



CENTRALNE
LABORATORIUM
OCHRONY
RADIOLOGICZNEJ



RAPORT ROCZNY 2016
ANNUAL REPORT 2016

Redaktor naukowy / Scientific editor

Dr Paweł Krajewski

Recenzent / Reviewer

Prof. dr hab. Jan Pluta

Redakcja techniczna / Technical editors

Mgr inż. Iwona Słonecka

Mgr inż. Kinga Kondracka

© Copyright by Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 2017

All rights reserved

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Central Laboratory for Radiological Protection

Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

RAPORT CLOR Nr 158

ISBN 978-83-947765-1-0

PRZEDMOWA	5
ZAKŁAD HIGIENY RADIACYJNEJ	9
Opracowanie założeń dla wdrożenia metody oznaczania węgla ¹⁴ C w próbkach środowiskowych	11
Adaptacja metody oznaczania trytu związanego organicznie (OBT) w próbkach biologicznych	12
Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2016-2019	13
Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ¹³⁷ Cs i ⁹⁰ Sr w próbkach pożywienia	15
Przeprowadzenie pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ¹³⁷ Cs i ⁹⁰ Sr przez placówki podstawowe prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju	17
Oznaczenie stężeń promieniotwórczych ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²¹⁰ Po, ²¹⁰ Pb, ⁹⁰ Sr oraz ¹³⁴ Cs i ¹³⁷ Cs w wodach ze studni oligoceńskich w Warszawie	19
Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i ryb, w ramach prowadzonego monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego	21
Określenie zawartości ¹³⁷ Cs i ⁹⁰ Sr w rybach słodkowodnych z rejonu polski północnej jako poziomu wyjściowego skażeń środowiska wodnego przed uruchomieniem polskich elektrowni atomowych	25
Utrzymanie systemu zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych	28
ZAKŁAD DOZYMETRII	31
Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową – sieć stacji ASS-500	33
Monitoring stężenia ¹³⁷ Cs w glebie w latach 2014-2015	36
Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Zadanie 3: Monitoring stężenia ¹³⁷ Cs w glebie	39
Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980-2016	41
Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różaniu oraz wokół Ośrodka w Świerku	44
Monitoring gazów szlachetnych w Warszawie i Świerku w roku 2015 oraz 2016	48
Utrzymanie akredytacji w Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej w zakresie określania stężeń promieniotwórczych ²²⁶ Ra, ²²⁸ Th i ⁴⁰ K w surowcach i materiałach budowlanych	50
ZAKŁAD KONTROLI DAWEK I WZORCOWANIA	53
Walidacja modeli prognozujących narażenie radioekologiczne – założenia nowego programu MAEA MODARIA II 2016-2020 (MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments)	55
Pilotażowe badania narażenia na promieniowanie jonizujące oczu (H _p (3)) pracowników w placówkach medycznych z wykorzystaniem dozymetrów TLD	66
Utrzymanie gotowości Laboratorium Monitoringu Jodu CLOR do wykonywania pomiarów zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy	70
Utrzymanie wzorców promieniowania oraz utrzymanie i rozwój systemu zapewnienia jakości wzorcowania przyrządów dozymetrycznych	75

Charakterystyka pola neutronowego wytwarzanego z generatora D-T do celów ustanowienia stanowiska kalibracyjnego	78
Opracowanie stanowiska do wyznaczania stężenia izotopu ^{222}Rn w wodzie	82
Metodyka szacowania dawek przy zastosowaniu odczytów TLD oraz statystyki bayesowskiej w polach mieszanych promieniowania beta i gamma	84
Zastosowanie metody bayesowskiej i Monte Carlo w biologicznej ocenie dawki pochłoniętej w skutek przypadkowego napromienienia ludzi promieniowaniem reaktorowym n+γ	87
Optymalizacja metody wzorcowania przyrządów radonowych przy niskich stężeniach radonu w powietrzu na poziomie $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ w świetle Dyrektywy Unijnej z dnia 5 grudnia 2013 r.	90
Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej w 2016 r.	92
Sprawozdanie z seminarium Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych 2016	94
Sprawozdanie z seminarium Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych	98
Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych- część techniczna	102
DZIAŁ SZKOLENIA I INFORMACJI	105
Realizacja prac Działu Szkolenia i Informacji CLOR w 2016 r. Zadania Komitetu Technicznego 246 ds. ochrony radiologicznej	107
INTRODUCTION	109
DEPARTMENT OF RADIATION HYGIENE	113
Development of assumptions for implementing the ^{14}C determination method in environmental samples	115
Adapting a method for organically bound tritium (OBT) determination in biological samples	116
Monitoring the radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2016-2019	117
Risk assessment for the population of Lublin and Katowice based on analyses of meals in 2016	119
Comparative measurements regarding ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope determinations done by measurement units performing radioactive contamination assessments as part of monitoring the radiation in the country	121
Determination of ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{90}Sr , ^{134}Cs and ^{137}Cs activity concentrations in the water from Oligocene wells in Warsaw	123
Measurement of radioactive contamination in samples of water, sediments and fish, as part of monitoring the radioactive contamination of the Baltic Sea	125
Determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr in freshwater fish from the northern Poland as the initial contamination level of the aquatic environment before the launch of the Polish nuclear power plants	129
Maintaining the management system in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis	132
DOSIMETRY DEPARTMENT	135
Assessment of effective dose for residents of Poland due to inhalation of atmospheric aerosols – ASS-500 stations network	137

Monitoring of ^{137}Cs concentrations in soil, 2014-2015	140
Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring programme TASK 3: Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil	143
Analysis and evaluation of the radioactivity of raw and building materials used in Poland in 1980-2016	145
Assessment of the radiation situation in the vicinity of the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Rozan and around Institute in Swierk	148
Monitoring of noble gases in Warsaw and Swierk in 2015 and 2016	152
Maintenance of accreditation in the Measurements of Natural Radioactivity Laboratory with regards to ^{226}Ra , ^{228}Th and ^{40}K radioactive concentration determination in raw and building materials	154
DEPARTMENT OF MONITORING AND CALIBRATION	155
Validation of models forecasting radioecological exposure – the assumptions of IAEA's new program, MODARIA II 2016-2020 (MOdelling and Data for Radiological Impact Assessments)	157
Pilot studies on the exposure of the eyes of medical employees to ionizing radiation (Hp(3)) using TLD dosimeters	167
Maintaining the Iodine Monitoring Laboratory CLOR to perform content measurement iodine radiation in the thyroid gland for the operation of the emergency services and the emergency situation	171
Maintaining radiation standards and the development and maintenance of the quality assurance system for the calibration of dosimetry instruments	176
Characterizing the neutron field produced by a D-T generator for the purposes of assembling a calibration workstation	180
Construction of a measurement stand for the radon concentration measurements in water samples	185
Methodology of doses estimation of mixed beta and gamma radiation with the use of TLD and Bayesian statistics	187
Use of Bayesian and Monte Carlo methods in biological assessment of absorbed dose as a result of accidental irradiation of humans with n+ γ reactor radiation.	190
Optimization of the method of calibration radon-222 measurement instruments at low activity concentrations in the light of the European Council Directive 2013/59/EURATOM	193
Calibration dosimeters for radiation protection purpose in 2016	195
Report of the seminar of the Laboratory of Calibrating of Dosimetric Devices and Radon – 2017	196
Report from the college of the Studio of Individual Doses and Environmental – 2017	199
Assurance and support of the quality system in Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments	202
SECTION OF TRAINING AND INFORMATION	203
Section of Training and Information in CLOR in 2016. Tasks of the Technical Committee no. 246 radiological protection	205
RECENZJA	206



Przedmowa

W bieżącym raporcie CLOR przedstawiono zwięzły opis głównych prac Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej prowadzonych w 2016 r. przedstawionych w postaci streszczeń, tabel i ilustracji.

Raport stanowi kompendium informacji, które są przedstawione szczegółowo w ekspertyzach i wydawnictwach wydawanych przez CLOR w ramach jego misji jak również dostępnych na stronie CLOR¹.

Podobnie jak w latach ubiegłych prace badawczo-wdrożeniowe realizowane w 2016 roku przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej związane były głównie z problematyką ochrony radiologicznej ujętą w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej (2014-2030), przyjętym dn. 28 stycznia 2014 r. przez Radę Ministrów Uchwałą NR 15/2014 (w skrócie PPEJ). Działalność CLOR dobrze wpisuje się w zadania szczegółowe Celu 6 Programu PEJ „WZMOCNIENIE KRAJOWEGO SYSTEMU REAGOWANIA NA ZDARZENIA RADIACYJNE POD KĄTEM FUNKCJONOWANIA ENERGETYKI JĄDROWEJ, W TYM WZMOCNIENIE KRAJOWEGO SYSTEMU MONITORINGU RADIACYJNEGO”. Również statut CLOR nakłada obowiązek wdrażania prowadzonych prac do zastosowania w praktyce oraz upowszechniania wyników tych prac, zwłaszcza w zakresie radioanalityki i pokrewnych metod analizy chemicznej oraz w zakresie doskonalenia metod pomiarowych, wzorcowania aparatury dozymetrycznej i radiometrycznej. Do ważniejszych prac prowadzonych przez CLOR w ostatnich latach, można zaliczyć:

- W latach 2011-2014 CLOR był koordynatorem Zadania Badawczego 6 pt: „ROZWÓJ METOD ZAPEWNIENIA BEZPIECZEŃSTWA JĄDROWEGO I OCHRONY RADIOLOGICZNEJ DLA BIEŻĄCYCH I PRZYSZŁYCH POTRZEB ENERGETYKI JĄDROWEJ” realizowanego w ramach strategicznego projektu badawczego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt: „TECHNOLOGIE WSPOMAGAJĄCE ROZWÓJ BEZPIECZNEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ”. Oprócz patronatu merytorycznego nad całością prac w/w zadania, prace CLOR koncentrowały się na wdrożeniu nowego prototypu stacji NASS-500 do pomiaru

promieniotwórczych skażeń powietrza, opracowaniu metodyki badań radiologicznych w lokalizacjach planowanych EJ oraz na wdrożeniu nowych standardów dozymetrii narażenia zawodowego pracowników przyszłej EJ. Cytując zapis zamieszczony w wieloletnim Programie polskiej energetyki jądrowej (2014-2030), Rozdział 12: Zaplecze Techniczne i Naukowo-Badawcze Polskiej Energetyki Jądrowej: „PO PRZEPROWADZENIU OCENY WSPOMNIANYCH ZADAŃ BADAWCZYCH, ZREALIZOWANYCH W RAMACH STRATEGICZNEGO PROGRAMU BADAWCZEGO POD KĄTEM ICH UŻYTECZNOŚCI DLA WDRAŻANIA ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE, NALEŻY ROZWAŻYĆ PRZYGOTOWANIE KOLEJNEJ EDYCJI PROJEKTU, W KTÓREJ UWZGLĘDNIONE ZOSTANĄ OCZEKIWANIA ADMINISTRACJI RZĄDOWEJ I DOZORU JĄDROWEGO M.IN. W PERSPEKTYWIE PRZYSZŁEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA ZEWNĘTRZNE USŁUGI EKSPERCKIE”.

- CLOR był również członkiem konsorcjum realizującego Zadanie Badawcze 3 w/w programu pt.: “PODSTAWY ZABEZPIECZENIA POTRZEB PALIWOWYCH POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ” (lider konsorcjum – Uniwersytet Warszawski). Prace badawcze CLOR w ramach w/w konsorcjum dotyczyły problematyki oceny oddziaływania na środowisko obecnych terenów pogórnicznych, składowisk odpadów oraz niskoprocetowych mineralizacji uranowych jak również na metodyce ocen modelowych przyszłych instalacji eksploatowanych nie tylko dla potrzeb rozwoju energetyki jądrowej, ale także dla potrzeb przemysłu surowcowego.

- Jako współwykonawca projektu pt. „BADANIE I OCENA NARAŻENIA PRACOWNIKÓW NA PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE OD IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W ZAKŁADACH MEDYCYNY NUKLEARNEJ” w ramach programu wieloletniego „POPRAWA BEZPIECZEŃSTWA I WARUNKÓW PRACY” kierowanego przez Centralny Instytut Ochrony Pracy-PIB., CLOR opracowywał nowe standardy bezpieczeństwa i higieny pracy zgodnie z Dyrektywą Rady UE nr 2013/59/EURATOM, o nazwie Basic Safety Standards z dnia 5 grudnia 2013 r.

- W ramach 7-tego programu Ramowego UE “ASSESSMENT OF REGIONAL CAPABILITIES FOR NEW REACTORS DEVELOPMENT THROUGH AN INTEGRATED

¹ <http://www.clor.waw.pl/>

APPROACH”, ARCADIA, (2013-2016) prowadzono prace na potrzeby wzmocnienia zaplecza merytorycznego dla potrzeb nowej generacji reaktorów jądrowych HTR projektowanych w programie UE ALFRED.

W 2016 r. CLOR złożył propozycje do dwóch nowych projektów, które będą finansowane przez UE w 2017 r.:

- Projekt EURAMET METRORADON Reference no. 16ENV10 pt. “METROLOGIA MONITORINGU RADONU”. Projekt dotyczy walidacji metod pomiarów radonu w krajach UE pod kątem wymagań Dyrektywy z wykorzystaniem radonowej komory wzorczącej CLOR.
- Projekt EURAMET PREPAREDNESS Reference no. 16ENV04 pt. “METROLOGIA MOBILNYCH METOD DETEKЦИИ PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W NASTĘPSTWIE WYPADKU JĄDROWEGO LUB ZDARZENIA RADIACYJNEGO”.

Warto też zwrócić uwagę na problematykę dostosowania krajowego systemu ochrony radiologicznej do zwiększonych wymagań wynikających z nowych zaleceń i dyrektyw UE, które zostały lub w najbliższym czasie będą transponowane do prawa krajowego. W związku z obowiązkiem wdrożenia Nowej Dyrektywy (zatwierdzonej przez Parlament UE 14 stycznia 2014 r. z okresem transpozycji do prawa krajowego Państw Członkowskich najpóźniej do 6 lutego 2018 r.) obligatoryjne dla krajów członkowskich staną się podwyższone standardy warunków pracy ze źródłami promieniowania jonizującego w szczególności dla personelu medycznego, ratowników w sytuacjach narażenia wyjątkowego oraz stanowisk pracy w warunkach podwyższonego stężenia radonu oraz innych radionuklidów pochodzenia naturalnego². Zaostrzono też normy ochrony ludności, pacjentów medycznych oraz ochrony środowiska. W/w przepisy UE będą miały w roku 2018 r. wiążący charakter dla systemu BJIOR w Polsce.

Działalność CLOR w kierunku unowocześnienia krajowego systemu ochrony radiologicznej prowadzona jest przy intensywnej współpracy z ośrodkami zagranicznymi, m.in.:

- 5 maja 2015 r., przedstawiciel CLOR dr Paweł Krajewski został nominowany na czteroletnią kadencję jako ekspert Grupy Ekspertów paragrafu

31 traktatu EURATOM (the Group of Experts referred to in Article 31 of the Euratom Treaty),

- 12 czerwca 2015 r., CLOR został członkiem Międzynarodowej Unii Radioekologii ALIANCE. Unia „ALIANCE” skupia wszystkie największe instytuty europejskie i uczestniczy w konkursach UE Horyzont-2020, m.in. CLOR złożył propozycje do programu ‘CONCERT-European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research’ under Horizon 2020.

- 8 lipca 2015 r. podpisano umowę o współpracy z Niemieckim Biurem Federalnym Ochrony przed Promieniowaniem (Bundesamt für Strahlenschutz BfS) odnośnie pomiarów gazów szlachetnych ⁸⁵Kr i ¹³³Xe wokół kompleksu „ŚWIERK” składającego się z reaktora „MARIA” oraz Zakładu Produkcji Izotopów POLATOM. Pomiary kontynuowane są w 2017 r w cyklu 10-dniowym.

Eksperti Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej uczestniczą w pracach grup roboczych Komitetu Ochrony Radiologicznej I Zdrowia Publicznego „Committee on Radiation Protection and Public Health” (CRPPH) m.in.: Working Party on Nuclear Emergency Matters, Expert Group on the Implications of ICRP Recommendations, Expert Group on Occupational Exposure.

W ramach systemu zarządzania jakością zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005 akredytowane Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych (AB 1215), rutynowo bierze udział w międzynarodowych porównaniach laboratoryjnych organizowanych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA, Wiedeń, Austria): oznaczanie ²³⁸U, ²³⁴U, ²²⁶Ra, ²¹⁰Po i ²⁴¹Am w różnych komponentach środowiska i produktach żywnościowych.

Prowadzono również prace w ramach Grupy Roboczej zajmującej się testowaniem i walidacją modeli komputerowych służących do przewidywania dawek i skażeń środowiska przy uwolnieniach substancji promieniotwórczych z instalacji jądrowych, w ramach programu Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej MODARIA II (Environmental Modeling for Radiation Safety) (2016-2019).

CLOR prowadzi badania zawartości pierwiastków promieniotwórczych w osadach dennych i biocie w Morzu Bałtyckim (współpraca wszystkich krajów nadbałtyckich) w ramach Komisji

² Tzw. NORM oraz TNORM-Technologically Enhanced Normally Occurring Radionuclides

Helsińskiej (Helsinki Commission, Baltic Marine Environmental Protection Commission, Helcom Mors).

W ramach prac standaryzacyjnych CLOR prowadzi sekretariat i przewodniczy w Komitecie PKN/KT246 „Ochrona radiologiczna”.

System BJIOR wymaga pilnego wzmocnienia w zakresie rozwoju kadry i infrastruktury wspomagającej. Wydaje się, że zaplecze merytoryczne (tzw. TSO – Technical Support Organization), w porównaniu z innymi krajami UE, pozostaje nadal niewątpliwie słabą stroną systemu BJIOR w Polsce. Szczególną troską napawa rozrzucony po kraju potencjał ekspercki, który charakteryzują na ogół niewielkie zespoły specjalistów, rozmieszczone w kilkunastu instytucjach wykorzystujących większe urządzenia badawcze (reaktor, cyklotron, wysokoaktywne źródła promieniotwórcze) lub utworzonych w związku z potrzebami branżowymi (medycyna, górnictwo, obrona kraju). W szczególności, sieć krajowego monitoringu radiacyjnego ludności i środowiska koordynowana przez PAA, oparta jest na jednostkach funkcjonujących w różnych systemach organizacyjnych, takich jak: Instytuty Badawcze, Instytuty Naukowe PAN, Specjalistyczne Wydziały Wyższych Uczelni, Stacje Sanitarно-Epidemiologiczne. Sprawność tej sieci zależy od aktualnych, często zmiennych, zdolności pomiarowych tych placówek. Jakkolwiek modernizacja, unowocześnienie czy rozbudowa poszczególnych elementów tej sieci zależy tylko od zaradności i zmiennej kondycji finansowej wspomnianych placówek, a integracja sieci jest praktycznie niemożliwa. Niepokoi wysoka średnia wieku pracowników tych placówek, niskie zarobki i co z tym idzie, brak lub odpływ młodej wykwalifikowanej kadry.

Zgodnie z wytycznymi MAEA i doświadczeniami innych państw, które z sukcesem i przy społecznej akceptacji wdrożyły i rozwijają energetykę jądrową, istotne jest posiadanie zaplecza naukowo-badawczego zapewniającego wsparcie dla dozoru jądrowego i administracji rządowej w procesie wydawania zezwoleń na budowę, rozruch, eksploatację i likwidację elektrowni jądrowych oraz w trakcie ich budowy, eksploatacji i likwidacji. Wysokie kompetencje i wiarygodność (tzw. extended credibility) krajowego zaplecza eksperckiego (TSO) będzie skutkowało pozytywnym

wpływem na społeczną akceptację energetyki jądrowej w Polsce.

Działania CLOR w kierunku utworzenia krajowego zaplecza eksperckiego (TSO) osiągnęły pewien postęp, gdy 3 kwietnia 2012 r. została podpisana Umowa Ramowa z Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki konstituująca CLOR jako specjalistyczne zaplecze merytoryczne PAA oraz istotne ogniwo krajowego systemu bezpieczeństwa radiacyjnego.

Autoryzacja CLOR przez Prezesa PAA jako kluczowej jednostki w systemie organizacji wsparcia technicznego (TSO) dla działań Dozoru Jądrowego znalazła obecnie potwierdzenie w projekcie z dnia 14 grudnia 2016 r. Ustawy o zmianie ustawy - Prawo Atomowe, który zawiera zapisy zapewniające stabilne i przewidywalne warunki współpracy Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z organizacjami wsparcia technicznego TSO (w tym CLOR).

W zakresie objętym umową CLOR prowadzi m.in.:

- rutynowy monitoring skażeń promieniotwórczych w aerozolu atmosferycznym na terenie Polski w ramach utrzymania sieci wczesnego ostrzegania na potrzeby Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki
- rutynowy monitoring wokół takich obiektów jądrowych jak Składowisko Odpadów Radioaktywnych w Różanie oraz Reaktora doświadczalnego Maria w Świerku.
- monitoring wód wodociągowych w dużych aglomeracjach miejskich oraz badania próbek całodziennego pożywienia i produktów spożywczych (Warszawa, Gdańsk, Sosnowiec)
- badania skażeń promieniotwórczych w rejonie Bałtyku południowego (pod auspicjami Komisji Helsińskiej – HELKOM)
- CLOR organizuje również badania porównawcze dla placówek podstawowych prowadzących podstawowe pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju.

W 2016 r. CLOR prowadził również szereg badań z zakresu wdrożenia nowej metodyki pomiarowej m.in.

- Opracowanie założeń dla wdrożenia metody oznaczania węgla ^{14}C w próbkach środowiskowych,

-
- Opracowanie stanowiska do wyznaczenia stężenia izotopu ^{222}Rn w wodzie metodą spektrometrii promieniowania alfa,
 - Optymalizacja metody wzorcowania przyrządów radonowych przy niskich stężeniach radonu w powietrzu na poziomie 300 Bq/m^3 w świetle Dyrektywy,
 - Charakterystyka pola neutronowego wytwarzanego z generatora D-T do celów ustanowienia stanowiska kalibracyjnego,
 - Oznaczanie trytu związanego organicznie (OBT) w próbkach biologicznych,
 - Pilotażowe badania narażenia na gałki oczu ($\text{H}_p(3)$) pracowników w placówkach medycznych z wykorzystaniem dozymetrów TLD, oraz dozymetrii biologicznej, co wynika z potrzeby analizy wpływu promieniowania na organizm ludzki oraz konieczności ciągłego rozwijania i utrzymywania metod dozymetrii biologicznej w aspekcie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce, w szczególności:
 - Wyznaczenie względnej skuteczności biologicznej terapeutycznej wiązki protonów z cyklotronu Proteus C235 za pomocą testu dicentrycznego w limfocytach krwi obwodowej,
 - Porównanie międzylaboratoryjne w zakresie oznaczania pochłoniętej dawki promieniowania X za pomocą testu dicentrycznego w limfocytach krwi obwodowej.

Rok 2016 zaznaczył się również znacznym wzrostem usług statutowych CLOR, co umożliwiła

dobrze wykształcona kadra, o bogatym, wieloletnim doświadczeniu w prowadzeniu prac operacyjnych w dziedzinie ochrony radiologicznej, jak również unikalne w skali kraju metody oznaczania izotopów promieniotwórczych w środowisku i w organizmie człowieka.

Poza doradztwem eksperckim Instytut prowadzi działalność popularyzacyjną i szkoleniową. Praktycznie od początku swego istnienia CLOR prowadzi szkolenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej (ok 200 osób rocznie) oraz prowadzi specjalistyczne szkolenia dla Straży Granicznej, Biura Operacji Antyterrorystycznej, Obrony Cywilnej oraz studentów Głównej Szkoły Służby Pożarniczej. Należałoby również wrócić do zaniechanej w latach 80-tych XX wieku tematyki pokrewnej np. badań w zakresie działań prewencyjnych na wypadek zagrożenia terroryzmem jądrowym i radiacyjnym.

W podsumowaniu, należy podkreślić, że osiągnięcie wysokiego stopnia kompetencji oraz dobrych wyników merytorycznych i finansowych w 2016 r. są zasługą całej Załogi CLOR, której w tym miejscu należy się podziękowanie Dyrekcji za jej wysiłek i wierność trzem podstawowym zasadom instytucji wsparcia naukowo-technicznego jaką jest CLOR: wysoki poziom kompetencji, niezależna i obiektywna opinia oraz zaangażowanie i dostępność w kontaktach z nieprofesjonalistami.

Dyrektor

Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Dr Paweł Krajewski

ZAKŁAD HIGIENY RADIACYJNEJ



Opracowanie założeń dla wdrożenia metody oznaczania węgla ^{14}C w próbkach środowiskowych

A. Fulara

Wprowadzenie

Czas połowicznego rozpadu radiowęglu wynosi 5730 lat. Jest on równomiernie rozproszony w atmosferze i w postaci dwutlenku węgla, przez fotosyntezę, przedostaje się do organicznego obiegu węgla w przyrodzie. Tak długo jak organizm żyje wymienia materię z materią z otoczenia i proporcje węgla radioaktywnego do stabilnego w materii żywej są podobne jak w atmosferze.

Komisja UE (2000/473/Euratom) zaleca oznaczanie zawartości węgla ^{14}C w próbkach całodzienniej diety w celu oceny narażenia ludności. Również sieci monitoringu wokół obiektów jądrowych w wielu krajach prowadzą oznaczenie ^{14}C m.in. w wodzie oraz innych komponentach środowiska. W Polsce obecnie nie prowadzi się oznaczeń ^{14}C na potrzeby monitoringu krajowego.

Izotop ^{14}C jest izotopem beta-promieniotwórczym o energii maksymalnej 156 keV. Podczas rozpadu nie emituje on promieniowania gamma, więc nie ma możliwości zastosowania techniki spektrometrii tego promieniowania. Konieczne jest zastosowanie nieco bardziej "subtelnej" techniki pomiarowej. Możliwych technik pomiaru ^{14}C jest kilka, z czego najważniejsze to technika ciekłoscyntylacyjna.

W ramach pracy przeanalizowano sposób postępowania z próbkami powietrza, wody, żywności, gleby oraz osadów. Szczególną uwagę zwrócono na sposób postępowania z próbkami wody, opisany w normie ISO 13162:2011 Water Quality – Determination of carbon 14 activity – Liquid scintillation counting method.

Zebrany materiał literaturowy posłużył do przyjęcia założeń do wprowadzenia metody oznaczania węgla ^{14}C w próbkach środowiskowych.

Wnioski

Wyniki pracy zostały zaprezentowane podczas Seminarium Sprawozdawczego, które odbyło się 10 lutego 2017r.

Wdrożenie metody pomiaru C-14 umożliwi poznanie poziomów tego izotopu w próbkach biologicznych (istotne ze względu na plany budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej) oraz rozszerzy ofertę pomiarową Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Finansowanie

Praca wykonana na zlecenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Adaptacja metody oznaczania trytu związanego organicznie (OBT) w próbkach biologicznych

A. Fulara

Wprowadzenie

Tryt jest najcięższym i jedynym promieniotwórczym izotopem wodoru. Rozpadając się z okresem $T_{1/2}=12,35$ lat emituje cząstkę β^- o energii max. 18,6 keV i energii średniej 5,7 keV. W środowisku występuje głównie w formie HTO, jednak uwalniany do środowiska może włączyć się do substancji organicznej a z nią przedostać się do organizmu człowieka.

Celem pracy była adaptacja metody oznaczania trytu związanego organicznie (OBT) w próbkach biologicznych: materiały roślinne, żywność, mocz itp.

W 2016 roku został wykonany przegląd dostępnej literatury. Zebrany materiał posłużył do poszerzenia wiedzy oraz przyjęcia założeń do wprowadzenia metody oznaczania trytu związanego organicznie w próbkach biologicznych.

Przetestowano metodę oznaczania trytu związanego organicznie w próbkach moczu.

Zastosowano metodę polegającą na odjęciu HTO od całkowitej aktywności trytu (OBT + HTO) w moczu.

W pierwszym etapie pracy próbki moczu mieszano z ciekłym scyntylatorem. W drugim etapie próbki moczu przepuszczano przez węgiel aktywny. Oznaczanie HTO jest możliwe po wchłonięciu substancji organicznych zawartych w moczu do węgla aktywnego.

Podwójne próbki moczu mierzono stosując technikę LSC.

OBT została obliczona przez odjęcie od wyniku uzyskanego w etapie 1 wyniku otrzymanego w etapie 2.

Praca została zakończona zgłoszeniem do udziału w międzynarodowych badaniach porównawczych celem sprawdzenia wybranej metodyki.

Wnioski

Zebrany materiał zostanie wykorzystany w 2017 roku, na który to zaplanowano wykonanie lub zakup urządzenia do odzyskiwania wody z materiału biologicznego oraz udział w międzynarodowych badaniach porównawczych celem sprawdzenia wybranej metodyki.

Wdrożenie metody pomiaru trytu związanego organicznie umożliwi poznanie poziomów trytu zawartego w próbkach biologicznych (istotne ze względu na plany budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej) oraz rozszerzy ofertę pomiarową Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Finansowanie

Praca wykonana na zlecenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2016-2019

M. Kardaś, A. Fulara, B. Rubel, M. Suplińska, E. Starościak, K. Pachocki, A. Adamczyk

Wprowadzenie

Monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2016 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).

Próbki wody z rzek pobierano z głównego nurtu, natomiast wodę z jezior pobierano z pomostów. Objętość próbki wynosiła 20 litrów. Próbki osadów pobierano z trzech miejsc, oddalonych od siebie o ok. 30-50 m i z nich sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg.

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 środowiska wodnego. 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 był na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od 2,13 mBq l^{-1} (dla jezior) do 2,96 mBq l^{-1} (dla dorzecza Odry). Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr zawierały się w granicach 3,61 mBq l^{-1} dla dorzecza Wisły – 4,27 mBq l^{-1} dla jezior (Tabela 1).

Tabela 1. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs [mBq l^{-1}]	^{137}Cs [mBq l^{-1}]	^{90}Sr [mBq l^{-1}]	^{90}Sr [mBq l^{-1}]
	średnia roczna	zakres	średnia roczna	Zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	2,20 ± 1,07 ^{b)} (14)	0,92 – 4,24	3,61 ± 0,78 ^{b)} (14)	2,03 – 4,96
Dorzecze Odry (5)	2,96 ± 0,71 (10)	1,94 – 4,23	4,27 ± 2,62 (10)	2,43 – 11,56
Jeziora (6)	2,13 ± 1,00 (12)	1,23 – 4,87	3,72 ± 2,80 (12)	1,87 – 9,01
Średnia ogólna (18)	2,39 ± 1,00 (36)	0,92 – 4,87	3,83 ± 2,13 (36)	1,87 – 11,56

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

W osadach dennych rzek i jezior obserwuje się duże różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$. Największe zróżnicowanie obserwowano dla jezior. Najmniejsze różnice w stężeniach tych izotopów obserwowano w osadach dennych dorzecza Wisły (Tabela 2).

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych były także zróżnicowane:

najniższe w dorzeczu Odry 3,90 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najwyższe dla jezior 16,03 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W przypadku $^{239,240}\text{Pu}$ wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były zbliżone dla osadów rzecznych, a zdecydowanie wyższe dla jezior i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 35,00 mBq/kg , dla dorzecza Odry – 29,54 mBq/kg i dla jezior – 50,98 mBq/kg (Tabela 2).

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.

Tabela 2. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs [Bq kg ⁻¹]	^{137}Cs [Bq kg ⁻¹]	$^{239,240}\text{Pu}$ [mBq kg ⁻¹]	$^{239,240}\text{Pu}$ [mBq kg ⁻¹]
	średnia roczna	Zakres	średnia roczna	zakres
Dorzecze Wisły (7)^{a)}	4,86 ± 4,09 (14) ^{b)}	0,24 – 15,28	35,00 ± 36,43 (14)	1 – 120,02
Dorzecze Odry (5)	3,90 ± 4,18 (10)	0,46 – 14,45	29,54 ± 49,29 (10)	6,04 – 167,05
Jeziora (6)	16,03 ± 31,54 (12)	1,36 – 109,00	50,98 ± 118,59 (12)	2,01 – 418,75
Średnia ogólna (18)	8,32 ± 17,34 (36)	0,24 – 109,00	38,81 ± 62,00 (36)	1 – 418,75

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia ± OS

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.

Finansowanie

Praca wykonana na zlecenie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska.

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

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

Wprowadzenie

Celem pracy było oznaczenie zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach całodziennego pożywienia mieszkańców dwóch miast Polski: Lublina (województwo lubelskie) i Katowic (województwo śląskie) oraz oszacowanie dawki obciążającej od tych radionuklidów wchłanianych z pożywieniem.

Materiał do badań stanowiły próbki całodziennego pożywienia pobrane w stołówkach szkolnych wydających co najmniej trzy posiłki dziennie. W każdej stołówce pobierano po dwa zestawy całodziennego pożywienia przez 5 dni. Porcje wszystkich posiłków podawanych danego dnia do spożycia (o takiej samej wielkości, co przeciętnie wydawane) były wkładane do specjalnie przygotowanych pojemników, oznaczonych datą, miejscem poboru i numerem próby. Zebrane posiłki przechowywane były w lodówce w ciągu dnia, a następnie mrożone. Porcje pieczywa, owoców, słodczy były wkładane do pojemników lub woreczków oznakowanych tak jak pojemniki. Pobieranie posiłków było zgodne z przygotowaną

instrukcją pobierania całodziennych posiłków, aby wszystkie próbki pobierane były w jednakowy sposób. Próbki codziennie lub co dwa dni były przesyłane do CLOR.

Stołówki działające na terenie wybranych placówek wydawały posiłki dla osób z różnych grup wiekowych, ale porcje posiłków do badań były przeznaczone dla osób dorosłych.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczano spektrometrycznie (spektrometr Canberra z detektorem HPGe, i oprogramowaniem Genie 2000) lub radiochemicznie - sorpcja na selektywnym złożu AMP. Stężenie ^{90}Sr oznaczano radiochemicznie. Do pomiarów promieniowania beta ^{137}Cs i ^{90}Sr stosowano niskotłowy zestaw oparty na licznikach przepływowych GM (Riso, GM-25-5) [1].

Wyniki

Posiłki analizowano z każdego dnia i miasta osobno. Zawartość ^{137}Cs i ^{90}Sr w całodziennych posiłkach przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Średnia i zakres zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w całodziennych posiłkach w 2016 roku.

Radionuklid	Lublin	Katowice
	zawartość w całodziennych posiłkach [Bq/dzień]	zawartość w całodziennych posiłkach [Bq/dzień]
	Kwiecień 2016	Maj 2016
^{137}Cs	0,44 ± 0,05 (0,34 ÷ 0,53)	0,32 ± 0,04 (0,30 ÷ 0,34)
^{90}Sr	0,08 ± 0,01 (0,05 ÷ 0,09)	0,06 ± 0,01 (0,04 ÷ 0,09)

Zawartości ^{137}Cs w całodziennych posiłkach z Lublina w analizowanym okresie były w zakresie od 0,34 Bq/dzień do 0,53 Bq/dzień, średnio 0,44 Bq/dzień. W Katowicach zawartość ^{137}Cs w całodziennych posiłkach była w zakresie od 0,30 Bq/dzień do 0,34 Bq/dzień, średnio 0,32 Bq/dzień. Rozrzut zmierzonych zawartości izotopu ^{137}Cs w poszczególnych dobowych próbkach w obu miastach związany jest z doborem produktów do przygotowania posiłków jak i masą posiłków. Masa posiłków z Lublina było o 25% większa

od masy posiłków z Katowic. Bardzo dużo podawano pieczywa. Zawartości ^{90}Sr w posiłkach pobieranych w Lublinie i Katowicach były na zbliżonym poziomie średnio 0,08 Bq/dzień (Lublin) i 0,06 Bq/dzień (Katowice). Głównym źródłem tego radionuklidu w całodziennych posiłkach jest mleko, produkty zbożowe (w tym pieczywo) i warzywa. Wyższe stężenie ^{90}Sr w posiłkach z Lublina może wynikać z większej ilości podawanego pieczywa.

W 2015 roku zawartość ^{137}Cs w diecie mieszkańców Finlandii wynosiła od 0,23 Bq/kg do 0,69 Bq/dzień w Helsinkach, od 0,14 do 1,34 Bq/dzień w Rovaniemi (koło polarne) i od 0,09 do 0,22 Bq/dzień w Tampere (południe Finlandii). Zawartość ^{90}Sr w tygodniowych posiłkach wynosiła odpowiednio: 0,49 Bq/tydzień, 0,31 Bq/tydzień i 0,21 Bq/tydzień [2].

