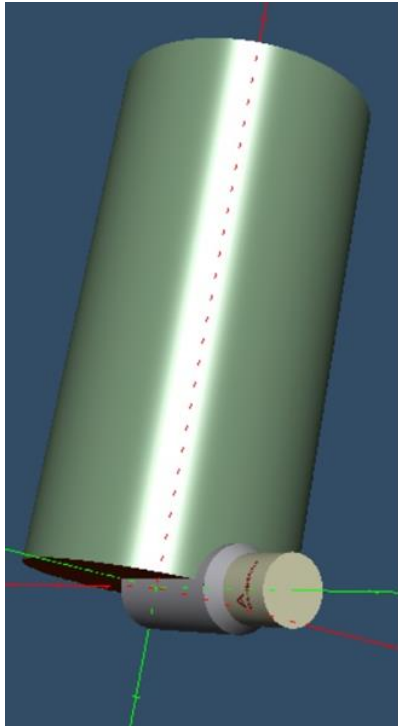


Fig. 1. Dynamic model of contamination

To solve such a model, the following analytical methods were used to test the photon registration efficiency:

1. Analysis of the three-dimensional photon registration efficiency map for the variable diameter of the contaminated area and the variable energy of the photons.
2. Analysis of the course of a functional built of elements that are integrated absolute yields for flat contaminated circular areas of varying diameter and examining the behaviour of this function at infinity. Physically, the search for the limit of such a function means determining the maximum contaminated area from outside, the radiation of which no longer reaches detector.
3. Analysis of the coefficients of the logarithmic polynomial describing the efficiency functions for the series of diameters of the contaminated circular area. Determination of the universal efficiency function for the infinite contaminated flat spherical area and considered detector orientations and determination of the value of the integrated efficiency.
4. Methods of determining the strength of the spatial dose equivalent H^* (10)

The obtained data and results from the performed tests are necessary for effective radiation monitoring about the plans for developing nuclear energy in Poland and for having such energy in neighboring countries

Monte Carlo simulations of housings for TLD used by Laboratory of Personal and Environmental Doses at CLOR

B. Kliś, K. Kempny, A. Kawalec, Z. Pawłowska

The study included Monte Carlo simulations using the GEANT4 computer code to determine the energy characteristics of holders for thermoluminescent detectors (TLD) used for individual dose measurements. To study the responses of the dosimeters from different radiation spectra, 4 isotopic spectra and 16 X-ray narrow-spectra were chosen. The work involved the development of a simulation code that calculates the equivalent doses received by dosimeters placed on phantoms of the body, head, wrist, and finger. A total of 6 holders' models were designed, these were successively an eye dosimeter, two variants of a ring dosimeter with an aluminum filter (with a window) and without (closed), a wrist dosimeter, two variants of an individual dosimeter worn on the chest (PMMA, PMMA+F).

Computer models of dosimeters placed on appropriate phantoms were prepared for the simulations. The designed models were converted to GDML format and used for calculations. Figures 1-4 show the geometries of the individual dosimeters used in the simulations.



Fig. 1 An eye dosimeter on a head phantom



Fig. 2 A ring dosimeter on a finger phantom

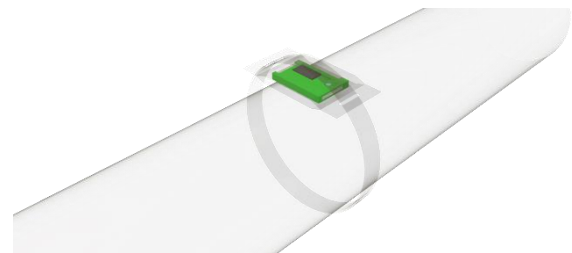


Fig. 3 A wrist dosimeter on a wrist phantom



Fig. 4 Individual dosimeters on body phantoms (on left PMMA, on right PMMA+F)

Calculations were performed for various gamma-ray spectra and X-ray narrow-spectra. Nuclear library data ENDF/B-VIII.0 available through the JANIS NEA software was used as definitions of the composition of spectra from isotopic sources. To model

the composition of the X-ray spectra, a program was written to generate the data in the form of a histogram using Kramers' and Duane-Hunt's laws:

$$dI(\lambda) = K \left(\frac{\lambda}{\lambda_{min}} - 1 \right) \frac{1}{\lambda^2} d\lambda$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$$

where – λ wavelength of electromagnetic radiation, V – X-ray tube accelerating voltage, K – a constant proportional to the atomic number of the disc material. The Bremsstrahlung radiation was modified by filtering according to standard ISO-4037:1 for X-ray narrow-spectra. To calculate the narrow-spectrum output, NIST data of mass attenuation coefficients for different component materials and photon radiation energies were used. Figure 5 shows an example of the X-ray narrow-spectrum N120 calculated by the program:

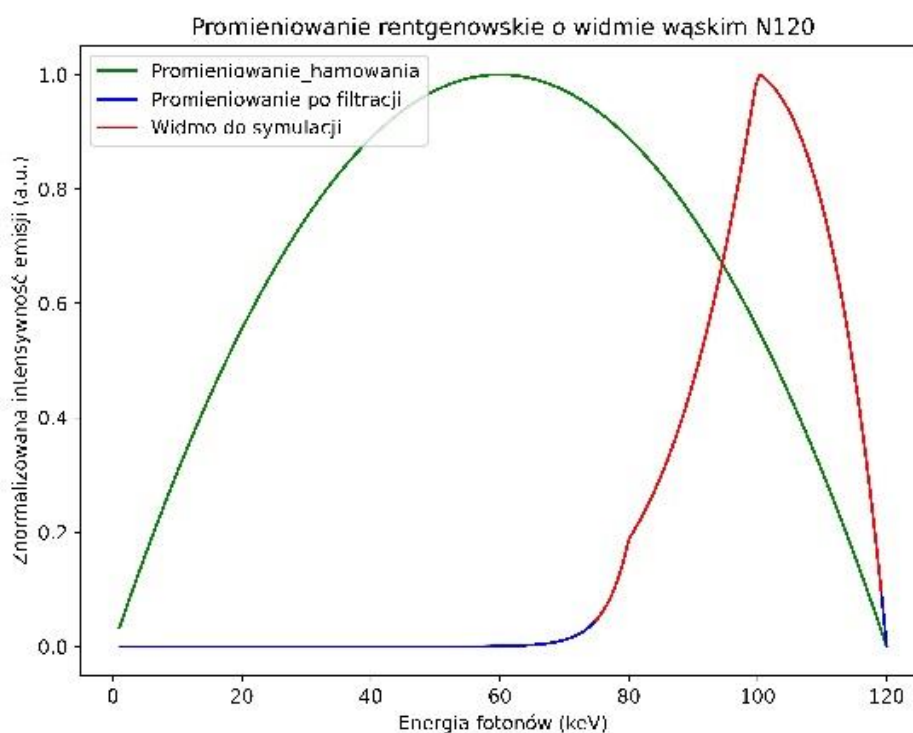


Fig. 5 Generated N120 narrow-spectrum based on the standard ISO-4037:1 requirement and NIST data (labels: x – photon energy, y – normalized intensity)

Using the prepared data on dosimeter geometries and X-ray energy spectra, absorbed dose simulations were performed. The obtained data were analyzed and visualized. Figure 6 shows

the received energy characteristics calculated with respect to the absorbed dose from the peak energy of 661.7 keV ^{137}Cs .

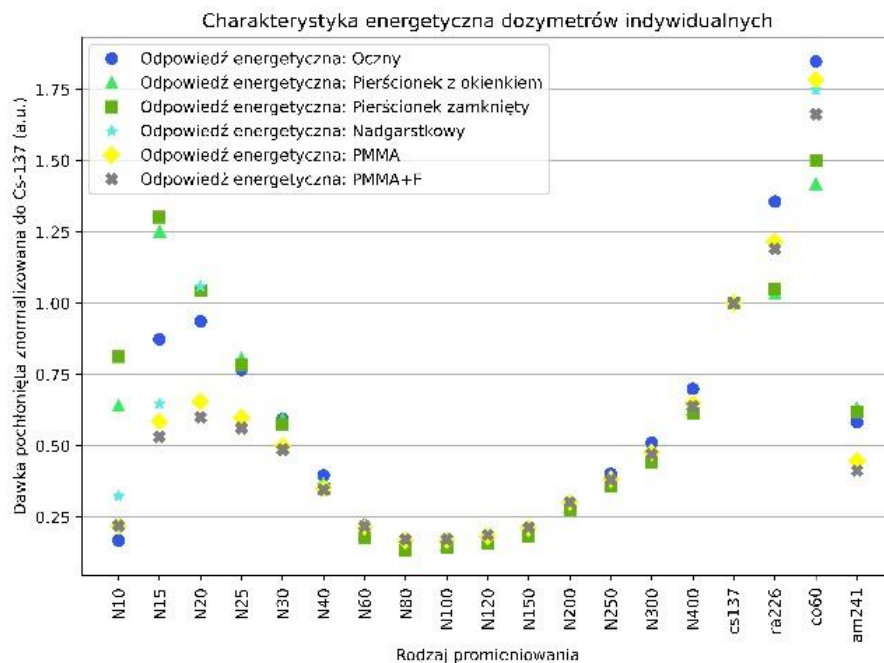


Fig. 6 Energy characteristics of TLD individual dosimeters (labels: x – spectra type, y – energy dependence normalized to Cs-137 spectra)

The results obtained by numerical simulations were applied to experimentally measured data. The trends presented were confirmed by experimental data.

The performed works show that numerical simulations can be used to predict experimental results with high accuracy before the actual experiments will be performed. The presented methodology can be applied in cases where it is not

possible to perform an experiment. The conversion values for the energy characteristics obtained from the Monte Carlo simulations correspond to the trend observed experimentally. Created computer code can be used for further research and to perform virtual experiments before the actual irradiations in order to predict their results.