Na podstawie oznaczonych zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w całodziennych posiłkach oszacowano roczne wchłonięcia analizowanych izotopów z żywnością i oszacowano dawkę otrzymywaną przez mieszkańców miast. Dane zestawiono w Tabeli 2. Dawki otrzymywane przez mieszkańców Lublina i Katowic są na zbliżonym poziomie i nie odbiegają od dawek otrzymywanych przez mieszkańców innych miast Polski w latach ubiegłych. Dawki od ^{137}Cs wynosiły od 1,4 μSv do 2,4 μSv , a od ^{90}Sr 0,6 μSv do 1,2 μSv . W 2014 roku dawka od ^{137}Cs w diecie mieszkańców Irlandii wynosiła 2,7 μSv [3] a dawka oszacowana dla mieszkańców Norwegii (2015) od spożycia od radionuklidów pochodzenia sztucznego była na poziomie 10 μSv [3].

Tabela 2. Roczne wchłonięcia izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr z żywnością I oszacowana dawka od wchłonięć.

	Roczne wchłonięcia [Bq]		Dawka skuteczna [μSv]	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Lublin	161	29	2,1	0,8
Katowice	117	22	1,5	0,6

Wnioski

Średnia dawka skuteczna otrzymana przez mieszkańców różnych miast Polski w wyniku skażeń wewnętrznych stanowi ułamek procenta rocznej dopuszczalnej dawki granicznej wynoszącej 1 mSv.

Literatura

- [1] Metodyki stosowane w pracach związanych z monitoringiem środowiska i żywności CLOR, Warszawa, listopad 2015.
- [2] Surveillance of Environmental Radiation in Finland. Annual Report 2015. Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK-B204/ELOKUU 2016.
- [3] Komperod M. et al, Radiation Doses to the Norwegian Population, Summary of radiation from exposure and the environment. StralevernRepport 2015:13.

Finansowanie

Umowa z Państwową Agencją Atomistyki nr 6/OR/2016/49 z dnia 17.03.2016 r.

Przeprowadzenie pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr przez placówki podstawowe prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju

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

Wprowadzenie

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.

Materiałem kontrolnym była woda powierzchniowa z rzeki Wisły domieszkowana izotopami: ^{137}Cs i ^{90}Sr . Wymagane stężenie promieniotwórcze dla ceszu: $1\div 8 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ a strontu: $0,5\div 5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Sprawdzono wzorcowanie spektrometrów gamma (spektrometr Canberra z detektorami HPGe i oprogramowaniem Genie 2000) za pomocą źródeł wieloizotopowych (mix gamma). Poprawność wzorcowania była potwierdzona w porównaniach międzynarodowych „RADIOTOXICOLOGY INTERCOMPARISONS 2015” organizowanych przez PROCORAD, Francja oraz ALMERA 2016. 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 o stężeniu promieniotwórczym $5,023 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ na dzień 01.05.2016r.

Wyniki

Do sporządzenia próbek referencyjnych w celu oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr pobrano 180 litrów wody z Wisły.

Oznaczono stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodzie powierzchniowej. Następnie próbki były domieszkowane izotopami ^{137}Cs i ^{90}Sr . Wykonano pomiary sprawdzające, które wykazały, że próbki przygotowano zgodnie z wymaganiami dotyczącymi homogenności i stężeń. Oznaczone w próbkach stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs

w próbkach wody powierzchniowej wynosiło $6,80 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0,49 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$, a stężenie ^{90}Sr w próbkach wody wynosiło $3,34 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0,27 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$

Próbki z domieszkowanym ^{137}Cs przygotowano dla 29 placówek, które zgłosiły udział w pomiarach porównawczych a ^{90}Sr dla 5 placówek. Do każdej próbki dołączono formularze do wpisania danych dotyczących laboratorium i osób wykonujących pomiary, informacji o metodach oznaczeń oraz danych dotyczących aparatury.

Wyniki oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs otrzymano z 29 placówek. Placówki wykonały łącznie 36 oznaczeń stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs metodą spektrometryczną i radiochemiczną i 5 oznaczeń ^{90}Sr . Wyniki dla obu metod oznaczania ^{137}Cs analizowano oddzielnie. Odrzucono jeden wynik. Różnice wartości oznaczeń w stosunku do wartości referencyjnej wynoszą od $-35,3\%$ do $+8,1\%$ w metodzie spektrometrycznej – od $-24,0\%$ do $+7,9\%$ w metodzie radiochemicznej. Liczba wyników w przedziale $\pm 25\%$ wartości referencyjnej stanowi 94% nadesłanych wyników. Parametry statystyczne oszacowano dla 35 wyników w zakresie od $5,17 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ do $7,35 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$. Oceniono poprawność i precyzję nadesłanych przez placówki wyników oznaczeń stężenia promieniotwórczego w próbkach kontrolnych. Wyznaczono parametr Z, który pozwala ocenić dokładność wyniku pomiaru na tle wyników pomiarów wszystkich placówek biorących udział w pomiarach porównawczych. Wartość bezwzględna wyznaczonego (osobno dla metody spektrometrycznej i radiochemicznej) parametru Z jest ≤ 2 dla 33 wyników, co oznacza, że wynik w sposób istotny nie różni się od wartości referencyjnej. Ponadto 2 wyniki były w zakresie $2 \leq Z \leq 3$ co oznacza wynik wątpliwy (nie można jednak stwierdzić, czy wynik istotnie różni się od wartości referencyjnej).

Do oceny poprawności i precyzji użyto kryteria zalecane przez MAEA. Wynik pomiaru jest akceptowany, jeżeli spełnia obydwie kryteria. Z oceny wynika, że 35 wyników spełnia obydwie kryteria.

Wnioski

Placówki wykonały 5 oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr . Różnice wartości oznaczeń w stosunku do wartości referencyjnej były

w zakresie od $-57,5\%$ do $+67,7\%$. Odrzucono 3 wyniki. Nie prowadzona analizy statystycznej. Oceniono jedynie poprawność i precyzję dla 2 Placówek. Placówki spełniły kryterium akceptacji wyniku.

Finansowanie

Umowa Państwową Agencją Atomistyki nr 5/OR/2016/23 z dnia 17.03.2016 r.

Oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{90}Sr oraz ^{134}Cs i ^{137}Cs w wodach ze studni oligoceńskich w Warszawie

E. Starościak, M. Kardaś

Wprowadzenie

Spożywanie wody jest jednym ze sposobów przedostawania się substancji promieniotwórczych do organizmu człowieka. Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 2013/51/EURATOM z dn. 22.10.2013r. „OKREŚLAJĄCA WYMAGANIA DOTYCZĄCE OCHRONY ZDROWIA LUDNOŚCI W ODNIESIENIU DO SUBSTANCJI PROMIENIOTWÓRCZYCH W WODZIE PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI” oraz Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 27 listopada 2015r. „W SPRAWIE JAKOŚCI WODY PRZEZNACZONEJ DO SPOŻYCIA PRZEZ LUDZI” (Dz. U. 2015r. poz. 1989) określają poziomy naturalnych i sztucznych izotopów promieniotwórczych dopuszczalne w tych wodach.

Celem pracy było oznaczenie stężeń promieniotwórczych izotopów naturalnych: uranu-234, uranu-238, polonu-210, ołowiu-210 oraz sztucznych: strontu-90, cezu-134 i cezu-137 w próbkach wód ze studni oligoceńskich znajdujących się na terenie Warszawy. Wody zostały pobrane z dziesięciu ujęć wody oligoceńskiej znajdujących się w różnych dzielnicach Warszawy: pl. Hallera – Praga Północ, ul. Inflancka – Śródmieście, ul. Porajów – Białołęka, ul. Szaserów - Praga Południe, ul. Łuczek – Włochy, ul. Zagłoby – Ursus, ul. Kazubów – Bemowo, ul. Gajowczyńskiej – Żoliborz, ul. Płocka – Wola, ul. Wolumen – Bielany.

Wyniki

Stężenia promieniotwórcze ^{210}Po wahały się w granicach od $<0,3 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody z ujęcia przy ul. Kazubów do $2,02 \pm 0,12 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody z ul. Szaserów. W przypadku ^{210}Pb zakres stężeń

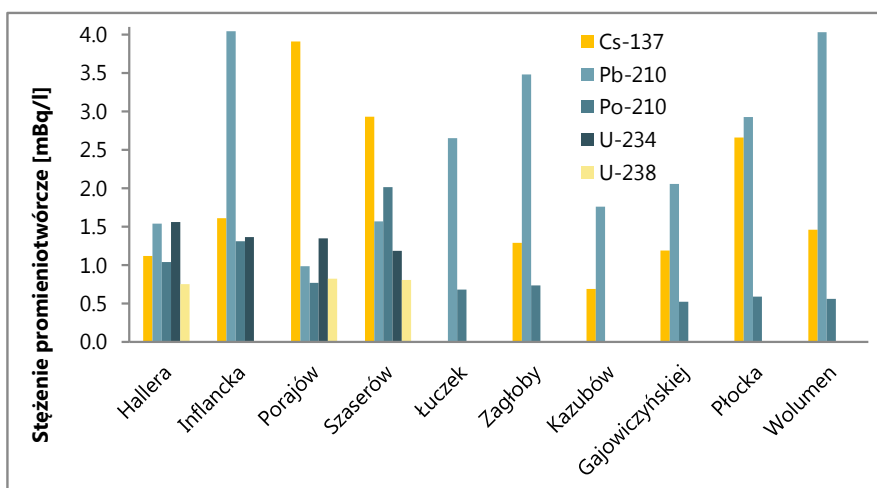
wynosił od $0,98 \pm 0,09 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody z ul. Porajów do $4,04 \pm 0,22 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody z ul. Inflanckiej. W czterech próbach wody (ul. Szaserów, ul. Porajów, ul. Inflancka i pl. Hallera) stężenia promieniotwórcze ^{234}U były powyżej granicy oznaczalności ($0,5 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) i wynosiły od $1,18 \pm 0,24 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ do $1,56 \pm 0,28 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$. Stężenia promieniotwórcze ^{238}U w trzech próbach wynosiły powyżej $0,5 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$: pl. Hallera $0,75 \pm 0,23 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$, ul. Szaserów $0,81 \pm 0,22 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ i ul. Porajów $0,82 \pm 0,51 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$. Dla wszystkich badanych próbek wody oligoceńskiej stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr wynosiły poniżej $0,45 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$. W przypadku ^{134}Cs oznaczanego za pomocą spektrometrii gamma otrzymano wyniki poniżej $0,13 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wszystkich badanych próbek wody. ^{137}Cs oznaczono metodą radiochemiczną. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs wahały się w granicach od $<0,32 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody z ujęcia przy ul. Łuczek do $3,91 \pm 0,45 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody z ul. Porajów. Otrzymane wartości stężeń promieniotwórczych badanych izotopów zostały przedstawione na Rysunku 1.

Wnioski

Wszystkie badane wody oligoceńskie spełniają wymagania zapisane w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dn. 27 listopada 2015r. „W sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi”.

Finansowanie

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



Rysunek 1. Stężenia promieniotwórcze badanych izotopów w wodach oligoceńskich z obszaru Warszawy.

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

M. Suplińska^a, T. Zalewska^b

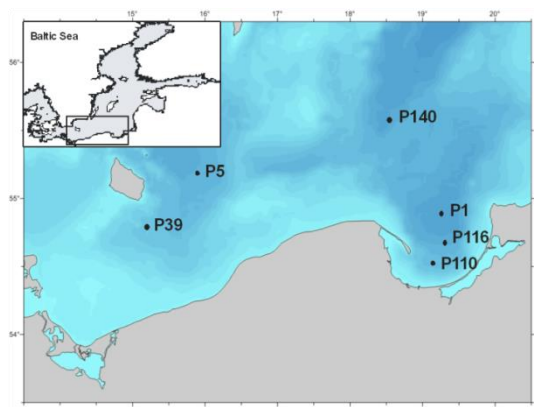
^a CLOR, Warszawa ^b IMGW-BIP Oddział Morski- Gdynia

Wprowadzenie

Badania obejmują oznaczenie substancji promieniotwórczych, w środowisku morskim: w wodzie, osadach dennych i organizmach żywych (ryby) pochodzących z południowego rejonu Morza Bałtyckiego. Prace koordynowane przez Komisję Helsińską prowadzone są przez wszystkie kraje nadbałtyckie, a dane o skażeniach Morza Bałtyckiego przekazywane są każdego roku do Banku Danych Komisji Helsińskiej.

Oznaczenia ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra w wodzie przeprowadzono w próbkach z ustalonych sześciu miejsc poboru próbek z warstwy powierzchniowej i przydennej (12 próbek) - Rysunek 1. W tych samych miejscach pobierano próbki rdzeniowe osadów dennych. Oznaczenia ^{137}Cs i ^{40}K prowadzono w stratyfikowanych próbkach rdzeniowych z sześciu lokalizacji (72 próbki), a oznaczenia ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ wykonano w dwu wybranych lokalizacjach (24 próbki). Stront-90 oznaczono w próbkach rdzeniowych osadu z 6 lokalizacji bez podziału na warstwy. Próbki ryb pochodziły z Zatoki Gdańskiej, Basenu Gdańskiego i Basenu Bornholmskiego. Oznaczenia ^{137}Cs , ^{40}K i ^{226}Ra prowadzono w dorszu, śledziu, szprocie i storni (20 próbek).

Do oznaczeń ^{137}Cs , ^{40}K - stosowano spektrometrię gamma, a w przypadku oznaczeń ^{137}Cs w wodzie metodę radiochemiczną zakończoną pomiarem γ - spektrometrycznym. Izotopy plutonu oznaczano metodą radiochemiczną zakończoną pomiarem α - spektrometrycznym, ^{226}Ra - metodą emanacyjną, a oznaczenia ^{90}Sr metodą radiochemiczną poprzez pomiar stężenia promieniotwórczego ^{90}Y po ustaleniu równowagi promieniotwórczej ^{90}Sr - ^{90}Y .



Rysunek 1. Miejsca poboru próbek wody i osadów dennych.

Wyniki

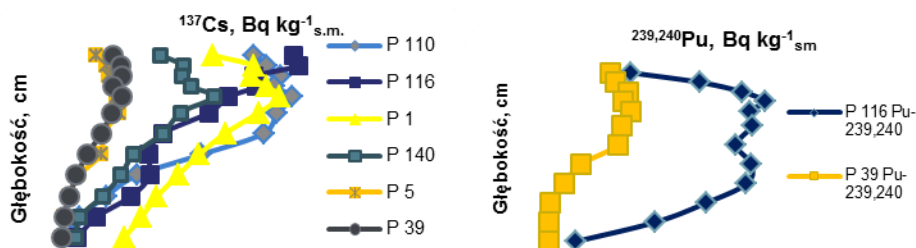
Woda

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w powierzchniowej wodzie bałtyckiej wynosiło $22,5 \pm 2,1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (zakres $18,7 \div 24,3 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). Najniższą wartość charakteryzowała stację zlokalizowaną w Zatoce Gdańskiej (P 110) na profilu ujścia Wisły, gdzie obserwuje się rozcieńczający wpływ wód rzecznych. W większości lokalizacji stężenia ^{137}Cs w wodzie powierzchniowej były wyższe niż w wodzie przydennej, co jest zgodne z wieloletnim trendem [1]. Średnie stężenie ^{137}Cs w wodzie przydennej miało wartość $20,6 \pm 1,9 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Najmniejszą wartość – $17,8 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ określono w wodzie przydennej Głębi Bornholmskiej (P 5), charakteryzującej się najwyższym zasoleniem. Taka charakterystyka związana jest bezpośrednio z wpływem silnie zasolonych wód z Morza Północnego, które wykazują zdecydowanie niższe stężenia ^{137}Cs [2]. Stężenie promieniotwórcze ^{40}K w wodach powierzchniowych zmieniało się w zakresie $2254 \div 2716 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. W wodach przydennych stężenia ^{40}K były wyższe i wzrastały

wraz z zasoleniem, obejmując zakres $3112 \div 6354 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Stężenia promieniotwórcze ^{226}Ra były wyrównane w wodzie powierzchniowej i mieściły się w zakresie $3,18 \div 3,89 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. W wodzie przydennej obserwowano większe różnice w stężeniach ^{226}Ra , a ich zakres wynosił $3,55 \div 5,00 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Osady dennie

Wyższe stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs obserwowano w górnych warstwach osadów, analogicznie jak w latach ubiegłych obserwowano



Rysunek 2. Rozmieszczenie ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w głąb osadów dennych Bałtyku Południowego w 2016 roku.

Oznaczenia izotopów plutonu w osadach dennych wykonywane są w cyklu trzyletnim. W 2016 roku przeprowadzono je w Zatoce Gdańskiej (P 116) i Basenie Bornholmskim (P 39). Podobnie jak w przypadku ^{137}Cs obserwuje się różnice w jego stężeniach związane z lokalizacją [5,6]. W P 116 wyższe stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w warstwach od 2 cm do 13 cm (Rysunek 2), a ich średnia wartość wynosiła $3,37 \pm 0,14 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$. W P 39 stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ były 3 krotnie mniejsze niż w P 116, ze średnią wartością $1,30 \pm 0,10 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ (w warstwach 2 - 9 cm). Stężenia promieniotwórcze ^{238}Pu w P 116 były w zakresie $0,013 \div 0,099 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$, a w P 39 w zakresie od $<0,002 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ do $0,042 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$. Stosunek ^{238}Pu do $^{239,240}\text{Pu}$, w poszczególnych warstwach osadu, w obu lokalizacjach był w zakresie od 0,02 do 0,04 był więc typowy dla opadu z okresu próbných wybuchów jądrowych.

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w osadach dennych były w zakresie $2,26 \div 3,19 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ (warstwa 0 – 19 cm). Małe różnice w stężeniach ^{90}Sr pomiędzy lokalizacjami wynikają z tego, że jego

różnice w jego stężeniach związane z lokalizacją [3,4]. Najwyższe stężenia ^{137}Cs w trzech lokalizacjach z Basenu Gdańskiego (P 110, P 116, P 1) były w zakresie $177 \div 192 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$, natomiast w rejonie Basenu Bornholmskiego (P 5 i P 39) w zakresie $48,1 \div 50,8 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$. We wszystkich lokalizacjach stężenia ^{137}Cs zmniejszają się w głąb profili osadowych, nawet do pojedynczych Bq. Rozmieszczenie pionowe stężeń ^{137}Cs w osadach dennych przedstawia Rysunek 2.

głównym źródłem (81%) był opad promieniotwórczy po próbných wybuchach jądrowych, a skażenia te były na półkuli północnej równomierne [6]. Stężenia ^{40}K były w zakresie $599 \div 1096 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ i zależały głównie od ilości substancji organicznych oraz składu granulometrycznego osadu.

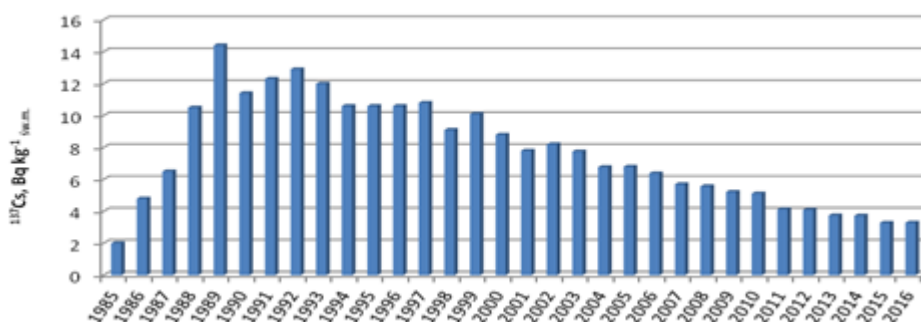
Ryby

Oznaczenia ^{137}Cs , ^{40}K i ^{226}Ra przeprowadzono w dorszach, śledziach, szprotach i storniach. Oznaczenia radionuklidów prowadzono w filetach ryb, z wyjątkiem próbek szprota gdzie analizowano całe tuszki (Tabela 1).

Tak jak w latach ubiegłych [7], najwyższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs określono dla dorsza - $4,52 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, a najniższe dla śledzia - $2,55 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$ (Tabela 1). Średnie stężenia ^{137}Cs wyliczone dla czterech gatunków ryb w roku 2016 wynosi $3,29 \pm 0,88 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Stężenie to maleje w czasie (Rysunek 3), ale jest nadal prawie dwa razy wyższe niż przed awarią w Czarnobylu [8]. Stężenia ^{226}Ra było zróżnicowane w zależności od gatunku ryb, najwyższe określono również w dorszu - $95 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, a najniższe w śledziu - $28 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$.

Tabela 1. Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs , ^{40}K i ^{226}Ra w mięsie ryb w roku 2016.

Gatunek ryb (ogółem sztuk)	Masy próbek [g]	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra
		[Bq kg ⁻¹ _{św.m.}]		
Szprot (279)	520 - 620	2,79 ± 0,19	105,5 ± 9,0	0,068 ± 0,005
Śledź (109)	500 - 505	2,55 ± 0,74	110,3 ± 19,1	0,028 ± 0,003
Dorsz (30)	505 - 540	4,52 ± 0,51	111,5 ± 16,9	0,095 ± 0,003
Stornia (33)	500 - 520	3,32 ± 0,52	96,6 ± 6,5	0,055 ± 0,003



Rysunek.3. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w rybach bałtyckich w latach 1985-2016.

Wnioski

Oznaczenia stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodzie oraz ^{137}Cs , ^{90}Sr i izotopów plutonu w osadach dennych potwierdzają, że w rejonie południowego Bałtyku nie obserwuje się nowych źródeł skażeń promieniotwórczych. Głównymi źródłami skażeń są tak jak dotychczas: opad po awarii czarnobylskiej (^{137}Cs) oraz próbnym wybuchy jądrowe (pluton i ^{90}Sr).

Stężenia ^{137}Cs w wodach południowego Bałtyku w 2016 roku były zbliżone do wartości obserwowanych w roku poprzednim. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach przydennych było mniejsze od obserwowanego w wodzie powierzchniowej - taka charakterystyka związana jest przede wszystkim z wpływem wód silnie zasolonych z Morza Północnego wprowadzanych w warstwie przydennej, które wykazują zdecydowanie niższe stężenia ^{137}Cs .

Najwyższe stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs występowały w górnych warstwach osadu i malały w głąb profili osadowych. Tak jak w ubiegłych latach obserwowano różnice w stężeniach ^{137}Cs związane z lokalizacją.

Najwyższe stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ oraz ^{238}Pu występowały w głębszych warstwach osadu, a stosunek ^{238}Pu do $^{239,240}\text{Pu}$ wynosił średnio $0,027 \pm$

$0,005$ i był typowym dla opadu promieniotwórczego z okresu próbnych wybuchów jądrowych.

W rejonie południowym Morza Bałtyckiego nie zaobserwowano znaczących różnic w stężeniach promieniotwórczych ^{90}Sr w osadach dennych związanych z lokalizacją.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w rybach bałtyckich zmniejszyło się ponad 4 krotnie w stosunku do maksymalnego (rok 1989), ale wciąż jest wyższe niż przed awarią czarnobylską. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{226}Ra w rybach zależą od gatunku i są przede wszystkim związane ze sposobem odżywiania się ryb.

Ryby są dobrymi organizmami referencyjnymi, ze względu na swoje rozpowszechnienie, pozycję w łańcuchu pokarmowym oraz znaczenie dla ekosystemu środowiska morskiego.

Literatura

- [1] Zalewska T., Apanel A., Saniewski M., (2016). ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Polish sector of the Baltic Sea, in 2015. MORS EG 6-2016, 3-3, Upsala 24-26 May 2016.
- [2] IAE-TECDOC-1426. (2005) Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. 122-138, IAEA

-
- [3] Suplińska M., Adamczyk A., (2013). Rozmieszczenie wybranych izotopów promieniotwórczych w osadach dennych Bałtyku Południowego, 2011-2012., XVI Zjazd Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych Białowieża, 23-26.09.2013
- [4] Suplińska M., Rubel B., Zalewska T. Radioactive contamination of bottom sediments and fish in the Southern Baltic Sea in 2015, MORS EG 6-2016 3-1 Upsala, Sweden, 24-26 May 2016.
- [5] Suplińska M, Pietrzak-Flis Z., (2008), Sedimentation rates and dating in bottom sediments in the Southern Baltic Sea region. Nukleonika 53, S105-S111
- [6] M. Suplińska, B. Rubel, A. Adamczyk. (2016) Izotopy promieniotwórcze w osadach dennych Bałtyku Południowego, 2013-2015, VII Krajowa Konferencja Radiochemii i Chemii Jądrowej, Lublin 2016
- [7] Zalewska T., Suplińska M., (2013 A). Fish pollution with anthropogenic ^{137}Cs in the southern Baltic Sea., Chemosphere 90 1760-1766
- [8] Grzybowska D., (1997), Concentration of ^{123}Cs in marine fish from Southern Baltic Sea in 1990-1995, Nukleonika, 42 (3), pp. 665-674.

Finansowanie

Praca realizowana zgodnie z umową z PAA nr 4/OR/2016/41.

Określenie zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w rybach słodkowodnych z rejonu polski północnej jako poziomu wyjściowego skażeń środowiska wodnego przed uruchomieniem polskich elektrowni atomowych

M. Suplińska, B. Rubel

Wprowadzenie

Tegoroczna praca jest kontynuacją badań prowadzonych w 2013 roku, dotyczących skażeń promieniotwórczych ryb z jeziora Żarnowieckiego oraz ryb bałtyckich [1]. W 2016 roku badania skupiły się na ocenie stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w czterech gatunkach ryb pochodzących z jeziora Łebsko i Gardno oraz z rzeki Piaśnicy. Analizowane gatunki ryb, szeroko występujące w zbiornikach słodkowodnych, różnią się sposobem odżywiania: okoń (*Perca fluviatilis*) i szczupak (*Esox Lucius*) to ryby drapieżne, a karaś (*Carassius carassius*) i leszcz (*Abramis brama*) – ryby planktonożerne, których pożywieniem są larwy owadów oraz zoo-bentos. Oznaczenia ^{137}Cs i ^{90}Sr przeprowadzono również w wodzie z jeziora Łebsko i rzeki Piaśnicy.

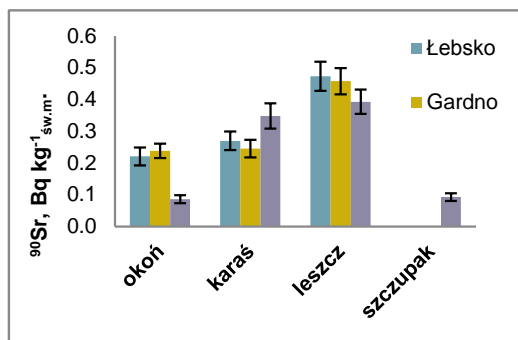
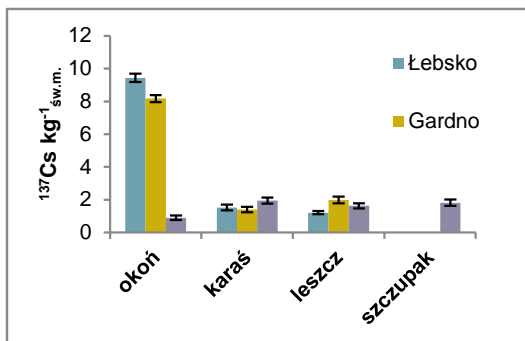
Oznaczenia ^{137}Cs w rybach prowadzono metodą spektrometrii gamma, a oznaczenia ^{137}Cs w wodzie metodą radiochemiczną, polegającą na selektywnej sorpcji cezu na złożu fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze radioaktywności beta preparatu za pomocą niskotłowego licznika beta. Do oznaczeń ^{90}Sr stosowana była zmodyfikowana metoda Volchoka, polegająca na oznaczeniu ^{90}Y , krótkożyłowego izotopu ($T_{1/2}=64,2$ h) powstającego w wyniku rozpadu ^{90}Sr . Pomiar preparatu prowadzono również za pomocą niskotłowego licznika beta.

Wyniki

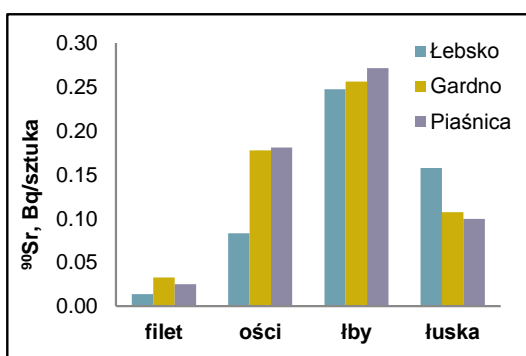
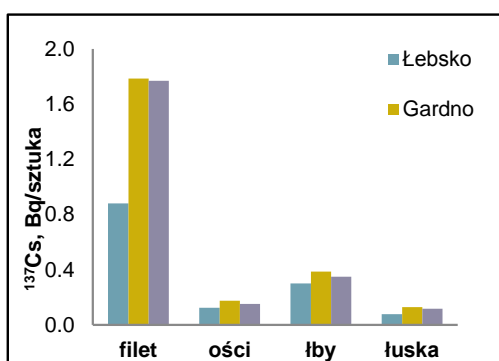
Oznaczenia ^{137}Cs i ^{90}Sr przeprowadzono: w filetach ze skórą, ościach, całych łbach oraz w miarę możliwości uzyskanej rybiej łusce. W przypadku większych liczebnie próbek, oznaczenia prowadzono również w całych rybach (patroszonych).

Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w okoniu wykazywały duże różnice związane z miejscem ich pochodzenia. Okoń z jezior Łebsko i Gardno charakteryzował się dużo wyższym stężeniem ^{137}Cs ($9,44 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$ i $8,17 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$) w porównaniu z okoniem z Piaśnicy ($0,90 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$). Takich różnic nie zaobserwowano w pozostałych gatunkach: karasiu, leszczu i szczupaku, w których stężenia ^{137}Cs były zbliżone ($1,21 \div 1,99$) $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Znaczące różnice zaobserwowano jednak dla ^{90}Sr w okoniu z jezior ($0,221 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$ i $0,239 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$) w porównaniu z okoniem z Piaśnicy ($0,086 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$). Najwyższe stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr obserwowano jednak w leszczach ($0,380 \div 0,474$) $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, zarówno z jezior jak i rzeki (Rysunek 1). Analiza poszczególnych części ryb potwierdziła, że największe zawartości ^{137}Cs gromadzone są w filetach (tkanki mięśniowe), a wielokrotnie niższe w ościach i łusce. Natomiast gromadzenie się ^{90}Sr występuje głównie w łbach ryb (ze względu na ilość tkanki kostnej), w ościach i łusce – co zilustrowano na przykładzie leszcza (Rysunek 2).

Procentowe zawartości ^{137}Cs w filetach analizowanych gatunków ryb z trzech badanych zbiorników wodnych mieszczą się w zakresie 67,2-82,2%, natomiast w ościach zawartości ^{137}Cs są w zakresie 1,1 – 7,5%. Procentowe zawartości ^{90}Sr w filetach ryb wykazały różnice związane z ich przygotowaniem. Filety bez zdjętej łuski (okoń i szczupak) charakteryzowały się zawartością ^{90}Sr o rząd wielkości wyższą ($34,1 \div 38,8$)% od filetów z karasie i leszcza pozbawionych łuski ($4,2 \div 5,4$)%. Natomiast oznaczenia przeprowadzone w łusce karasie i leszcza wykazały procentowe zawartości tego izotopu w zakresie ($29,2 \div 31,1$)%, co zgodne jest z pracami J.T. Smith et al [2]. Najwyższe zawartości ^{90}Sr we wszystkich gatunkach ryb obserwowano w ich łbach ($40,6 - 52,0$)%.



Rysunek 1. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w rybach słodkowodnych.



Rysunek 2. Zawartość ^{137}Cs i ^{90}Sr w leszczu: filet ości, łby i łuska [Bq/sztuka].

Poza oznaczeniami ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach ryb, w pracy wykonano oznaczenia tych radionuklidów w próbkach wody pobranej z jeziora Łebsko i rzeki Piaśnicy. Stężenia ^{137}Cs w wodzie wynosiły odpowiednio $3,3 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $1,5 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$, a ^{90}Sr odpowiednio $1,0 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $0,904 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Stężenia te nie odbiegają od oznaczonych stężeń wód śródlądowych w Polsce [3]. Wyliczone współczynniki koncentracji $CF_{\text{Cs-137}}$ w rybach z jeziora Łebsko i rzeki Piaśnicy były w zakresie 363-2834, w zależności od gatunku i miejsca pochodzenia ryb. Współczynniki koncentracji $CF_{\text{Sr-90}}$ w rybach były niższe niż $CF_{\text{Cs-137}}$ i obejmowały zakres 95-474. Uzyskane współczynniki

koncentracji, dla ryb słodkowodnych są wyższe niż obserwowane dla ryb bałtyckich [2,3] co przede wszystkim związane jest z niższymi stężeniami ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach śródlądowych, a także innymi parametrami fizyko-chemicznymi wód [4] w szczególności pomiędzy wodami słonymi i słodkimi.

Na podstawie średnich stężeń ^{137}Cs i ^{90}Sr w filetach ryb słodkowodnych wyliczono roczną dawkę skuteczną od spożycia ryb w Polsce (przy rocznej konsumpcji ok. 4,0 kg). W przypadku ^{137}Cs jest ona o połowę niższa od oszacowanej dla ryb bałtyckich, a dla ^{90}Sr ma taką samą wartość [3].

Tabela 1. Roczna dawka skuteczna.

	^{137}Cs	^{90}Sr
Średnia stężenie w filetach ryb ¹⁾ [Bq kg ⁻¹ _{św.m.}]	1,71 ± 0,37	0,038 ± 0,012 ¹⁾
Średnie wchłonięcie [Bq]	7,18	0,16
Współczynnik dawki [μSv Bq ⁻¹]	0,013	0,028
Dawka [μSv/rok]	0,09	0,004

¹⁾ z pominięciem filetów z okonia preparowanego razem z łuską

Wnioski

Oznaczone stężenia ^{137}Cs i ^{90}Sr wykazują aktualny poziom skażeń jezior północnej Polski.

Analizowane w pracy gatunki ryb, charakteryzujące się wysokimi współczynnikami koncentracji zarówno ^{137}Cs ($CF_{\text{Cs-137}}$) jak i ^{90}Sr ($CF_{\text{Sr-90}}$) co potwierdza, że te mogą być dobrymi organizmami indykatorowymi środowiska wodnego.

Uzyskane dane pozwoliły na oszacowanie dawki od ich konsumpcji, która jest dla obu izotopów o dwa rzędy wartości niższa od rocznej dawki

skutecznej otrzymywane przez mieszkańców Polski, w wyniku spożywania żywności zawierającej izotopy ^{137}Cs i ^{90}Sr [5].

Literatura

- [1] T. Zalewska, M. Saniewski, M. Suplińska, B. Rubel., (2016) ^{90}Sr in fish from the southern Baltic sea, coastal lagoons and freshwater lake. *Journal of Environmental Radioactivity* 158-159, 38-46
- [2] J. T. Smith et al. (2009) A revive and test of predictive models for bioaccumulation of radiostrontium in fish. *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 950-954.
- [3] M. Suplińska, B. Rubel, M. Kardaś, T. Zalewska, A. Adamczyk. (2016) ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{226}Ra i ^{40}K w rybach z południowego rejonu Morza Bałtyckiego. XVII Zjazd PTBR, Siedlce, 27-30 września 2016
- [4] I. Outola, Ritva L. Saxèn, S. Heinävaara. (2009) Transfer of ^{90}Sr into fish in Finnish lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 657-664.
- [5] B. Rubel, M. Kardaś, M. Suplińska. (2016) Ocena wchłonięć ^{137}Cs i ^{90}Sr z żywnością przez osoby dorosłe w Polsce w latach 2006-2015. VII Krajowa Konferencja Radiochemii i Chemii Jądrowej, Lublin 2016.

Finansowanie

Praca realizowana z funduszu MNISW.

Utrzymanie systemu zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych

E. Starościak, B. Rubel, A. Fulara, M. Kardaś, K. Pachocki, M. Suplińska, K. Trzpił, A. Adamczyk

Praca pt. „UTRZYMANIE SYSTEMU ZARZĄDZANIA W LABORATORIUM ANALIZ RADIOCHEMICZNYCH I SPEKTROMETRYCZNYCH” była realizowana w 2016 roku w Zakładzie Higieny Radiacyjnej Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej. W ramach tematu zrealizowane zostały następujące zadania:

1. Sprawowanie nadzoru nad akredytowanym Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA) - przeprowadzenie auditu w nadzorze przez ekspertów PCA:

W dniu 19 lutego 2016r. w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych odbył się audit zewnętrzny przeprowadzony przez ekspertów Polskiego Centrum Akredytacji. Podczas oceny auditorzy stwierdzili, że Laboratorium utrzymuje kompetencje do wykonywania badań wszystkimi metodami badawczymi objętymi zakresem akredytacji. Auditorzy nie stwierdzili żadnych niezgodności. W Raporcie z oceny spisano dwa spostrzeżenia, auditorzy wskazali także silne strony Laboratorium. Uwagi auditorów zostały wnikliwie przeanalizowane, zaplanowano i zrealizowano działania zapobiegawcze do spisanych spostrzeżeń.