European System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification: EU-RADION project

B. Kliś, P. Lipiński, A. Jakubowska, K. Wołoszczuk

As part of the project "European System for Improved Radiological Hazard Detection and Identification": EU-RADION, tests of a prototype device for CBRNE (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosives), capable of recognizing radiological hazards, were carried out. The task of CLOR in the project was the expertise in the field of radiological factor recognition by the device. The EU-RADION project was carried out by a consortium of 8 European institutions, as presented in Figure 1.



Fig. 1 EU-RADION consortium

For the purposes of the project, scenarios of radiological accidents were prepared, as well as a review of solutions in the field of radiation detection and the development of technical

requirements. CLOR actively participated in the design of system components, software, and electronics. Recommendations were made regarding the parameters of the devices and their functionalities to be met. The devices are also to be adapted for use in unmanned ground and air vehicles (UGV and UAV). The developed prototypes were tested in the CLOR laboratory. Figure 2 shows a photo of the tested prototype.



Fig. 2 EU-RADION 1 prototype

Inside the device, there is a dose rate detector reacting to gamma radiation. A design based on a Geiger-Muller counter was chosen. Figure 3 shows a block diagram of the detection system

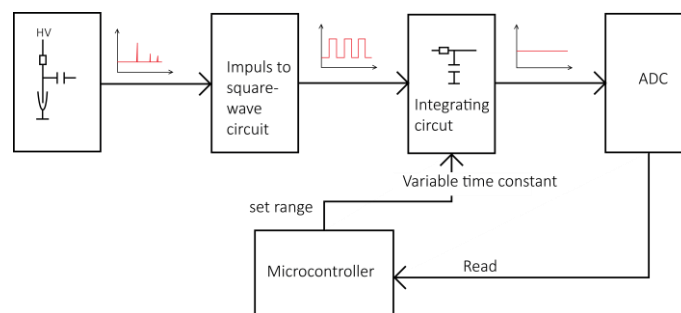


Fig. 3 Block diagram of the dose rate detector system

The device also has a spectrometric module that allows collecting the gamma radiation spectrum and its identification. Two modules that could be used to perform spectrometric measurements were tested. One of them was the Kromek GR1 equipped with a CZT semiconductor detector, while the other was the Hamamatsu C12137, which is based on a CsI(Tl) scintillator.

During the tests, the basic parameters of dosimetric devices and gamma spectrometers were checked. In the context of dosimetric tests, the linearity of indications, energy characteristics, and reaction time to the appearance of ionizing radiation were checked. The graph presented in Figure 4 shows the dependence of the device indications on the equivalent dose rate $H^*(10)$.

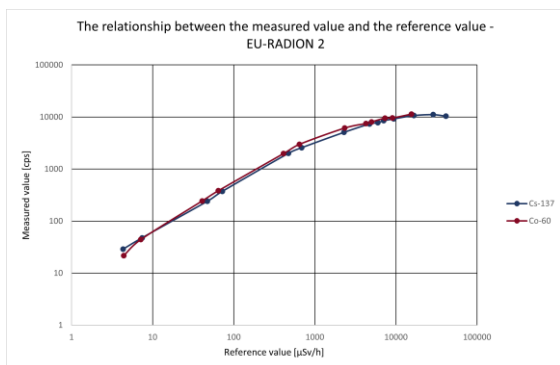


Fig. 4 Dependence of device indications on the equivalent dose rate $H^*(10)$

Both devices were energy calibrated and their ability to identify selected radionuclides was checked. Figure 5 shows the energy calibration of the GR1 spectrometer.

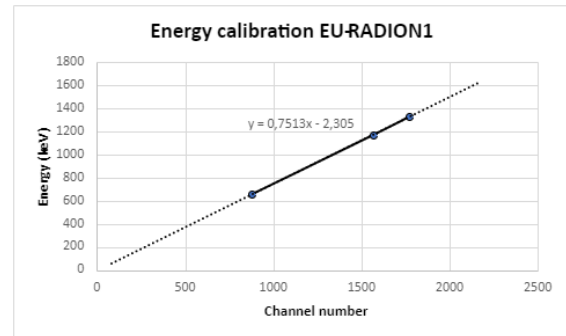


Fig. 5 Energy calibration of the GR1 detector

While working with device prototypes, many design changes and solutions regarding data analysis were also suggested. These included, among others, changes in the geometry of the instrument and the arrangement of its detection elements, the selection and interpretation of the appropriate nuclear data format for radionuclides identification, or recommendations for algorithms for identifying radionuclides based on the gamma radiation spectrum. Figure 6 shows the spectrum collected when the ^{137}Cs and ^{60}Co were placed near the device.

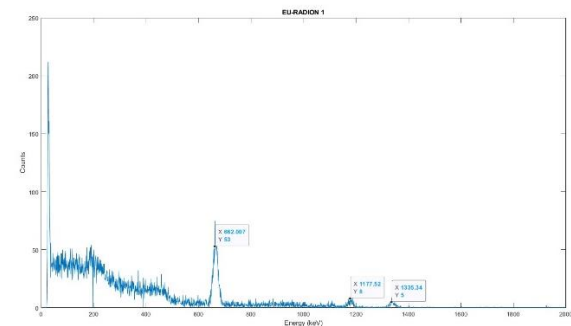


Fig. 6 Spectrum collected by the GR1 detector during exposure of the device to ^{137}Cs and ^{60}Co sources.

The project implemented a technological solution adapted to the requirements of modern CBRNE threats. Thanks to the multidisciplinary approach to the problem, the resulting device is able to cope with various types of threats and any combination thereof. Moreover, "state of the art" solutions were used in the context of detection and analysis of radiological information. In 2023, it is planned

to conduct field tests of the device and organize demonstration shows for emergency services.

Research on semiconductor detectors for measuring optical signals from thermoluminescent detectors

B. Kliś, P. Sobotka, Z. Pawłowska

As part of cooperation with the Faculty of Physics of the Warsaw University of Technology, tests were carried out on an innovative system for reading thermoluminescent detectors (TLD), which was based on SiPM semiconductor detectors. The device consisted of proprietary electronics and refrigerated and non-cooled detectors. The detector for reading was given the working name PWAC. Figure 1 shows the appearance of the PWAC detector.



Fig. 1 PWAC detector

The device parameters were compared with the commercial TLD: RADOS reading device used in CLOR. The device tests were focused on the reading of small doses. The general scheme of the experimental setup is shown in Figure 2.

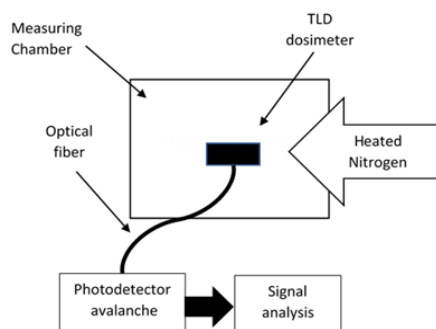


Fig. 2 Scheme of the experimental system

In addition, the capabilities of the prototype detector in relation to the commercial Hamamatsu MPCC C13366 single-photon detector were investigated. Figure 3 shows the use of this detector for single-photon counting, prepared by the manufacturer [1].

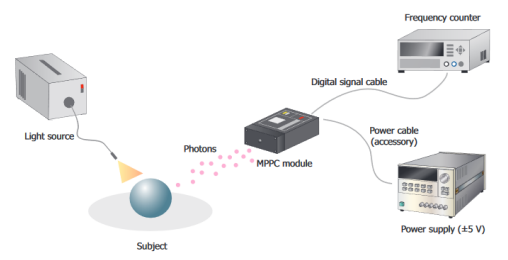


Fig. 3 Example application of the MPCC detector [1]

A series of irradiated TLD dosimeters were irradiated with two dose ranges from the ^{137}Cs source. The first one included the values of the individual dose equivalent $H_p(10)$: 1 mSv, 5 mSv, 10 mSv, and 15 mSv, respectively. The second series consisted of smaller doses: 0.1 mSv, 0.3 mSv, 0.5 mSv. The irradiated dosimeters were divided into two batches, one for reading the CLOR system and the other for testing new detectors, which allowed for a reliable assessment of the capabilities of the prototype under development. Figure 4 shows the dependence of the counts on the dose for the developed detector in the dose range of 5-15 mSv.

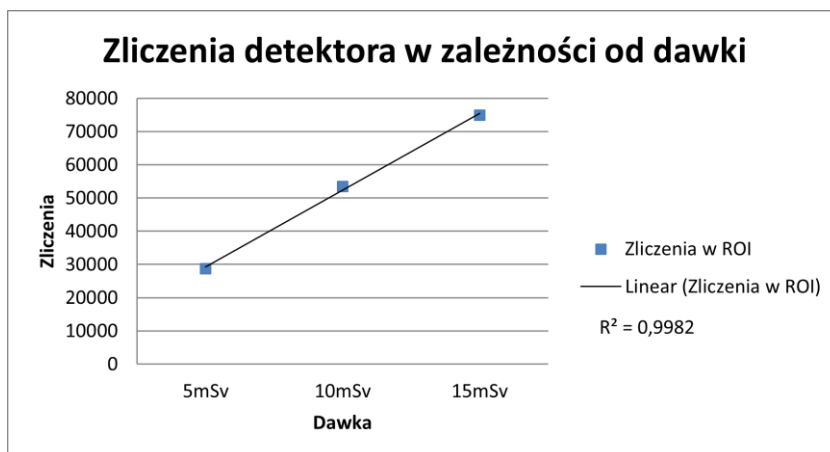


Fig. 4 Linearity of the PWAC detector (labels: x – dose, y - counts)

Testing the PWAC detector in the dose range of 0.1- 1 mSv has shown that the detector is effective in counting the dose-related optical signal. The two

selected tests for boundary values are shown in Figures 5 and 6.