2. Doskonalenie systemu zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych: W związku z doskonaleniem Systemu Zarządzania Laboratorium, uwagami auditorów PCA oraz własnymi spostrzeżeniami z przeglądu dokumentów w 2016 roku opracowano i wdrożono nowe wydanie instrukcji badawczej QIB 2.1 „Wstępne przygotowanie próbek do oznaczenia strontu-90” – wyd. 2 z dn. 21.03.2016r. oraz opracowane zostało nowe wydanie formularza QD 4.4 Przegląd zlecenia z dn. 26.02.2016r.

W 2016r. w Laboratorium odbyło się 6 szkoleń wewnętrznych zgodnie z „PLANEM SZKOLEŃ W ROKU 2016” oraz wynikających ze zmian wprowadzonych

w dokumentacji systemu zarządzania i realizacji działań zapobiegawczych i korygujących. Pracownicy Laboratorium wzięli także udział w 4 szkoleniach zewnętrznych, w 1 spotkaniu międzynarodowym oraz 2 konferencjach krajowych.

W 2016r. Laboratorium wzięło udział w jednym krajowym i dwóch międzynarodowych badaniach biegłości:

- PAA/ICH TJ, którego przedmiotem było oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w próbkach wody, mleka płynnego i suszu warzywnego - wg procedury QPB 1 oraz ^{90}Sr w próbkach mleka płynnego i suszu warzywnego - wg procedury QPB 2 i w próbkach wody - wg procedury QPB 8;
- IAEA-TEL-2016-04, którego przedmiotem było oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{22}Na w próbkach wody - wg procedury QPB 1 oraz ^{234}U i ^{238}U w próbkach osadów - wg procedury QPB 5 i ^{90}Sr w próbkach wody - wg QPB 8
- PROCOARAD 2016, którego przedmiotem było oznaczanie stężenia promieniotwórczego ^{239}Pu w roztworze wzorcowym - wg procedury QPB 4. Zgodnie z Planem zapewnienia jakości wyników badań na rok 2016 wykonano także:

- potwierdzenie powtarzalności metod wg procedur: QPB 1, QPB 2, QPB 3, QPB 8,
- potwierdzenie odtwarzalności metod wg procedur i norm: QPB 4, QPB 5 i PN-ISO 9697:2001, ISO 9696:2007(E));
- liniowość metody zgodnie z procedurami QPB 1, QPB 4,
- sprawdzenie poprawności obliczeń zgodnie z procedurami: PN-ISO 9697:2001.

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

Realizując Program auditów wewnętrznych na rok 2016 w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych

przeprowadzone zostały dwa audyty wewnętrzne. W dniach 26 - 27 września 2016 r. odbył się audit wewnętrzny nr 1/2016 dotyczący wymagań ogólnych systemu zarządzania. W dniach 6 - 11 października 2016r. odbył się audit wewnętrzny nr 2/2016 dotyczący obszaru technicznego systemu zarządzania. Audyty wewnętrzne przeprowadzone zostały bardzo wnikliwie. Podczas auditów auditor nie stwierdził niezgodności, spisano jedno spostrzeżenie. Audyty wykazały, że system zarządzania Laboratorium jest wdrożony i ciągle doskonalony.

4. Nadzór techniczny i konserwacja wyposażenia badawczego Laboratorium:

U akredytowanych producentów zapewniających spójność pomiarową został zakupiony roztwór wzorcowy ^{85}Sr oraz ^{90}Sr . W akredytowanych Laboratoriach Wzorcujących, zapewniających spójność pomiarową wykonano wzorcowania wagi Adventurer OHAUS typ AR 3130 oraz wagi analitycznej XA 60/220. Wykonane zostało okresowe sprawdzanie aparatury oraz wyposażenia pomocniczego Laboratorium.



ZAKŁAD DOZYMETRII



Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową – sieć stacji ASS-500

K. Isajenko, I. Kwiatkowska, B. Piotrowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski

Wprowadzenie

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 jakiegokolwiek 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:

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

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 ,

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

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

Działania na jednostkach:

$$D_i: \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right] \cdot \left[\frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \right] \cdot \left[\frac{\text{m}^3}{\text{doba}} \right] \cdot [\text{doba}] = [\text{Sv}]$$

Obciążającą dawką 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 1.

Tabela 1. Wartości obciążającej dawki skutecznej od wchłonięcia radionuklidów układem oddechowym dla wybranych radionuklidów (dla różnych grup wiekowych) [1].

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	8,8·10 ⁻⁹	5,4·10 ⁻⁹	3,6·10 ⁻⁹	3,7·10 ⁻⁹	4,4·10 ⁻⁹	4,6·10 ⁻⁹
¹³¹ I	8,04 dnia	7,2·10 ⁻⁸	7,2·10 ⁻⁸	3,7·10 ⁻⁸	1,9·10 ⁻⁸	1,1·10 ⁻⁸	7,4·10 ⁻⁹
⁷ Be	53,3 dnia	2,5·10 ⁻¹⁰	2,1·10 ⁻¹⁰	1,2·10 ⁻¹⁰	8,3·10 ⁻¹¹	6,2·10 ⁻¹¹	5,0·10 ⁻¹¹
⁴⁰ K	1,28·10 ⁹ lat	2,4·10 ⁻⁸	1,7·10 ⁻⁸	7,5·10 ⁻⁹	4,5·10 ⁻⁹	2,5·10 ⁻⁹	2,1·10 ⁻⁹
²¹⁰ Pb	22,3 lat	4,7·10 ⁻⁶	2,9·10 ⁻⁶	1,5·10 ⁻⁶	1,4·10 ⁻⁶	1,3·10 ⁻⁶	9,0·10 ⁻⁷
²²⁶ Ra	1,60·10 ³ lat	1,5·10 ⁻⁵	1,1·10 ⁻⁵	7,0·10 ⁻⁶	4,9·10 ⁻⁶	4,5·10 ⁻⁶	3,5·10 ⁻⁶
²²⁸ Ac	6,13 godz.	1,8·10 ⁻⁷	1,6·10 ⁻⁷	9,7·10 ⁻⁸	5,7·10 ⁻⁸	2,9·10 ⁻⁸	2,5·10 ⁻⁸

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 2.

Tabela 2. 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

Wyniki

Wyniki pomiarów oparte zostały na pomiarach stężeń radionuklidów promieniotwórczych zmierzonych w filtrach powietrza eksponowanych w sieci stacji ASS-500. Poniżej podano rozmieszczenie stacji ASS-500 w Polsce:

- 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
- 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 zostały przedstawione w Tabeli 3. W tabeli podane jest także miejsce i okres wystąpienia maksymalnego stężenia dla każdego radionuklidu.

Na podstawie stężeń promieniotwórczych zmierzonych w sieci stacji ASS-500 w Polsce, zostały określone dawki skuteczne, jakie otrzymali mieszkańcy naszego kraju, oddychając powietrzem zawierającym radionuklidy o stężeniach określonych w pomiarach. Tabela 4 podaje obliczone wartości dawek otrzymanych przez mieszkańców (w różnym wieku) poszczególnych miast, w których zlokalizowane są stacje ASS-500.

Dawki skuteczne otrzymane drogą oddechową zmieniały się w zakresie od 1,434 μSv w ciągu roku dla dziecka w wieku 2-7 lat zamieszkałego w Gdyni do wartości 5,975 μSv dla młodzieży w przedziale wiekowym 12-17 lat. Maksymalne dawka skuteczna została skalkulowana dla mieszkańców Krakowa.

Tabela 3. Średnie roczne (dla całej Polski) wartości stężeń radionuklidów promieniotwórczych w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego w roku 2016.

Radio-nuklid	Stężenie w powietrzu, $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Zakres $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Miejscowość i okres wystąpienia maksymalnego stężenia
¹³⁷ Cs	0,07 ± 0,15	<0,08 ÷ 93,57	Wrocław, 16.08 - 22.08
¹³¹ I	0,61 ± 0,02	<0,03 ÷ 2,87	Katowice, 18.01 - 25.01
⁷ Be	3032 ± 67	507 ÷ 11282	Katowice, 06.06 - 13.06
⁴⁰ K	14,4 ± 0,4	2,2 ÷ 84,2	Gdynia, 02.05 - 09.05
²¹⁰ Pb	424 ± 12	33 ÷ 2799	Szczecin, 12.09 - 19.09
²²⁶ Ra	7,5 ± 0,3	<1,3 ÷ <55,4	Kraków, 18.01 - 25.01
²²⁸ Ac	1,3 ± 0,0	0,3 ÷ <9,9	Kraków, 18.01 - 25.01

Tabela 4. Wartości rocznej dawki skutecznej w roku 2016 dla różnych grup wiekowych od wchłonięcia radionuklidów promieniotwórczych drogą oddechową w miejscu lokalizacji stacji, [μSv].

LOKALIZACJA STACJI	GRUPY WIEKOWE						
	ASS-500	≤ 1 rok	1÷2 lat	2÷7 lat	7÷12 lat	12÷17 lat	> 17 lat
WARSZAWA		4.007	3.112	3.050	3.962	4.574	3.301
BIAŁYSTOK		4.244	3.289	3.214	4.191	4.840	3.488
GDYNIA		1.849	1.447	1.434	1.835	2.118	1.537
KATOWICE		4.159	3.223	3.149	4.107	4.742	3.417
KRAKÓW		5.189	4.109	4.139	5.182	5.975	4.371
LUBLIN		4.629	3.610	3.561	4.586	5.294	3.832
ŁÓDŹ		3.816	2.963	2.904	3.773	4.356	3.143
SANOK		4.628	3.584	3.501	4.569	5.277	3.801
SZCZECIN		3.806	2.964	2.917	3.768	4.350	3.145
TORUŃ		4.227	3.281	3.213	4.178	4.824	3.480
WROCŁAW		3.631	2.863	2.865	3.618	4.173	3.043
ZIELONA GÓRA		4.595	3.565	3.489	4.541	5.243	3.781

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 2/OR/2016/2 z dnia 29 grudnia 2015.

Literatura

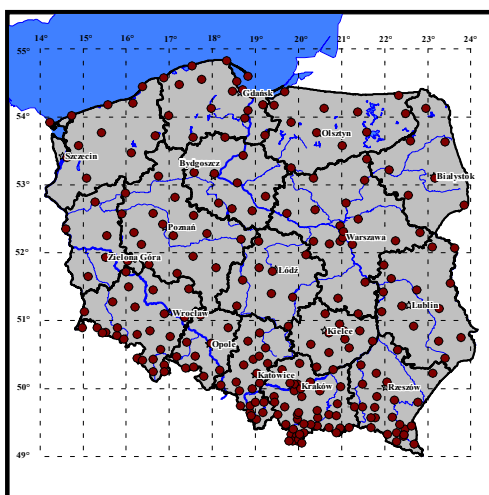
- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 20/2005, poz. 168).
- [2] Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994.

Monitoring stężenia ^{137}Cs w glebie w latach 2014-2015

K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski

Wprowadzenie

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 Rysunku 1.



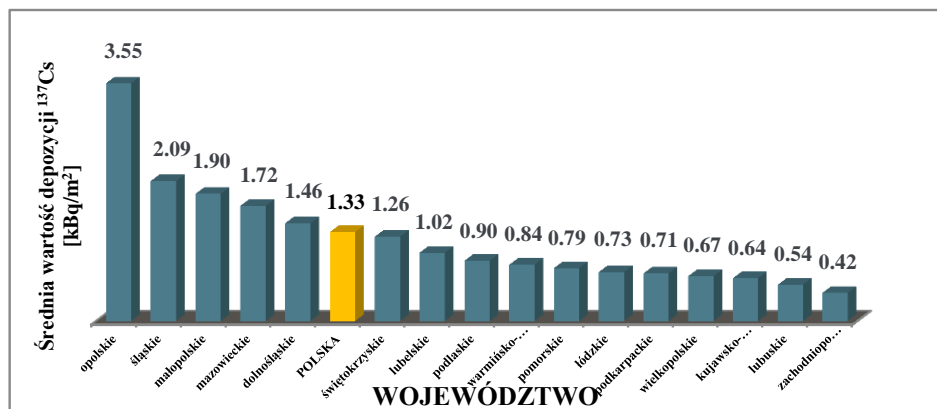
Rysunek 1. Punkty poboru gleby w Polsce (październik 2014 rok).

Wyniki

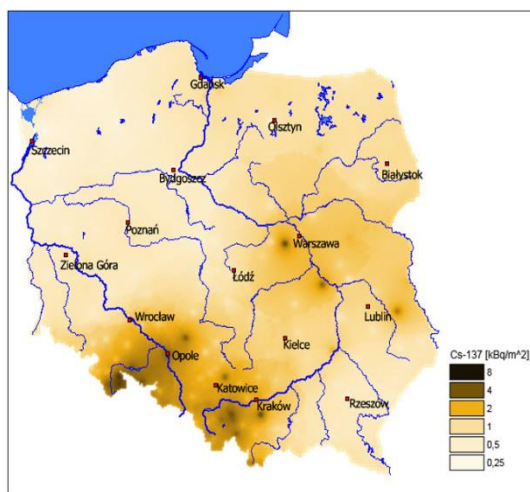
Wyniki pomiarów próbek gleby pochodzących z terenu całego kraju są zapisywane w bazie danych i są wykorzystywane do tworzenia radiologicznych map Polski. Mapy są tworzone z wykorzystaniem

systemu MapInfo 8.5 PL. System ten pozwala na wizualizację wyników pomiarów z poszczególnych punktów poboru próbek w postaci kartodiagramów kołowych o powierzchniach proporcjonalnych do wielkości stężenia oraz w postaci map rastrowych, w których wartości stężeń pomierzonych w punktach ekstrapoluje się na obszar całego kraju.

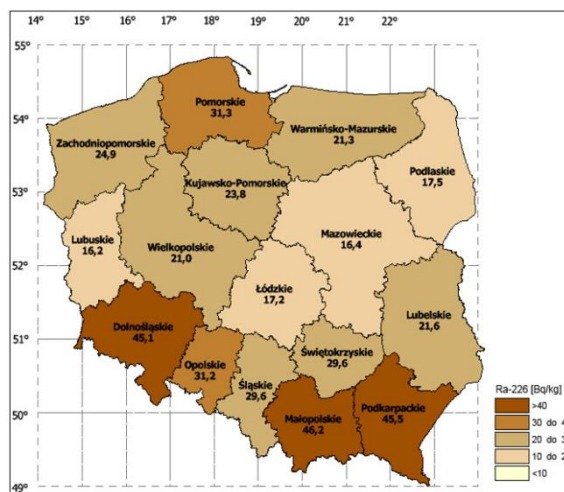
W roku 2015 próbki gleby pobrane z powierzchniowej warstwy 0-10 cm w 254 punktach (+ próbki z warstwy 0-25 cm pobrane w 10 punktach), zostały przygotowane do pomiaru (suszenie, rozdrabnianie, ważenie oraz umieszczanie w naczynia Marinelli) i następnie zmierzone. W próbkach zostały określone stężenia cezu ^{137}Cs (przeliczone następnie na depozycję tego izotopu na powierzchnię gleby) oraz radionuklidów naturalnych radu ^{226}Ra , aktynu ^{228}Ac i potasu ^{40}K za pomocą analizy metodą wysokorozdzielczej spektrometrii promieniowania gamma. Pomiary zawartości radionuklidów w glebie są wykonywane przy użyciu spektrometrów z detektorami półprzewodnikowymi HPGe, umieszczonymi w niskotłowych ołowianych domkach osłonnych. Czas każdego pomiaru wynosi 80000 sekund. Średnia wartość powierzchniowego stężenia (depozycji) ^{137}Cs w Polsce dla próbek pobranych w 2014 roku wynosi $1.33 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$, przy zakresie od $0.05 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Zgorzelec – woj. dolnośląskie) do $8.62 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Łądek Zdrój – woj. dolnośląskie). Wyniki zostały przedstawione także na Rysunku 3 w postaci mapy rastrowej.



Rysunek 2. Histogram średnich wartości depozycji ¹³⁷Cs w poszczególnych województwach i w Polsce dla gleby pobranej w październiku 2014 roku.



Rysunek 3. Depozycja cesu ¹³⁷Cs w Polsce dla gleby pobranej w październiku 2014 roku.



Rysunek 4. Średnie stężenia wojewódzkie radu 226Ra w Polsce dla gleby pobranej w październiku 2014 roku.

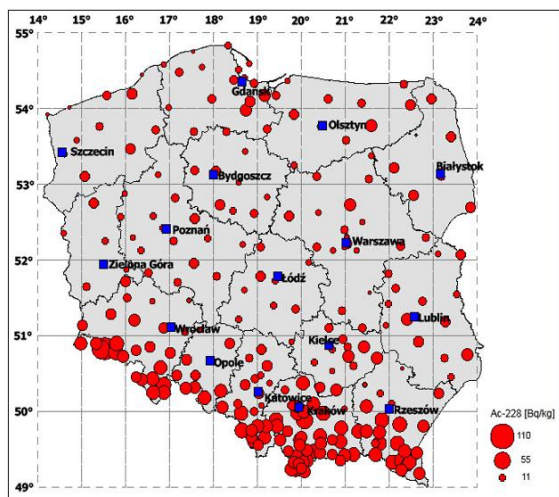
Średnie wartości stężeń naturalnych radionuklidów w glebach w Polsce wynoszą:

- dla radu ²²⁶Ra - 31.9 Bq·kg⁻¹,
- dla aktynu ²²⁸Ac - 22.9 Bq·kg⁻¹,
- dla potasu ⁴⁰K - 390 Bq·kg⁻¹,

i są niższe od wartości średnich stężeń tych radionuklidów na świecie wynoszących odpowiednio 33, 45 i 420 Bq·kg⁻¹ [1].

Najwyższe stężenia radu ²²⁶Ra, aktynu ²²⁸Ac oraz potasu ⁴⁰K zmierzono w południowych

częściach Polski – jest to związane ze strukturą geologiczną naszego kraju. Dla przykładu w próbie pobranej w Szklarskiej Porębie (woj. dolnośląskie) stężenia tych radionuklidów wynoszą odpowiednio: 128.0 Bq·kg⁻¹ dla ²²⁶Ra, 91.4 Bq·kg⁻¹ dla ²²⁸Ac oraz 1065 Bq·kg⁻¹ dla ⁴⁰K. Przykładowe mapy obrazujące stężenia radionuklidów naturalnych w glebach w Polsce zostały przedstawione na Rysunkach 4 oraz 5.



Rysunek 5. Rysunek 5. Stężenia aktywności ^{228}Ac w punktach poboru gleby w Polsce (gleba pobrana w październiku 2014 roku).

Wnioski

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002r. podaje w § 9 ust 1 pkt 1e, iż do zadań placówek specjalistycznych, do których zalicza się Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, należy prowadzenie pomiarów zawartości izotopów promieniotwórczych w próbkach materiałów środowiskowych, w tym

gleby. Określa się stężenia cezu ^{137}Cs powyżej 1 kilobekerela na metr kwadratowy (kBq/m^2). Jak wynika z dotychczasowych badań, pobieranych w cyklu dwuletnim próbek, średnie stężenie ^{137}Cs w powierzchniowej warstwie gleby w Polsce jest ciągle powyżej 1 kBq/m^2 i wynosi 1,33 kBq/m^2 (wyniki pomiarów próbek pobranych w roku 2014 – ostatnia zakończona seria pomiarowa). W związku z tym monitoring stężeń ^{137}Cs w glebie powinien być nadal kontynuowany.

Finansowanie

Temat finansowany jest ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy nr 20/2014/F z dnia 17 lipca 2014 zawartej pomiędzy Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska.

Literatura

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 2000.

Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska.

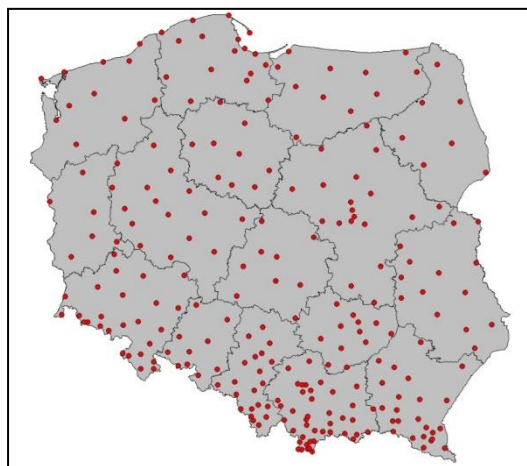
Zadanie 3: Monitoring stężenia ^{137}Cs w glebie

K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, O. Stawarz, I. Kwiatkowska, A. Ząbek,

A. Kiełbasińska, M. Kardaś

Wprowadzenie

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 Rysunku 1.



Rysunek 1. Punkty poboru gleby w Polsce - jesień 2016 r.

Liczba punktów poboru gleby w poszczególnych województwach, w których została pobrana gleba jesienią 2016 roku, przedstawiono w Tabeli 1.

Wyniki

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

Tabela 1. Liczba punktów poboru gleby w Polsce (jesień 2016 rok) w poszczególnych województwach.

Lp.	Województwo	Liczba pobranych próbek
1.	Dolnośląskie	27
2.	Kujawsko-pomorskie	9
3.	Lubelskie	15
4.	Lubuskie	6
5.	Łódzkie	9
6.	Małopolskie	43
7.	Mazowieckie	20
8.	Opolskie	10
9.	Podkarpackie	24
10.	Podlaskie	8
11.	Pomorskie	19
12.	Śląskie	22
13.	Świętokrzyskie	12
14.	Warmińsko-mazurskie	12
15.	Wielkopolskie	17
16.	Zachodniopomorskie	11
RAZEM – POLSKA:		264

próbki: 254 z warstwy gleby o grubości 10 cm oraz 10 próbek z warstwy o grubości 25 cm.

Próbki gleby pobierane są w miejscach, gdzie mikrośrodkowisko 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 roku 2016 w ramach opisywanej pracy zrealizowano następujące zadania:
- wykonano pobór 264 próbek gleby w 254 punktach (254 próbki pobrane z warstwy

o grubości 10 cm oraz 10 próbek z warstwy o grubości 25 cm);

- prowadzono koordynację poboru próbek;
- opracowano sprawozdanie zawierające opis przeprowadzenia poboru prób (metodykę poboru, terminy pobrania poszczególnych próbek, opis sposobu transportu i przechowywania próbek).

W roku 2017 wszystkie pobrane próbki zostaną przygotowane do pomiaru i zmierzone z wykorzystaniem wysokorozdzielczej spektrometrii promieniowania jonizującego.

Finansowanie

Temat finansowany jest ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy nr 8/2016/F z dnia 2 maja 2016 zawartej pomiędzy Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska.

Literatura

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 2000.

Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980-2016

B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, I. Kwiatkowska, K. Wojtkowski,

A. Kietbasińska, A. Ząbek

Wprowadzenie

Do oceny surowców i materiałów budowlanych pod względem obecności stężenia promieniotwórczości stosuje się kryteria zamieszczone w Rozporządzeniu RM z dnia 2 stycznia 2007 r. (Dziennik Ustaw Nr 4 poz. 29) „W SPRAWIE WYMAGAŃ DOTYCZĄCYCH ZAWARTOŚCI NATURALNYCH IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH POTASU K-40, RADU RA-226 I TORU TH-228 W SUROWCACH I MATERIAŁACH STOSOWANYCH W BUDYNKACH PRZEZNACZONYCH NA POBYT LUDZI I INWENTARZA ŻYWEGO, A TAKŻE W ODPADACH PRZEMYSŁOWYCH STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE, ORAZ KONTROLI ZAWARTOŚCI TYCH IZOTOPÓW”. Rozporządzenie to klasyfikuje możliwość zastosowania różnych surowców i materiałów budowlanych w różnych typach budownictwa poprzez określenie dwóch parametrów:

- wskaźnika aktywności f_1 - określa zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych w badanym materiale i jest wskaźnikiem narażenia całego ciała na promieniowanie gamma.
- wskaźnik aktywności f_2 , - określa zawartość radu Ra-226 w badanym materiale i jest wskaźnikiem narażenia nabłonka płuc na promieniowanie alfa emitowane przez produkty rozpadu radonu pobrane wraz z powietrzem przez układ oddechowy człowieka.

Wyniki

W 2016 roku Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej wykonało badania i opracowało opinie dotyczące zastosowania materiałów i surowców budowlanych dla 51 próbek nadesłanych z różnych regionów kraju. Były to m.in. mieszaniny popiołowo-żużlowe (31 próbek), żużel (5 próbek), odpady paleniskowe (4 próbki), pozostałe 11 próbek - różne.

Od 1980 roku do końca 2016 roku do ogólnopolskiej bazy danych surowców i materiałów budowlanych zostało wprowadzonych danych dla 46273 próbek. W samym 2016 roku wprowadzono do bazy wyniki dla 840 próbek, w tym:

- wyniki surowców budowlanych pochodzenia naturalnego: 71
- wyniki surowców budowlanych pochodzenia przemysłowego: 596
- wyniki materiałów budowlanych: 173

W 2016 roku zarejestrowano mniejszą liczbę przekroczeń wartości granicznych wyznaczanych wskaźników aktywności $f_1 = 1,2$ lub $f_2 = 240$ Bq/kg określonych dla budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej w porównaniu do roku ubiegłego. Przekroczenia odnotowano dla 46,7% partii popiołów lotnych oraz 23,3% partii popiołów bez odsiarczania spalin.

Na rysunkach 1-5 przedstawiono zmiany średniej wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 dla kilku wybranych surowców i materiałów budowlanych (Rysunek 1 - popioły, Rysunek 2 - żużle, Rysunek 3 - cementy, Rysunek 4 - betony, Rysunek 5 - ceramika budowlana) w latach 1980 – 2016.

Wnioski

Analizując średnie wartości wskaźników aktywności f_1 oraz f_2 z całej bazy określonych dla budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej w latach 1980-2016 należy stwierdzić, że:

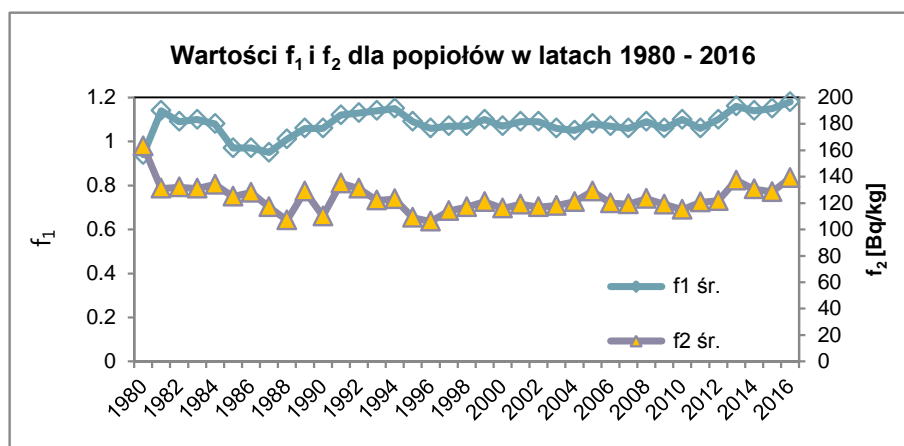
- w 2016 r. odnotowano najwyższą wartość wskaźnika aktywności f_1 dla popiołu lotnego i najniższą wartość wskaźników aktywności f_1 i f_2 dla betonów i ceramiki budowlanej od 37 lat.
- w 2016 roku 100% surowców pochodzenia naturalnego mogło mieć zastosowanie

w budownictwie mieszkaniowym (podobnie jak w latach poprzednich).

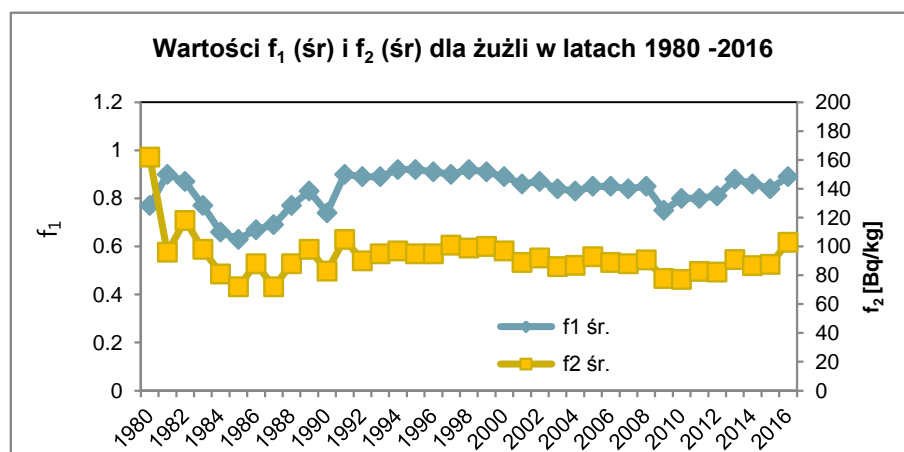
- w przypadku surowców pochodzenia przemysłowego w 2016 roku słabymi wskaźnikami aktywności pod względem dopuszczalności ich do zastosowania w budownictwie mieszkaniowym charakteryzowały się popioły lotne i popioły bez odsiarczania spalin.
- z gotowych materiałów budowlanych wyprodukowanych w 2016 roku 100%

materiałów została dopuszczona do zastosowania w budownictwie mieszkaniowym.

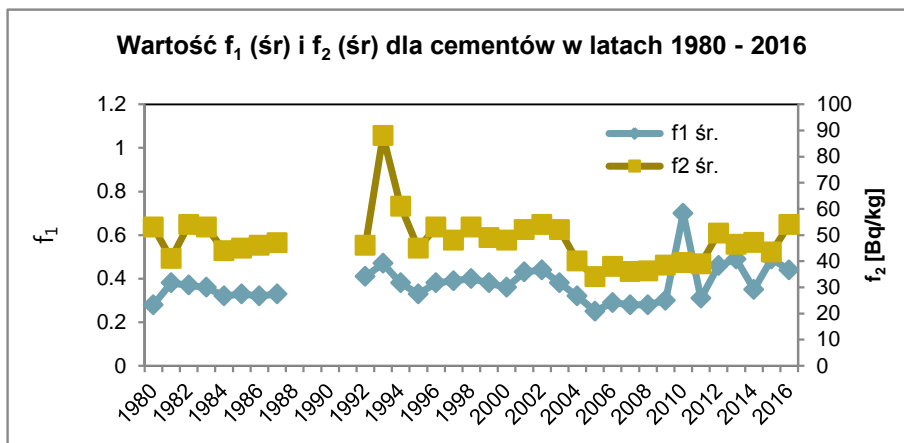
- maximum na Rysunku 3 zapewne związane jest z niską statystyką (niewielka ilość próbek przebadanych w tym roku w stosunku do pozostałych lat).
- w latach 1994-1995 (punkty maximum Rysunku 5) na rynku polskim pojawiła się ceramika budowlana pochodzenia chińskiego, która charakteryzuje się wyższym stężeniem promieniotwórczym radu Ra-226 w płytkach ceramicznych.



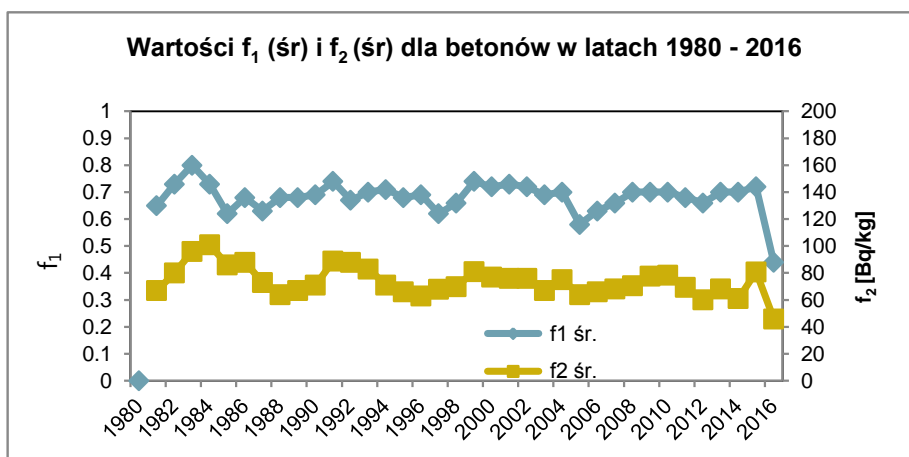
Rysunek 1. Wartości średnie f_1 i f_2 dla popiołów w latach 1980 -2016



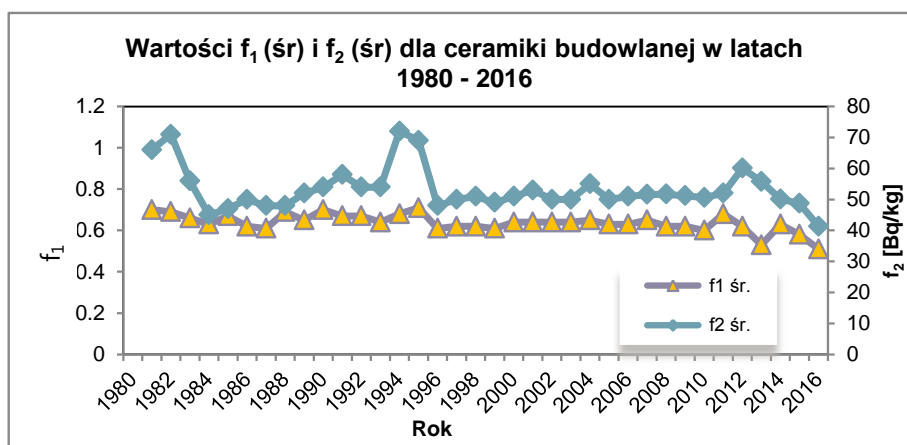
Rysunek 2. Wartości średnie f_1 i f_2 dla żużli w latach 1980 -2016.



Rysunek 3. Wartości średnie f_1 i f_2 dla cementów w latach 1980 -2016.



Rysunek 4. Wartości średnie f_1 i f_2 dla betonów w latach 1980 -2016.