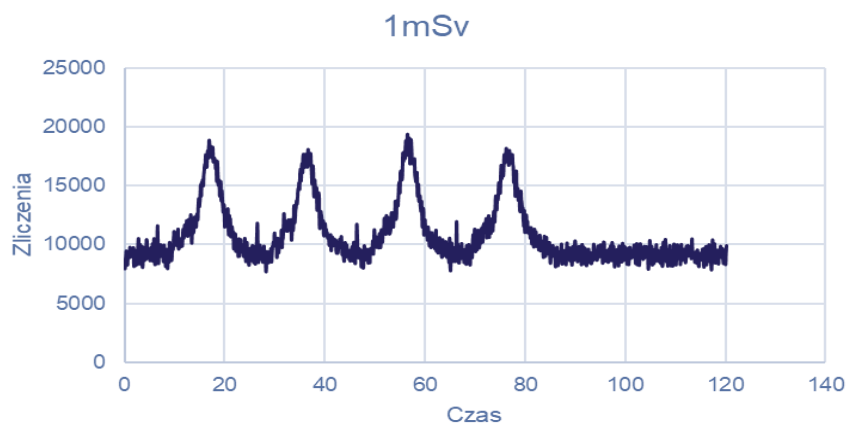


Fig. 5 PWAC response for the 1 mSv dose (labels: x – time [s], y - counts)

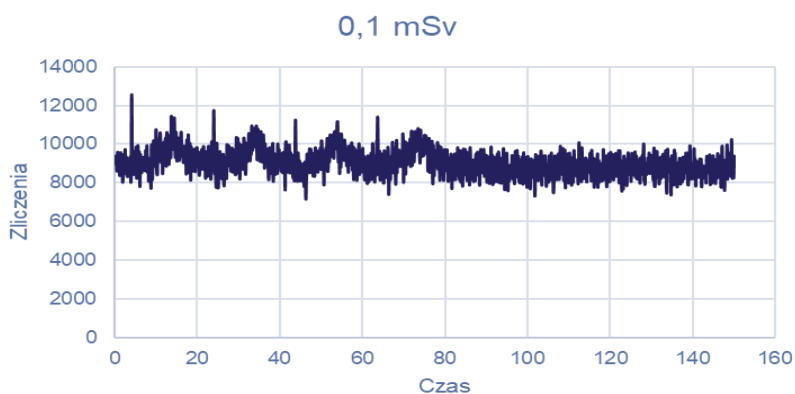


Fig. 6 PWAC response for the 0.1 mSv dose (labels: x – time [s], y - counts)

The comparison made with the use of MPCC also indicated the possibility of building a TLD reader based on a semiconductor detector. Figure 7 shows

the collected spectra for a series of dosimeters with doses of 0.1 mSv, 0.3 mSv, 0.5 mSv, and 1 mSv.

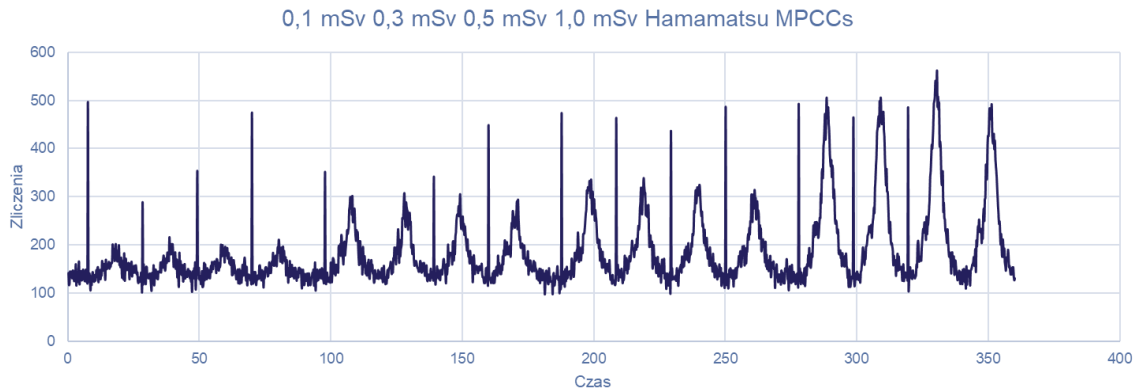


Fig. 7 MPCC response to 0.1 mSv, 0.3 mSv, 0.5 mSv and 1 mSv doses (labels: x – time [s], y - counts)

The conducted works indicate the possibility of using PWAC to build a TLD reader. The device for reading signals from TLD based on the PWAC detector is the subject of the patent application entitled "Semiconductor detector for measuring optical signal from thermoluminescent detectors".

Reference

MPCCs datasheet:
https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photronics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/c13366-1350gd_etc_kacc1229e.pdf

Theoretical works on the functions of gamma photon registration efficiency by scintillation and semiconductor detectors

B. Kliś, S. Jednoróg

In radiometry, and in γ spectrometry it is necessary to develop such a measurement strategy to obtain the highest significance of the results. As a result of the research, an analytical criterion was developed that allows for quantification of various measurement geometries and selection of leading to the smallest measurement error. It has been proven that integrated absolute full energy peak efficiency (IAFEPE), superficial integrated full energy peak efficiency (SIAFEPE), and mass integrated absolute full energy peak efficiency (MIAFEPE) can act as such a criterion. IAFEPE which is the primary quantity relative to MIAFEPE and SIAFEPE is shown in detail. Numerical simulations were performed and, on this basis, the relationship of IAFEPE with the original spectrometric parameters such as the registration efficiency, resolution, and area under the full energy absorption peak was graphically illustrated. The considered methodology is general in nature and can be applied to all types of detectors.

The energy dependence of the photon registration efficiency function in the full energy absorption peak (FEAP) is given by the equation:

$$AFEPE = \text{eff}(E_{\gamma,i}) = \frac{N_i}{t \cdot P_{\gamma,i} \cdot A_i}$$

where: N_i - number of counts in FEAP, t - measurement time, $P_{\gamma,i}$ - intensity of photon emission with energy $E_{\gamma,i}$, A_i - activity of the i -th radionuclide. The efficiency calibration of the spectrometer leads to a continuous function fitted to a series of the AFEPE values depending on different photon energies. One such function can be expressed by an equation:

$$\text{eff}(E) = e^{\sum_{i=0}^n A_i \ln(E)^i}$$

where: A_i - coefficients of the logarithmic polynomial. The resolution function is the result of shape calibration is described by the equation:

$$\text{FWHM}(E_\gamma) = A_1 + A_2 \sqrt{E_\gamma}$$

where: A_1 i A_2 – fitted coefficients.

Based on AFEPE and FWHM, it is possible to approximate a single FEAP using a rectangle with the parameters shown in Figure 1

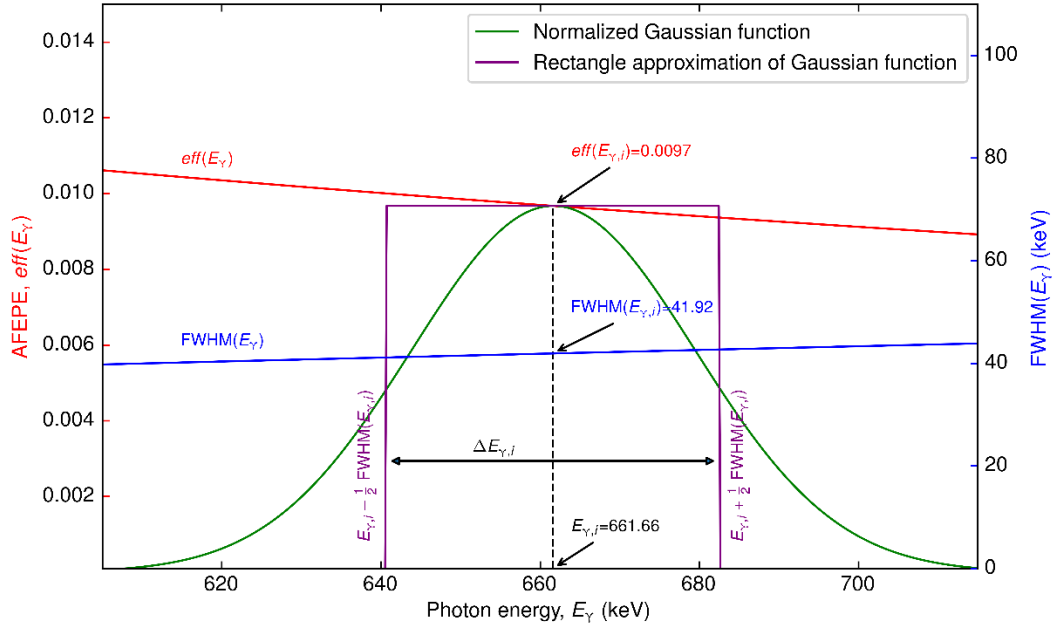


Fig. 1 FEAP approximation by a rectangle with parameters expressed by $eff(E)$ and $FWHM$ for a spectrometer with a NaI detector

The derivation is based on the definition of the Riemann integral. Let $[a, b]$ be a closed interval in \mathbb{R} , a set of real numbers. A finite, ordered set of points $\mathcal{P} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ such that $a = x_1 < x_2 < \dots < x_m = b$ is called partition of $[a, b]$. The $l_i = [x_{(i-1)}, x_i]$ where $i = 1, \dots, m$ is i -th interval of partition \mathcal{P} . The length of l_i is denoted $\Delta_i = x_i - x_{i-1}$, and ξ_i such that $x_{(i-1)} \leq \xi_i \leq x_i$ is element of l_i . Then, Riemann sum \mathfrak{R} for real-valued function f defined on the interval $[a, b]$ is defined as:

$$\mathfrak{R}(f, \mathcal{P}) = \sum_{i=1}^m f(\xi_i) \Delta_i$$

If f is a continuous function of x , and $\max(\Delta_i) \rightarrow 0$, then limit of $\mathfrak{R}(f, \mathcal{P})$ exists:

$$I = \lim_{\max(\Delta_i) \rightarrow 0} \sum_{i=1}^m f(\xi_i) \Delta_i = \int_a^b f(x) dx$$

The value of this limit is called the Riemann integral.

If peak width is expressed by detector resolution as:

$$\Delta E_{\gamma,i} = \left(E_i + \frac{FWHM(E_{\gamma,i})}{2} \right) - \left(E_i - \frac{FWHM(E_{\gamma,i})}{2} \right)$$

and using the formula of AFEPE, it is possible to write the number of counts in FEAP with the equation:

$$N_i \cong P_{\gamma,i} \cdot A_i \cdot eff(E_{\gamma,i}) \Delta E_{\gamma,i} \cdot t$$

Using the definition of the Riemann integral, an analogy can be seen:

$$eff(E_{\gamma,i}) \cdot \Delta E_{\gamma,i} \equiv f(\xi_i) \cdot \Delta_i$$

As the number of considered peaks increases, the sum value approaches the limit value:

$$IAFEPE \cong \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n eff(E_{\gamma,i}) \Delta E_{\gamma,i}$$

Which is equivalent to:

$$IAFEPE = \int_{E_{min}}^{E_{max}} eff(E_{\gamma}) dE_{\gamma}$$

Figures 2 and 3 show the results of the computer code processing gamma spectra as well as the IAFEPE value approximation process by rectangles.

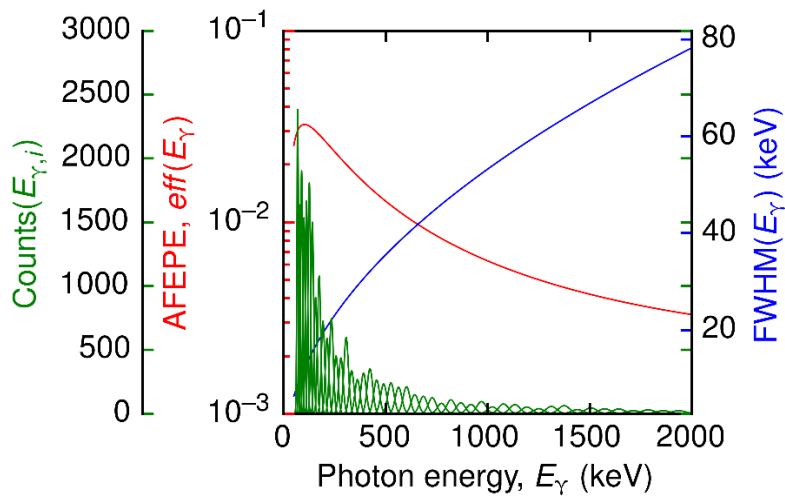


Fig. 2 Gamma spectrum and its parameters

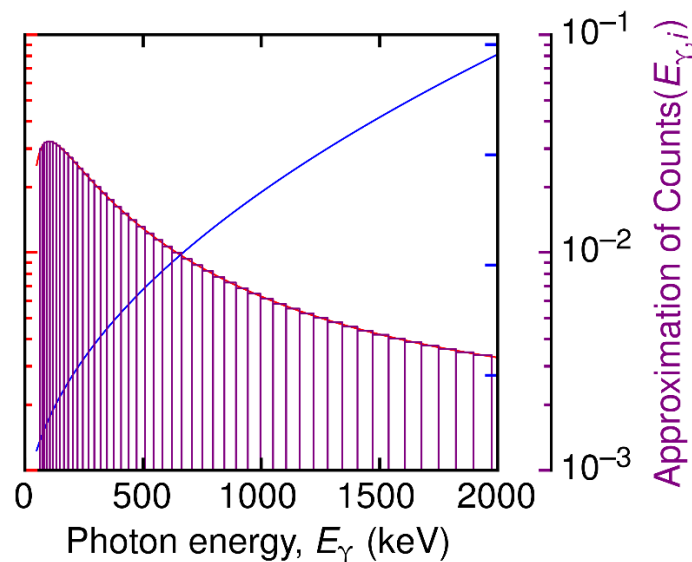


Fig. 3 Convergence of the approximating rectangles to the IAFEPE value

An example of the use of the IAFEPE is the evaluation of measurement geometry in which a weightless linear radiation source rotates around a point located on the detector axis. A program was written to illustrate the changes in the IAFEPE value as a

function of the angle between the straight line on which the radiation source is placed and the detector axis. The considered measurement geometry is shown in Figure 4.

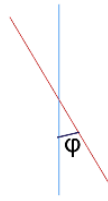


Fig. 4 A weightless linear radiation source rotating around a point being its center and located on the detector axis.



As a result of the parameterized simulation, the dependence of IAFEPE on the angle φ was made, as shown in Figure 5.

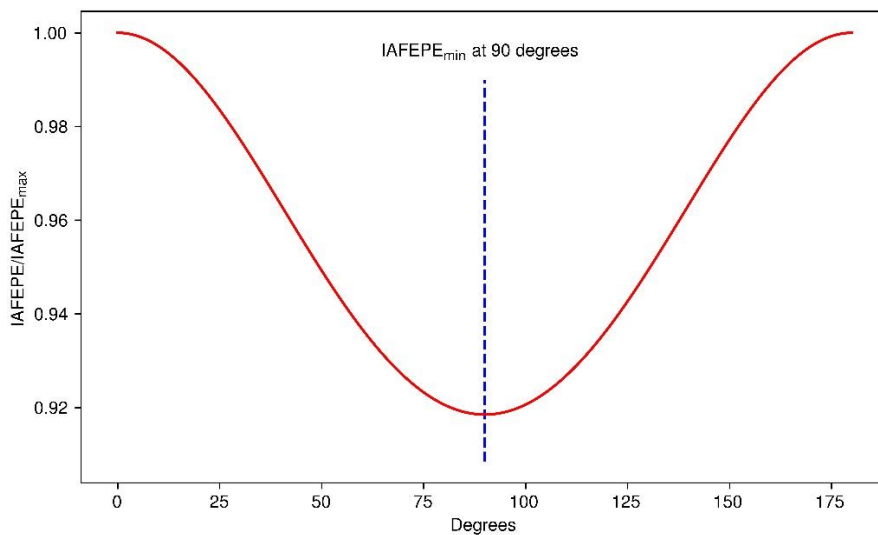


Fig. 5 Dependence of IAFEPE on φ

From the dependence of IAFEPE on the angle, it can be seen that the source located along the detector axis is the best measurement geometry. The obtained dependence and its interpretation demonstrate one of the possible applications of the IAFEPE quantity.

Based on the IAFEPE method, it is possible to assess the quality of measurement geometries also with more complex shapes and their mutual orientation

in space. As part of the research work, the discussed quantity is successfully used by the authors to compare the quality of performed efficiency calibrations and the measurement configurations.

The use of the simulated annealing algorithm to optimize the parameters of the Porstendörfer model describing the particle size distribution of radioactive aerosols

B. Kliś, K. Wołoszczuk

As a part of the research on radioactive aerosols from radon progeny, a computer program was prepared to analyze data from the particle size distribution (PSD) of environmental aerosols and devices for determining the PSD of radioactive aerosols: RPPSS. This program calculates the specific activity distribution based on the PSD of aerosol particles. This affair is an inverse problem that was solved using deconvolution methods. For this purpose, a convolution of functions was formulated that corresponded to the physical phenomenon. Thus, a modified Porstendörfer model was used, which can be expressed by the following equation:

$$X = \int_0^{\infty} \beta(d_p)Z'(d_p)dd_p$$

where: X – interception rate of short-lived radon decay products, $\beta(d_p)$ – capture coefficient, $Z'(d_p)$ – distribution of aerosol concentration in the air as a function of particle size. The function expressing the capture coefficient for the free fraction depending on the four parameters is written by an equation:

$$\beta(d_p) = \frac{2\pi D_f(d_p - d_{pf})}{\left(\frac{8D_f}{(d_p - d_{pf})v_f} + \frac{(d_p - d_{pf})}{2\left(\frac{(d_p - d_{pf})}{2} + \lambda_f\right)} \right)}$$

where: D_f [m^2/s] – particle diffusion coefficient, v_f [m/s] – mean thermal velocity of particles, λ_f [m] – mean free path of the particles, d_{pf} [nm] – average particle size. The parameters of this equation had to be optimized within the physical limits for each series of experimental data. When the function $\beta(d_p)$ and the distribution $Z'(d_p)$ were known, the probability of generation of radioactive aerosols was calculated. The probability of generation of radioactive aerosols is presented by the following equation:

$$\frac{\partial X}{\partial d_p} = \beta(d_p)Z'(d_p) \Rightarrow P_R(d_{pi}) \approx \frac{\beta(d_{pi})Z'(d_{pi})}{\sum_{d_{pi}} \beta(d_{pi})Z'(d_{pi})} = \frac{\beta(d_{pi}) \frac{\Delta Z(d_{pi})}{\Delta d_{pi}}}{\sum_{d_{pi}} \beta(d_{pi}) \frac{\Delta Z(d_{pi})}{\Delta d_{pi}}}$$

Using the probability of generating radioactive aerosols, the spectrum of the specific activity was reconstructed.

To obtain the optimal parameters of the $\beta(d_p)$ function, a computer program was written in Python, based on the simulated annealing algorithm. The block diagram of the program operation is presented in Figure 1.