Rysunek 5. Wartości średnie f_1 i f_2 dla ceramiki budowlanej w latach 1980 -2016

Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie oraz wokół Ośrodka w Świerku

B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, A. Fulara, I. Kwiatkowska, A. Adamczyk, A. Ząbek, K. Wojtkowski, A. Kietbasińska

Wprowadzenie

Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie w 2016 roku skupiła się na:

- wykonaniu badań radioaktywności gamma wód źródłanych pobranych jeden raz w roku w trzech punktach pomiarowych umożliwiających wykrycie sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych o zawartości $> 0,1 \text{ Bq/dm}^3$, pomiarów całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs) i trytu (^3H) $> 0,4 \text{ Bq/dm}^3$ i pomiaru zawartości strontu (^{90}Sr) w 1 próbce zbiorczej;
 - wykonaniu badań: całkowitej aktywności beta wód gruntowych pobranych za pomocą piezometrów w ośmiu punktach dwa razy w roku - przy przekroczeniu 1 Bq/dm^3 – wykonanie pomiaru zawartości potasu (^{40}K) oraz określenia zawartości trytu (^3H) $> 0,4 \text{ Bq/dm}^3$
 - wykonaniu pomiarów mocy dawki w pięciu punktach i pobraniu gleby dwa razy w roku oraz wykonaniu badań promieniowania gamma próbek gleby z określeniem zawartości izotopów gamma promieniotwórczych: sztucznych $> 0,7 \text{ Bq/kg s.m.}$ i naturalnych $> 2,5 \text{ Bq/kg s.m.}$
 - pobraniu trawy dwa razy w roku w miejscach poboru gleby oraz wykonaniu badań promieniowania gamma próbek gleby z określeniem zawartości izotopów gamma promieniotwórczych: sztucznych $> 1 \text{ Bq/kg s.m.}$ i naturalnych $> 20 \text{ Bq/kg s.m.}$
 - pobranie za pomocą przenośnego urządzenia próbek aerozoli atmosferycznych na wysokości 1-2 m nad powierzchnią ziemi w punkcie położonym w odległości 5-20 m od ogrodzenia składowiska 2 razy w roku i w tym: pomiar metodą spektrometrii gamma zawartości sztucznych radionuklidów w osadzonych na filtrze aerozolu atmosferycznych w każdej próbce, umożliwiający określenie stężenia tych radionuklidów powyżej $5 \mu\text{Bq/m}^3$;
- Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Ośrodka w Świerku w 2016 roku skupiła się na:
- badaniach radioaktywności gamma umożliwiających wykrycie sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych wody z rzeki Świder o zawartości $> 0,1 \text{ Bq/dm}^3$ (pobór z dwóch punktów dwa razy w roku) oraz pomiarze całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs), strontu (^{90}Sr) i trytu ^3H $> 0,4 \text{ Bq/dm}^3$;
 - badaniach radioaktywności gamma wody z Oczyszczalni Ścieków w Otwocku z jednego punktu dwa razy w roku i pomiar całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs) $> 0,4 \text{ Bq/dm}^3$;
 - badaniach promieniowania gamma umożliwiających wykrycie sztucznych izotopów w wodzie studziennej pobranych z dwóch punktów dwa razy w roku o zawartości $> 0,1 \text{ Bq/dm}^3$ oraz pomiarach całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs) i zawartości trytu (^3H) w każdej próbce $> 0,4 \text{ Bq/dm}^3$ a także pomiarach zawartości strontu (^{90}Sr) $> 0,4 \text{ Bq/dm}^3$ w dwóch próbkach zbiorczych (dla dwóch punktów).
 - wykonaniu pomiarów mocy dawki w pięciu punktach oraz pobraniu trawy i gleby do badań promieniowania gamma wraz z określeniem zawartości izotopów gamma promieniotwórczych:
 - sztucznych: $> 1 \text{ Bq/kg}$ – dla trawy s.m.; $> 0,7 \text{ Bq/kg}$ – dla gleby s.m.;
 - naturalnych: $> 20 \text{ Bq/kg}$ – dla trawy s.m.; $> 2,5 \text{ Bq/kg s.m.}$;
 - pobranie za pomocą przenośnego urządzenia próbki aerozoli atmosferycznych na filtrze

- i badanie radioaktywności gamma próbki filtru aerozoli powietrza atmosferycznego umożliwiające wykrycie sztucznych i naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych;
- pobranie jodu w postaci gazowej w okolicy Ośrodka w Świerku i badanie radioaktywności gamma otrzymanej próbki;
 - pobranie próbki gazów szlachetnych w okolicy Ośrodka w Świerku i analiza jakościowa i ilościowa otrzymanej próbki.

Wyniki

Otoczenie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie

Woda źródłana

W pomiarach wstępnych promieniowania gamma zarejestrowano jedynie w dwóch próbkach Z-2 i Z-3 śladową ilość potasu ^{40}K o zawartości powyżej $0,1 \text{ Bq/dm}^3$.

We wszystkich trzech próbkach zawartość trytu zarejestrowano poniżej dolnej granicy wykrywalności.

Największą zawartość sumy cezów ^{134}Cs i ^{137}Cs , wynoszącą $7,38 \pm 0,78 \text{ mBq/dm}^3$, zarejestrowano w próbce wody źródlanej oznaczonej jako Z-1.

Stężenie aktywności strontu ^{90}Sr w próbce zbiorczej (otrzymanej z połączenia próbek Z-1, Z-2 oraz Z-3 w jedną próbkę) było poniżej dolnej granicy wykrywalności.

Woda gruntowa

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

- największą zawartość trytu zmierzono w próbce oznaczonej jako:
 - P - 2 (w poborze letnim): $99,7 \pm 7,0 \text{ Bq/dm}^3$,
 - P - 2 (w poborze jesiennym): $73,7 \pm 5,2 \text{ Bq/dm}^3$;
- największą całkowitą radioaktywność beta w próbce oznaczonej jako:
 - P - 1, P - 6, P - 7 (w poborze letnim): $0,08 \pm 0,02 \text{ Bq/dm}^3$;
 - P - 6 (w poborze jesiennym): $1,26 \pm 0,12 \text{ Bq/dm}^3$.

Gleba

Badania spektrometryczne promieniowania gamma próbek gleby z otoczenia KSOP w Różanie wykazały ze sztucznych izotopów jedynie obecność cezu ^{137}Cs . Największe jego stężenie zarówno w poborze majowym jak i poborze wrześniowym

zmierzono w próbce pobranej w punkcie D-1. Stężenie to wynosiło: $59,9 \pm 0,3 \text{ Bq/kg}$ (pobór majowy) oraz $78,1 \pm 1,3 \text{ Bq/kg}$ (pobór wrześniowy).

Trawa

W analizie widm promieniowania gamma próbek trawy pobranych z otoczenia KSOP w Różanie zarejestrowano z izotopów promieniotwórczych pochodzenia sztucznego tylko cez ^{137}Cs . Jego stężenia zawierały się w granicach od wartości $0,46 \pm 0,11 \text{ Bq/kg}_{\text{s.m.}}$ (dla próbki pobranej w maju w punkcie D-5) do $0,49 \pm 1,1 \text{ Bq/kg}_{\text{s.m.}}$ (dla próbki pobranej we wrześniu w punkcie D-2).

Aerozole atmosferyczne

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 został zmierzony jeden izotop pochodzenia sztucznego tj. cez ^{137}Cs . Wartości stężeń aktywności izotopów zidentyfikowanych w obydwu próbkach (Ro-1626 oraz Ro-1636) 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.

Moc dawki ekspozycyjnej

Moc dawki promieniowania gamma w otoczeniu KSOP w Różanie kształtowała się w granicach od $60,13 \text{ nGy/h}$ w punkcie D-5 (w pomiarach przeprowadzonych we wrześniu) do wartości $80,73 \text{ nGy/h}$ w punkcie D-1 (w pomiarach przeprowadzonych w maju). Średnia wartość mocy dawki określona dla otoczenia KSOP w Różanie wyniosła:

- $73,00 \text{ nGy/h}$ dla pomiarów przeprowadzonych w maju 2016 r.
- $64,91 \text{ nGy/h}$ dla pomiarów przeprowadzonych we wrześniu 2016r.

Otoczenie Ośrodka w Świerku

Woda

Po przeprowadzeniu analizy spektrometrycznej promieniowania gamma w próbkach wody z otoczenia Ośrodka w Świerku, (woda z rzeki Świder: próbki WS-1, WS-2 i woda studzienna: próbki G-106 i G-108) nie stwierdzono obecności izotopów gamma promieniotwórczych

pochodzenia sztucznego o stężeniu aktywności powyżej 0,1 Bq/dm³.

W wodzie pobranej z oczyszczalni ścieków w Otwocku (próbki WOS) stwierdzono obecność izotopu gamma promieniotwórczego pochodzenia sztucznego o stężeniu aktywności powyżej 0,1 Bq/dm³, dla próbki pobranej zarówno w maju jak i we wrześniu, tj. jodu ¹³¹I.

Maksymalne stężenie jodu ¹³¹I zarejestrowano w próbce WOS (próbka pobrana w oczyszczalni ścieków w Otwocku we wrześniu 2016 r.). Wynosiło ono 1,21 ± 0,012 Bq/dm³.

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 ciekłoscintylacyjnym wykazały obecność trytu na niskim poziomie. Maksymalne stężenie trytu w wodzie pobranej z okolic Ośrodka w Świerku zarejestrowano:

- w poborze letnim - w próbce wody z oczyszczalni ścieków w Otwocku oznaczonej jako WOS. Wartość ta wynosiła 1,5 ± 0,2 Bq/dm³;
- w poborze jesiennym – we wszystkich próbkach zawartość trytu była poniżej dolnej granicy wykrywalności.

Badanie zawartości cezju ¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs w próbkach wody metodą polegającą na selektywnej sorpcji cezju na złożu fosforomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu wykazało, że we wszystkich próbkach poziom aktywności cezju jest na niskim poziomie. Największą średnią zawartość cezju ¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs zarejestrowano w próbce wody studziennej, oznaczonej jako G-108. Wartość średnia stężenia cezjów w tej próbce wynosiła 5,24 ± 0,55 mBq/dm³.

Maksymalne stężenia aktywności cezju ¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs w próbkach wody pobranych w okolicy Ośrodka w Świerku zarejestrowano:

- w poborze letnim - w próbce wody studziennej oznaczonej jako G-108. Wartość ta wynosiła 4,27 ± 0,47 mBq/dm³;
- w poborze jesiennym - w próbce wody studziennej oznaczonej jako G-108. Wartość ta wynosiła 6,20 ± 0,63 mBq/dm³.

W badaniach oznaczeń ⁹⁰Sr w zbiorczych próbkach wody studziennej z poboru wiosennego i jesiennego (G-106 i G-108) oraz wody rzecznej (WS-1 i WS-2) zarejestrowano obecność strontu

⁹⁰Sr. Wartość maksymalna stężenia strontu ⁹⁰Sr została odnotowana w próbce WS-1 i wyniosła ona 10,7 ± 2,2 mBq/dm³.

Gleba

W próbkach gleby pobranych z otoczenia Ośrodka w Świerku stwierdzono:

- z izotopów pochodzenia naturalnego – obecność izotopów naturalnych szeregu promieniotwórczych tj. radu ²²⁶Ra i aktynu ²²⁸Ac oraz naturalnie występujący izotop potasu ⁴⁰K, o zawartościach powyżej 2,5 Bq/kg.

Wartości stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia naturalnego zawierały się w granicach:

- Potas ⁴⁰K: od 120 ± 2 Bq/kg (próbka MD-05) do 227 ± 5 Bq/kg (próbka MD-04);
 - Rad ²²⁶Ra: od 6,28 ± 0,34 Bq/kg (próbka MD-05) do 17,7 ± 0,5 Bq/kg (próbka MD-02);
 - Aktyn ²²⁸Ac: od 4,68 ± 0,16 Bq/kg (próbka MD-05) do 18,1 ± 0,4 Bq/kg (próbki MD-02).
- z izotopów sztucznych - obecność cezju ¹³⁷Cs we wszystkich próbkach, z czego w czterech próbkach stężenie promieniotwórcze było powyżej 0,7 Bq/kg;
 - maksymalną zawartość cezju ¹³⁷Cs o stężeniu 12,0 ± 0,1 Bq/kg zawierała próbka MD-05; najmniejszą zawartość cezju ¹³⁷Cs o stężeniu 0,32 ± 0,03 Bq/kg zawierała próbka MD-04.

Trawa

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

- z izotopów sztucznych - obecność cezju ¹³⁷Cs w czterech próbkach;
- maksymalną zawartość cezju ¹³⁷Cs: 9,21 ± 0,22 Bq/kg w próbce MD-01;
- z izotopów pochodzenia naturalnego – zawartość ⁴⁰K powyżej 20 Bq/kg we wszystkich próbkach;
- stężenie promieniotwórcze ⁴⁰K w trawie (s.m.) zawierało się w granicach od 83,8 ± 4,9 Bq/kg w próbce MD-05 do 863 ± 14 Bq/kg w próbce MD-01.

Moc dawki ekspozycyjnej

Moc dawki zmierzona w otoczeniu Ośrodka w Świerku zawierała się w przedziale od 47,5 nGy/h w punkcie MD-05 do wartości 59,8 nGy/h w punkcie MD-03.

Uwolnienia substancji promieniotwórczych do powietrza

Aerozole powietrza atmosferycznego

Na filtrze aerozoli powietrza pobranego z otoczenia Ośrodka w Świerku zarejestrowano dwa izotopy pochodzenia sztucznego, tj.: jod ^{131}I i cez ^{137}Cs o wartościach stężeń promieniowania powyżej dolnej granicy wykrywalności.

Wartości stężeń aktywności izotopów zidentyfikowanych w próbce OŚ-1628 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.

Jod w postaci gazowej

W analizie widma promieniowania gamma absorbentu jodu postaci gazowej zarejestrowano jeden izotop jodu ^{131}I o wartości znacznie powyżej

dolnej granicy wykrywalności. Wysoka wartość stężenia promieniotwórczego ^{131}I wskazuje na możliwość znacznych uwolnień tego izotopu w trakcie normalnej pracy reaktora MARIA. Szczególnie może to być widoczne w czasie tzw. „cykli molibdenowych” – cykli pracy reaktora na podwyższonej jego mocy.

Gazy szlachetne

W pomiarze gazów szlachetnych, pobranych z okolicy Ośrodka w Świerku zidentyfikowane zostały dwa izotopy: krypton ^{85}Kr i ksenon $^{131\text{m}}\text{Xe}$ o wartościach stężeń promieniowania znacznie powyżej dolnej granicy wykrywalności.

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 roku 2015 oraz 2016

K. Wojtkowski, K. Isajenko

Wprowadzenie

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 77 K/-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 Freiburgu (Niemcy). Tam jest mierzona jego zawartość z wykorzystaniem chromatografu gazowego. Następnie do CLOR zostają przesłane wyniki pomiarów. W 2015 roku została zawarta umowa (nr 29/OR/2015/137 z dnia 25 czerwca 2015 r.) 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 jądrowego w Świerku. Stacja do poboru gazów szlachetnych została ustawiona

w miejscu, w kierunku którego w początkowej fazie poboru wiał wiatr od strony komina reaktora, w odległości ok. 1,1 km od komina. Parametry meteorologiczne panujące w miejscu poboru aerozoli zarejestrowane przy wykorzystaniu stacji meteorologicznej typu WMR-928NX firmy Oregon Scientific. W pobranych w tym okresie gazach szlachetnych podwykonawcy w BfS Freiburg (Niemcy) udało się określić stężenie kryptonu ^{85}Kr na poziomie $1,6 \text{ Bq/m}^3$ ($\pm 3,2\%$), przy progu detekcji wynoszącym $0,046 \text{ Bq/m}^3$. Wg informacji, jaką otrzymaliśmy od Niemców, wartość ta jest na poziomie tła panującego w Europie Środkowej wynoszącego ok. $1,5 \text{ Bq/m}^3$. Jednak dla w pełni miarodajnego określenia stężenia kryptonu ^{85}Kr wymagany jest tygodniowy pobór powietrza, albo pobór krótszy (ale nie mniej niż 5 dni) z większym przepływem (zwiększonym do wartości $0,060 - 0,075 \text{ m}^3/\text{h}$). W 2016 r. w ramach zadania pt.: „Kompleksowe pomiary służące do oceny sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie oraz wokół Ośrodka w Świerku” wykonano pobór gazów szlachetnych w okolicach Świerku, zgodnie z umową nr 11/OR/2016/77 z dnia 24 kwietnia 2016 r., zawartą pomiędzy Skarbem Państwa - Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki a Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Datę poboru promieniotwórczych gazów szlachetnych wybrano na podstawie znajomości terminu pracy reaktora MARIA –w tzw. „cyklu molibdenowym”, czyli pracy reaktora na jego podwyższonej mocy. Miejsce poboru prób znajdowało się w odległości 0,62 km od komina reaktora. Stacje zostały ustawione w miejscu, w kierunku którego w początkowej fazie poboru wiał wiatr od strony komina reaktora. W pomiarze gazów szlachetnych, pobranych z okolicy Ośrodka w Świerku zidentyfikowane zostały dwa izotopy: krypton ^{85}Kr i ksenon $^{131\text{m}}\text{Xe}$ o wartościach stężeń promieniowania znacznie powyżej dolnej granicy wykrywalności. Pomiary gazów szlachetnych

na terenie Warszawy zostały wykonane ze środków finansowych Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Wyniki

Poniżej przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów w latach 2015-2016.

Tabela 1. Stężenie Kr-85 w próbkach pobranych w Warszawie w latach 2015-2016.

Start	ts	Bq/m ³ air	u [%]	ml Kr	tc
2015-10-21	7	1,49	1,0	4,34	16,7
2016-04-13	7	1,67	0,7	3,56	1,2
2016-05-09	7	1,61	0,7	5,30	1,0
2016-06-14	7	1,92	0,8	4,48	0,7
2016-08-29	7	2,00	0,7	5,57	0,7
2016-09-20	7	1,70	0,2	6,64	15,0
2016-10-06	7	1,67	0,6	6,84	1,0
2016-10-31	7	1,50	0,7	6,50	0,8
2016-12-05	7	1,97	0,5	3,40	15,0
2017-01-03	7	1,52	0,8	6,98	0,5

Tabela 2. Stężenie Xe-133 w próbkach pobranych w Warszawie w latach 2015-2016.

Start	ts	mBq/m ³ air	u [%]	ml Xe	tc
2015-10-21	7	2,90	-	0,39	16,7
2016-05-09	7	1,10	0,35	0,40	1,2
2016-06-14	7	3,30	0,97	0,25	0,7
2016-08-29	7	1,85	0,40	0,45	0,7
2016-09-20	7	-	0,20	0,45	15,0
2017-01-03	7	-	0,8	0,54	0,5

Tabela 3. Stężenie Xe-131m w próbkach pobranych w Warszawie w latach 2015-2016.

Start	ts	mBq/m ³ air	u [%]	ml Xe(m)	tc
2015-10-21	7	4,70	-	0,39	16,7
2016-05-09	7	1,70	0,16	0,40	1,2
2016-06-14	7	0,70	0,19	0,25	0,7
2016-08-29	7	0,38	0,70	0,45	0,7
2016-09-20	7	0,60	0,13	0,45	15,0
2017-01-03	7	0,39	0,8	0,54	0,5

Utrzymanie akredytacji w Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej w zakresie określania stężeń promieniotwórczych ^{226}Ra , ^{228}Th i ^{40}K w surowcach i materiałach budowlanych

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, A. Ząbek

Rok 2016 był dla Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej (LPPN) trzecim rokiem drugiego cyklu akredytacji (numer certyfikatu AB 1108). W związku z tym w 2017 roku konieczne będzie przeprowadzenie przez Polskie Centrum Akredytacji audytu przedłużającego kontrakt. W 2016 roku Laboratorium wykonało pomiary 50 próbek, takich jak: mieszanina popiołowo-żużlowa, żużel, odpady paleniskowe, mieszanina popiołowo-osadowa, kruszywo naturalne, popiół paleniskowy, mieszanina żużla, popiołów paleniskowych i pyłów, kruszywo sztuczne, dolomit i tłużeń kolejowy.

W ramach utrzymania akredytacji w zakresie określania stężeń promieniotwórczych radu ^{226}Ra , toru ^{228}Th i potasu ^{40}K przeprowadzono nadzór techniczny nad wyposażeniem Laboratorium, szkolenia, audyty wewnętrzne, audyt w nadzorze PCA, przegląd zarządzania i inne działania związane z doskonaleniem systemu zarządzania. Dwie osoby zostały przeszkolone i upoważnione do wykonywania badań, a jedna z nich również do autoryzowania sprawozdań z badań.

Nadzór techniczny nad wyposażeniem obejmował działania zgodne z planem kontroli aparatury na rok 2016. W ramach okresowych sprawdzeń wykonano następujące czynności: codzienna kontrola temperatury i wilgotności względnej w pomieszczeniu pomiarowym, sprawdzanie analizatora MAZAR-95 za pomocą objętościowych wzorców kalibracyjnych, w ustalonej kolejności – raz na tydzień pomiar jednej z próbek wzorcowych (K056, Ra056, Th056, CLOR W3P5, popiół wzorcowy Koszyce) oraz pomiar tła dla analizatora z użyciem walca aluminiowego o masie 1600 g. Po pomiarze wzorców na analizatorze MAZAR-95 sprawdzano także, jaka jest tendencja wartości aktywności właściwych radu, toru i potasu w okresie ostatniego

kwartału. Ponadto w listopadzie 2016 r. wykonano kalibrację analizatora MAZAR-95. Dwie wagi elektroniczne zostały ponownie wywzorcowane w laboratorium akredytowanym.

Ponadto zakupiono pojemniki typu Marinelli do pomiaru próbek za pomocą analizatora MAZAR-95.

W ramach doskonalenia pracownicy Laboratorium wzięli udział w szkoleniach z następujących tematów: dokumenty zewnętrzne (2 szkolenia); postępowanie z próbkami surowców i materiałów budowlanych – pomiar stężeń ^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Ac na analizatorze MAZAR-95, ocena pomiaru i opracowanie wyników; funkcje analizatora MAZAR-95; rejestrowanie zleceń i próbek, ankiety dla klientów i rozpatrywanie skarg; sprawozdanie z badań; kryteria dla upoważnianego personelu; odstępstwa a nadzorowanie badań niezgodnych z wymaganiami; wybrane zagadnienia normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 i Poradnika ITB; stosowanie symbolu akredytacji; zmiany w Księdze Jakości – kryteria dla upoważnianego personelu; planowanie uczestnictwa w PT/ILC; zmiany w LPPN oraz nowelizacja normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 (szkolenie zewnętrzne).

Ponadto podsumowano sprawdzenia i kalibracje aparatury oraz szkolenia przeprowadzone w roku 2015, zaktualizowano Księgę Jakości i procedury ogólne, a także przeprowadzono cztery szkolenia zewnętrzne z wykonywania pomiarów za pomocą analizatora MAZAR-95.

W kwietniu 2016 roku odbył się audyt wewnętrzny systemowy, podczas którego nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności. W maju 2016 roku miał miejsce audyt techniczny, na którym również nie było spostrzeżeń ani niezgodności. W maju 2016 roku odbył się również przegląd zarządzania. Omówiono na nim m.in. problemy techniczne i funkcjonowanie

systemu zarządzania w Laboratorium, cele z poprzedniego przeglądu oraz zadania do wykonania do następnego przeglądu zarządzania.

Dnia 31 maja 2016 r. odbył się audyt w nadzorze PCA, podczas którego odnotowano trzy niezgodności oraz dwa spostrzeżenia. W stosunku

do niezgodności przeprowadzono korekcję i działania korygujące, o czym powiadomiono audytorów. Działania zostały uznane za zakończone. Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej utrzymało akredytację.



**ZAKŁAD KONTROLI DAWEK
I WZORCOWANIA**



Walidacja modeli prognozujących narażenie radioekologiczne – założenia nowego programu MAEA MODARIA II 2016-2020 (MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments)

P. Krajewski, G. Krajewska

Wprowadzenie

Projekt MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments o kryptonimie MODARIA II (2016-2020), jest siódmym kolejnym programem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) poświęconym problematyce dokładności i wiarygodności wielkości dawek prognozowanych za pomocą komputerowych modeli środowiska. Blisko 30-letnia historia tych programów rozpoczęła się zaraz po Awarii IV Bloku Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu (26 kwietnia 1986 roku), kiedy ujawniła się pilna potrzeba zastosowania odpowiednich narzędzi obliczeniowych do szybkiej oceny narażenia ludności zamieszkującej obszary nad którymi przeszła chmura niosąca pierwiastki promieniotwórcze. Zwłaszcza że, jak się później okazało, błędna ocena narażenia, skutkowała kontrowersyjnymi i *szkodliwymi* działaniami ratowniczymi ówczesnych organów rządowych w postaci np. masowych przesiedleń ludności z obszarów o niewielkim skażeniu UNSCEAR 2000. Zalecenia odnośnie stworzenia i walidacji kodów komputerowych służących jako narzędzie do wspomagania decyzji na wypadek wielkoskalowych uwolnień radionuklidów do środowiska, znalazły się m.in. w raporcie Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej SS 75 (1986) oraz w Raporcie Komisji Rządowej do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych Rap. Kom. Rz. (1986).

W następnych latach, w kolejnych programach, zakres zagadnień będących przedmiotem intensywnych prac specjalistów z wielu krajów znacznie się poszerzył, m.in. o tematykę modeli skażeń środowiska w wyniku wieloletnich uwolnień radionuklidów przy normalnej pracy Elektrowni Jądrowych, modelowania oddziaływania na środowisko składowisk odpadów

radioaktywnych, hałd zawierających tzw. pierwiastki promieniotwórcze pochodzenia naturalnego tzw. NORM³ i TENORM⁴, czy też o modelowanie zachowania się trytu ³H i węgla ¹⁴C.

Warto podkreślić, że zakres pojęcia środowiska w odniesieniu do badania fizyki i chemii pierwiastków promieniotwórczych obejmuje zarówno środowisko naturalne, jak też środowisko częściowo będące wytworem działalności człowieka. Elementami tego pojęcia są: człowiek, fauna, flora, gleba, woda, powietrze, zasoby naturalne, a także zasoby wodne, (w szczególności zwierzęta i rośliny hodowlane oraz odpady). W odniesieniu do oceny zmian w środowisku w wyniku wprowadzenia substancji promieniotwórczych, termin „środowisko” dotyczył przede wszystkim siedzib ludzkich, a dopiero od niedawna pojęcie to zostało rozszerzone na dziko żyjące gatunki fauny i flory⁵ ICRP 103 (2007), ICRP 124 (2014).

Należy zauważyć, że omawiane tutaj programy MAEA nie mają charakteru konkursowych i sponsorowanych programów badawczych jak np. programy UE w ramach EURATOM lub HORYZONT 2020 czy granty krajowe NCBiR, stanowią raczej platformę wymiany doświadczeń między wysokiej klasy specjalistami pod patronatem MAEA⁶, a uczestnictwo w tych programach było zawsze finansowane z funduszy krajów uczestniczących. Nie rzutuje to w żadnym

³ Normally Occurring Radioactive Materials

⁴ Technically Enhanced Normally Occurring Radioactive Materials

⁵ W tym znaczeniu, pojęcie środowiska w ochronie radiologicznej nie obejmuje takich elementów jak np. klimat, krajobraz, jak też zasoby materialne i dziedzictwo kulturalne, czy też społeczne warunki życia jednostki i społeczeństwa.

⁶ Wyniki prac są publikowane w postaci szczegółowych raportów TECDOC MAEA

wypadku na popularność tych programów, w których zwykle brało udział około 200 naukowców z ponad 40 liczących się gospodarczo krajów ze wszystkich kontynentów.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej uczestniczyło w tych programach od początku ich powstania (1988 r.), głównie przy tworzeniu i walidacji modeli obliczeniowych służących do oceny sytuacji radiacyjnej. Między innymi był rozwijany i testowany na bazie „ślepych scenariuszy” model komputerowy CLRP (CONCENTRATION LEVELS RAPID PREDICTIONS) służący do przewidywania skażeń w środowisku w skutek awaryjnego lub rutynowego uwolnienia substancji radioaktywnych oraz prognozowania dawek promieniowania dla populacji. W programie EMRAS (2003-2007) CLOR kierował grupą roboczą „MODEL TESTING RELATED TO COUNTERMEASURES APPLIED TO THE INTAKE OF IODINE-131 FROM THE CHERNOBYL ACCIDENT”, gdzie na podstawie realnych scenariuszy (okręg Tulski, Mazowsze, Praga i okolice), badano efektywność różnych środków zaradczych jak: ewakuacja ludności, pozostania w budynkach, zakaz wypasu czy też podania blokującej dawki stabilnego jodu na redukcję dawki na tarczycę ludności zamieszkującej skażone tereny EMRAS IWG (2012). Komputerowy model CLRP znalazł również merytoryczne zastosowanie przy tworzeniu scenariuszy testowych dla systemów RODOS i ARGOS, w które wyposażone zostało Centrum Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki. W/w systemy będą służyć jako narzędzia wspomagające decyzje wprowadzenia działań interwencyjnych w wypadku zdarzeń radiacyjnych. W latach 2006-2008 prowadzono testy modułów RODOS FCDM i ARGOS FCDM (Food-Chain and Dose Module), w celu zbadania „odpowiedzi” w/w kodów na różne sytuacje radiologiczne, symulowane na podstawie opracowanych scenariuszy testów CLOR 2006 (Umowa Nr 7/SP/2006).

Udział CLOR w programie MODARIA I, w tym dokładne omówienie zastosowanych algorytmów oraz szczegółową analizę wyników można znaleźć w raporcie MAEA MODARIA WG 5 Report (2016), porównanie wyników prognoz CLRP z przewidywaniami innych uczestniczących modeli komputerowych przedstawiono również w Raporcie rocznym CLOR 2015 Krajewski 2015.

Historia programów MAEA walidacji modeli radioekologicznych

Programy MAEA poświęcone zagadnieniu walidacji modeli radioekologicznych mają już blisko 30-letnią historię. Początkowo, centralnym zagadnieniem była weryfikacja metodyki zastosowanej w różnych krajach do oceny ryzyka radiologicznego spowodowanego skażeniami po awarii w Czarnobylu a zwłaszcza identyfikacja źródeł niepewności związanej z tą oceną VAMP TECDOC 904 (1996). Uczestnicy programu, prowadzili prace w kilku zagadnieniowych grupach roboczych. Przykładowo w programie VAMP działały cztery grupy robocze zajmujące się różnymi aspektami badań zachowania się radionuklidów w środowisku człowieka VAMP TECDOC 795 (1995), VAMP TECDOC 904 (1996):

- I. Grupa zajmująca się środowiskiem lądowym (*Terrestrial Environment*)
- II. Grupa zajmująca się środowiskiem miejskim (URBAN ENVIRONMENT)
- III. Grupa zajmująca się środowiskiem wodnym (AQUATIC ENVIRONMENT)
- IV. Grupa do oceny dawek dla wielokrotnych dróg ekspozycji (MULTIPLY PATHWAY ASSESSEMENT)

Pod względem profilu merytorycznego, członkowie grup roboczych byli podzieleni na:

- 1) „ekspertów” których aktywność skupiała się na problematyce parametrów opisujących przejścia radionuklidów między piętrami wybranych ekosystemów. W wyniku pracy grup ekspertów powstały unikalne bazy danych parametrów opisujących transport radionuklidów w różnych komponentach środowiska oraz dokonana została kompleksowa analiza zjawisk związanych z zachowaniem się radionuklidów w różnych warunkach środowiskowych VAMP TECDOC-857 (1996), VAMP TECDOC-1143 (2000), SRS 19 (2001), BIOMASS 5 (2003), TECDOC 1678 (2012).
- 2) „modelarzy” których aktywność poświęcona była tworzeniu odpowiednich modeli komputerowych oraz weryfikacji wartości przewidywanych przez modele komputerowe z wartościami pomiarowymi (na bazie danych pomiarowych po awarii w Czarnobylu) w postaci tzw. „ślepych scenariuszy”

Ponadto do zadań „ekspertów” należało zebranie i analiza danych pomiarowych w celu wybrania regionu geograficznego i opracowanie scenariusza skażeń tego regionu (region ten pozostawał nieznanym dla uczestników biorących udział w modelowaniu) VAMP TECDOC 795 (1995), VAMP TECDOC 904 (1996).

Do zadań „modelarzy” należało TECDOC 1678 (2012):

- a) przeprowadzenie obliczeń modelowych (generacja wartości przewidywanych przez model)
- b) określenie przyczyn niezgodności przewidywań modelu z wynikami pomiarowymi
- c) określenie błędu statystycznego wartości przewidywanych przez model.

W kolejnych edycjach programów zajmowano się bieżącymi problemami związanymi z oceną narażenia przy różnych scenariuszach uwolnienia pierwiastków promieniotwórczych do środowiska, a tematyka była uzupełniana o dodatkowe elementy wynikające bądź ze zmian norm ochrony radiologicznej dążących do ustanawiania coraz wyższych standardów ICRP 103 (2007), ICRP 114 (2009), ICRP 124 (2014) lub pojawienia się nowych aspektów oceny na przykład: transport radionuklidów w środowisku rzeczonym BIOMASS 4 (2003), czy też w leśnym BIOMASS 1 (2002), narażenie środowiska od trytu H₃ uwalnianego z instalacji jądrowych BIOMASS 3 (2003), albo ocena projektów głębokich składowisk wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych, gdzie wymagany okres prognozy określa się na parę tysięcy lat BIOMASS 6 (2003), BIOMASS 7 (2004). Stałym elementem tych programów było ustalenie i eliminacja głównych przyczyn rozbieżności między przewidywaniami modeli, wynikającymi np. z subiektywnej interpretacji danych scenariusza i znajomości kodu przez osobę prowadzącą obliczenia BIOMOVs II (1996), BIOMOVs II (1996). Zachowano też czteroletni cykl funkcjonowania, strukturę podziału na grupy tematyczne liczące ok. 20 specjalistów z danej dziedziny oraz tryb spotkań: jedno plenarne spotkanie pod koniec roku w siedzibie MAEA w Wiedniu oraz jedno spotkanie grup roboczych w połowie roku w miejscu wybranym przez uczestników, zawsze z uczestnictwem eksperta

MAEA w charakterze sekretarza grupy. Opis poszczególnych programów oraz szczegółowe raporty można znaleźć pod adresem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej MAEA: <http://www.iaea.org/projects/emras/emras2/default.asp?s=8&l=63>.

Założenia i struktura programu MODARIA II

Program MODARIA II (2016-2019), jest kontynuacją programu MODARIA I (2012-2015) Krajewski 2015, wobec tego zachowuje w celu i zakres prac prekursora, natomiast w większym stopniu odnosi się do nowych rekomendacji ochrony radiologicznej MAEA, w szczególności do GRS Part 3 (2014), DS427 2015. Szczególny nacisk położono na wytyczne zawarte w publikacji GRS Part 3 (2014)⁷, które zasadniczo zmieniają sposób klasyfikacji działalności ze źródłami promieniotwórczymi i w następstwie stosowanych procedur ochrony radiologicznej. Stosowany w poprzednich regulacjach podział (użytkowanie źródeł (*practices*) oraz interwencja (*intervention*)) BSS 115 (1996), zastąpiono w nowych przepisach klasyfikacją na podstawie tzw. warunków narażenia, wprowadzając trzy kategorie: planowane (*planned*), istniejące (*existing*) oraz nadzwyczajne (*emergency*). W konsekwencji, rozszerzono ochronę radiologiczną na przedtem pomijane źródła narażenia (jako istniejące) jak NORM i TNORM, promieniowanie kosmiczne⁸ oraz obszary o podniesionym tle promieniowania (*legacy size*). Następną istotną zmianą w ochronie radiologicznej, jaką wprowadza publikacja GRS Part 3 (2014), jest podejście do niepewności prognozy dawki, która w każdym wypadku musi być ściśle określona, co w praktyce oznacza przyjęcie dla parametrów wejściowych modelu określonego rozkładu prawdopodobieństwa tzw. (PROBABILITY DENSITY FUNCTION PDF) oraz przeprowadzenie obliczeń niepewności prognozy metodą Monte Carlo. Zmienił się zatem model obliczeniowy oraz charakter prognozy dawki, której już nie określa jedna liczba (model deterministyczny), tylko wyznacza ją pewien rozkład prawdopodobieństwa dawek (model probabilistyczny).

⁷ zastępuje poprzednie zasady ochrony radiologicznej określone w BSS 115 (1996),

⁸ narażenie załóg lotniczych włączono do tzw. narażenia zawodowego

Obligatoryjne stosowanie modelu probabilistycznego, wymaga od zespołów biorących udział w programie MODARIA stosownej wiedzy w zakresie statystyki matematycznej oraz posiadania odpowiedniego oprogramowania. Doprowadziło to do połączenia kilku grup roboczych w jedno większe zespoły charakteryzujące się bardziej spójnym profilem planowanych prac i większą efektywnością. Zrezygnowano także ze scenariuszy krótkotrwałych uwolnień radionuklidów w warunkach nadzwyczajnych (awarie instalacji jądrowych) ze względu na trudne modele probabilistyczne na korzyść prognozowania narażenia przy większej liczby radionuklidów dla scenariuszy wieloletnich uwolnień przy rutynowej eksploatacji obiektów jądrowych. W scenariuszach tego typu zakłada się ustalenie równowagi stężeń radionuklidów w poszczególnych komponentach środowiska, co pozwala na stosowanie prostych rachunkowo modeli liniowych, (tzw. modele równowagowe). Zmiany w strukturze organizacji MODARIA II w porównaniu z MODARIA I oraz zakres planowanych prac na lata 2016-2019 przedstawiono na diagramie (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**).

Planowane prace grupy WG3: Ocena i kontrola narażenia ludności i bioty przy planowanych sytuacjach narażenia (ASSESSMENTS AND CONTROL OF EXPOSURES TO THE PUBLIC AND BIOTA FOR PLANNED RELEASES TO THE ENVIRONMENT)

Zadania Grupy WG3 w programie MODARIA II (w której skład weszła również dawna grupa WG7 zajmująca się modelami trytu ^3H oraz węgla ^{14}C), stanowią kontynuację prac prowadzonych przez Grupę WG5 (UNCERTAINTY AND VARIABILITY ANALYSIS FOR ASSESSMENTS OF RADIOLOGICAL IMPACTS ARISING FROM ROUTINE DISCHARGES OF RADIONUCLIDES) w programie MODARIA I, zajmującej się problematyką niepewności i zmienności prognozy narażenia radiologicznego przy rutynowych uwolnieniach substancji promieniotwórczych.

Zasadniczym celem działalności WG3 będzie stworzenie nowego (zintegrowanego) systemu oceny wpływu obiektu jądrowego lub instalacji zawierającej źródła promieniotwórcze na środowisko, zawierającego algorytmy obliczeniowe dawek dla człowieka oraz bioty. Takie podejście ma swoje uzasadnienie, ponieważ dane wejściowe

systemu są wspólne dla człowieka i bioty (np. stężenia aktywności radionuklidów w tzw. podstawowych ośrodkach jak woda, powietrze czy gleba), te same są też stosunki stężeń pierwiastków chemicznych w poszczególnych komponentach środowiska (tzw. parametry przechodzenia), np. w powietrzu do gleby, w roślinach do gleby, w tkankach zwierząt do wody lub roślin, różnice występują tylko w wartościach tzw. współczynników konwersji stężeń na dawki⁹. Ponadto, zintegrowany system ma tę zaletę, że daje jednoczesną informację o wielkości zagrożenia dla człowieka oraz środowiska, co ułatwia analizę kosztów i podejmowanie odpowiednich decyzji co do typu i zakresu akcji zapobiegawczych. Warto zaznaczyć, że działalność Grupy WG3 pokrywa się z ostatnimi trendami na świecie, aby objąć ochroną przed promieniowaniem wszystkie żywe gatunki. Dawne stanowisko (zwane niekiedy paradygmatem) Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej ICRP (1997) „ZE OCHRONA RADIOLOGICZNA CZŁOWIEKA, ZAPEWNIĄ Z DUŻYM PRAWDOPODOBIEŃSTWEM OCHRONĘ INNYCH ŻYWYCH GATUNKÓW”¹⁰, w ciągu ostatniej dekady uległo znacznej rewizji na rzecz stanowiska, że ochrona radiologiczna środowiska wymaga „OCENY RÓŻNYCH SYTUACJI (SCENARIUSZY) NARAŻENIA FAUNY I FLORY NIEZALEŻNIE OD OBECNOŚCI CZŁOWIEKA” ORAZ „ BEZPOŚREDNIEGO DOWODU, ŻE ŚRODOWISKO W ROZUMIENIU FAUNY I FLORY JEST CHRONIONE” ICRP(2003)¹¹.

System ochrony wszystkich żywych gatunków przed promieniowaniem jonizującym, rozwijał się stopniowo w latach 90-tych pod patronatem uznanych organizacji międzynarodowych UNSCEAR, ICRP i IAEA. Również UE uruchomiła kilkanaście lat temu kilka projektów (FASSET, ERICA, PROTECT, FUTURAE, STAR, COMET) ukierowanych na stworzenie takiego systemu PEREIRA 2014. Od niedawna też, obowiązek wdrożenia systemu

⁹ wynika to z różnic geometrii obiektu, oraz metabolizmu organizmu

¹⁰ The commission therefore believes that if man is adequately protected then other living things are also likely to be sufficiently protected.

¹¹ ...that it is necessary to consider a wider range of environmental situations, irrespective of any human connection with them. The Commission is also aware of the needs of some national authorities to demonstrate, directly and explicitly, that the environment is being protected, even under planned situations.

ochrony radiologicznej wszystkich żywych gatunków został zapisany w Dyrektywach UE Dyr. Rad 2013/59/EURATOM oraz rekomendacjach międzynarodowych GRS Part 3 (2014) i już został wprowadzony w kilku krajach m.in. w USA i Kanadzie PEREIRA 2014. Po 20 latach ewolucji, system wydaje się dostatecznie zaawansowany, aby wejść w fazę testów oraz zastosowań praktycznych. Celem działalności WG3 będzie zatem, przeprowadzenie kompleksowej oceny narażenia dla mieszkańców oraz fauny i flory na podstawie wybranych scenariuszy, przewiduje się również, że prace grupy będą prowadzone zgodnie z ostatnimi zaleceniami MAEA DS432 2014, DS427 2015 i będą dotyczyć planowanych ekspozycji od instalacji jądrowych oraz promieniotwórczych. Prace grupy będą przebiegać w kilku blokach tematycznych, jak następuje:

- 1) Przeprowadzenie analizy dostępnych międzynarodowych i krajowych przewodników w celu wykazania ich zgodności (z ostatnio wprowadzonymi) regulacjami dotyczącymi ochrony środowiska przed promieniowaniem jonizującym (STUDY DIFFERENT GUIDANCES).
- 2) Przeprowadzenie analiz stopnia zaawansowania (aktualnego stanu wiedzy) dostępnych metod i programów (kodów komputerowych) stosowanych do oceny ekspozycji przy rutynowych uwolnieniach radionuklidów z instalacji jądrowych, a które mogły być wykorzystane przy tworzeniu zintegrowanego systemu oceny narażenia ludzi i bioty (COMPILE INFORMATION ON AVAILABLE CODES).
- 3) Analiza takich przypadków uwolnień substancji promieniotwórczych do środowiska, kiedy bezpośrednia

ocena narażenia żyjących w otoczeniu żywych gatunków (w tym człowieka) wydaje się konieczna, przygotowanie zbiorów danych wejściowych i parametrów tzw. scenariuszy referencyjnych (REFERENCE INSTALLATIONS & SCENARIOS).

- 4) Przeprowadzenie obliczeń dawek oraz ocena niepewności wyników dawek otrzymanych przez populację ludzi oraz bioty dla w/w scenariuszy (PRACTICAL EXAMPLES).
- 5) Analiza porównawcza zastosowanych modeli, parametrów oraz charakterystyki kodów zastosowanych przy przeprowadzeniu oceny (BENCHMARK).
- 6) Kompilacja informacji odnośnie wyników ostatnich zaawansowanych badań zachowania się trytu ^3H oraz węgla ^{14}C w środowisku – dotyczyć to będzie przede wszystkim mniej poznanego środowiska naturalnego (tzw. dziko żyjących gatunków) oraz uwolnień krótkotrwałych w wyniku awarii (study, validate ^3H i ^{14}C).
- 7) Raport dla MAEA obejmujący: przedstawienie i dyskusja wyników testów, identyfikację luk i niedostatków wiedzy związanych z zastosowaniem zintegrowanego systemu oceny narażenia środowiska w skutek uwolnień radionuklidów z obiektu jądrowego lub instalacji zawierającej materiały promieniotwórcze, rekomendacje dla MAEA (GAPS).

Wnioski

Przedstawiony w niniejszym artykule plan prac programu MAEA MODARIA II wiąże się z wieloma aspektami praktycznymi wdrożenia zaleceń dyrektywy Komisji Europejskiej Dyr. Rad 2013/59/EURATOM, które od lutego 2018 będą obligatoryjne dla członków UE.

W konsekwencji, metodyka oceny narażenia fauny i flory jak również oszacowanie niepewności prognozy dawek powinna stać się wkrótce

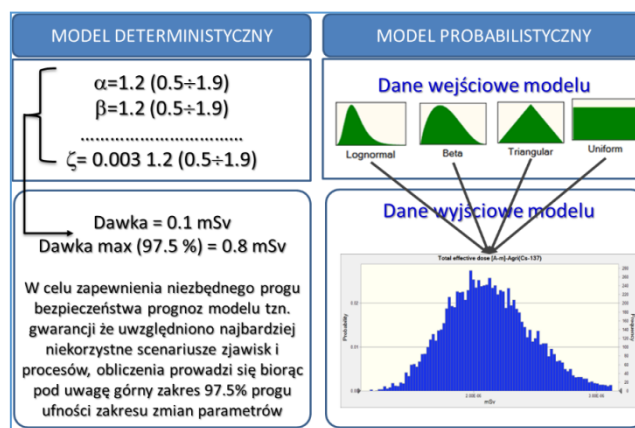
standardem wymaganym przez np. organy dozoru jądrowego przy ocenie wpływu obiektu jądrowego na środowisko, w szczególności zostało to ujęte w zapisach „Projektu z dnia 12 czerwca 2017 r. Ustawy o zmianie ustawy - prawo atomowe”.

Udział w pracach WG3 jest okazją do aktualizacji i walidacji polskiego modelu CLRP (Concentration Levels Rapid Predictions) w oparciu o rozszerzone bazy danych oraz nowe scenariusze oraz zdobycia niezbędnego doświadczenia do aplikacji w/w standardów w praktyce.

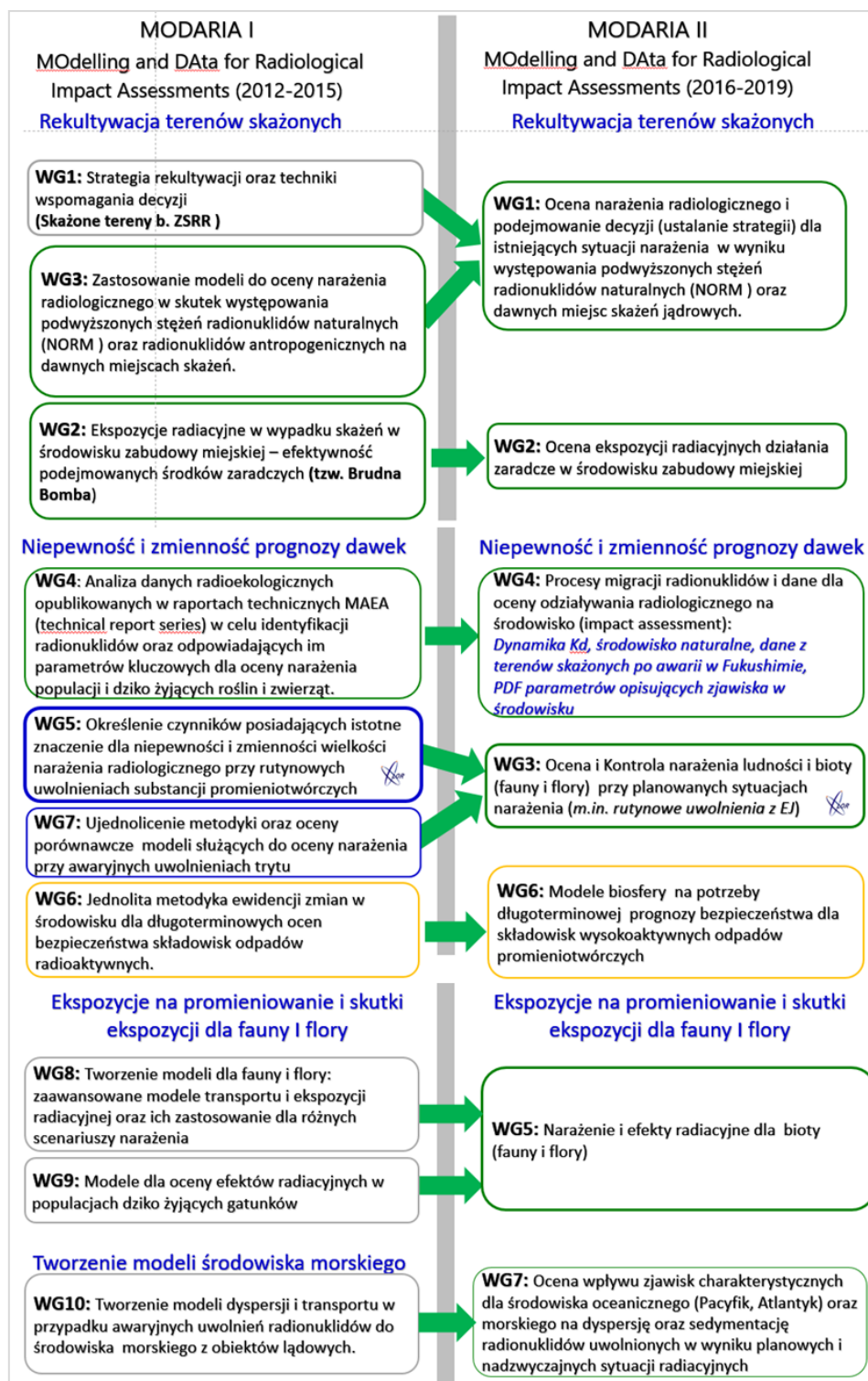
Tabela 1. Historia programów MAEA walidacji modeli radioekologicznych

Kryptonim i nazwa programu	Organizacja sponsorująca (okres funkcjonowania programu)	Specyfikacja i organizacja programu
VAMP: Validation of Model Predictions	MAEA (1988-1996)	Walidacja modeli na bazie Scenariuszy z Czarnobyla, uwolnienia do atmosfery: Centralne Czechy (Central Bohemia) i Finlandia, prognozy dla ^{137}Cs i ^{131}I , opracowywanie nowych danych współczynników transferu radionuklidów w środowisku
BIOMOVS: BIOSpheric Model Validation Study	Swedish Radiation Authority (1991-1996)	Krótkotrwałe i wieloletnie uwolnienia atmosferyczne (Scenariusz BREMEN i Fort COLINS), prognozy dla ^{131}I i ^{137}Cs
BIOMASS: BIOSphere Modelling and ASSessment	MAEA (1996-2001)	Scenariusze Czarnobylskie (środowisko wód powierzchniowych rzeka Prypieć), usuwanie skażeń promieniotwórczych ze środowiska, wieloletnie narażenie środowiska od składowisk odpadów promieniotwórczych: określenie Standardu Biosfery (<i>Reference Biospheres</i>)
EMRAS I: Environmental Modeling for Radiation Safety	MAEA (2003-2007)	Scenariusze rutynowych i nadzwyczajnych sytuacji radiacyjnych (Charnobyl) Poradniki dla tworzenia modeli radioekologicznych, podręczniki z uaktualnionymi danymi współczynnikami transportu radionuklidów między poszczególnymi komponentami środowiska Testowanie i porównanie modeli dla oceny narażenia fauny i flory
EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety	MAEA (2009-2011)	EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety Referencyjna metodyka dla oceny dawek dla ludności: a) referencyjna metodyka przy rutynowych uwolnieniach z EJ b) referencyjna metodyka tworzenia modeli dla oceny efektów gospodarki odpadami promieniotwórczymi i rekultywacji obszarów o wysokim poziomie radionuklidów naturalnych (NORM) i dawnych miejsc skażeń. c) modele referencyjne dla oceny narażenia od składowisk odpadów promieniotwórczych 2) Referencyjna metodyka do oceny dawek dla fauny i flory: a) modele oceny narażenia fauny i flory (BIOTA) b) współczynniki transportu radionuklidów w ekosystemie dziko żyjących roślin i zwierząt (Podręcznik) c) modele dla oceny skutków dawek radiacyjnych otrzymywanych przez przedstawicieli fauny i flory 3) Metodyka dla oceny narażenia w nadzwyczajnych zdarzeniach radiacyjnych: a) uwolnienia trytu (HTO, OBT) podczas awarii w obiektach jądrowych

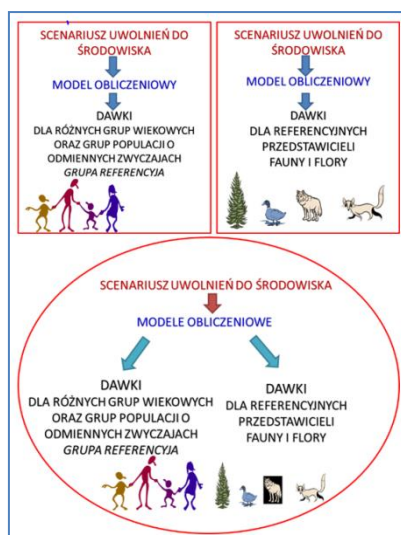
		<p>b) wrażliwość środowiska na promieniowanie</p> <p>c) obszary miejskie (modele dla oceny narażenia ludności w wypadku użycia urządzenia rozpraszającego substancje promieniotwórcze na obszarach miejskiej zabudowy)</p>
<p>MODARIA I:</p> <p>MOdelling and Data for Radiological Impact Assessments</p>	<p>MAEA (2012-2015)</p>	<p>1) Rekultywacja terenów skażonych</p> <p>a) strategia rekultywacji oraz techniki wspomaganie decyzji (skażone tereny b. ZSRR)</p> <p>b) ekspozycje radiacyjne w wypadku skażeń w środowisku zabudowy miejskiej – efektywność podejmowanych środków zaradczych</p> <p>c) zastosowanie modeli do oceny narażenia radiologicznego środowiska w skutek występowania podwyższonych stężeń radionuklidów naturalnych (NORM) oraz radionuklidów antropogenicznych na dawnych miejscach skażeń.</p> <p>2) Niepewność i zmienność prognozy dawek</p> <p>a) analiza danych radioekologicznych opublikowanych w Raportach technicznych MAEA (Technical report Series) w celu identyfikacji radionuklidów oraz odpowiadających im parametrów kluczowych dla oceny narażenia populacji i dziko żyjących roślin i zwierząt.</p> <p>b) określenie czynników posiadających istotne znaczenie dla niepewności i zmienności prognozy narażenia radiologicznego przy rutynowych uwolnieniach substancji promieniotwórczych</p> <p>c) jednolita metodyka ewidencji zmian w środowisku dla długoterminowych ocen bezpieczeństwa składowisk odpadów radioaktywnych.</p> <p>d) ujednoczenie metodyki oraz oceny porównawcze modeli służących do oceny narażenia przy awaryjnych uwolnieniach trytu</p> <p>3) Ekspozycje na promieniowanie i skutki ekspozycji dla fauny I flory</p> <p>a) tworzenie modeli dla fauny i flory: zaawansowane modele transportu i ekspozycji radiacyjnej oraz ich zastosowanie dla różnych scenariuszy narażenia</p> <p>b) modele dla oceny efektów radiacyjnych w populacjach dziko żyjących gatunków</p> <p>4) Modele środowiska morskiego</p> <p>a) tworzenie i walidacja modeli dyspersji i transportu w przypadku awaryjnych uwolnień radionuklidów do środowiska morskiego z obiektów lądowych.</p>



Rysunek 2. Diagram obrazujący dwa różne podejścia przy prowadzeniu obliczeń modelowych: deterministyczne i probabilistyczne.



Rysunek 3. Zmiany organizacyjne grup roboczych w programie MODARIA II



Rysunek 4. Schemat obrazujący zintegrowaną ocenę dawek dla człowieka oraz fauny i flory przy rutynowych uwolnieniach pierwiastków promieniotwórczych.

Literatura

BIOMASS 1 (2002), Modelling the Migration and Accumulation of Radionuclides in Forest Ecosystems, IAEA BIOMASS-1, 2002, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass1_web.pdf

BIOMASS 2 (2003), Testing of environmental transfer models using data from the atmospheric release of Iodine-131 from the Hanford site, USA, in 1963, IAEA-BIOMASS-2, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass2_web.pdf

BIOMASS 3 (2003), Modelling the environmental transport of tritium in the vicinity of long term atmospheric and sub-surface sources, IAEA-BIOMASS-3, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass5_web.pdf

BIOMASS 4 (2003), Testing of environmental transfer models using Chernobyl fallout data from the Iput River catchment area, Bryansk Region, Russian Federation, IAEA-BIOMASS-4, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass4_web.pdf

BIOMASS 5 (2003), Modelling the transfer of radionuclides to fruit, IAEA-BIOMASS-5, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass5_web.pdf

BIOMASS 6 (2003), "Reference Biospheres" for Solid Radioactive Waste Disposal, IAEA-BIOMASS-6, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass6_web.pdf

BIOMASS 7 (2004), Testing of environmental transfer models using data from the remediation of a radium extraction site, IAEA-BIOMASS-7, (2004, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass7_web.pdf

BIOMOVS (1991), Proceedings of a Symposium on the Validity of Environmental Transfers Models, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1990, Sweden

BIOMOVS II (1996), Uncertainty and Validation: Effect of Model Complexity on Uncertainty Estimates, BIOMOVS II Technical Report No. 16, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1996, Sweden.

BSS 115 (1996), FAO, IAEA, ILO, NEA, PAHO, WHO, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115, Vienna 1996

Dose in Biota: A Comprehensive Review. Journal of Environmental Protection, 5, 751-759.

DS427 2015, A general framework for prospective radiological environmental impact assessment and protection of the public, IAEA DS427 Draft Version 6, Vienna, March 2015.

DS432 2014, Radiation Protection of the Public and Protection of the Environment, DRAFT SAFETY GUIDE DS432, International Atomic Energy Agency, Vienna, September 2014.

Dyr. Rad 2013/59/EURATOM, DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM, z dnia 5 grudnia 2013 r., ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom, Dz. U. L. 13 z 17.1.2014, s. 73

EMRAS IWG (2012), The Chernobyl I-131 Release: Model Validation and Assessment of the Countermeasure Effectiveness, IAEA, Assessment and Management of Environmental Releases Unit, Vienna (Austria); [1 CD-ROM]; ISBN 978-92-0-129810-2; ISSN 1011-4289; Jun 2012; 440 p; PROJECT NIAID-Y2-AL-5077; PROJECT NCI-Y3-CO-5117; [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_CD/Reports/Theme_1_WorkingGroup3\(ChernobylI-131Release\)/The%20Chernobyl%20I-131Release-ModelValidationandAssessmentoftheCountermeasureEffectiveness.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_CD/Reports/Theme_1_WorkingGroup3(ChernobylI-131Release)/The%20Chernobyl%20I-131Release-ModelValidationandAssessmentoftheCountermeasureEffectiveness.pdf)

GRS Part 3 (2014), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements, No. GSR Part 3, Vienna, 2014

<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.59077>

ICRP 103 (2007), The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier (2007)

ICRP 109 (2009), Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1), Elsevier (2007)

ICRP 114 (2009), Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants, ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6), Elsevier (2009)

ICRP 124 (2014), Protection of the Environment under Different Exposure Situations, ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1), Elsevier (2014)

Krajewski 2015, Krajewski, P., Krajewska, G., Informacja dotycząca Projektu MODARIA – Modelling and Data for Radiological Impact Assessments, CLOR, Raport roczny-2015, ISBN 978-83-920940-9-8

MODARIA (2012-2015), Modelling and Data for Radiological Impact Assessments, <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#0>

MODARIA WG 5 Report (2016), Report of Working Group 5 "Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides", [http://www-](http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#3)

[ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#3](http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#3)
PAA 2017, Projekt z dnia 12 czerwca 2017 r. Ustawy o zmianie ustawy - prawo atomowe, <https://legislacja.rcl.gov.pl/docs//2/12293151/12398912/12398913/dokument302656.pdf>

PEREIRA 2014, de S. Pereira, W. and Kelecom, A. (2014) International Recommendations on Calculation of Absorbed

Rap. Kom. Rz. (1986), Raport Komisji Rządowej (1986), Komisja Rządowa do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych, 1986, Warszawa.

SRS 19 (2001), Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, IAEA Safety Reports Series No. 19, Vienna, 2001

SS 75 (1986), International Nuclear Safety Advisory Group, Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident, IAEA Safety Series No. 75, 1986, Vienna,

TECDOC 1616 (2010), Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, IAEA-TECDOC-1616, Vienna, 2009.

TECDOC 1678 (2012), Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS), A Summary Report of the Results of the EMRAS Programme (2003–2007), IAEA-TECDOC-1678, Vienna, 2012, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_Web.pdf

TRS 472 (2010), Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, IAEA Technical Reports Series No. 472, Vienna, 2010

TRS 479 (2014), Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife, IAEA Technical Reports Series No. 479, Vienna, 2014

UNSCEAR 2000, UNSCEAR 2000 REPORT Vol. II; SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION; ANNEX J: Exposures and effects of the Chernobyl accident,

http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Annex-J.pdf

VAMP TECDOC 795 (1995), Validation of multiple pathways assessment models using Chernobyl fallout data from the Central Bohemia of Czech Republic- Scenario CB. First report of the VAMP Multiple Pathways Assessment Group, IAEA-TECDOC-795, Vienna, 1995, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_795_prn.pdf

VAMP TECDOC 904 (1996), Validation of Models Using Chernobyl Fallout Data from Southern Finland - Scenario S. Second Report of the VAMP Multiple Pathways Assessment Working Group, IAEA-TECDOC-904, Vienna, 1996, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_904_prn.pdf

VAMP TECDOC-1143 (2000), Modelling of the transfer of radiocaesium from deposition to lake

ecosystems, Report of the VAMP Aquatic Working Group, IAEA-TECDOC-1143, Vienna, 2000, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1143_prn.pdf

VAMP TECDOC-857 (1996), Modelling of radionuclide interception and loss processes in vegetation and of transfer in semi-natural ecosystems. Second report of the VAMP Terrestrial Working Group, IAEA-TECDOC-857 (1996), International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_857_prn.pdf

CLOR 2006 (Umowa Nr 7/SP/2006), Krajewska, G., Opracowanie scenariuszy testowych na potrzeby walidacji modeli obliczeniowych służących do oceny sytuacji radiacyjnej kraju w wypadku zdarzeń radiacyjnych, Umowa Nr 7/SP/2006, CLOR 2006

Pilotażowe badania narażenia na promieniowanie jonizujące oczu ($H_p(3)$) pracowników w placówkach medycznych z wykorzystaniem dozymetrów TLD

G. Krajewska

Wprowadzenie

Soczewka oka jest jedną z najbardziej promieniowrażliwych tkanek w organizmie człowieka.

Wykrywalne zmiany w soczewce zauważyć można przy dawkach o co najmniej rząd wielkości mniejszych, niż obserwowane zmiany w innych tkankach oka. Początkowo zmiany te nie powodują pogorszenia wzroku, jednak ich nasilenie ma tendencję do zwiększania się stopniowo wraz z dawką i upływem czasu. W konsekwencji mogą one prowadzić do częściowego lub całkowitego zmętnienia soczewki.

Ostatnie doniesienia i publikacje wykazują zwiększone ryzyko wystąpienia zaćmy soczewki oka u pracowników narażonych na działanie promieniowania jonizującego. Wcześniej uważano, że granicą progu są dawki 2-5 Gy, ostatnie wyniki wskazują na wystąpienie zaćmy popromiennej po przekroczeniu dawki 0,5 Gy, a najbardziej radykalne sugerują nawet bezprogową indukcję katarakty popromiennej.

Ekspozycja na promienie rentgenowskie podczas medycznych procedur radiologii interwencyjnej stwarza duże ryzyko narażenia zawodowego oczu [UNSCEAR, 2000; IAEA, 2012].

Badania nad występowaniem i indukowaniem zaćmy soczewki oka mają wyraźne konsekwencje przede wszystkim dla pracowników wykonujących zabiegi w radiologii interwencyjnej. Potencjalnie źródłem najwyższych dawek, na które narażony jest personel medyczny pozostają procedury w radiologii, mimo powszechnego stosowania osłon radiacyjnych. Są to wszelkie procedury lecznicze i diagnostyczne dokonywane poprzez skórę pacjenta, wykonywane w znieczuleniu miejscowym lub znieczuleniu ogólnym oraz przy użyciu

obrazowania fluoroskopowego dla lokalizacji zmiany chorobowej i dla monitorowania medycznej procedury radiologicznej, a także kontroli i dokumentowania terapii. Cechą charakterystyczną radiologii zabiegowej są stosunkowo wysokie dawki promieniowania, na jakie narażeni są zarówno pacjenci, jak i personel medyczny. Statystyczne oceny wykazują, że u 5-15% pacjentów poddawanych takim zabiegom stwierdza się popromienne zmiany skórne o różnym nasileniu.

Personel wykonujący zabiegi pozostaje w pobliżu źródła promieniowania X oraz w wysokim zakresie promieniowania rozproszonego, przez kilka godzin dziennie podczas zabiegów co stwarza duże ryzyko narażenia zawodowego. Istotne jest, że głównym źródłem narażenia personelu jest promieniowanie rozproszone powstające w pacjencie.

Wielkości $H_p(3)$ nie stosowano od samego początku w ochronie radiologicznej, w przeciwieństwie do wielkości $H_p(10)$ i $H_p(0,07)$ stosowanych powszechnie od wielu lat. Jednym z powodów, dla których nie istniały dedykowane dawkomierze do pomiaru $H_p(3)$ był m.in. wysoki limit rocznej dawki granicznej, w związku z czym nie było konieczności jej monitorowania oraz nie istniały wiarygodne współczynniki konwersji KAIR/ $H_p(3)$.

W publikacjach ICRU znajduje się stwierdzenie, że "monitorowanie $H_p(3)$ będzie wymagane tylko w wyjątkowych okolicznościach", ponieważ założono, że wartość graniczna dla dawki równoważnej na soczewkę oka nie będzie przekroczona, gdy limity dawki na całe ciało (20 mSv rocznie) oraz dla dawki równoważnej na skórę (500 mSv rocznie) nie są przekroczone.

Wyniki

Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej ICRP zaleciła redukcję obecnie obowiązującego rocznego limitu dawki na soczewki oczu ze 150 mSv na 20 mSv [ICRP 118, 2012].

Limit ten został zatwierdzony i zapisany w nowej dyrektywie Unii Europejskiej [Euratom, 2013].

W konsekwencji redukcji tego limitu koniecznym stało się monitorowanie równoważnika dawki na soczewki oczu, za pomocą wielkości operacyjnej Hp(3), rutynowo nie mierzonej do tej pory [ICRP 103, 2007].

W odpowiedzi na zalecenia mówiące o konieczności pomiarów dawek Hp(3) oraz obniżeniu limitu dawki, rozpoczęto prace w zakresie rozwoju metod dozymetrii soczewki oka, polegające na poszukiwaniu odpowiedniego dawkomierza, fantomu i procedur kalibracji. Pierwsze prace w tym kierunku zostały podjęte w ramach europejskiego projektu ORAMED (ang. Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) [www.oramed-fp7.eu/].

Zaprojektowany w ramach projektu ORAMED w 2011 roku [www.oramed-fp7.eu/] dawkomierz nazwano EYE-DTM i składa się z plastikowej obudowy z kapsułką z poliamidu, w której znajduje się wysokoczuły detektor MCP-N (LiF:Mg, Cu, P) o średnicy 4,5 mm i grubości 0,9 mm (Rysunek 1).



Rysunek 1. Dawkomierz oczny EYE-DTM (także w wersji z opaską do umieszczenia na głowie).

W roku 2015 przeprowadzono w CLOR prace mające na celu wyznaczenie charakterystyki energetycznej detektorów termoluminescencyjnych stosowanych do dozymetrii oka oraz opracowano metodę szacowania narażenia soczewki oka na promieniowanie jonizujące wykorzystując indywidualny równoważnik dawki Hp(3).

Celem poniższych badań pilotażowych było wprowadzenie oraz przetestowanie nowej metody i dawkomierzy do pomiarów dawek na soczewki oczu. W ramach pracy dokonano szczegółowych pomiarów dawek promieniowania jonizującego oraz oceny narażenia pracowników w radiologii interwencyjnej - ze szczególnym uwzględnieniem dawek na soczewki oczu. Wykonano także pomiary dawek na całe ciało oraz na kończyny (ręce), szacując wielkości Hp(10) oraz Hp(0,07).

Pomiary wykonano w dwóch placówkach medycznych: w Mazowieckim Szpitalu Bródnowskim (Pracownia Hemodynamiki) oraz w Pracowni Cewnikowania Serca i Angiografii (Zakład Diagnostyki Obrazowej) Instytutu-Pomnika Centrum Zdrowia Dziecka.

Pracownia Hemodynamiki Mazowieckiego Szpitala Bródnowskiego została utworzona w listopadzie 2004 roku. Wyposażona jest w nowoczesny, cyfrowy angiograf Philips Allura (70 kV, 480 mA).

Rocznie w Pracowni wykonywanych jest ok. 1200 koronarografii oraz ok. 700 zabiegów angioplastyki wieńcowej.

W Pracowni wykonuje się między innymi: badanie naczyń wieńcowych (koronarografia), plastykę naczyń wieńcowych, implantację stentów do naczyń wieńcowych.

Pracownia Cewnikowania Serca i Angiografii jest zlokalizowana w Zakładzie Diagnostyki Obrazowej Instytutu-Pomnika Centrum Zdrowia Dziecka, gdzie pod kontrolą promieni rentgenowskich wykonywane są tzw. inwazyjne badania diagnostyczne układu sercowo-naczyniowego oraz zabiegi terapeutyczne z zakresu kardiologii i radiologii interwencyjnej u dzieci, pacjentów oddziałów klinicznych IPCZD. Badania diagnostyczne (tzw. angiografie) mają na celu zobrazowanie architektury naczyniowej objętych patologią narządów (np. ośrodkowego układu nerwowego, nerek), a w przypadku serca (tzw. kardioangiografie) zobrazowanie poszczególnych jam serca i nieprawidłowości wewnątrzsercowych.

Wyniki prezentowane są w Tabelach 1,2.

Tabela 1. Ocena dawki efektywnej na całe ciało (Hp(10)), na skórę i kończyny (Hp(0,07)) oraz soczewki oka (Hp(3)) dla pracowników Pracowni Hemodynamiki Mazowieckiego Szpitala Bródnowskiego w Warszawie (Sp. z o.o.)

Pracownik	Hp(3)	Hp(10)	Hp(0,07)
1	0,21	X	X
2	LD	X	X
3	0,02	X	0,44
4	0,21	X	0,14
5	LD	X	X
6	LD	X	X
7	0,64	X	X
8	LD	X	X
9	LD	X	X
10	2,26	X	6,2
11	LD	X	X
12	0,46	0,31	1,24
13	0,28	X	X
14	LD	X	X
15	0,08	X	X
16	0,73	x	0,59
17	LD	X	0,29
18	LD	X	X
19	LD	X	X
20	0,41	0,20	X
21	0,39	X	X

Tabela 2. Ocena dawki efektywnej na całe ciało (Hp(10)), na skórę i kończyny (Hp(0,07)) oraz soczewki oka (Hp(3)) dla pracowników Pracowni Cewnikowania Serca i Angiografii (Zakład Diagnostyki Obrazowej) Instytutu-Pomnika Centrum Zdrowia Dziecka w Warszawie

Pracownik	Hp(3)	Hp(10)	Hp(0,07)
1	0,21	X	X
1	LD	X	X
2	LD	X	X
3	LD	X	X
4	LD	X	X
5	0,33	X	X
6	LD	X	X
7	LD	X	X
8	LD	X	X
9	LD	X	X
10	LD	X	X
11	LD	X	X
12	LD	X	X
13	0,19	X	X
14	LD	X	X
15	LD	X	X
16	LD	X	X
17	LD	X	X
18	LD	X	X
19	LD	X	X
20	0,03	X	X

21	LD	X	X
22	0,13	X	X
23	LD	X	X
13	0,28	X	X
14	LD	X	X
15	0,08	X	X
16	0,73	x	0,59
17	LD	X	0,29
18	LD	X	X
19	LD	X	X
20	0,41	0,20	X
21	0,39	X	X
22	0,13	X	X
23	LD	X	X

Wnioski

Radiologia interwencyjna prowadzi do narażenia gałki ocznej osób wykonujących zabiegi (zarejestrowano dawki zarówno u osób bezpośrednio wykonujących zabieg jak i „towarzyszących”).

W grupie badanych pracowników nie zarejestrowano przekroczenia limitu dla narażonych zawodowo, dawki nie były wyższe niż 3 mSv na rok.

Istnieje prawdopodobnie korelacja pomiędzy dawkami na skórę (mierzone dozymetrem pierścionkowym), a dawkami na gałkę oczną personelu - nie uchwycono liczbowej zależności z powodu zbyt małej ilości wyników, jednak wymaga to dalszych badań.

Finansowanie

Praca była finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

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

G. Krajewska

Wprowadzenie

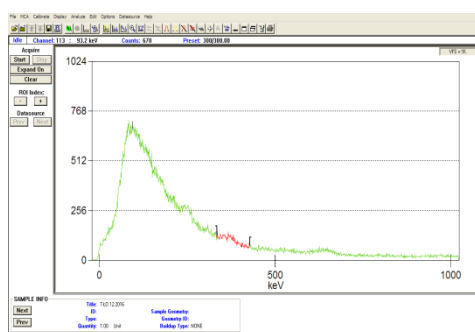
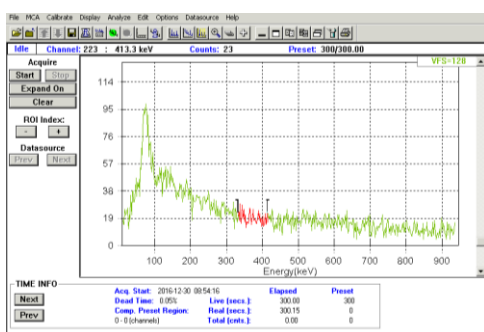
Pomiary aktywności jodu zdeponowanego w tarczycy są wykonywane w Laboratorium Monitoringu Jodu CLOR z użyciem dwóch zestawów spektrometru promieniowania gamma - stacjonarnego i przenośnego. Aparatura umożliwia pomiary jodu w tarczycy w miejscu wystąpienia awarii lub lokalnego skażenia jodem, na stanowiskach 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 obejmowały w 2016 r., między innymi, zadanie utrzymania w gotowości aparatury do podjęcia natychmiastowych pomiarów zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy, polegające na wykonywaniu systematycznych pomiarów tła w fotopiku izotopów ^{125}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ oraz

^{131}I oraz testowaniu prawidłowości działania modułów elektronicznych zestawów pomiarowych, a także zadanie wykonania pomiarów zawartości radioizotopów jodu-131 i technetu-99m w tarczycy, które zostały wykonane u pracowników zakładów medycyny nuklearnej w Polsce prowadzących badania diagnostyczne i terapeutyczne związane z chorobami gruczołu tarczowego.