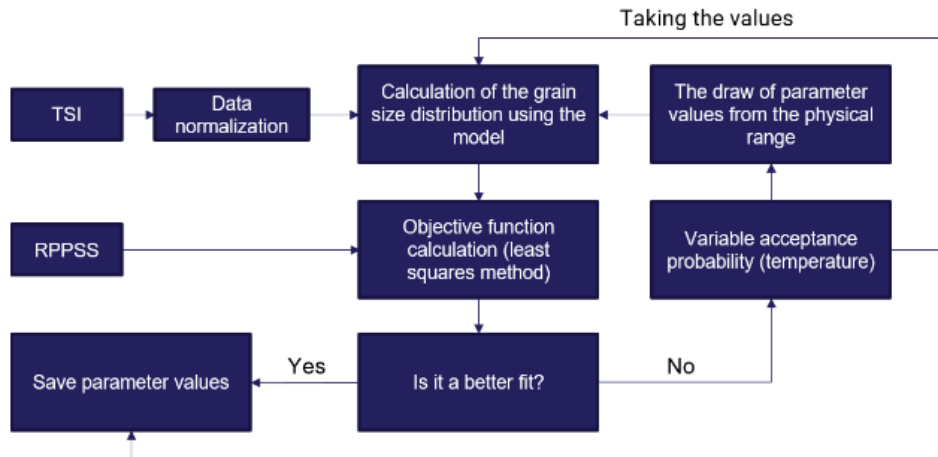


Fig. 1 Block diagram of the DisFit program

The operation of the program was compared to two series of data returned by the RPPSS device. This device calculates the specific activity based on the Emax and Twomey algorithm. The equations describing these deconvolution algorithms are presented below:

$$X_j^{p+1} = X_j^p \frac{\sum_i Z_i P_{ij}}{\sum_j P_{ij} X_j^p} \cdot \frac{1}{\sum_i P_{ij}}$$

$$X_j^{p+1} = X_j^p + X_j^p P_{ij} \left(\frac{Z_i}{\sum_j P_{ij} X_j^p} - 1 \right)$$

were: p – iteration steps, P_{ij} – matrix of coefficients of the passage of j -th particle diameters through the i -th detection sections, Z_i – counts in the i -th detection section.

The developed program firstly normalizes the input data, because the data differed in the measurement range and resolution (the number of data bins). The TSI has 160 channels for collecting data while the RPPSS has 43, this dictates the need to selectively

sum data from the TSI into fewer bins corresponding to the RPPSS. Figure 2 shows how the data normalization was applied.

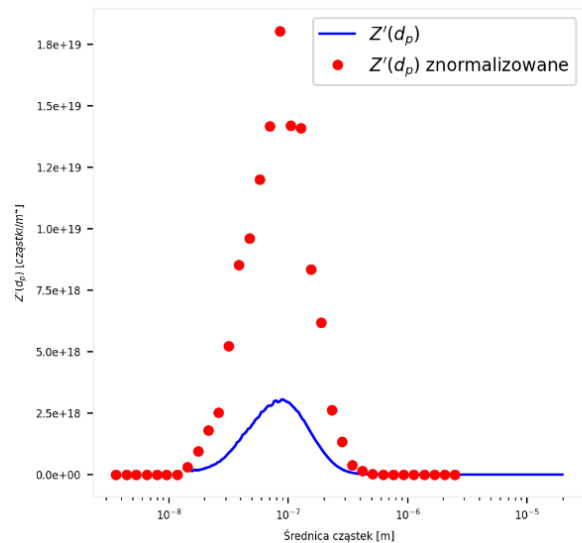


Fig. 2 Data normalization from TSI to RPPSS format (labels: x – particle size, y – normalized Z')

Then, on the basis of the Porstendörfer model and initial parameters, the particle size distribution of radioactive aerosols was calculated. The obtained distribution was compared with the RPPSS distribution, the comparison process was based on the least-squares method, which was the so-called

objective function. The program randomly selected new parameter values in many iterations so that the objective function was minimized. The program decided to change the parameters and could accept the change of parameters to be less optimal with some probability. Annealing consisted in the fact that the program was reducing the probability of accepting new, less optimal values along with the number of iterations, which corresponded to the so-called temperature. As a result of annealing, the program was able to examine many extremes of the objective function and choose the best of them, which the classical iterative algorithm cannot. Figure 3 shows the results of the program in the form of changes in the objective function and parameter values.

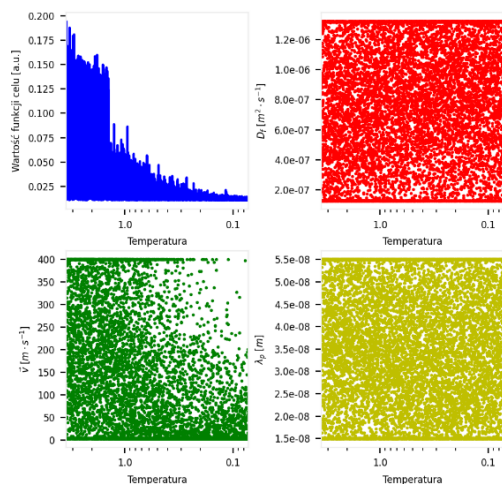


Fig. 3 Changes in model parameters during simulated annealing (labels: x – temperature, y – objective function, parameter values)

When the program performed from several thousand to several million iterations, it returned the optimized parameter values to the $\beta(d_p)$ function. After the model optimization process, the calculation of the grain size distribution of radioactive aerosols from TSI data returned significantly better results, comparable to those from the dedicated RPPSS device. Figure 4 compares the original Porstendörfer

model and the modified optimized model with RPPSS data.

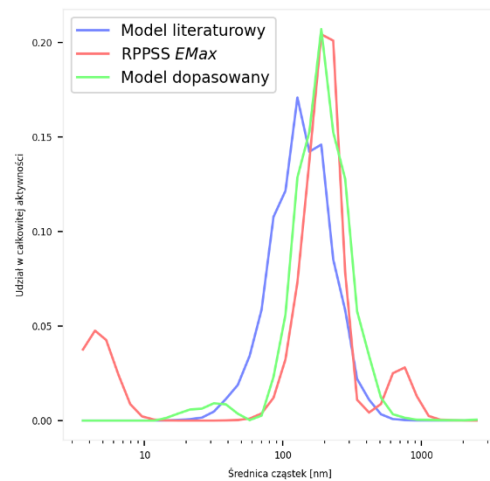


Fig. 4 Comparison of models with RPPSS (labels: x – particle size, y – contribution to total specific activity)

The use of advanced computer methods allows for a significant improvement compared to the operation of classic models. The DisFit program makes it possible to determine the PSD of radioactive aerosols from the data of environmental spectrometers, which have much better measurement precision but do not measure the radiation explicitly.

Determine of the conversion factors for TLD holders used in the Laboratory of Individual and Environmental Doses (PDiŚ) for various radiation sources.

Z. Pawłowska

The aim of the study was to determine the conversion factors for TLD holders used in the Laboratory of Individual and Environmental Doses (PDiŚ) for various radiation sources.

Materials:

In the research, thermoluminescent pellets with the composition of LiF: Mg, Cu, P (commercial name MCP-N) and all holders routinely used in PDiŚ were used.



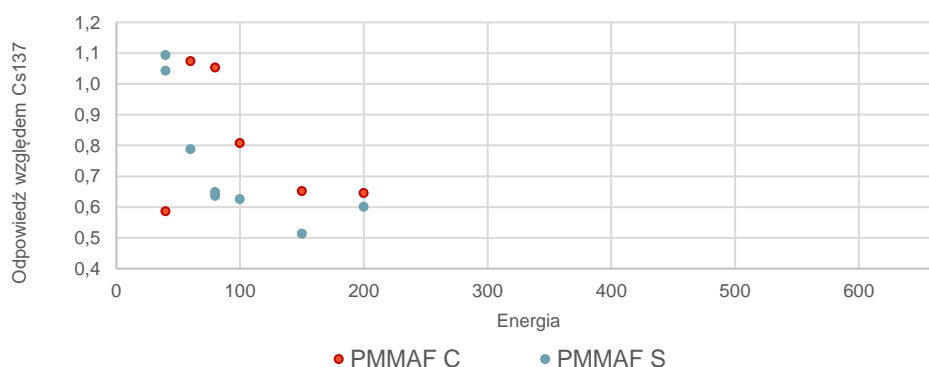
Picture 9 Holders used at PDiŚ, from left : PMMAF, PMMA, nadgarstek, pierścionek, oko

Performed tests:

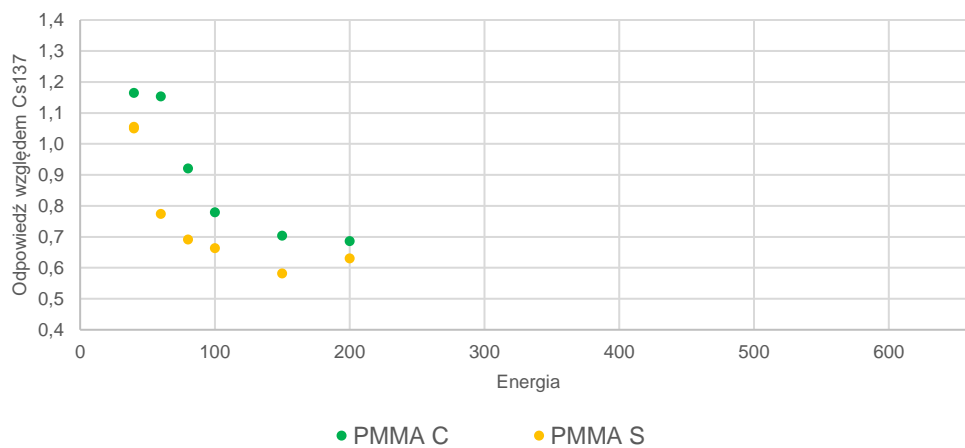
For each of the holders, an exposure was made using the following sources/energy: Cs-137, N40, N60, N80, N100, N150, and N200. The result for the personal dosimeter in the PMMAF holder from the Cs-137 source was taken as a reference value. In each measurement series, 5 detectors per measurement point were used, additionally 5 background detectors and 5 reference detectors.

Results:

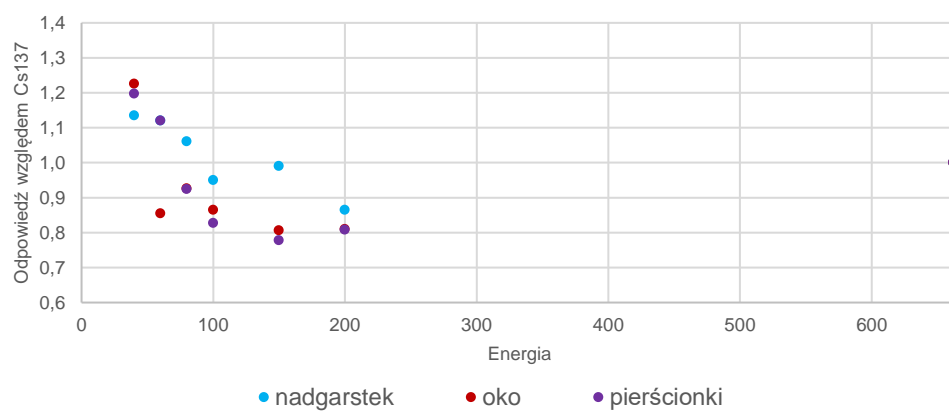
As part of the research, energy characteristics for all tested holders, and conversion factors referring to the designated reference dosimeter, were obtained. Additionally, the stability of indications of reference dosimeters was checked during the.



Pic. 10 Energy characteristics for the holder PMMAF Hp(10) – PMMAF C i H*(10) – PMMAF S



Pic. 11 Energy characteristics for the holder PMMA Hp(10) – PMMA C i H*(10) – PMMA S



Pic. 12 Energy characteristics for the holders : nadgarstek, oko, pierścionek

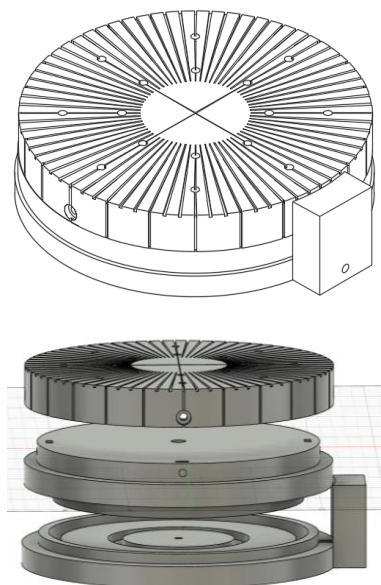
Development and execution of the station for angular characteristics of dosimeters

Z. Pawłowska, A. Parada, B. Kliś *Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki*

The purpose of the work was to make an angular table that would enable the performance of the angular characteristics of passive dosimeters and dosimetric instruments.

Table design:

The table was designed in Fusion 360 and then printed on a 3D printer available in CLOR using PLA material. The whole device uses a 51117 ball bearing. In addition to the table itself, handles for one of the most popular dosimetric devices and a universal handle for attaching passive detectors have been designed and printed.



Pic. 13 Table design

Related works:

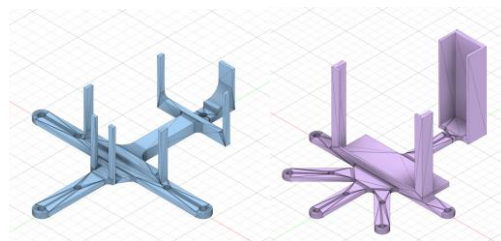
Additionally, an engineering thesis was executed at the Faculty of Physics of the Warsaw University of Technology.

Subject: Determination of the angular characteristics of selected dosimetric instruments.

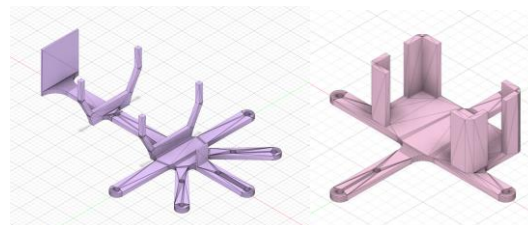
Author: Alina Parada

The work included:

- angular table design.
- Print the angular table on a 3D printer available in CLOR.
- Printout of handles for instruments: EKO-C, FH-40, RKP-2, RK-100
- Measurements of the spatial dose equivalent in the gamma radiation field from the source Cs-137 depending on the angle of incidence of radiation on the dosimeter.



Pic. 14 dosimeters handles, from left : RK-100, RKP-2



Pic. 15 dosimeters handles, from left: FH-40, EKO-C



Pic. 16 Table design with a handle for passive detectors

Measurement of radon activity concentration in workplaces where is a significant risk of exceeding the reference level 300 Bq/m³

K. Wołoszczuk, M. Norenberg, D. Tchórz-Trzeciakiewicz

As a result of the implementation of the European Union Council Directive 2013/59 / EURATOM establishing basic safety standards to protect against the dangers of exposure to ionizing radiation, it is recommended to establish in the European Union Member States a reference level of radon concentration in the air at workplaces of 300 Bq/m³, as a reference level.

The research performed so far, due to the conditions in mines and caves, confirmed that there is a significant risk that in these places the reference level of radon activity concentration may be exceeded. All mention above can provide increase exposure of people leaving or working there due to exposure to radon and short-lived its decay products.

Radon activity concentration in the air were measured using the passive detector method Fig. 1.



Fig. 1 Passive detectors

The exposure of the detectors lasted at least 30 days, the measurements were taken at workplaces. A questionnaire was filled in at each point, with

the information needed for subsequent data analysis. In the questionnaire, the questions concerned, e.g. type of work, number of employees, their gender, age, etc.

The detectors were placed in accordance with the recommendations of the International Radon Measurement Association (IRMA):

- measurements were carried out in rooms regularly occupied by employees for a minimum of 4 hours a day, or
- all premises where there was a significant risk of high radon infiltration, which may be occupied by people for more than 50 hours per year (approximately one hour per week).
- in the basement and on the ground floor, measurements were taken in all rooms. For larger rooms and spaces, at least one detector per 150 m² was placed.
- upper floors: at least two detectors per floor and at least one detector per 250 m².

Additionally, in cooperation with the University of Wrocław, a geological analysis of the areas where the measurements were made was performed.

Summary:

- an exhibition of over 500 CR-39 trace detectors was carried out,
- measurements were made in 316 locations,
- exhibitions were held on the ground floor or in the basement,
- a concentration higher than 100 Bq/m³ was measured in 398 locations

-
- in 164 locations, a concentration higher than the recommended reference level of 300 Bq/m³ was measured
 - a concentration higher than 1000 Bq/m³ was measured in 3 locations

Optimization of the method for determining the size distribution of radioactive aerosols based on the size distribution of ambient aerosols

K. Wołoszczuk

This work aimed to optimize the method of determining the size distribution of radioactive aerosols containing radon decay products based on the size distribution of ambient aerosols. The size distribution of radioactive aerosols allows more accurate determination of the dose conversion factors (DCF), which define the relationship between exposure to radon progenies and the corresponding effective dose. There are two approaches to determine DCF coefficients - the epidemiological method and the dosimetric method. The first one uses the results of epidemiological studies carried out on groups of miners working in underground mines, while the dosimetric approach recommended in ICRP Publication 66 of 1994, entitled The Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection is based on the use of dosimetric models. These models take into account the dependence of the dose on the deposition in the respiratory system, which in turn is strongly related to the diameters of aerosols containing short-lived radon decay products. In practice, the epidemiological method of dose estimation is usually used, because measuring the activity size distribution of radon decay products requires specialized and expensive equipment and therefore is not widely used.

The aim of the research conducted in the study was to identify the size distribution of both ambient and radioactive aerosol size distribution related to the short-lived radon decay products, and to determine key parameters such as the diffusion coefficients, the attachment rate coefficient, the free

path, and mean particle velocity. This enabled the association of both types of distributions and the determination of appropriate exposure-to-dose conversion factors. Consequently, it allows the use of more commercially available particle spectrometers to determine the particle size distribution of radioactive aerosols. The determination of such a correlation is of great importance because the size distribution of ambient aerosols can be determined with a much higher resolution in comparison to the instruments measuring directly distributions of radioactive aerosols.

Training and Information Department

Summary of the Activities of Training and Information Department in 2021

P. Lipiński, D. Wieczorek, Z. Samborska-Zajkowska

The Training and Information Department of the Central Laboratory for Radiological Protection conducts the following activities:

1. Preparation and organization of training courses for participants applying for IOR-1 (IOR-1R, IOR-1Z) or IOR-3 type radiation protection officers, conducted both on-site and off-site, including but not limited to preparation of training curricula, preparation and distribution of training materials, preparation and storage of relevant documents, maintaining correspondence with course participants, lecturers, and examination bodies.
2. Preparation and organization of knowledge update training for IOR-1 and IOR-3 radiation protection officers.
3. Preparation and organization of training courses for future operators of accelerators and radiological equipment conducted both on-site and off-site by the CLOR.
4. Preparation, organization and conduct of training courses other than those listed above conducted both on-site and off-site by the CLOR.
5. Maintaining permanent contact with the National Atomic Energy Agency (PAA), Main Sanitary Inspectorate (GIS) and Training Services Registry (RIS) in matters related to training.
6. Supervision of library.
7. Supervision of archive.
8. Preparation and edition of CLOR's reports.
9. Preparation, organization and handling of educational and training visits in CLOR (including CLOR's seminars).

In 2021 - despite ongoing restrictions due to the pandemic - 14 trainings were held, with 190 participants::

- ✓ Training for applicants for radiation protection officer credentials, total: 49 persons, of which:
 - IOR-1: 25 persons;
 - IOR-1R: 4 persons;
 - IOR-1z: 4 persons;
 - IOR-3: 16 persons.
- ✓ Training for applicants for renewal of radiation protection officer credentials, total: 49 persons, of which:
 - IOR-1: 24 persons;
 - IOR-1z: 2 persons;
 - IOR-3: 17 persons.
- ✓ Training for operators of accelerators and radiological equipment A-A, S-A and S-Z, total: 98 persons (for 129 licenses), of which:
 - A-A: 23 persons;
 - S-Z: 52 persons;
 - S-A, S-Z: 77 persons.¹¹
 -

¹¹The number of licenses issued and the number of persons trained varies due to the fact that a person may be trained in more than one license.