Wyniki

Tło w pomieszczeniu Laboratorium Monitoringu Jodu, mierzone systematycznie dwukrotnie w ciągu miesiąca, wynosiło 3, 4, 3 cps w fotopiku izotopów ^{125}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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. Na Rysunku 1 przedstawiono widmo promieniowania tła zmierzone zestawem stacjonarnym i przenośnym.



Rysunek 1. Widmo tła w pomieszczeniu laboratoryjnym zmierzone zestawem stacjonarnym (zdjęcie po lewej stronie) i zestawem przenośnym (zdjęcie po prawej stronie).

W roku 2016 wykonano pomiary zawartości jodu promieniotwórczego ^{131}I oraz technetu $^{99\text{m}}\text{Tc}$ w tarczycach osób stanowiących personel medyczny w Zakładzie Medycyny Instytutu „Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka” (ZMNIPCZD)

w Warszawie, Zakładzie Medycyny Nuklearnej Międzyleskiego Szpitala Specjalistycznego (ZMN MSS) w Warszawie, Oddziale Klinicznym Endokrynologii, Przemiany Materii i Chorób

Wewnętrznych Szpitala Klinicznego (SZKL) w Poznaniu.

W powyższych placówkach, z użyciem jodu promieniotwórczego, prowadzone są badania diagnostyczne - scyntygraficzne we tarczycy, wychwyt tarczycowy, oznaczanie poziomu hormonów tarczycowych oraz badania terapeutyczne - leczenie schorzeń tarczycy, w tym nowotworów w systemie oddziaływym. Ponadto prowadzone są badania diagnostyczne innych narządów z użyciem technetu.

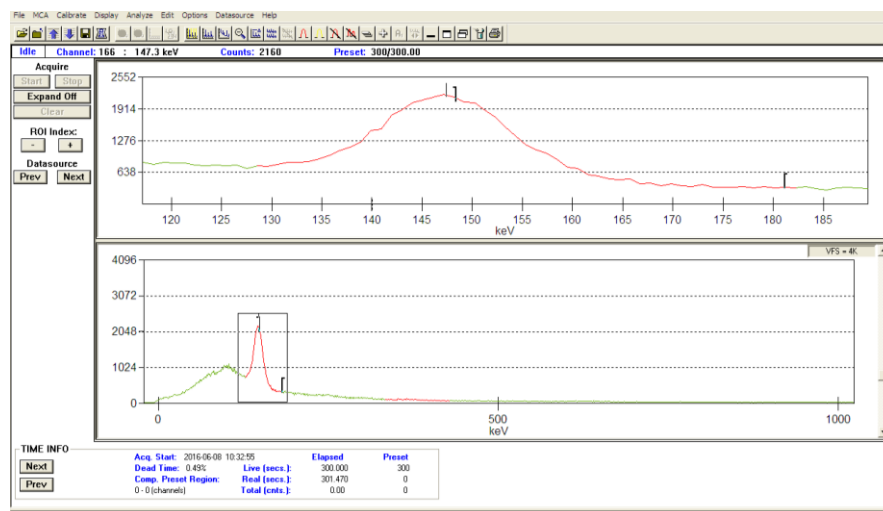
Wyniki pomiarów aktywności jodu-131 (i technetu-99m) w tarczycy oraz oszacowanych

dawek od wchłonięć ^{131}I u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Instytutu „Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka” (ZMNIPCZD) w Warszawie przedstawiono w Tabeli 1 i na Rysunku 2, zaś analogiczne wyniki dla pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Międzyzleskiego Szpitala Specjalistycznego w Warszawie przedstawiono w Tabeli 2 i na Rysunku 3. Wyniki pomiarów u pracowników Oddziału Klinicznego Endokrynologii, Przemiany Materii i Chorób Wewnętrznych Szpitala Klinicznego w Poznaniu przedstawiono w Tabeli 3 oraz na Rysunkach 4-5.

Tabela 1. Wyniki pomiarów poziomów aktywności jodu promieniotwórczego u pracowników w Zakładzie Medycyny Instytutu „Pomnik Centrum Zdrowia Dziecka” (ZMNIPCZD) w Warszawie.

Pracownik	Zmierzona w tarczycy aktywność ^{131}I [Bq]	Oszacowana dawka skuteczna od rocznych wchłonięć ^{131}I [mSv]	Procent maksymalnej dawki skutecznej dla narażonych zawodowo (20 mSv)	Zmierzona w tarczycy aktywność $^{99\text{m}}\text{Tc}/^{99\text{m}}\text{Tc} + ^{123}\text{I}$ [Bq]
I.C.	<68*)	<0.38	<1.90	-
A.C.	<68	<0.38	<1.90	-/240
B.M.	<68	<0.38	<1.90	2150/-
B.Ma.	<68	<0.38	<1.90	-/250
M.H.	<68	<0.38	<1.90	-
M.G.	<68	<0.38	<1.90	-
P.Ł.	<68	<0.38	<1.90	-
A.Ś.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Najmniejsza mierzalna aktywność

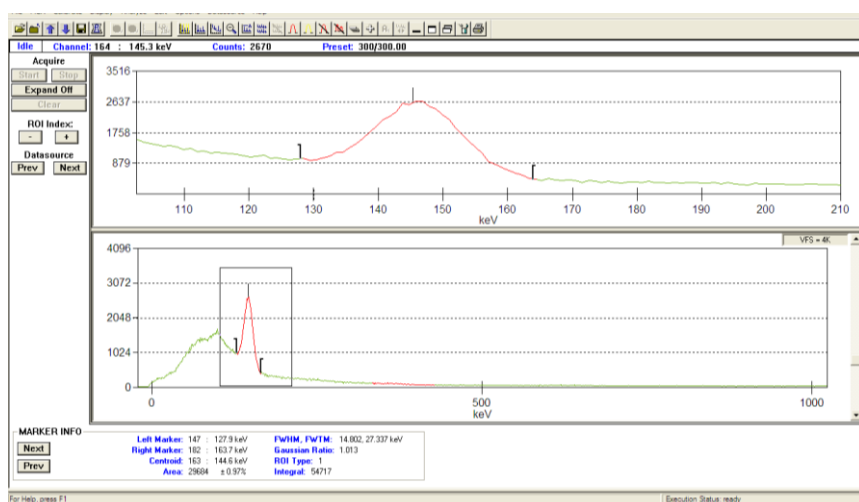


Rysunek 2. Widmo promieniowania zmierzone u pracownika B.M. (ZMN IPCZD) (widoczny pik $^{99\text{m}}\text{Tc}$).

Tabela 2. Wyniki pomiarów poziomów aktywności jodu promieniotwórczego u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Międzyleskiego Szpitala Specjalistycznego (ZMN MSS) w Warszawie.

Pracownik	Zmierzona w tarczycy aktywność ^{131}I [Bq]	Oszacowana dawka skuteczna od rocznych wchłonieć ^{131}I [mSv]	Procent maksymalnej dawki skutecznej dla narażonych zawodowo (20 mSv)	Zmierzona w tarczycy aktywność $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [Bq]
E.S.	<68*)	<0.38	<1.90	-
J.S.	<68	<0.38	<1.90	-
M.A.	<68	<0.38	<1.90	-
M.G.	<68	<0.38	<1.90	1440
T.S.	<68	<0.38	<1.90	2400
A.R.	<68	<0.38	<1.90	2520
H.W.	<68	<0.38	<1.90	1850
J.M.	<68	<0.38	<1.90	-
A.K.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Najmniejsza mierzalna aktywność



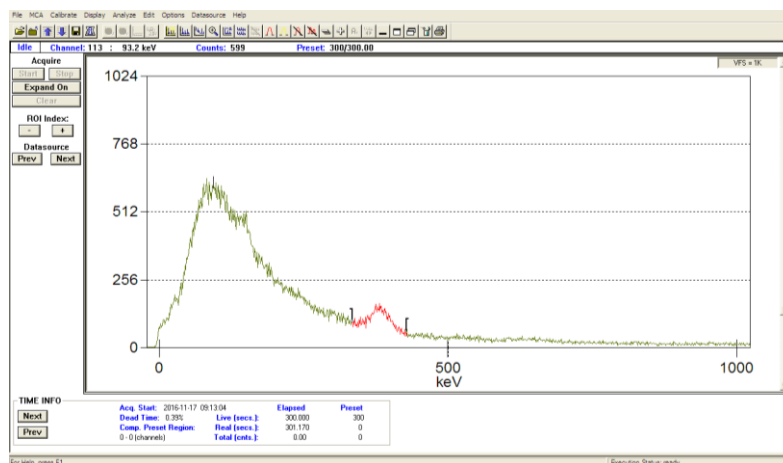
Rysunek 3. Widmo promieniowania zmierzone u pracownika A.R. (ZMN MSS) (widoczny pik $^{99\text{m}}\text{Tc}$).

Tabela 3. Wyniki pomiarów poziomów aktywności jodu promieniotwórczego u pracowników Oddziału Klinicznego Endokrynologii, Przemiany Materii i Chorób Wewnętrznych Szpitala Klinicznego (SZKL) w Poznaniu.

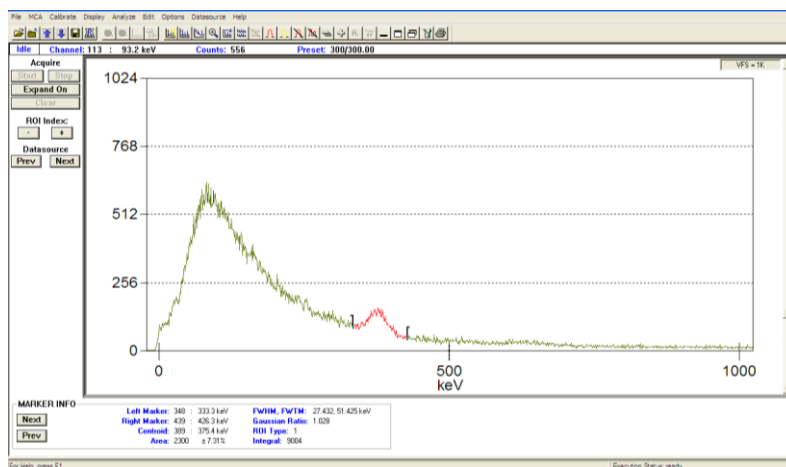
Pracownik	Zmierzona w tarczycy aktywność ^{131}I [Bq]	Oszacowana dawka skuteczna od rocznych wchłonieć ^{131}I [mSv]	Procent maksymalnej dawki skutecznej dla narażonych zawodowo (20 mSv)
A. B.	<68*)	<0.38	<1.90
K. O.	360	1.00	5.00
M. O.	<68	<0.38	<1.90
K. S.	650	1.95	9.75
A. P.	250	0.75	3.75
W. W.	<68	<0.38	<1.90
G. W.	1500	4.50	22.50
M. S.	<68	<0.38	<1.90
L. W.	1170	3.53	17.63
K. D.	500	1.50	7.50
Z. R.	<68	<0.38	<1.90
B. B.	250	0.75	3.75
R. O.	<68	<0.38	<1.90

E. R.	<68	<0.38	<1.90
J. N.	<68	<0.38	<1.90
E. G.	<68	<0.38	<1.90
D. Ł.-C.	<68	<0.38	<1.90
A. N.	<68	<0.38	<1.90
E. P.	400	1.20	6.00
A. S..	<68	<0.38	<1.90
L. P.	250	0.75	3.75
A. G.	<68	<0.38	<1.90
A. Ż.	<68	<0.38	<1.90
E. S.-B.	<68	<0.38	<1.90
W. B.	395	1.19	5.93
M. M.	150	0.45	2.25
M. F.	250	0.75	3.75
M. G.	100	0.30	1.50
R. L.	<68	<0.38	<1.90
A. S.	<68	<0.38	<1.90
M. R.	<68	<0.38	<1.90
A. K.	<68	<0.38	<1.90
Ż. M.	<68	<0.38	<1.90
A. P.	700	2.10	10.50
A. B.	1150	3.45	17.25
R. S.	615	1.85	9.23
K. W.	100	0.30	1.50
M. Gł.	1010	3.03	15.15

*) Najmniejsza mierzalna aktywność



Rysunek 4. Widmo promieniowania zmierzone u pracownika G.W. (SZKL) (widoczny pik ^{131}I).



Rysunek 5. Widmo promieniowania zmierzone u pracownika A.B. (SZKL) (widoczny pik ^{131}I).

Wnioski

Poziomy aktywności jodu I-131 w tarczycy u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Instytutu „Pomnik Centrum Dziecka” w Warszawie, w którym przeprowadzono pomiary, były niskie (Tabela 1.), pomiary nie przekroczyły wartości najmniejszej mierzalnej aktywności. W kilku przypadkach stwierdzono obecność izotopu Tc-99m lub Tc-99m i I-123 z powodu wykonywania przez ZMN dużej ilości badań diagnostycznych z użyciem tych izotopów.

Poziomy aktywności jodu I-131 w tarczycy u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Międzyleskiego Szpitala Klinicznego w Warszawie, w którym przeprowadzono pomiary, były także niskie (Tabela 2.), pomiary nie przekroczyły wartości najmniejszej mierzalnej aktywności. W kilku przypadkach stwierdzono obecność izotopu Tc-99m, ponieważ w ZMN wykonuje się dużą ilość

badań diagnostycznych, głównie scyntygrafii różnych narządów, z użyciem Tc-99m.

Poziomy aktywności jodu I-131 w tarczycy u pracowników Oddziału Klinicznego Endokrynologii, Przemiany Materii i Chorób Wewnętrznych Szpitala Klinicznego w Poznaniu, w którym przeprowadzono pomiary, były zróżnicowane (Tabela 3.) Pomiary były w przedziale wartości najmniejszej mierzalnej aktywności do około 1500 Bq. Szacowane dawki nie przekroczyły 23% dawki maksymalnej dla narażonych zawodowo. Maksymalne aktywności zmierzono u pracowników oddziału łóżkowego „zamkniętego”, na którym przebywają pacjenci po podaniu dawek terapeutycznych.

Finansowanie

Praca była finansowana przez Państwową Agencję Atomistyki w ramach Umowy nr 13/OR/2015/14.

Utrzymanie wzorców promieniowania oraz utrzymanie i rozwój systemu zapewnienia jakości wzorcowania przyrządów dozymetrycznych

A. Kudynowska, K. Wołoszczuk, Ł. Modzelewski, A. Wiśniewski,
Z. Podgórska, I. Słonecka, K. Szewczak

Wstęp

Funkcjonowanie Laboratorium wzorcującego, w szczególności posiadającego akredytację na prowadzone w nim wzorcowania wymaga trzech podstawowych elementów w swojej działalności:

- wymaganie utrzymania posiadanej infrastruktury oraz systemu zarządzania,
- realizację inwestycji oraz
- oceny osiągnięć w celu wyznaczania celów w swojej działalności.

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR) funkcjonujące w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie jest wiodącym tego typu Laboratorium w Polsce. Początki Pracowni wzorcowania w CLOR sięgają 1958 roku. Pierwszym pomieszczeniem była sala na terenie Elektrociepłowni Żerań wyposażona w przemysłowy aparat rentgenowski. Obecnie powierzchnia LWPDiR obejmują dwie hale kalibracyjne, pomieszczenie z komorą radonową oraz pomieszczenia techniczne i biurowe. Kluczowym momentem w funkcjonowaniu LWPDiR było uzyskanie w 2003r akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji na prowadzenie wzorcowań zgodnie z zatwierdzonymi procedurami, zgodnymi z wymaganiami normy międzynarodowej PN/EN ISO-IEC 17025. Obecnie zadania Laboratorium realizuje personel w skład którego wchodzi: 3 osoby ze stopniem doktora, 5 osób z tytułem magistra oraz 4 osoby inżyniersko-techniczne. LWPDiR jest jednostką o najszerszym zakresie akredytowanych stanowisk wzorcowania, patrz Rysunek 1.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) - Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR) - numer akredytacji AP 057

Laboratorium otrzymało akredytację w 2003 roku. Początkowo prowadzono wzorcowania wyłącznie przyrządów do pomiaru promieniowania γ , obecnie posiada ono najszerszy zakres akredytacji w Polsce.

Rodzaj promieniowania	Zródło / Widmo	Energia / * Energia średnia
Promieniowanie γ	⁶⁰ Co ¹³⁷ Cs ²⁴¹ Am	1250 keV 662 keV 59,5 keV
Promieniowanie rentgenowskie	N-60 N-80 N-100 N-120 N-150 N-200 N-250 N-300	* 48 keV * 65 keV * 83 keV * 100 keV * 118 keV * 164 keV * 208 keV * 250 keV
Promieniowanie β	⁹⁰ Sr ⁸⁵ Kr	546 keV 687,1 keV
Promieniowanie neutronowe	Am/Be	* 4,4 MeV
Powierzchniowa emisja promieniowania α	²⁴¹ Am	5,48 MeV
Powierzchniowa emisja promieniowania β	¹⁴ C ⁹⁰ Sr ³⁶ Cl	156,5 keV 546 keV 708,6 keV
Stężenie radonu w powietrzu Stężenie energii potencjalnej α	generator radonu z ²²⁶ Ra	

Rysunek 1. Zestawienie możliwości pomiarowych LWPDiR

W ramach Laboratorium funkcjonuje system zarządzania jakością na który składają się: Księga Jakości, 18 procedur ogólnych, 5 procedur wzorcowania oraz 11 instrukcji technicznych. Dokumenty te wymagają ciągłego nadzoru oraz aktualizacji co składa się ogólnie na proces ich utrzymania. Ważnym elementem funkcjonowania LWPDiR są procesy związane ze sterowaniem jakością pomiarów. W tym celu każdego roku realizowanych jest w Laboratorium około 34 pozycji, różnego rodzajów sprawdzeń i testów,

które mają zagwarantować poprawność przeprowadzanych w Laboratorium wzorcowań. Dodatkowo w ramach procesu sterowania jakością wykorzystywana jest również infrastruktura Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych CLOR, w szczególności aparatura metody dozymetrii termoluminescencyjnej.

Utrzymanie infrastruktury oraz systemu zapewnienia jakości w LWPDiR realizowane było w 2016r dzięki wsparciu Ministerstwa Energii na podstawie umowy nr 74/II/P/15004/2830/16/DEJ na „UTRZYMANIE WZORCÓW PROMIENIOWANIA ORAZ UTRZYMANIE I ROZWÓJ SYSTEMU ZAPEWNIENIA JAKOŚCI WZORCOWANIA PRZYRZĄDÓW DOZYMOMETRYCZNYCH„ Zakres umowy obejmował dwa zadania podzielone na poszczególne działania:

ZADANIE 1

- Kalibracja wzorców odniesienia

- Konserwacja układu klimatyzacji
- Rekalibracja źródeł powierzchniowych

ZADANIE 2

- Audyty wewnętrzne
- Uczestnictwo w systemie akredytacji
- Audyty zewnętrzne
- Uczestnictwo w szkoleniach
- Udział w konferencjach

Zadania określone umową zostały w pełni zrealizowane z niewielkimi przesunięciami czasowymi, które jednak nie miały wpływu na efektywność ich realizacji.

W ramach zadania 1 przeprowadzono serie kalibracji wzorców odniesienia wykorzystywanych w Laboratorium do wyznaczania wartości wzorcowych wielkości mierzonych. Wykaz przeprowadzonych kalibracji prezentuje Tabela 1.

Tabela 2. Wykaz kalibracji wzorców odniesienia LWPDiR zrealizowanych w 2016 roku

Wzorzec odniesienia	Laboratorium wzorcujące	Stanowisko kalibracyjne
PTW Ionization chamber M23361 (nr 0340, objętość 30cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlandia	GAMMA
PTW Ionization chamber TM32002 (nr 0089, objętość 1000cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlandia	GAMMA
PTW Ionization chamber M23361 (nr 0340, objętość 30cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	PTW, Niemcy	RTG
PTW Ionization chamber M32002 (nr 0027, objętość 1000cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlandia	RTG
Monitor AlphaGUARD PQ2000 PRO (nr 1103)	SUJCHBO, Czechy	Radonowe
Monitor Radon WL Meter (nr S39812-763)	SUJCHBO, Czechy	Radonowe

W ramach zadania 1 przeprowadzono również konserwację układów klimatyzacji i wentylacji w sali kalibracyjnej Gamma oraz przeprowadzono rekalibrację czterech źródeł powierzchniowych, służących w LWPDiR jako wzorce odniesienia w przypadku kalibracji przyrządów przeznaczonych do pomiarów skażeń powierzchniowych.

Zadanie 2 ukierunkowane było na działalność systemową związaną z utrzymanie dokumentacji

oraz prowadzenie procesu audytowego w Laboratorium. W ramach tego zadania przeprowadzono 4 audyty wewnętrzne oraz pokryto koszt przeprowadzenia audytów przez pracowników PCA. Istotnym elementem prawidłowo funkcjonującego Laboratorium jest podnoszenie kwalifikacji personelu odpowiedzialnego za jego działanie. W 2016r w ramach zadania 2 pracownicy LWPDiR

uczestniczyli w 6 konferencjach, prowadzone były szkolenia wewnętrzne.

Kolejnym elementem zrealizowanym dzięki dotacji Ministerstwa Energii w ramach umowy inwestycyjnej nr 77/II/P/15004/6230/16/DEJ „ZAKUP ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA ORAZ WZORCÓW WTÓRNYCH W CELU UTRZYMANIA ORAZ ROZWÓJ SYSTEMU ZAPEWNIENIA JAKOŚCI WZORCOWANIA PRZYRZĄDÓW DOZYMTRYCZNYCH” było przeprowadzenie inwestycji polegającej na zakupie: źródła Co-60, zestawu wzorców odniesienia oraz kompletu aktywnych dawkomierzy personalnych. Realizacja zadania pozwoliła na rozszerzenie zakresu pomiarowego przy wykorzystaniu źródła Co-60 z 2,5 mGy/h do 100 mGy/h. Rozszerzenie to pozwala na wzorcowanie większości przyrządów w ich pełnym zakresie pomiarowym. Doposażenie Laboratorium o zestaw nowych wzorców wtórnych umożliwiło realizację procesu wzorcowania na wyższym poziomie dokładności, obniżając niepewność wartości wzorcowych. W ramach zakupu Laboratorium wzbogaciło się między innymi o wysoce specjalistyczną komorę ekstrapolacyjną typu Bohm przeznaczoną do pomiarów niskoenergetycznego promieniowania X oraz promieniowania beta. Dawkomierze aktywne, wyposażone w detektor gamma oraz neutronowy pozwalające na ciągłą kontrolę narażenia personelu podniosły standard bezpieczeństwa w Laboratorium, w szczególności w perspektywie wykorzystywania w LWPDiR zarówno źródeł gamma jak i neutronowych. Łącznie zakupiono 5 sztuk przyrządów MGP typ DMC 2000 GN.

Ostatnim elementem koniecznym do rozwoju Laboratorium wzorcującego jest analiza jego osiągnięć oraz nakreślenie planów. W 2016r pracownicy LWPDiR opublikowali 2 publikacje w czasopiśmie ze współczynnikiem wpływu IF. Prace realizowane w Laboratorium prezentowane były na 6 konferencjach w tym trzech o zasięgu międzynarodowym. Istotnym elementem działalności były zadania dydaktyczne realizowane w formie realizacji w LWPDiR prac dyplomowych, głównie studentów Politechniki Warszawskiej. W 2016 roku zrealizowano 3 prace inżynierskie oraz 1 magisterską, dodatkowo rozpoczęte zostały badania w ramach 2 kolejnych prac inżynierskich oraz jednej magisterskiej.

Działalność Laboratorium ukierunkowana była również na włączaniu się w realizację projektów zewnętrznych. W wyniku tych działań LWPDiR z ramienia CLOR włączone zostało do konsorcjum realizującego projekt europejski w ramach platformy EURAMET. Dzięki temu w latach 2017-2020 pracownicy Laboratorium realizować będą zadania ujęte w projektach MetroRADON oraz Preparedness finansowanych przez EURAMET.

W perspektywie działań na najbliższy okres przewidziano akredytację kolejnego stanowiska pomiarowego umożliwiającego przeprowadzanie kalibracji w niskoenergetycznych wiązkach promieniowania X. Założono w pierwszej kolejności wiązkę promieniowania charakterystycznego o energiach średnich 23,2; 25,3 oraz 75,0 keV. W tym zakresie przeprowadzono już pilotażowe badania, opracowano schemat układu oraz przeprowadzono pierwszą charakterystykę wiązek. Kolejnym działaniem perspektywicznym będzie modernizacja oraz rozbudowa stanowiska neutronowego. W tym celu punktem newralgicznym jest adaptacja kolejnego pomieszczenia (hali) w obrębie CLOR na niskorozproszeniowe stanowisko neutronowe. Ostatnim zakładanym celem jest realizacja projektu:

„STWORZENIE INFRASTRUKTURY ORAZ OPRACOWANIE METODY KALIBRACJI SYSTEMÓW MONITORINGU POZIOMU PROMIENIOWANIA NATURALNEGO NA TERENIE POLSKI”. Jako podstawę do jego realizacji przyjmuje się iż kalibracja przyrządów dedykowanych do monitoringu naturalnego poziomu promieniowania wymaga rozbudowanych metod kalibracyjnych. Obecnie wykonanie prawidłowej kalibracji tego typu przyrządów jest możliwe wyłącznie poza granicami Polski, np. Niemcy. Celem więc projektu będzie utworzenie oraz utrzymanie stanowisk kalibracyjnych pozwalających na przeprowadzenie badań odpowiedzi przyrządów, oddzielnie na promieniowanie ziemskie oraz kosmiczne. Zakres projekt powinien obejmować utworzenie stanowisk kalibracyjnych:

- z powierzchnią referencyjną o wymiarach minimum 15x15 m
- niskotłowe, z odcięciem składowej kosmicznej
- z odcięciem składowej ziemskiej – na powierzchni zbiornika wodnego (np. jezioro).

Charakterystyka pola neutronowego wytwarzanego z generatora D-T do celów ustanowienia stanowiska kalibracyjnego

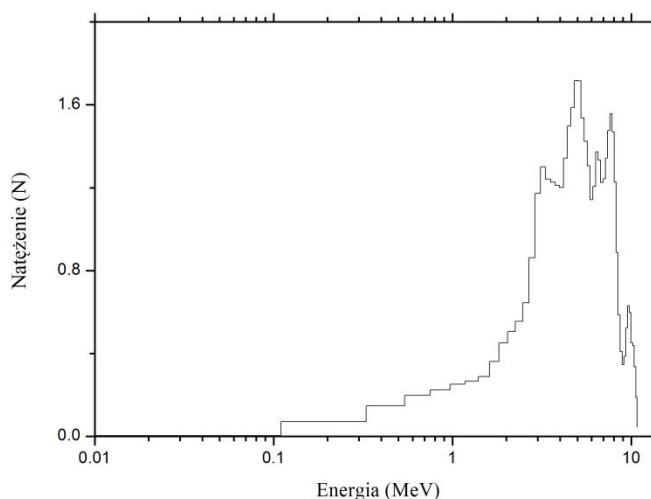
I. Słonecka, K. Szewczak, Ł. Modzelewski, Z. Podgórska, K. Wołoszczuk

Wprowadzenie

Podstawowym wymogiem podczas wzorcowania przyrządu dozymetrycznego jest aby jego wzorcowanie odbywało się w wiązce promieniowania jak najbardziej zbliżonej pod kątem jej własności, do pola promieniowania występującego w miejscu używania przyrządu przez właściciela. Wymóg ten w szczególności dotyczy przyrządów przeznaczonych do pomiarów promieniowania neutronowego. Dzieje się tak ze względu na dużą zależność odpowiedzi przyrządów neutronowych w funkcji energii rejestrowanych neutronów. Obecnie zarówno w Polsce jak i na świecie odnotować można wzrost zastosowania źródeł neutronowych opartych na akceleratorach (generatory neutronów) a także wzrost narażenia na neutrony jako cząstki wtórne przy wiązkach akceleratorowych, tyczy się to w szczególności branży medycznej. Wraz ze wzrostem aplikacji neutronów naturalna staje się potrzeba rozwoju metod oraz stanowisk kalibracyjnych umożliwiających zarówno testowanie aktywnych przyrządów dozymetrycznych jak i ekspozycję dawkomierzy pasywnych w celu ich kalibracji.

Obecnie w Polsce funkcjonują tylko dwa stanowiska kalibracyjne, na których możliwe jest eksponowanie dawkomierzy we wzorcowych polach promieniowania neutronowego. Obydwa stanowiska wykorzystują izotopowe źródła promieniowania neutronowego i są to przede

wszystkim źródła Am/Be, Cf oraz Pu/Be. Dla wymienionych źródeł średnia energia emitowanych neutronów jest na poziomie kilku MeV, dla przykładu dla źródła Am/Be średnia energia neutronów w skali przestrzennego równoważnika dawki wynosi 4,4 MeV. Dodatkowo rozkład energetyczny neutronów emitowanych ze źródła izotopowego ma charakter ciągły, często z występującymi kilkoma ekstremami jak na przykład dla źródła Am/Be, patrz Rysunek 1. Fakt ten powoduje iż wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych odbywa się w niemonoenergetycznej wiązce neutronów co z kolei wywiera znamienny wpływ na wyniki tego wzorcowania. W sytuacji idealnej, w celu poznania dokładnej odpowiedzi wzorcowanego przyrządu należałoby wykonać jego wzorcowanie w serii monoenergetycznych pól promieniowania neutronowego. Możliwość taka powstaje dzięki zastosowaniu źródeł promieniowania neutronowego opartych na akceleratorach cząstek. Szczególnie istotne są tu reakcje wykorzystujące wiązki protonową oraz deuterową. Pierwsze z nich umożliwiają wytwarzanie neutronów o energiach na poziomie od 0,025 MeV (reakcje $T(p,n)^3\text{He}$ oraz $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$) do 2,5 MeV (reakcja $T(p,n)^3\text{He}$). W przypadku układów akceleryjnych jąder deuteru możliwe jest wytwarzanie neutronów w zakresie energii do 19 MeV (reakcja $T(d,n)^4\text{He}$).



Rysunek 1. Widmo energetyczne neutronów emitowanych ze źródła izotopowego Am/Be.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej dysponuje neutronowym stanowiskiem kalibracyjnym, które funkcjonuje w ramach Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych. Stanowisko wyposażone jest w dwa źródła promieniowania neutronowego: źródło izotopowe Am/Be oraz generator neutronów typu D-T. Podstawową różnicą w charakterystyce pól pochodzących z dwóch wymienionych źródeł jest geometria emitowanego pola neutronowego. W przypadku źródła izotopowego, ze względu na umieszczenie źródła w osłonie biologicznej, wiązka neutronów wyprowadzana jest przez otwór kolimacyjny o kształcie ściętego stożka. W wyniku osłonności kolimatora mamy w tym przypadku do czynienia z wiązką skolimowaną o przekroju kołowym. W przypadku generatora neutronów, emisja neutronów odbywa się w geometrii 4π z pewnymi kierunkami uprzywilejowanymi ze względu na konstrukcję układu typu wiązka-tarcza. Ze względu na powyższe w przypadku generatora neutronów niezbędne jest kompleksowe scharakteryzowanie wiązki neutronów w celu możliwości jej zastosowania do celów kalibracyjnych.

Praca wykonana w ramach opisywanego zadania statutowego obejmowała trzy kluczowe aktywności badawcze, których rezultaty mają posłużyć do walidacji geometrii wiązki neutronowej na stanowisku kalibracyjnym wyposażonym w generator neutronowy typu D-T. Aktywności te obejmowały:

- Określenie rozkładu kąтового neutronów.

- Ocena mocy przestrzennego równoważnika dawki w punktach referencyjnych staowiska kalibracyjnego.
- Ocena gęstości strumienia neutronów.

Materiały i metody

Obiektem przeprowadzonych badań był generator neutronów typu D-T produkcji firmy Thermo Scientific. Podstawowe informacje na temat generatora:

- Typ: MP-320
- Maksymalna emisja neutronów: 1×10^8 n/s
- Energia neutronów: $E_n = 14$ MeV
- Maksymalne napięcie przyspieszające: $V_{Max} = 90$ keV
- Możliwość pracy impulsowej oraz ciągłej

W celu realizacji pierwszej z założonych aktywności wykorzystano detektory śladowe typu CR-39. Detektory umieszczone były w płaszczyźnie wertykalnej w odległości 30 cm od płaszczyzny tarczy generatora, patrz Rysunek 2. W trakcie prac eksperymentalnych przeprowadzono próby z różnymi rodzajami radiatorów przylegających do powierzchni detektorów. Konfiguracje detektorów zastosowane w badaniach: Konfiguracje detektorów: CR+PE, CR+Al, CR+Cu, CR+H₂O, CR, gdzie CR oznacza detektor bez dodatkowej warstwy. Detektory CR-39 po przeprowadzonej ekspozycji zostały poddane obróbce chemicznej (trawieniu) a następnie analizowane na układzie optycznym. Jako wielkość odniesienia posłużyła ilość śladów zarejestrowana na detektorze tła nie podlegającym ekspozycji a wytrawionym razem z eksponowanymi detektorami. Wielkością

analizowaną była ilość śladów na jednostkową powierzchnię detektora.



Rysunek 2. Rozmieszczenie detektorów śladowych CR-39 w płaszczyźnie wertykalnej w otoczeniu generatora.

W celu oceny mocy przestrzennego równoważnika dawki w otoczeniu generatora wykorzystano przyrząd aktywny Berthold z sondą helową typ LB6411. Pomiar wykonano w pięciu punktach referencyjnych tj.: a) w odległości 2 m od powierzchni tarczy trytywowej na przedłużeniu osi tuby akceleracyjnej b)/c) pod kątem 90° na lewo/prawo od osi ustalonej i opisanej w punkcie a), d) w sterowni hali kalibracyjnej oraz e) w pomieszczeniu biurowym przylegającym do hali kalibracyjnej. Pomiaru wykonywane były przy parametrach pracy generatora: napięcie przyspieszające 80 kV, wypełnienie impulsu 100% (praca ciągła), prąd wiązki 60 μ A.

W ramach badań ukierunkowanych na określenie wydajności emisji neutronów zastosowano metodę aktywacyjną. Próbką podlegającą aktywacji neutronowej był krążek miedziany o wymiarach 1 cm x 5 cm (gr. x śr.). Próbką umieszczona była przy powierzchni tuby akceleracyjnej generatora na wysokości powierzchni tarczy generatora. Odległość próbki od punktu emisji neutronów oszacowana została na 1,5 cm. Aktywacja przeprowadzona została przy parametrach pracy generatora identycznych jak w podane powyżej. Czas aktywacji wynosił 60 s, czas chłodzenia (czas pomiędzy zakończeniem aktywacji a rozpoczęciem pomiaru) 40 s zaś czas pomiaru ustalono na 60 s. Pomiar widma gamma

emitowanego przez próbkę przeprowadzono z wykorzystaniem detektora LaBr_3 umieszczonego w osłonie ołowianej, współpracującego z analizatorem wielokanałowym Inspector2000 firmy CanberraPackard. Przed określeniem aktywności jednostkowej w aktywowanej próbce, została przeprowadzona kalibracja wydajnościowa układu spektrometrycznego wykorzystując narzędzie numeryczne LabSOCS.

Wyniki

Średnia ilość śladów na jednostkową powierzchnię, powstałych w detektorach śladowych CR-39 rozmieszczonych w otoczeniu generatora wynosiła 12 śladów/ cm^2 , przy czym gęstość śladów zarejestrowana w detektorze tła wynosiła 11 śladów/ cm^2 . Na podstawie otrzymanych wyników nie było możliwe określenie z wymaganą dokładnością rozkładu intensywności neutronów w płaszczyźnie wertykalnej. Porównując gęstość śladów pomiędzy detektorami w różnych konfiguracjach zauważona została różnica na poziomie 3% co świadczy iż w przypadku neutronów szybkich, z jakimi mieliśmy do czynienia w tym przypadku, wymagane jest zaprojektowanie radiatorów dedykowanych o zwiększonej grubości.

Wyniki pomiarów mocy przestrzennego równoważnika dawki od neutronów wykonanych przyrządem Berthold przedstawia Tabela 1.

Tabela 3. Wyniki pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki w otoczeniu generatora neutronów

POZYCJA	MOC PRZESTRZENNEGO RÓWNOWAŻNIKA DAWKI, H*(10) [$\mu\text{Sv}/\text{h}$]
OŚ TUBY GENERATORA, 2 M	266
+90° OD OSI TUBY GENERATORA, 2 M	328
-90° OD OSI TUBY GENERATORA, 2 M	329
STEROWNIA	18,0
POMIESZCZENIE BIUROWE	1,8

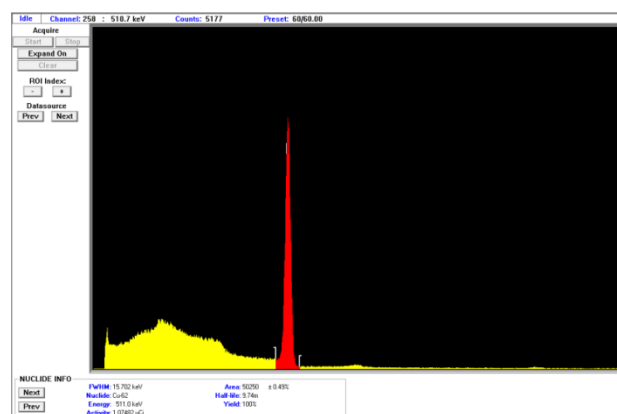
Rozpatrując otrzymane wyniki dla wielkości $H^*(10)$ należy zwrócić uwagę iż uprzywilejowanym kierunkiem jest kierunek prostopadły do osi tuby generatora. Występuje wówczas wzrost mocy dawki¹² o około 23% względem mocy dawki rejestrowanej w kierunku na przedłużeniu osi tuby generatora. Maksymalna wartość mocy przestrzennego równoważnika dawki w sterowni wynosiła 18,0 $\mu\text{Sv}/\text{h}$. W kontekście narażenia personelu obsługującego generator wynika iż aby nie przekroczyć rocznego limitu dawki dla pracowników zatrudnionych w kategorii B, maksymalna ilość godzin pracy z generatorem nie może przekroczyć 333 godziny w skali roku co daje wartość około 1,5 godziny dziennie. W przypadku pomieszczenia biurowego czas ten jest dziesięciokrotnie dłuższy i wynosi 15 godzin dziennie. Przy założeniu pesymistycznym iż generator pracuje 6 godzin dziennie osoba na stałe przebywająca w pomieszczeniu biurowym otrzyma dawkę na poziomie 2,5 mSv w skali roku.

Rysunek 3 przedstawia widmo gamma zarejestrowane podczas pomiaru próbki Cu aktywowanej w wiązce neutronów. Widoczny pik odpowiada energii izotopu miedzi ^{62}Cu powstałego w wyniku aktywacji zgodnie z reakcją $^{63}\text{Cu}(n,2n)^{62}\text{Cu}$.

Na podstawie ilości zliczeń w pikie określono wartość gęstości strumienia na powierzchni próbki na $3,01 \times 10^6 \text{ n cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ co w przeliczeniu na całkowitą wydajność emisji (w pełny kąt bryłowy) daje wartość $8,49 \times 10^7 \text{ n s}^{-1}$. Wartość określona eksperymentalnie jest w dobrej zgodności z wielkością referencyjną deklarowaną przez producenta.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań określono uprzywilejowany kierunek emisji neutronów z generatora typu D-T w kontekście wielkości mocy przestrzennego równoważnika dawki, co stanowi kluczową informację biorąc pod uwagę fakt iż właśnie dla tej wielkości odbywa się proces wzorcowania większości przyrządów dozymetrycznych. Ważnym wnioskiem jest również iż metoda aktywacyjna stanowić powinna podstawową metodę badawczą w dalszych pracach eksperymentalnych z wykorzystaniem generatora. Metoda oparta na detektorach śladowych wymaga modyfikacji w zakresie konfiguracji radiatorów, należy również podjąć prace badawcze w zakresie symulacji metodą Monte Carlo w celu oszacowania dokładnego widma neutronów w miejscach referencyjnych oraz w bezpośrednim otoczeniu generatora.



Rysunek 3. Widmo energetyczne zarejestrowane dla próbki aktywowanej w strumieniu neutronów 14 MeV z generatora D-T.

¹² Określenie „moc dawki” jest w prezentowanej pracy skrótem dla pełnej wielkości operacyjnej moc przestrzennego równoważnika dawki i jest stosowane zamiennie

Opracowanie stanowiska do wyznaczenia stężenia izotopu ^{222}Rn w wodzie

Z. Podgórska, K. Wołoszczuk

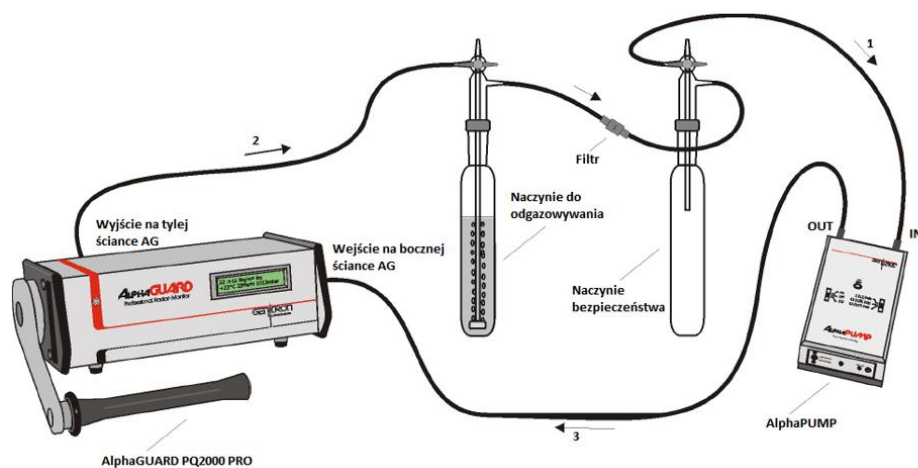
Wprowadzenie

Radon jest promieniotwórczym gazem szlachetnym występującym naturalnie we wszystkich komponentach środowiska: w powietrzu, glebie i wodzie. Główne zagrożenie dla człowieka wynika z oddziaływania radonu i jego pochodnych (krótkożyciowych produktów rozpadu radonu) na drogi oddechowe. Radon, jako gaz rozpuszczalny w wodzie, może także dostawać się do organizmu drogą pokarmową z wodą pitną. Dlatego istotne jest monitorowanie zawartości tego izotopu w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Celem realizacji zadania było opracowanie stanowiska do pomiarów stężenia radonu w próbkach wody. Potrzeba wykonywania oznaczeń

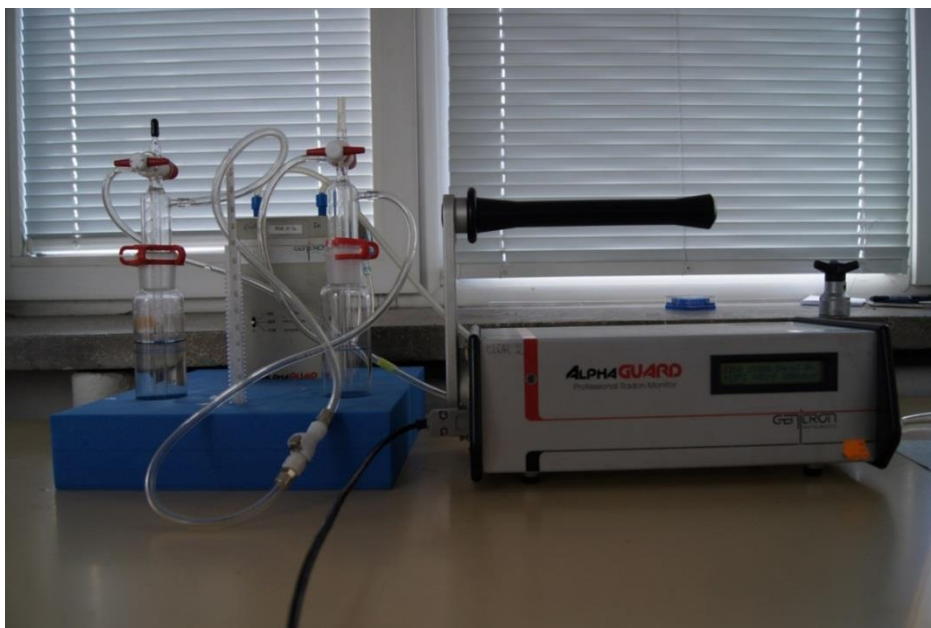
zawartości radonu ^{222}Rn w wodzie wynika z wejścia w życie Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 15.11.2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, w którym zalecane jest wykonywanie pomiarów stężeń określonych izotopów promieniotwórczych w wodzie z ujęć dostarczających wodę pitną.

Wyniki

W ramach realizacji zadania zostało przygotowane stanowisko pomiarowe składające się z monitora radonowego typu AlphaGUARD i dedykowanej przystawki AquaKIT z pompką. Schemat układu pomiarowego przedstawia Rysunek 1. Zdjęcie układu – Rysunek 2.



Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego do pomiaru stężenia radonu ^{222}Rn w próbkach wody.



Rysunek 2. Układ pomiarowy – monitor AlphaGUARD i przystawka AquaKIT (źródło własne).

Opracowane zostały niezbędne instrukcje i procedury dotyczące sposobu pobierania próbek wody, pomiaru oraz obliczeń i szacowania niepewności pomiarowych. Pomiary wykonywane są zgodnie z procedurą badawczą QPB 1.

Zrealizowanie tego zadania pozwoliło na przygotowanie kompletnego stanowiska do pomiarów stężenia radonu w próbkach wody. Laboratorium uzyskało pozytywną opinię Państwowej Inspekcji Sanitarnej oraz zgodę na komercyjne wykonywanie badań na zawartość radonu w wodzie, a następnie metoda ta została akredytowana przez Polskie Centrum Akredytacji.

Wnioski

Obecnie stanowisko jest wykorzystywane do realizacji zleceń polegających na pomiarach stężenia radonu w próbkach wody z ujęć z całej Polski, a także do realizacji prac badawczych i prac dyplomowych.

Finansowanie

Zadanie zostało wykonane w ramach badań statutowych na rok 2016, finansowanych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Metodyka szacowania dawek przy zastosowaniu odczytów TLD oraz statystyki bayesowskiej w polach mieszanych promieniowania beta i gamma

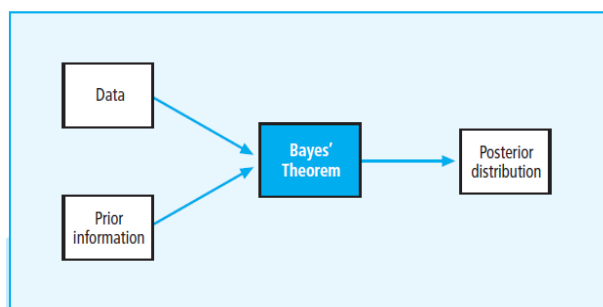
I. Stonecka, K. Ciupek

Wprowadzenie

Celem pracy było przeprowadzenie pilotażowych pomiarów w celu sprawdzenia skuteczności działania statystyki bayesowskiej i możliwości jej zastosowania jako uzupełnienie w dozymetrii termoluminescencyjnej promieniowania mieszane.

Ograniczenia związane z oszacowaniem dawek przy zastosowaniu odczytów dawkomierzy termoluminescencyjnych w polach mieszanych promieniowania beta i gamma ($\beta + \gamma$) w wielu przypadkach uniemożliwiają prawidłową ocenę narażenia pracownika. Wyznaczone w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej współczynniki kalibracyjne dla dawkomierzy środowiskowych (przestrzenny równoważnik dawki $H^*(10)$) i indywidualnych (indywidualny równoważnik dawki $H(10)$) pozwalają na oszacowanie dawek w polach mieszanych $\beta + \gamma$ dla źródeł Kr-85, Sr-90 oraz Cs-137 i Co-60. Jednak problem pojawia się w przypadku dozymetrii pierścinkowej stosowanej przy narażeniu dłoni. Znacznym ograniczeniem są także przypadki stosowania źródeł promieniowania o energiach wykraczających poza ramy kalibracji. W takich sytuacjach zastosowanie może mieć statystyka bayesowska, oparta na prawdopodobieństwie warunkowym. Umożliwia ona przypisanie rozkładu prawdopodobieństwa, tzw. prioru, wielkości, która nie jest precyzyjnie znana z doświadczenia oraz wzięcie pod uwagę niepewności związanych z tym parametrem do oceny dawki. W niniejszym przypadku taką nieznaną wielkością jest stosunek składowych dawek promieniowania mieszane beta i gamma. Przyjęcie prioru pozwala na oszacowanie dawek pochłoniętych w organizmie osoby narażonej w sytuacji, gdy klasyczne metody zawodzą. Ideą statystyki bayesowskiej jest, w odróżnieniu od podejścia częstościowego,

wykorzystanie informacji pochodzących bezpośrednio z doświadczenia (tzw. funkcja wiarygodności, z ang. Likelihood Function, LF) i zestawienie ich z informacją a priori, pochodzącą spoza próby losowej (prior distribution, PD). Idea rozumowania bayesowskiego została przedstawiona na Rysunku 1.



Rysunek 1. Idea rozumowania bayesowskiego.

Po uwzględnieniu funkcji wiarygodności oraz informacji a priori otrzymuje się wynikowe prawdopodobieństwo a posteriori. Zapisując ideę podejścia bayesowskiego za pomocą wzoru uzyskuje się wyrażenie:

$$\text{Posterior} \propto \text{LF} \cdot \text{PD} \quad (1)$$

Po przekształceniu Równania 1 do postaci wygodniejszej do obliczeń uzyskano zapis:

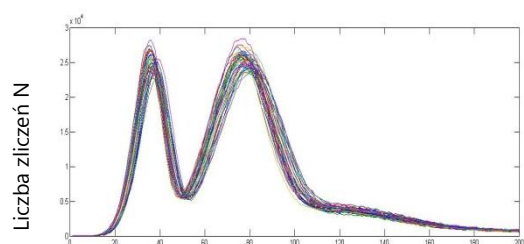
$$P(D_x) = \int_0^1 L(D_x|\theta) p(\theta) d\theta \quad (2)$$

Gdzie: $x=\gamma$ dla promieniowania gamma, $x=\beta$ dla promieniowania beta, $P(D_x)$ – prawdopodobieństwo a posteriori, prawdopodobieństwo otrzymania szukanej dawki D_x , θ – parametr oznaczający stosunek dawki (liczby zliczeń, które są proporcjonalne do dawki) od promieniowania beta do całkowitej dawki (liczby zliczeń) od promieniowania mieszane, $p(\theta)$ – rozkład a priori nieznanego parametru θ , L – funkcja wiarygodności, czyli dane otrzymane z doświadczenia.

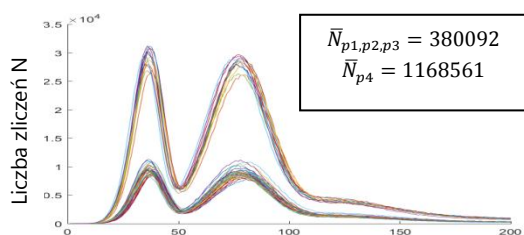
Wyniki

W ramach pracy wyprowadzono równania teoretyczne niezbędne do wykonania obliczeń dawek składowych mieszanego promieniowania beta i gamma metodą bayesowską.

Określono funkcję wiarygodności na podstawie oceny rozkładu dawki (zliczeń) po napromienieniu detektorów jednakową dawką promieniowania. Po napromienieniu serii pastylek dawką 1 mSv oddzielnie promieniowaniem gamma (Cs-137) i beta (Sr-90) dokonano odczytu w czytniku RADOS 2000. Uzyskane wyniki zaprezentowano na Rysunku 1 i 2.



Rysunek 6. Krzywe wyświecania po napromienieniu dawką $H_p(10)=1$ mSv źródłem Cs-137.



Rysunek 6. Krzywe wyświecania po napromienieniu dawką $H_p(0.07)=1$ mSv źródłem Sr-90.

Krzywe wyświecania wykazują pewien rozrzut, który przyjmuje postać rozkładu Gaussa (Rysunek 4). Na Rysunku 2 widoczna jest dodatkowo różnica w liczbie zliczeń spowodowana przesłonięciem trzech pierwszych pastylek aluminiowym filtrem (Rysunek 3), który znacząco osłabia padające promieniowanie beta.

Funkcja wiarygodności dla promieniowania gamma jak i beta przyjmuje więc rozkład normalny. Opierając się na dostępnej literaturze dotyczącej mieszanego promieniowania jonizującego [1] rozkład a priori nieznanego parametru θ opisano rozkładem Gaussa.

Do obliczenia dawek składowych dawek mieszanego promieniowania $\beta+\gamma$ niezbędna jest więc informacja na temat całkowitej liczby zliczeń N_c , tj. informacja z odczytu na pozycji z nieosłoniętą pastylką, wartość oczekiwana parametru θ (która w przypadku dozymetrów indywidualnych jest znana ze stosunku zliczeń na pozycji osłoniętej i nieosłoniętej) oraz współczynniki kalibracyjne k_β i k_γ , gdzie:

$$H_p(10) = k_\gamma \cdot N_\gamma \quad (3)$$

$$H_p(0.07) = k_\beta \cdot N_\beta \quad (4)$$

W kolejnej części przystąpiono do pilotażowych pomiarów. Przeprowadzone zostały napromienienia indywidualnych dozymetrów TLD dawką 1 mSv w mieszanym polu promieniowania beta (Sr-90) i gamma (Cs-137) w różnych stosunkach dawki β/γ . Wyniki z napromienienia zaimplementowano do algorytmu pozwalającego na obliczenie dawek. Otrzymane rezultaty zamieszczono w Tabeli 1

Tabela 4. Wyniki uzyskane po napromienieniu detektorów TLD z wykorzystaniem statystyki bayesowskiej.

Pozycja pastylki	θ	N_β [imp]	N_γ [imp]	N_c [imp]	k_β $\left[\frac{mSv}{imp}\right]$	k_γ $\left[\frac{mSv}{imp}\right]$	Dawka rzeczywista		Metoda Bayesowska	
							$H_p(0,07)$ [mSv]	$H_p(10)$ [mSv]	D_β [mSv]	D_γ [mSv]
1,2,3	0,61	344919	220199	557559	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	0,8	0,2	0,782	0,198
4	0,83	1055411	223325	1315123	$7,6 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	0,8	0,2	0,830	0,200
1,2,3	0,25	164003	484165	641863	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-7}$	0,5	0,5	0,496	0,394
4	0,57	608775	464533	1052879	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,5	0,5	0,618	0,486

Jak pokazuje Tabela 1 wyniki uzyskane metodą bayesowską są porównywalne z rzeczywistymi

wartościami dawek przy założeniu, że znane są dokładnie parametry wejściowe takie jak stosunek dawek (zliczeń) β/γ , liczba zliczeń z pastylki 4, czyli będącej na pozycji bez przesłony oraz współczynniki kalibracyjne k_β i k_γ , które docelowo także będą przedstawiane w postaci rozkładu prawdopodobieństwa.

Wnioski

Przeprowadzone wstępnie pilotażowe pomiary oceny dawek składowych od mieszanego promieniowania beta i gamma metodą statystyki bayesowskiej dają bardzo zadowalające rezultaty. Pomiary zostały przeprowadzone na dozymetrach indywidualnych, w których dzięki zastosowanym aluminiowym filtrom łatwo można ocenić składową dawkę od promieniowania beta i osobno składową od promieniowania gamma. Problem pojawia się w przypadku dozymetrii pierścinkowej stosowanej przy narażeniu dłoni. Znacznym ograniczeniem są

także przypadki stosowania źródeł promieniowania o energiach wykraczających poza ramy kalibracji. Ideą zastosowanej metody jest także oszacowanie dawek w przypadku braku znajomości źródeł promieniowania. W niniejszej pracy wykazano, że statystyka bayesowska może być uzupełnieniem do dozymetrii termoluminescencyjnej, ale potrzeba jeszcze wielu pomiarów

Finansowanie

Praca była finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] I. Słonecka, Praca magisterska, *Biologiczna ocena dawek mieszanego promieniowania jonizującego z zastosowaniem metod statystyki bayesowskiej*, Warszawa, 2014.

Zastosowanie metody bayesowskiej i Monte Carlo w biologicznej ocenie dawki pochłoniętej w skutek przypadkowego napromienienia ludzi promieniowaniem reaktorowym $n+\gamma$

I. Słonecka

Wprowadzenie

Celem projektu było wykorzystanie nowoczesnych narzędzi statystycznych jakimi są metody modelowania Monte Carlo oraz statystyka bayesowska do oceny dawki mieszanego promieniowania jonizującego $n+\gamma$. W ramach projektu zrealizowane zostały trzy prace inżynierskie Studentów Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. Praca została podzielona na następujące etapy:

- Udoskonalenie programu wykorzystującego statystykę bayesowską.
- Stworzenie programu komputerowego wykonującego symulacje napromieniania grupy komórek.
- Analiza statystyczna trafień komórek cząstkami promieniowania jonizującego.
- Analiza ryzyka nowotworowego metodą Monte Carlo.

Promieniowanie jonizujące powstające w reaktorach jądrowych jest promieniowaniem mieszanym, w którego skład wchodzi neutrony i fotony gamma. Ponieważ różnią się one zdolnością do jonizacji, przekłada się to na ich odmienną skuteczność biologiczną w przypadku działania na organizm człowieka. W związku z tym, po napromienianiu mieszanym polem $n + \gamma$, ważne jest oszacowanie nie tylko całkowitej dawki pochłoniętej, ale również jej neutronowej i fotonowej składowej. Do wyznaczenia dawki pochłoniętej najczęściej wykorzystywane są dozymetry indywidualne, jednak w sytuacji braku takich dozymetrów, najpowszechniej stosowaną metodą jest retrospektywna dozymetria biologiczna. Daje ona informację o otrzymanej dawce pochłoniętej na podstawie analizy częstości uszkodzeń jakie promieniowanie wywołuje w żywym organizmie. W niniejszym przypadku tymi

uszkodzeniami są chromosomy dicentryczne (dicentryki) powstałe w limfocytach krwi obwodowej napromieniowanej osoby. Ponieważ nie można odróżnić dicentryków powstałych pod wpływem działania promieniowania gamma od tych, które powstały pod wpływem działania neutronów, dlatego zakłada się, że wartość całkowitej częstości dicentryków zależy addytywnie od poszczególnych składowych dawki całkowitej. Szacowanie na tej podstawie dawek pochłoniętych jest możliwe przy użyciu powszechnie stosowanej metody iteracyjnej w przypadku, gdy znany jest dokładny stosunek dawek od neutronowej i fotonowej składowej wiązki promieniowania. Przy braku dokładnej informacji co do stosunku dawek możliwe jest zastosowanie statystycznego podejścia, polegającego wykorzystaniu metod statystyki Bayesowskiej lub Monte Carlo. Wówczas nieznaną stosunek dawek wyrażany jest w postaci rozkładu prawdopodobieństwa.

Wyniki

Wykorzystując metodę Bayesowską oraz Monte Carlo wykonano cele postawione w projekcie. W ramach poszczególnych etapów napisane zostały programy komputerowe, które bazując na danych teoretycznych i z rzeczywistego eksperymentu napromieniania ludzkiej krwi w polu mieszanego promieniowania $n + \gamma$ w reaktorze Maria w Świerku, umożliwiają ocenę dawek pochłoniętych. Obie metody zostały porównane ze sobą, a także z rzeczywistymi danymi.

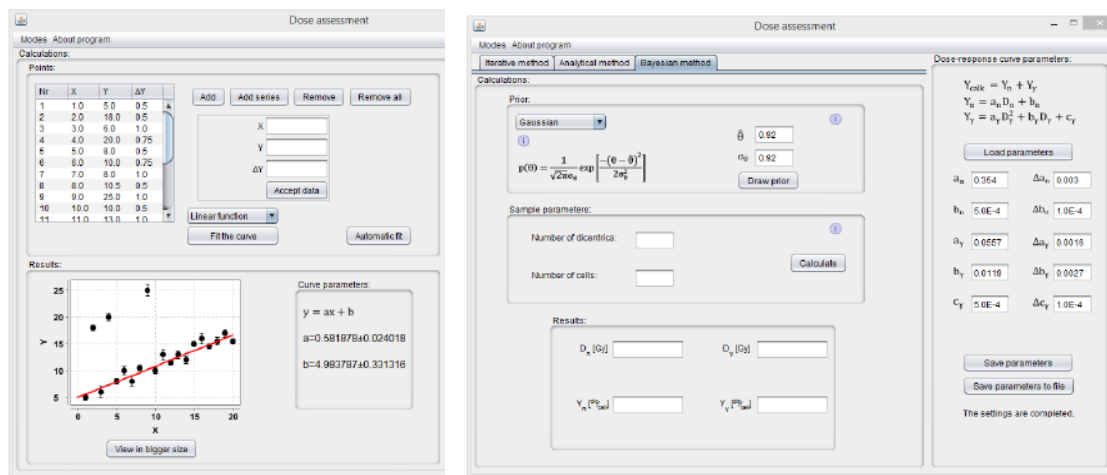
Udoskonalenie programu wykorzystującego statystykę bayesowską.

W ramach projektu dokonano rozbudowy istniejącego już programu do szacowania dawek pochłoniętych od promieniowania mieszanego $n + \gamma$. Do programu dodane zostały dodatkowe

rozkłady prawdopodobieństw, które symulują rzeczywistą charakterystykę wiązki. Przeanalizowano i dodano kilka nowych rozkładów. Do programu dodano także zupełnie nową zakładkę, w której użytkownik ma możliwość dopasowania krzywej do wprowadzonych przez siebie punktów pomiarowych metodą bayesowską. Możliwa jest także statystyczna ocena słuszności

danego dopasowania, tzn. program za pomocą odpowiedniego parametru dokonuje wyboru bardziej prawdopodobnej krzywej pasującej do ogólnego trendu punktów.

Cały program zyskał profesjonalną oprawę graficzną dzięki czemu jest on łatwy i intuicyjny w użyciu nawet dla przeciętnego użytkownika Rysunek 1.



Rysunek 1. Program wykorzystujący statystykę bayesowską do dopasowania krzywych (rysunek po lewej stronie) oraz do obliczania dawek składowych promieniowania mieszanego n+γ (rysunek po prawej stronie) [1].

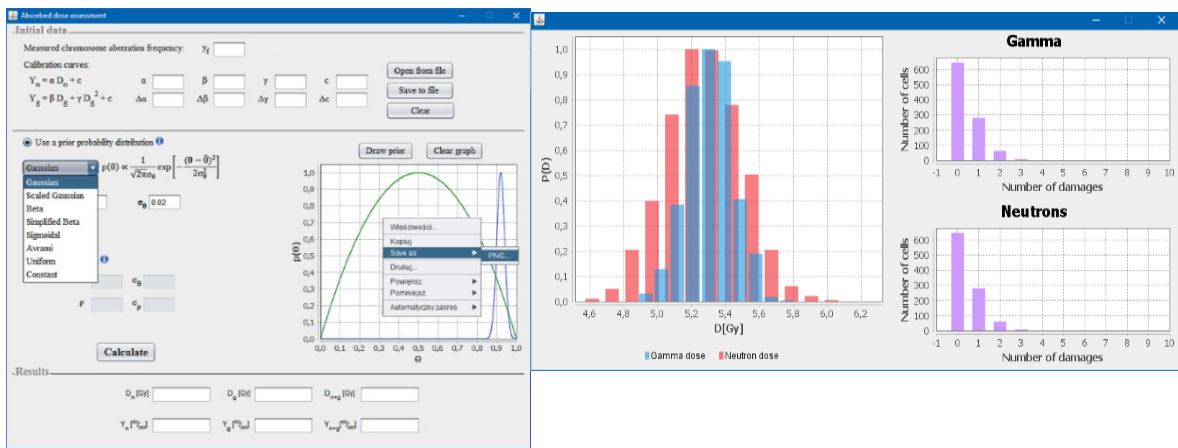
Stworzenie programu komputerowego wykonującego symulacje napromieniowania grupy komórek. Oraz analiza statystyczna trafień komórek cząstkami promieniowania jonizującego

Kolejny program (Rysunek 2) napisany w ramach projektu wykonuje symulacje napromieniowania wirtualnej grupy komórek, analizę statystyczną trafień komórek cząstkami promieniowania jonizującego oraz oszacowanie otrzymanych dawek pochłoniętych, wykorzystując metodę Monte Carlo. Działanie programu polega na losowaniu komórek z próbki wirtualnej, a następnie korzystając z podanej przez użytkownika wartości θ (θ to stosunek dawki pochodzącej od promieniowania gamma do dawki

całkowitej) lub apriorycznego rozkładu prawdopodobieństwa (gauss, gauss skalowany, beta, beta skalowana, funkcja sigmoidalna) określeniu czy konkretne komórki zostały uszkodzone przez fotony gamma czy neutrony. Program wykonuje kolejne iteracje, aż do momentu osiągnięcia w próbce podanej na wstępie częstości aberracji. Otrzymane wyniki zgadzają się z doświadczalnymi (zależność pochłoniętych dawek od częstości aberracji). Zostały także porównane z metodą Bayesowską. Wyniki zostały porównane z eksperymentalnie wyznaczoną dawką pochłoniętą oraz z wynikami otrzymanymi metodą Bayesowską (Tabela 1).

Tabela 1. Porównanie wyników uzyskanych metodą Monte Carlo, Bayesowską oraz iteracyjną [2].

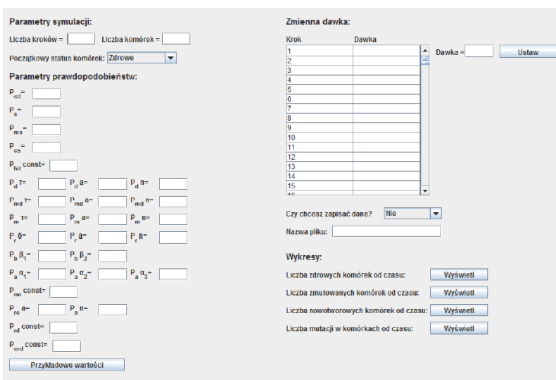
Method	D _c [Gy]	D _γ [Gy]	D _n [Gy]
Monte Carlo			
Gauss	6,03±0,20	3,68±0,16	2,35±0,09
Skalowany Gauss	6,04±0,20	3,67±0,17	2,35±0,12
Beta	6,01±0,20	3,64±0,17	2,38±0,11
Iteracyjna	-	3,64±0,92	2,32±0,59
Analityczna	-	3,67±0,83	2,35±0,53
Bayesowska	-	3,64±0,92	2,32±0,69



Rysunek 2. Program wykorzystujący metodę Monte Carlo do obliczania dawki od mieszanego promieniowania $n+\gamma$ (po lewej stronie). Analiza statystyczna uszkodzeń uzyskana dla próbki $y_f=3,5$ dic/komórkę, $D_c=10,59$ Gy. $\theta=0,5$ [2].

Analiza ryzyka nowotworowego metodą Monte Carlo

Zrealizowany został także program symulujący odpowiedź grupy komórek na promieniowanie jonizujące uwzględniający różne efekty zachodzące w żywym organizmie pod wpływem promieniowania, jak np. efekt widza (Rysunek 3) [3]. Przeprowadzona została symulacja napromienienia przestrzennie ułożonej grupy komórek przez określony czas, różnymi dawkami. Program oblicza zależność ilości zdrowych komórek od czasu napromieniania, dla różnych dawek promieniowania, a także ilość zmutowanych komórek od czasu dla zmiennej dawki. Program symuluje odpowiedź grupy komórek na promieniowanie jonizujące, uwzględniając różne efekty zachodzące w żywym organizmie pod wpływem promieniowania.



Rysunek 3. Program symulujący odpowiedź grupy komórek na promieniowanie jonizujące.

Opisuje zjawiska biofizyczne dotyczące napromienionej komórki uwzględniając m.in. śmierć komórki, transformację w komórkę nowotworową, spontaniczne powstawanie uszkodzeń, efekt sąsiedztwa, efekt odpowiedzi adaptacyjnej, naprawę uszkodzeń itp. Jest narzędziem do symulacji wielu procesów naraz, ale może skupić się na jednym wybranym.

Finansowanie

Projekt badawczy zrealizowany został w ramach dotacji celowej na działalność polegającą na prowadzeniu badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich.

Literatura

- [1] K. Łukasik, Praca inżynierska, *Zastosowanie statystyki bayesowskiej jako narzędzia w dozymetrii biologicznej*, Warszawa, 2016.
- [2] A. Powojnska, Praca inżynierska, *Ocena dawki pochłoniętej metodą dozymetrii cytogenetycznej w oparciu o modelowanie Monte Carlo*, Warszawa, 2016.
- [3] P. Wysocki, Praca inżynierska, *Modelowanie odpowiedzi grupy komórek na promieniowanie jonizujące metodą Monte Carlo*, Warszawa, 2016
- [4] I. Stonecka, Praca magisterska, *Biologiczna ocena dawek mieszanego promieniowania jonizującego z zastosowaniem metod statystyki bayesowskiej*, Warszawa, 2014.

Optimalizacja metody wzorcowania przyrządów radonowych przy niskich stężeniach radonu w powietrzu na poziomie $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ w świetle Dyrektywy Unijnej z dnia 5 grudnia 2013 r.

K. Wołoszczuk, Z. Podgórska, K. Szewczak

Celem realizacji zadania było zoptymalizowanie metody wzorcowania detektorów do pomiaru stężenia radonu w powietrzu w świetle wymagań aktualnych przepisów.

W świetle Dyrektywy Unijnej z dnia 5 grudnia 2013 r., konieczne jest monitorowanie średniej rocznej wartości stężenia radonu w pomieszczeniach. Rodzi to potrzebę ustanowienia procedur wzorcowania instrumentów radonowych, pozwalającą na uzyskiwanie wyników pomiarów średniego rocznego stężenia radonu w zakresie niskich wartości (kilkadziesiąt- kilkaset Bq/m^3) z relatywnie niską niepewnością. W celu zoptymalizowania metody wzorcowania wykonano:

- udział w porównaniach międzylaboratoryjnych organizowanych przez Główny Instytut Górnictwa (GIG), zakres porównań to stężenia radonu w powietrzu na poziomie $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$, $1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ oraz $15000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (Rysunek 1). Uzyskano pozytywny wynik;
- udział w porównaniach organizowanych przez Zakład Geologii i Wód Mineralnych Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, zakres stężeń radonu w powietrzu $1\ 000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ oraz $2\ 000 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Porównania miały miejsce w kopalni „Liczyrzepa” w Kowarach. Uzyskano pozytywny wynik. Rysunek 2;
- przeprowadzono wzorcowanie radonowych wzorców odniesienia w zakresie stężenia radonu w powietrzu i stężenia energii potencjalnej alfa SUJCHBO (Czechy)
- przeprowadzono przegląd i aktualizację technicznej dokumentacji systemu zarządzania;
- po pozytywnym wyniku oceny Polskiego Centrum Akredytacji uzyskano zakres akredytacji umożliwiający wzorcowanie przyrządów radonowych od zakresu $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$
- przeprowadzono serię pomiarów w komorze radonowej, przy niskich stężeniach radonu-222 (ok $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$).



Rysunek 1. Porównania międzylaboratoryjne w GIG.



Rysunek 2. Porównania międzylaboratoryjne w Kowarach.

Uzyskane wyniki pozwolą na rzetelne wzorcowanie sprzętu przy niskich stężeniach radonu-222 w powietrzu.

Wyniki uzyskane z realizacji zadania, ze względu na swój charakter nie zostaną skomercjalizowane.

Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej w 2016 r.

K. Wołoszczuk, A. Wiśniewski, Ł. Modzelewski

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych funkcjonuje w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej od 1967 roku. W latach 1995 – 1999, została zrealizowana inwestycja pt. „Modernizacja Laboratorium Wzorcowania dla uzyskania poziomu Dozymetrycznego Laboratorium Wzorców Wtórnych”, która umożliwiła spełnienie wymagań określonych dla sieci Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDL) pod auspicjami IAEA/WHO. 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 17025:2005.

W 2010 roku Pracownia Wzorcowania połączyła się z Pracownią Dozymetrii Radonu (AP 101). Powstało Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych, będące komórką Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowania.