Recenzja raportu rocznego Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej za 2021 rok

Na wstępie warto zauważyć, że rok 2021, to 64 rok działalności CLOR, powołanego w 1957 roku zarządzeniem Prezesa Rady Ministrów. Na głównej stronie internetowej CLOR znajdujemy informację *„Nasza działalność jest nastawiona na ochronę przed skutkami promieniowania jonizującego społeczeństwa i osób narażonych zawodowo.”* Nieco dalej czytamy, że *„Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej jako jedyny ośrodek w Polsce ma możliwość prowadzenia kompleksowych badań dotyczących ogólnie pojętej ochrony przed promieniowaniem jonizującym.”*

Wszystko to oznacza, że CLOR od ponad 60-ciu lat spełnia w Polsce nie tylko ważną, ale przede wszystkim niezwykle odpowiedzialną rolę jako ta instytucja, która ma zapewnić ochronę przed promieniowaniem jonizującym ogółu społeczeństwa, a w szczególności tych, którzy z racji swej profesji narażeni są na radiację. A radiacja ta otacza nas ze wszystkich stron i jest z nami i w nas od zawsze. Jest też wytwarzana i wykorzystywana przez człowieka na wiele różnych sposobów. Zarówno naturalne, jak i sztucznie wytwarzane promieniowanie jest jednak dla nas potencjalnym zagrożeniem. Ocena tego zagrożenia, ostrzeżenie przed nim i reagowanie w porę, byśmy mogli „spać spokojnie” to zadanie podobne do tego, jakie spełnia straż graniczna. Analogię można kontynuować, bo w tym celu musi być wyszkolony personel, musi być sprzęt, muszą być prowadzone analizy sytuacji zagrożenia, musi być informowane społeczeństwo itd. itp. To właśnie są zadania CLOR i o tym mówi recenzowany raport.

Roczny raport w naturalny sposób wpisuje się w całokształt działalności CLOR stanowiąc informację o pracach kontynuowanych, jak i o tych rozpoczynających się,

o pracach zakończonych, ale także o tych, które nie są zakończone i będą kontynuowane w przyszłości. Na internetowej stronie CLOR można znaleźć analogiczne raporty z lat ubiegłych, co pozwala w systematyczny sposób prześledzić działalność instytucji.

Struktura raportu odzwierciedla strukturę organizacyjną CLOR. Rozpoczynająca raport przedmowa Dyrektora jest swego rodzaju streszczeniem działalności całego Laboratorium. Następne rozdziały prezentują działalność kolejnych zakładów, a raport kończy informacja o pracach Działu Szkolenia i Informacji.

Przedmowa Dyrektora zaczyna się od stwierdzenia, że CLOR służy Organom Państwowym, społeczeństwu, gospodarce i środowisku. Wynika z tego, że realizuje nie tylko zadania związane bezpośrednio z atomistyką (PAA) i ochroną środowiska (GiOŚ), ale prowadzi też działalność naukową i badawczo-wdrożeniową oraz współpracę międzynarodową i działalność komercyjną. Najważniejszym zadaniem z punktu widzenia zagrożenia radiacyjnego ludności i środowiska jest prowadzony w sposób ciągły wysokoczuły monitoring skażeń promieniotwórczych powietrza z pomocą stacji ASS-500 rozmieszczonych w 13 punktach na terenie całego kraju. Podobnie prowadzony jest monitoring radiologiczny gleb oraz rzek i jezior, a także fauny i flory. Na podstawie wyników pomiarów sporządzane są mapy radiologiczne Polski. Dyrektor zaznacza też, że nie są to tylko pomiary rutynowe, bo zmienność warunków środowiskowych, wprowadzanie nowych metod i przyrządów pomiarowych, w czym CLOR aktywnie uczestniczy, nowe dyrektywy Uni Europejskiej itp. wymagają też działalności o charakterze naukowym a następnie wdrożeniowym i to przy aktywnej współpracy zagranicznej. Fakt, że CLOR posiada akredytację na prowadzenie pomiarów i analiz w szerokiej gamie skażeń promieniotwórczych różnorodnych materiałów stosowanych w wielu gałęziach gospodarki, pozwala także na prowadzenie działalności komercyjnej. Zaliczyć do niej należy również prowadzenie szkoleń inspektorów ochrony radiologicznej, oraz operatorów aparatury w której stosowane jest promieniowanie jonizujące. Wiąże się z tym także współpraca z uczelniami wyższymi, prowadzenie wykładów, praktyk i staży studenckich oraz prac dyplomowych. Tak szeroki wachlarz działalności oraz niezależność od podmiotów stanowiących potencjalne zagrożenia radiacyjne czyni z CLOR unikalną jednostkę pozwalającą na obiektywną ocenę stanu bezpieczeństwa radiacyjnego Polski.

Jako pierwsze prezentowane jest sprawozdanie z działalności **Zakładu Higieny Radiacyjnej**. Po formalnych informacjach dotyczących kierownictwa i personelu Zakładu wymienione są w punktach główne prace prowadzone przez Zakład. Są to

zarówno prace badawcze, jak i usługowe, realizowane na zamówienie instytucji zewnętrznych. Zakres tematyczny tych prac jest bardzo różnorodny. Obejmuje zarówno udział w monitorowaniu skażeń szeroko rozumianego środowiska, w tym także morskiego (wód powierzchniowych i osadów dennych), naturalnymi i sztucznymi izotopami promieniotwórczymi, jak i opracowanie oraz wdrażanie nowych metod i technik pomiarowych. Obejmuje także uczestnictwo w krajowych i międzynarodowych badaniach dotyczących oznaczania naturalnych i sztucznych radionuklidów. Przykładem prac usługowych była ocena bezpieczeństwa jądrowego Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) w Świerku oraz Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

W ramach Zakładu działa akredytowane Laboratorium Analiz Spektrometrycznych i Radiochemicznych uprawnione do oznaczania wielu izotopów gamma promieniotwórczych w różnego typu próbkach środowiskowych, np.: żywności, pasz, wody, gleby, drewna czy osadów dennych metodą spektrometryczną oraz trytu, plutonu czy uranu metodą radiochemiczną. Przytaczane są liczby wykonanych analiz: ponad 1800 spektrometrycznych, 1100 radiochemicznych. Kompetencje Zakładu w tym zakresie potwierdził pozytywny wynik porównań między laboratoryjnych: krajowych (PAA/IChTJ) oraz międzynarodowych (PROCORAD). Prowadzone w Zakładzie prace naukowo-badawcze prezentowane są na konferencjach naukowych i stają się podstawą prac dyplomowych studentów.

W dalszej części sprawozdania Zakładu podane są bardziej szczegółowe informacje o prowadzonych pracach i ich wynikach. Oprócz zwięzłego opisu danej pracy, ale zawierającego też elementy graficzne: dane liczbowe, fotografie, rysunki i tabele wymieniani są jej autorzy oraz instytucje zamawiające/finansujące. Przekrój tematyki jest bardzo szeroki. Wymieńmy kilka przykładów: „Oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{232}Th , ^{230}Th i ^{228}Th w butelkowanych wodach mineralnych i źródłanych”, „Opracowanie metody oznaczania ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodzie przy pomocy spektrometrii ciekłoscintylacyjnej” - finansowane ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, „Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach pożywienia w 2021 r.”, „Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i ryb, w ramach prowadzonego monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego” – finansowane przez Państwową Agencję Atomistyki, „Monitoring i ochrona radiologiczna Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (Otwock – Świerk) – realizowana zgodnie z umową pomiędzy ZUOP i CLOR, „Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2021-2022” – wykonana na zlecenie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska, itd.

Warto zaznaczyć, że w wielu przypadkach uzyskanie ostatecznego wyniku wymagało wykonania całej serii pomiarów, a pomiar stanowiła niekiedy skomplikowana

procedura, w skład której wchodziło m.in. pobranie i przygotowanie próbek, kalibracja aparatury, analiza potencjalnych źródeł niepewności systematycznych itd.

Następnie prezentowany jest **Zakład Dozymetrii**. W skład Zakładu w 2021 roku wchodziło 6 osób, w tym 4 z wyższym wykształceniem w dziedzinie fizyki, a 3 z ponad 25-letnim stażem pracy w zakresie spektrometrii promieniowania gamma. W ramach Zakładu działa Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej posiadające akredytację na pomiary promieniotwórczości naturalnej w surowcach i materiałach budowlanych. Prace realizowane przez Zakład wykonywane były zarówno w ramach działalności statutowej, jak i na zlecenie organizacji zewnętrznych np. PAA, GIOŚ itd. Obejmowały bardzo szeroki krąg zagadnień zaczynając od takich, które dotyczyły całej Polski, np. ocena dawki skutecznej od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową, poprzez ocenę sytuacji radiacyjnej dla określonych obszarów kraju, np. terenie Ojcowskiego czy Narwiańskiego Parku Narodowego, oraz szczególnie wrażliwych miejsc np. w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie czy wokół Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku, po ocenę radioaktywności wybranych materiałów, np. surowców i materiałów budowlanych. W sprawozdaniu podana jest obszerna lista prac zrealizowanych w Zakładzie w 2021 roku i planowanych do wykonania w roku następnym.

Warto zwrócić uwagę na „okręt flagowy” Zakładu tj. stację ASS-500 (Aerosol Sampling Station) która w sposób ciągły kontroluje radiacyjne zanieczyszczenia powietrza niezależnie od warunków atmosferycznych (z nominalnym przepływem powietrza: 500 m³/h) wykonując precyzyjne pomiary spektrometryczne naturalnych i sztucznych radionuklidów w bardzo szerokim zakresie stężeń zaczynając od $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Stacje te pracują zarówno w Polsce, jak i za granicą, a Zakład wciąż je unowocześnia i realizuje zamówienia na nowe stacje, np. już zainstalowane i uruchomione w Katowicach i Łodzi, a planowane do zainstalowania w Koszalinie, Olsztynie i Poznaniu/Pile.

Odnosząc się do poszczególnych prac prowadzonych przez Zakład, warto zwrócić uwagę na pracę *„Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018-2020 (rok 2021). ZADANIE 3: Monitoring stężenia ¹³⁷Cs w glebie”*. To bardzo wartościowe badania prowadzone od 1988 roku na terenie całej Polski i zaprojektowane tak, by móc dokonywać analizy ewolucji skażeń w okresie wielu lat. Posłużyło to do sporządzenia map stężenia radioaktywnego ¹³⁷Cs w 254 punktach rozmieszczonych na terenie całej Polski. Tu nasuwa się uwaga, że analizy tak starannie wykonanych pomiarów i w tak długim okresie czasu (od 1988 roku) można byłoby posunąć o krok dalej. Znamy okres połowicznego zaniku izotopu ¹³⁷Cs. Jeśli założymy, że jest to izotop, który pojawił się wskutek awarii w Czarnobylu, to bez trudu możemy sprawdzić czy zmiany jego stężenia

są tylko rezultatem jego czasu życia, czy ma na nie wpływ migracja tego izotopu w glebie oraz do okolicznej fauny i flory. Czytamy, że wybór miejsc pobrania próbek był taki, by na obecność radionuklidów nie miała wpływu działalność człowieka. Wiemy jednak, że same warunki klimatyczne np. deszcze wywołują przemieszczenie się warstw gleby i w rezultacie migrację zanieczyszczeń z warstw powierzchniowych, do tych głębiej położonych. Także rośliny i zwierzęta mogą być źródłem migracji. Swoją drogą, celowy wybór miejsc poddanych aktywności człowieka też mógłby być wartościowym elementem porównawczym. Wykonanie takiej analizy mogłoby być przedmiotem ciekawych referatów konferencyjnych lub publikacji.

Jako trzeci prezentowany jest **Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania**, który tworzą dwie pracownie: Pracownia Dawek Indywidualnych i Środowiskowych (PDIŚ) oraz Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR). Zakład prowadzi zarówno prace badawczo rozwojowe, jak i świadczy usługi z zakresu szeroko rozumianej dozymetrii i wzorcowania urządzeń dozymetrycznych. W ramach prac badawczych Zakład współpracuje z ośrodkami akademickimi poprzez prowadzenia zajęć laboratoryjnych oraz uczestnicząc w realizacji prac inżynierskich, magisterskich i doktorskich. Naturalnymi rezultatami tej działalności są publikacje w czasopiśmie krajowych i zagranicznych, oraz referaty na konferencjach. Elementem tej działalności jest też współpraca międzynarodowa. W sprawozdaniu podane są nazwy czasopism, w których Zakład publikuje swe rezultaty oraz nazwy Instytucji zagranicznych, z którymi współpracuje.

Dalej przedstawione są metody i aparatura do realizacji zadań Zakładu. Zwraca się uwagę, że wszystkie metody wzorcowania stosowane w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych posiadają akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (AP 057) i są zgodne z wymaganiami normy międzynarodowej ISO/IEC 17025. Także oceny pracy i ankiety klientów potwierdziły zaufanie do wyników analiz realizowanych w Zakładzie. Przedmiotem dumy Zakładu jest radonowa komora klimatyczna wyposażona w unikalny układ do pomiaru rozkładu średnic pochodnych radonu. Bardzo cennym urządzeniem jest także generator neutronów typu deuteron-tryton (D-T) emitujący neutrony o ściśle określonej energii i wykorzystywany do prac dotyczących metrologii promieniowania neutronowego.

Cztery stanowiska badawcze, które funkcjonują w ramach Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych mają za zdanie ocenę dawek indywidualnych zarówno ogółu ludności jak i szczegółowo osób narażonych na promieniowanie w rezultacie swej działalności profesjonalnej. Poza tym, utrzymywane są w pełnej gotowości stanowiska umożliwiające ocenę narażenia w związku z potencjalnie możliwymi zdarzeniami radiacyjnymi. Wszystko to jest szczególnie istotne z punktu

widzenia planów Polski dotyczących przyszłej energetyki jądrowej w naszym kraju oraz dalszego rozwoju i zastosowania źródeł promieniowania jonizującego w różnych gałęziach gospodarki, nauce i medycynie.

Zestawienie wykonanych w Zakładzie prac obejmuje około 20 pozycji o bardzo różnorodnej tematyce, wymagające zarówno wykonania pomiarów i analizy danych jak i symulacji komputerowych. Są więc prace dotyczące wdrożenia nowego Systemu Zarządzania Jakością, badanie czynników wpływających na zmianę właściwości detektorów śladowych CR39, wykonanie pomiarów testowych w celu weryfikacji gotowości do pomiarów zawartości promieniotwórczego jodu w tarczycy człowieka, walidacja opracowanych w CLOR kodów komputerowych, analiza możliwości wykonywania neutronowej analizy aktywacyjnej z wykorzystaniem posiadanych przez CLOR źródeł neutronów: źródła $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ oraz generatora neutronów D-T, wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej, badania półprzewodnikowych detektorów do pomiaru sygnałów optycznych z detektorów termoluminescencyjnych – to tylko niektóre z omawianych w sprawozdaniu prac.

Na zakończenie krótko podsumowana jest działalność **Działu Szkolenia i Informacji**. Dział ten zajmuje się przede wszystkim przygotowaniem i organizacją szkoleń dla osób ubiegających się o uzyskanie uprawnień Inspektora Ochrony Radiologicznej. Szkolenia takie odbywają się zarówno w siedzibie CLOR jak i w instytucjach zewnętrznych. W ramach tych działań przygotowywane i dystrybuowane są materiały i dokumenty szkoleniowe, prowadzona jest korespondencja z uczestnikami kursów oraz jednostkami egzaminującymi itd. W sprawozdaniu podane są liczby osób, które uczestniczyły w różnego typu szkoleniach.

Sprawozdanie CLOR zawiera też wersję w języku angielskim, posiadające taką samą strukturę.

Lektura całości sprawozdania nasuwa kilka uwag i wniosków:

1. Uwagę zwraca niezwykle szeroki krąg zagadnień, który obejmują prace realizowane w CLOR. Jest to prezentowane dosyć lakonicznie w zwięzłej przedmowie Dyrektora, ale dopiero lektura treści niektórych analiz pokazuje jak wiele różnorodnych elementów zawierają prezentowane opracowania, jak wiele czasu musi to pochłonąć i jak wiele osób angażować. Oczywiście trzeba mieć świadomość, że wiele pomiarów, badań i analiz, to prace kontynuowane lub aktualizowane z lat wcześniejszych, co przyspiesza pracę, ale w wielu przypadkach wiąże się to z uruchomieniem lub unowocześnieniem aparatury, z jej kalibracją i pomiarami testowymi. Wszystko to świadczy bardzo pozytywnie o efektywności działania nie tak bardzo licznego zespołu z CLOR.

-
2. Z pewnością ważne jest, że Laboratorium posiada akredytację na prowadzenie wielu badań i analiz, co wiąże się z uprawnieniami do wydawania stosownych certyfikatów, dając też możliwość do prowadzenia działalności komercyjnej.
 3. Recenzentowi z uczelni wyższej, nasuwa się jednak nieodparcie uwaga, że wyniki prowadzonych prac mogłyby być znakomitą podstawą do dalszego opracowania i wyciągania ciekawych wniosków. Kilka uwag na ten temat zawartych jest wyżej przy omawianiu pracy dotyczącej wieloletniego monitoringu cezu zawartego w glebie. Migracja materiałów promieniotwórczych w glebie i ogólnie w środowisku, to bardzo ciekawy obiekt dla wielostronnych analiz, który mógłby być przedmiotem prac dyplomowych studentów, ale i doktorantów. Byłoby to na pewno z korzyścią nie tylko dla dyplomanta, ale i dla CLOR.
 4. Za bardzo wartościową uważam więc informację o rozwoju kontaktów i współpracy CLOR z wyższymi uczelniami technicznymi: prowadzenie zajęć laboratoryjnych i wykładów z zakresu dozymetrii dla studentów, przyjmowanie studentów na praktyki wakacyjne i organizacja wizyt grup studenckich w ramach zajęć prowadzonych na uczelniach. W wielu przypadkach owocuje to decyzją studenta o wyborze przyszłej kariery profesjonalnej. Być może, do rozważenia jest też, by zajęcia z zakresu dozymetrii stanowiły przygotowanie do uzyskania przez studenta certyfikatu inspektora ochrony radiologicznej, co zapewne można byłoby zrealizować w porozumieniu uczelni z CLOR i PAA. Takie swoiste „prawo jazdy” mogłoby być niekiedy ważnym atutem młodego człowieka w konkurencji poszukiwania przyszłego zatrudnienia.

Podsumowując należy stwierdzić, że CLOR z powodzeniem kontynuuje swą misję jako instytucja, która dba o radiacyjne bezpieczeństwo naszego kraju i naszego społeczeństwa. Misja ta nabiera szczególnego znaczenia teraz, kiedy energetyka jądrowa w Polsce wkracza w fazę efektywnej i konkretnej realizacji. Stawia to przed CLOR nowe wyzwania, ale też i kreuje nowe możliwości. Dlatego nowym zadaniem jest wykorzystanie tych możliwości dla dalszego rozwoju Laboratorium w wielu kierunkach, w tym także naukowym.



Jan Pluta

ISBN 978-83-947765-3-4