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,
- stanowisko kalibracyjne RTG, umożliwiające wzorcowanie w zakresie widm wąskich N-40 do N-300,
- stanowisko kalibracyjne skażeń powierzchniowych wyposażone w trzy źródła

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

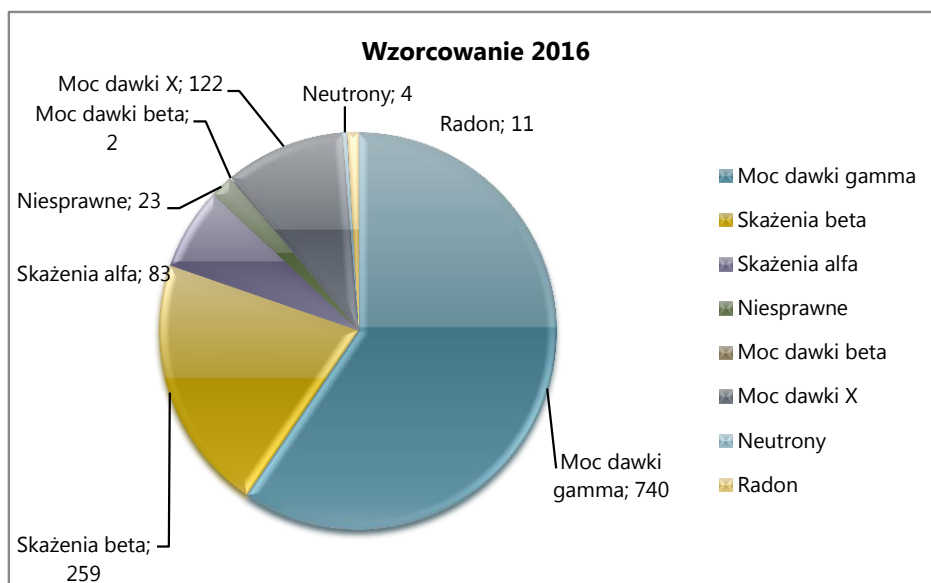
- stanowisko kalibracyjne beta- jedyne w Polsce, umożliwia wzorcowanie przyrządów w wiązce promieniowania beta od źródeł stront-90 lub krypton-85,
- stanowisko kalibracyjne neutronowe wyposażone w źródło ameryk-241/beryl,
- stanowisko kalibracyjne radonowe- wyposażone w komorę radonową o objętości 12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

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

W 2016 roku do laboratorium wpłynęło 798 zleceń wzorcowania, wykonano:

- 23 protokołów niezdatności
- 342 wzorcowań przyrządów z licznikami wewnętrznymi i sondami do pomiarów skażeń powierzchniowych promieniowania beta i alfa,
- 740 wzorcowań przyrządów dozymetrycznych na moc dawki promieniowania gamma,
- 122 wzorcowań przyrządów dozymetrycznych dla promieniowania X,
- 11 wzorcowań na stanowisku radonowym,
- 4 wzorcowań na stanowisku neutronowym,
- 2 wzorcowań na stanowisku kalibracyjnym beta.

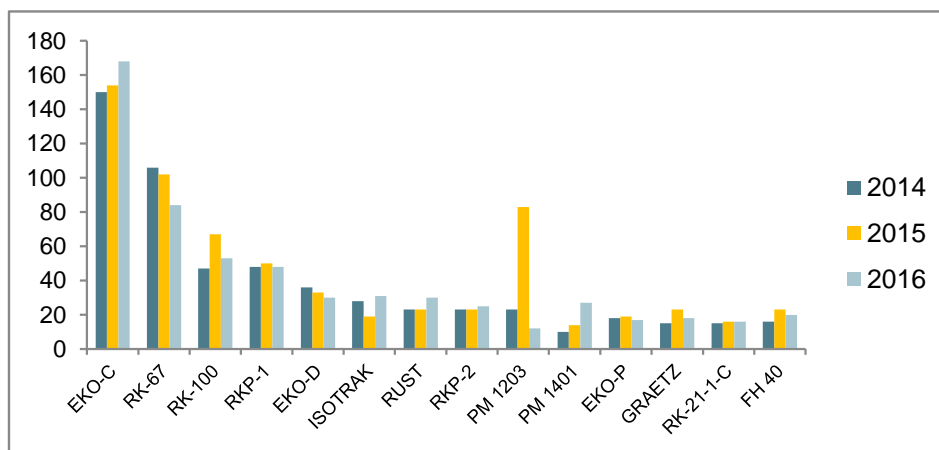
Liczbę przeprowadzonych wzorcowań na danych stanowiskach kalibracyjnych przedstawia wykres na Rysunku 1.



Rysunek 1. Wzorcowania wykonane w 2015 r. w LWPDiR.

Najczęściej wzorcowanymi w 2016 roku przyrządami były EKO-C, Rk-67 oraz RK-100. Są to przyrządy polskiej produkcji służące do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma i X, w przypadku EKO-C i RK-100 istnieje możliwość

pomiarów skażeń promieniotwórczych alfa i beta. Zestawienie najczęściej wzorcowanych typów przyrządów na przestrzeni ostatnich czterech lat przedstawiono na Rysunku 2.



Rysunek 2. Najczęściej wzorcowane przyrządy w LWPDiR.

Sprawozdanie z seminarium Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych

A. Kudynowska

W dniu 14.02.2017r. odbyło się seminarium sprawozdawcze pt. "ZAPEWNIENIE I UTRZYMANIE SYSTEMU JAKOŚCI W LABORATORIUM WZORCOWANIA PRZYRZĄDÓW DOZYMTRYCZNYCH I RADONOWYCH (LWPDiR) DLA POTRZEB OCHRONY RADIOLOGICZNEJ" – część systemowa.

Temat referowała Pani Alicja Kudynowska. Omówione zostały następujące zagadnienia:

1. Struktura organizacyjna LWPDiR.
2. Personel LWPDiR.
3. Zakres akredytacji LWPDiR.
4. Dokumentacja LWPDiR.
5. Przegląd zarządzania.
6. Cele i zadania na okres 2015/2016 (omówienie realizacji) oraz na okres 2016/2017 (przygotowanie).
7. Informacje zwrotne od Klientów.
8. Realizacja szkoleń.
9. Wyniki Auditów wewnętrznych i zewnętrznych.
10. Ocena przez organizacje zewnętrzne – Polskie Centrum Akredytacji (PCA).
11. Silne strony i wskazanie obszarów do doskonalenia.

Na wstępie zaprezentowano strukturę organizacyjną zaznaczając, że Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych wchodzi w skład Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowania.

W strukturze organizacyjnej Laboratorium wyodrębnia się następujące funkcje: KL, KLJ, KLT, oraz Opiekun stanowiska - w odniesieniu do sześciu stanowisk (Gamma, Beta, Skażeń, RTG, Radonu i Neutronów).

Referując zagadnienie nr 2 stwierdzono, że nie dokonano zmian w śród personelu kierowniczego. Funkcję Kierownika LWPDiR pełniła Pani mgr Katarzyna Wołoszczuk a jej zastępcą był Pan Szewczak. Funkcję Kierownika ds. jakości pełniła Pani Alicja Kudynowska. Pani Wołoszczuk sprawowała również funkcję Kierownika technicznego (z-ca Pan Szewczak).

Nastąpiły zmiany w personelu wzorcującym: z dniem 04.01.2016r. powróciła z urlopu macierzyńskiego Pani Zuzanna Podgórska, której powierzono funkcję pracownika wzorcującego na st. radonowym i jednocześnie opiekuna st. radonowego (jak przed urlopem). Zapisy dotyczące personelu potwierdzają kompetencje, przypisaną odpowiedzialność i uprawnienia.

W ramach 3 zagadnienia poinformowano, iż dnia 30.06.2016 odbył się audit w nadzorze nr A-941/2016 z dnia – zespół oceniający: Katarzyna Wiśniewska (auditor wiodący), Dariusz Marczyk (SAT).

Obowiązujący zakres akredytacji to wydanie nr 15 z dnia 22 sierpnia 2016r.

Dziedziny akredytacji: promieniowanie jonizujące i radioaktywność (18.01, 18.02, 18.03).

Dotychczasowy zakres akredytacji AP 057 LWPD i R został rozszerzony o wydawanie świadectw pomiaru z dziedziny (18.01, 18.03).

Co się tyczy dokumentacji LWPDiR (Zag. nr 4), to przekazano następującą treść: Dokumentacja LWPDiR jest na bieżąco nadzorowana i doskonalona. W 2016 r. wydano nową Księgę Jakości, 3 nowe procedury ogólne oraz dokonano szeregu zmian w procedurach technicznych, ogólnych oraz formularzach. W 2016 r. było utrzymywanych 18 procedur ogólnych, 5 procedur wzorcowania oraz 11 instrukcji technicznych, których wykaz znajduje się w załączniku 6.2 do KJ.

Następnie omówionym zagadnieniem był "Przegląd zarządzania", który został przeprowadzony przez Dyrektora CLOR dr. Pawła Krajewskiego, w dniu 21.06.2016r. według Planu przeglądu zarządzania i zgodnie z procedurą QPO10. Tematyką obejmował wszystkie elementy systemu zarządzania podane w wymaganiach normy.

Szczegółowo rozpatrzono (zag. nr 6) „CELE I ZADANIA NA OKRES 2015/2016” – Tabela 1.

Tabela 1. Cele i zadania na okres 2015/2016.

CELE I ZADANIA NA 2015/2016		
Cel	Zadanie	Osoba odpowiedzialna
Modernizacja laboratorium	Zakup i instalacja generatora neutronów	Kamil Szewczak
Modernizacja laboratorium	Wdrożenie bazy danych LWPDiR	Katarzyna Wołoszczuk
Doskonalenie systemu zarządzania poprzez edukację personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych i wewnętrznych	Alicja Kudynowska Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Modernizacja układu do pozycjonowania przyrządów na SKG	Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Zakup nowych źródeł powierzchniowych	Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Przygotowanie stanowiska do trawienia detektorów śladowych CR-39 (pokój 116: wymiana mebli, sprawdzenie wyciągu, malowanie pokoju, itp.)	Kamil Szewczak
Modernizacja laboratorium	Przeprowadzenie eksperymentów mających na celu udoskonalenie metody ustalania wartości stabilnego stężenia radonu w komorze klimatyczno-radonowej	Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Wymiana źródła ⁶⁰ Co na stanowisku SKG	Katarzyna Wołoszczuk

Omówiono 8 wyznaczonych celów, ze szczególnym uwzględnieniem przyczyny tych, których nie udało się zrealizować w ustalonym terminie. Poinformowano, że ponowny termin ich zrealizowania ustalono na IV okres 2016r. Przypomniano, że na niniejszym przeglądzie zostały przygotowane cele i zadania na następny okres (2016/2017) co zaprezentowano na slajdach.

Tabela 2. Cele i zadania na okres 2016/2017

Cele i zadania na okres 2016/2017		
Cel	Zadanie	Osoba odpowiedzialna
Modernizacja laboratorium	Przystosowanie pokoju nr 4 na magazyn wzorców odniesienia	Katarzyna Wołoszczuk
Doskonalenie systemu zarządzania poprzez edukację personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych i wewnętrznych	Alicja Kudynowska Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Zakup nowych źródeł powierzchniowych	Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Przygotowanie stanowiska do trawienia detektorów śladowych CR-39 (pokój 116: wymiana mebli, sprawdzenie wyciągu, malowanie pokoju, itp.)	Kamil Szewczak Zuzanna Podgórska
Modernizacja laboratorium	Wymiana źródła ⁶⁰ Co na stanowisku SKG	Katarzyna Wołoszczuk

Następnie omówionym zagadnieniem były informacje zwrotne od klientów. Laboratorium otrzymuje informacje zwrotne w postaci ANKIET STOPNIA ZADOWOLENIA KLIENTA. W okresie czerwiec 2015 – maj 2016. Laboratorium uzyskało od klientów 41 ankiet i przeprowadziło ich analizę.

WNIOSKI Z ANALIZY WYNIKÓW ANKIET

Laboratorium spełnia potrzeby i oczekiwania swoich Klientów, czego dowodem jest fakt, że 100% ankietowanych wyraża swoją gotowość polecenia go innym Klientom.

W zakresie poziomu obsługi Klienta, najwyższą notę LWPDiR otrzymało na za:

- wiedzę merytoryczną pracowników 100% ankietowanych oceniło na 5 (w skali 1-5)
- kompetencje i profesjonalizm pracowników -98%
- łatwość kontaktu i dostępność - 95%.

W procesie realizacji usług najlepiej wypadły:

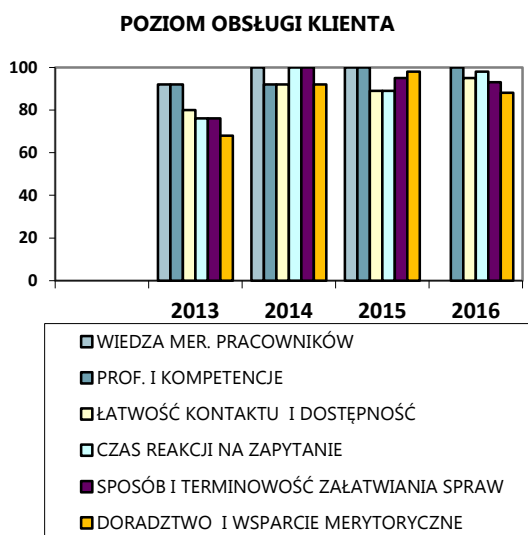
- jakość wykonywanych usług - 100%
- elastyczność w zakresie ustalania warunków współpracy - 100%
- wywiązywanie się z warunków umowy - 98%

Najgorzej wypada polityka cenowa laboratorium:

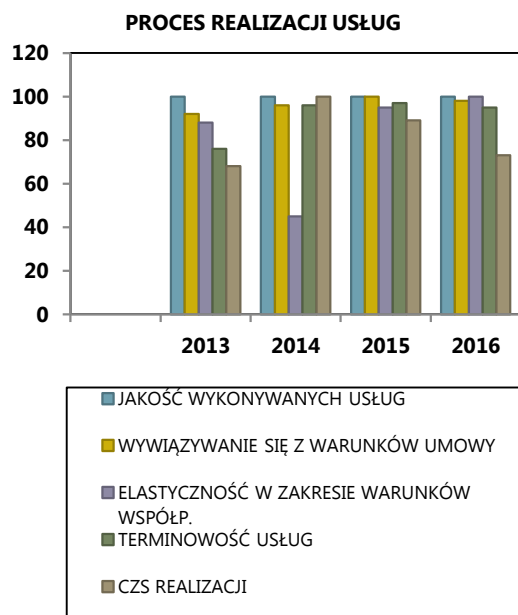
- atrakcyjność cen na 5 oceniło 65% ankietowanych
- stosunek ceny do jakości 83%
- warunki i sposób płatności 95% ankietowanych.

Nie było skarg i reklamacji

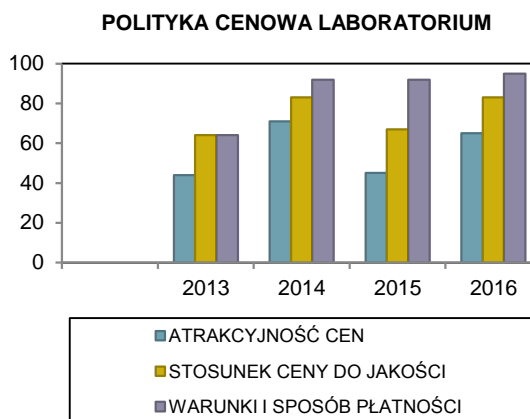
Dla lepszego zobrazowania satysfakcji klientów na przestrzeni 4 ostatnich lat, referująca zaprezentowała 3 wykresy.



Rysunek 1. Poziom obsługi klienta.



Rysunek 2. Proces realizacji usług.



Rysunek 3. Polityka cenowa laboratorium.

Zgodnie z planem zaprezentowano realizację szkoleń w 2016 r., formułując następujące zapisy: Potrzeby szkoleniowe zostały zidentyfikowane na podstawie prognoz i ustaleń z przeglądu zarządzania. Sporządzono plan szkoleń na 2016r. jak również wdrożono formularz dla szkoleń pozaplanowych. Zaplanowano i zrealizowano 11 szkoleń, w tym 2 szkolenia zewnętrzne. Udokumentowano 8 szkoleń pozaplanowych, w tym 6 szkoleń zewnętrznych (2 odpłatne i 4 nieodpłatne).

Przedstawiono wyniki auditów wewnętrznych i zewnętrznych:

Audit wewnętrzny Nr 1/2016 z dnia 16.03.2016 - auditor wiodący: Grażyna Krajewska - nie stwierdzono niezgodności i nie odnotowano spostrzeżeń.

Audit wewnętrzny Nr 2/2016 z dnia 18.05.2016- auditor wiodący: Grażyna Krajewska - również nie stwierdzono niezgodności i nie odnotowano spostrzeżeń.

Audit w nadzorze nr A-941/2016 z dnia 30.06.2016 – zespół oceniający: Katarzyna Wiśniewska (auditor wiodący), Dariusz Marczyk (SAT).

W raporcie nie odnotowano niezgodności, natomiast zapisano 3 spostrzeżenia, z których 1 dotyczyło części systemowej i było następującej treści „DYSPOZYCJE SYSTEMOWE LABORATORIUM PRZEWIDUJĄ TERMIN 1 MIESIĄCA NA ZŁOŻENIE SKARGI PRZEZ KLIENTA NA WYNIKI WZORCOWANIA (OD DATY OTRZYMANIA PRZEZ NIEGO ŚWIADECTWA WZORCOWANIA). BRAK JEDNOZNACZNYCH DYSPOZYCJI W SYSTEMIE ZARZĄDZANIA ODNOŚNIE SPOSOBU INFORMOWANIA PRZEZ LABORATORIUM

KLIENTA O TYM FAKCIE MOŻE ZNACZNIE OBNIŻYĆ SKUTECZNOŚĆ WSPÓŁPRACY LABORATORIUM Z KLIENTEM I OGRANICZAĆ KLIENTOM MOŻLIWOŚĆ REAGOWANIA NA PRZYPADKI USŁUG NIESPEŁNIAJĄCYCH ICH OCZEKIWANIA I WYMAGANIA”.

W odniesieniu do powyższego spostrzeżenia LWPDiR oceniło ryzyko i podjęło działania zapobiegawcze.

Na koniec spotkania zapoznano uczestników z oceną Laboratorium przez organizację zewnętrzną – PCA.

Podczas oceny w nadzorze, w dniu 30.06.2016 zespół oceniający nie wskazał elementów wymagających zwrócenia szczególnej uwagi

podczas następnego oceny. Wykazane zostały silne i słabe strony laboratorium.

Silne strony zapisane przez Auditora wiodącego:

- Zaangażowanie Kier. Laboratorium przez Eksperta technicznego: Wykształcony i kompetentny personel
- Wyposażenie pomiarowe Laboratorium.

Słabe strony - Auditor wiodący zapisał:

- Nie zaobserwowano

Ekspert techniczny:

- Nadzorowanie procedur technicznych
- Nie wniesiono żadnych pytań do referowanego tematu.

Sprawozdanie z seminarium Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych

A. Kudynowska

W dniu 17.02.2017r. odbyło się seminarium pt. "ZAPEWNIENIE I UTRZYMANIE SYSTEMU JAKOŚCI W PRACOWNI DAWEK INDYWIDUALNYCH I ŚRODOWISKOWYCH (PDIŚ) DLA POTRZEB OCHRONY RADIOLOGICZNEJ" – część systemowa.

Temat referowała Pani Alicja Kudynowska, a omówione zagadnienia to:

1. Struktura organizacyjna PDIŚ
2. Personel PDIŚ
3. Zakres akredytacji PDIŚ
4. Dokumentacja laboratorium
5. Przegląd zarządzania
6. Cele i zadania na okres 2015/2016 (omówienie realizacji) oraz plan na okres 2016/2017.
7. Wyniki auditów wewnętrznych i zewnętrznych
8. Informacje zwrotne od Klientów
9. Realizacja szkoleń.
10. Ocena przez organizację zewnętrzne – PCA

Na wstępie zaprezentowano strukturę organizacyjną zaznaczając, że Pracownia Dawek Indywidualnych i Środowiskowych wchodzi w skład Zakładu Kontroli Dawek i Wzorcowania. W strukturze organizacyjnej Laboratorium wyodrębnia się następujące funkcje: KL, KLJ, KLT, Opiekun stanowiska - w odniesieniu do 4 stanowisk: stanowisko kontroli dawek metodą TLD – st. nr 1, stanowisko monitoringu jodu – st. nr 2, stanowisko cytogenetycznej rekonstrukcji dawek – st. nr 3 oraz stanowisko do pomiaru stężenia radonu w wodzie – st. nr 4.

Odnosząc się do personelu PDIŚ stwierdzono, że w 2016r. nie dokonano zmian w Laboratorium, wśród personelu kierowniczego. Funkcję Kierownika PDIŚ pełniła Pani mgr Grażyna Krajewska a jej zastępcą był Pan Szewczak. Funkcję Kierownika ds. jakości pełniła Pani Alicja Kudynowska. Pan Szewczak sprawował również funkcję KLT. Nastąpiły zmiany w personelu wykonującym badania. Z dniem 01.10.2016 w PDIŚ zatrudniono Panią mgr Zuzannę Podgóorską do wykonywania badań na st. nr 4, natomiast

w dniu 06.10.2016 zatrudniono Panią dr Żanetę Szkarłat do wykonywania badań na st. nr 3.

Co zaś się tyczy opiekunów stanowisk, to powierzone funkcje pełnią następujące osoby:

- Opiekun st. Nr 1 - Pan dr Kamil Szewczak
- Opiekun st. Nr 2 - Pani dr Maria Kowalska
- Opiekun st. Nr 3 - Pani mgr Grażyna Krajewska
- Opiekun st. Nr 1 - Pan dr Kamil Szewczak

Personel wyk. badania to Panie: Hanna Will, Hanna Feder, Agata Wyszowska, Zuzanna Podgórska oraz Żaneta Szkarłat.

Zapisy dotyczące personelu potwierdzają kompetencje, przypisaną odpowiedzialność i uprawnienia.

Odnosząc się do zakresu akredytacji przekazano, iż dotychczasowy zakres akredytacji AB 450 nie uległ zmianie. Zakres podlega pod kod identyfikacyjny 0/3;0/9 obejmujący badania radiochemiczne i promieniowania – obiekty i materiały biologiczne przeznaczone do badań, próbki środowiskowe.

Badane obiekty i metody badawcze to:

- Dawkomierz w polu promieniowania jonizującego – Metoda TLD.
- Tarczyca człowieka - Metoda spektrometrii gamma.
- Limfocyty krwi obwodowej człowieka – metoda cytogenetycznej dozymetrii biologicznej.
- Stężenie izotopu radonu Rn-222 w wodzie – metoda spektrometrii promieniowania alfa.

Dokumentacja PDIŚ jest na bieżąco nadzorowana i doskonalona.

Wprowadzono 09 wydanie Księgi Jakości z dnia 09.03.2016r.

Utrzymywano:

- 19 procedur ogólnych (3 nowe wydania)
 - 5 procedur badawczych (2 nowe wyd.)
 - 19 instrukcji badawczych (1 nowe wyd.)
- Dokonano zmian w pozostałych procedurach ogólnych, technicznych oraz formularzach.

Szerzej omówionym zagadnieniem było zagadnienie nr 5, „PRZEGLĄD ZARZĄDZANIA”, który został przeprowadzony w dniu 21.06.2016r. zgodnie z procedurą QPO10 przez Dyrektora CLOR dr-a Pawła Krajewskiego, według Planu przeglądu zarządzania. Tematyką obejmował wszystkie elementy systemu zarządzania podane w wymaganiach normy.

Następnie omówiono (zag. nr 6) „CELE I ZADANIA NA OKRES 2015/2016”, tj. 5 wyznaczonych celów, ze szczególnym uwzględnieniem przyczyny niezrealizowanych celów dla tych, których nie udało się zrealizować w ustalonym terminie, co widać na załączonej tabeli.

Tabela 1. Cele i zadania na okres 2015/2016

Cel	Zadanie	Odpowiedzialny
Poprawa jakości pracy na stanowisku Nr 1 – doskonalenie	Modernizacja obsługi systemu bazy TLD - prace we wł. zakresie	Kamil Szewczak
Doskonalenie systemu zarządzania poprzez edukację personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych i wewnętrznych	Alicja Kudynowska Grażyna Krajewska
Modernizacja pomieszczenia stanowiska Nr 3	Pomalowanie pomieszczenia Laboratorium	Grażyna Krajewska
Unowocześnienie aparatury w PDIŚ	Zakup nowego czytnika TLD	Kamil Szewczak
Rozszerzenie zakresu akredytacji	Opracowanie i wdrożenie metodyki oceny dawki na soczewkę oka	Grażyna Krajewska

Przypomniano, że na niniejszym przeglądzie zostały przygotowane cele i zadania na następny okres (2016/2017) co zaprezentowano na slajdach (Tabela nr 2).

Zaprezentowano i omówiono wyniki audytów wewnętrznych i zewnętrznych, a mianowicie:

Audit wewnętrzny Nr 1/2016 z dnia 27.04.2016 - auditor: Katarzyna Wołoszczuk - nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności.

Tabela 2. Cele i zadania na okres 2016/2017.

Cel	Zadanie	Osoba odpowiedzialna oraz termin wyk.
Poprawa jakości pracy na stanowisku Nr 1 – doskonalenie	Modernizacja obsługi systemu bazy TLD - prace udoskonalające	Kamil Szewczak - sukcesywnie do II kw. 2017
Doskonalenie systemu zarządzania poprzez edukację personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych i wewnętrznych	Alicja Kudynowska Grażyna Krajewska - sukcesywnie do II kw. 2017
Modernizacja pomieszczenia stanowiska Nr 3	Montaż digestorium oraz Pomalowanie pomieszczenia Laboratorium - cel przeniesiony z okresu poprzedniego	Grażyna Krajewska - do II kw. 2017
Przekazanie wiedzy młodemu pokoleniu, dotyczącej prowadzonych badań na stanowisku nr 3 i nr 4	Zatrudnienie nowego pracownika	Grażyna Krajewska - do II kw. 2017
Rozszerzenie zakresu akredytacji	Opracowanie procedury - cel przeniesiony z okresu poprzedniego	Grażyna Kra- do II kw. 2017 Jewska
Modernizacja pomieszczeń laboratorium	Adaptacja pok. Nr 116 na potrzeby st. Nr 4	Kamil Szewczak - do II kw. 2017

Audit wewnętrzny Nr 2/2016 z dnia 02.06.2016- auditor: Katarzyna Wołoszczuk - nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności.

Audit w nadzorze A – 932-2016 z dnia 27.06.2016

Zespół oceniający:

- Jerzy Piestrzeniewicz - AW - 2 spostrzeżenia
- Janusz Skubalski - AT- 2 spostrzeżenia
- Halina Lisowska – E - 1 niezgodność

W raporcie audytora wiodącego zostały odnotowane 2 spostrzeżenia:

1. W Księdze Jakości nie zaktualizowano informacji o bezpośredniej podległości CLOR (w rozdziale 2 KJ zamieszczono informację, że nadzór nad CLOR sprawuje nieistniejący Minister Gospodarki).
2. W sprawozdaniach z badań symbol akredytacji jest zamieszczony w pozycji równorzędnej ale nieco poniżej nazwy akredytowanego podmiotu. Identyfikacja osób upoważnionych do autoryzacji sprawozdań z badań przedstawiona jest jako "podpis osoby upoważnionej", podpis Kierownika Pracowni" lub „Kierownik Pracowni”, ale bez jednoznacznej identyfikacji, że jest to osoba autoryzująca.

Również 2 spostrzeżenia odnotował auditor techniczny i 1 niezgodność zapisała Pani Ekspert techniczny:

1. Dostarczone przez Klienta zapisy z poboru próbki mogą w niektórych sytuacjach uniemożliwić podanie miarodajnego wyniku przeprowadzonego badania.
2. Przedstawiony do oceny przez Laboratorium plan sterowania jakością dla przedsięwzięć wewnętrznych dla stanowiska nr 4 nie wyczerpuje wszystkich możliwych do zrealizowania działań.

NIEZGODNOŚĆ

Laboratorium nie prowadzi systematycznego okresowego sprawdzania temperatury inkubatora stosowanego do hodowli komórkowej, w celu ustalenia spełnienia wymagań dotyczących temperatury, określonych e metodyce badań”.

Prezentująca odniosła się do pierwszego spostrzeżenia, stwierdzając, iż była ona nieuzasadniona. Poinformowała, że Laboratorium zrealizowało działania korygujące w odniesieniu do stwierdzonej niezgodności, dokumentując to w KPiMDzK jak również przeprowadziło analizę i ocenę ryzyka w stosunku do udokumentowanych spostrzeżeń.

Następnie omówionym zagadnieniem były informacje zwrotne od klientów.

Laboratorium otrzymuje informacje zwrotne od Klientów w postaci ANKIET STOPNIA ZADOWOLENIA KLIENTA.

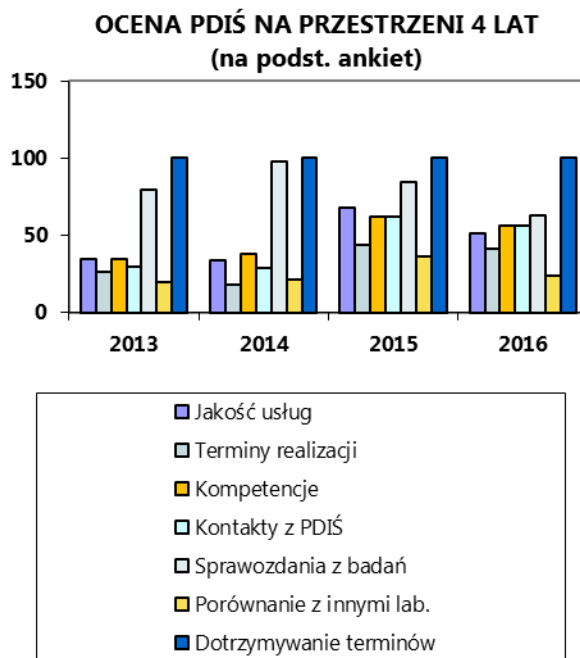
W okresie lipiec 2015 – czerwiec 2016 Laboratorium uzyskało od klientów 41 ankiet

i przeprowadziło ich analizę, z której wynikają następujące wnioski:

- stopień zadowolenia Klienta w ankietowanym, powyższym przedziale czasowym ma tendencję zniżkową w stosunku do poprzednio ankietowanego okresu,
- średnia ocena laboratorium jest nieco niższa od ubiegłorocznej oceny ale znacznie lepsza od oceny w 2014 i 2013 r.
- najwyższą notę PDIŚ otrzymało za dotrzymywanie terminów realizacji umów i jakość sprawozdań z badań. Na następnej pozycji wynik zadowalający jest za kompetencje PDIŚ i kontakt z w trakcie realizacji usług.
- 39% to stali klienci, 31% nowych klientów zgłosiło się dzięki bardzo dobrej rekomendacji stałych klientów, 10% dowiedziało się o naszej działalności na kursach OR a 20% ze stron internetowych.

Nie było skarg i reklamacji.

Dla lepszego zobrazowania zadowolenia klienta referująca zaprezentowała wykres podsumowujący wyniki analizy ankiet na przestrzeni czterech ostatnich lat.



Rysunek 1. Ocena PDIŚ na przestrzeni 4 lat.

Przekazano słuchaczom, że w PDIŚ potrzeby szkoleniowe zostały zidentyfikowane na podstawie prognoz i ustaleń z przeglądu zarządzania.

Sporządzono plan szkoleń na 2016 r. jak również opracowano formularz dla szkoleń pozaplanowych.

Spośród zaplanowanych 8 szkoleń odbyło się 7 szkoleń wewnętrznych i 1 zewnętrzne. Odbyło się również 12 szkoleń pozaplanowych – w tym 8 zewnętrznych (2 płatne).

Na koniec I części seminarium zapoznano uczestników z oceną Laboratorium przez Organizację zewnętrzną – PCA.

Podczas oceny w nadzorze zostały spisane następujące silne strony laboratorium:

- Duże zaangażowanie Dyrektora CLOR i Kierownictwa Laboratorium w doskonalenie systemu zarządzania (AW)

- Szczegółowe udokumentowanie zakresu obowiązków, uprawnień i odpowiedzialności pracowników (AW)
- Szczególnie dogłębna analiza ankiet zadowolenia klienta, opracowana w formie słownej i graficznej (AW)
- Szczególna wnikliwość w dokumentowaniu działań związanych z działaniami korygującymi i zapobiegawczymi (AW)
- Kompetencje personelu technicznego (E)
- Doświadczony personel (AT)
- Słabych stron nie stwierdzono. Zespół oceniający nie wskazał również elementów wymagających zwrócenia szczególnej uwagi podczas następnej oceny.

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

K. Wołoszczuk

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych jest akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji od 2003 roku. Od tego czasu wzorcowania wykonywane są zgodnie z Zakresem akredytacji nr AP 057 oraz wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Jest 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.

Jednym z ważniejszych wymagań normy 17025 jest zachowanie spójności pomiarowej. W LWPDiR spójność pomiarowa zachowana jest dzięki wzorcowaniu wzorców odniesienia (Rysunek 1) w europejskich akredytowanych laboratoriach wzorcujących, takich jak PTB, PTW, SUJCHBO. Część wzorców wzorcowana jest w Głównym Urzędzie Miar, w którym znajdują się państwowe wzorce jednostek miar. Zachowanie spójności pomiarowej jest warunkiem jednoznaczności wyników pomiarów, umożliwiającym ich wzajemne porównanie.



Rysunek 1. Wzorce odniesienia LWPDiR.

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 2016 obejmowała 36 działań, wszystkie zostały wykonane. Kontrola jest kompleksowa i obejmuje zarówno sprawdzanie sprzętu pomiarowego, charakterystyki wiązki promieniowania, „czynnika ludzkiego”, jak również programu ułatwiającego wyznaczanie współczynnika kalibracji. Każde z wykonywanych sprawdzeń ma określone kryterium, które musi zostać spełnione. Tak szczegółowe sprawdzanie gwarantuje wysoką jakość wykonywanych wzorcowań.

27 czerwca 2016 roku w ramach procesu nadzoru Polskiego Centrum Akredytacji nad laboratorium, został przeprowadzony w LWPDiR audyt w nadzorze wykonany przez audytorów zewnętrznych- wiodącego i technicznego. W czasie oceny PCA spisane zostały trzy spostrzeżenia, nie odnotowano żadnej niezgodności.



DZIAŁ SZKOLENIA I INFORMACJI



Realizacja prac Działu Szkolenia i Informacji CLOR w 2016 r. Zadania Komitetu Technicznego 246 ds. ochrony radiologicznej

I. Słonecka

Dział Szkolenia i Informacji Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej zajmuje się:

- prowadzeniem szkoleń z ochrony radiologicznej,
- opracowywaniem programów szkoleń i przygotowywaniem materiałów dydaktycznych,
- prowadzeniem działalności wydawniczej oraz upowszechnianiem dorobku naukowego pracowników CLOR, które realizowane są w postaci publikowanych co roku raportów z działalności CLOR. Od 2015 r. dorobek naukowy pracowników rejestrowany jest w ogólnodostępnej bazie Polskiej Bibliografii Naukowej.
- nadzorowaniem archiwum CLOR,
- nadzorowaniem biblioteki CLOR (coroczne sprawozdanie biblioteki K-03 do GUS),
- koordynacją działań CLOR w zakresie opracowywania i opiniowania norm i przepisów krajowych i międzynarodowych,
- prowadzeniem sekretariatu KT ds. Ochrony radiologicznej,
- popularyzacją nauki.

W roku 2016 przeprowadzono dwa szkolenia dla kandydatów na zdobycie uprawnień Inspektora Ochrony Radiologicznej (IOR-1Z, IOR-1R, IOR-1, IOR-3) trwające 3 tygodnie oraz pięć szkoleń tygodniowych, aktualizujących wiedzę skierowanych do osób posiadających takie uprawnienia. Innym rodzajem kursów organizowanych w CLOR są dwudniowe szkolenia stanowiskowe dla operatorów akceleratorów oraz urządzeń do brachyterapii ze źródłami promieniotwórczymi. Organizowane są także kursy z zakresu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Sumarycznie wydano 161 zaświadczeń dla kandydatów na zdobycie wyżej wymienionych uprawnień. W 2016 r.

zorganizowano także szkolenie dla ok. 60 studentów Szkoły Głównej Służby Pożarniczej.

CLOR uczestniczy w pracach normalizacyjnych w dwóch Komitetach technicznych:

- 246 ds. ochrony radiologicznej, którego Przewodniczącym jest Dyrektor CLOR, dr Paweł Krajewski, a prowadzeniem sekretariatu zajmował się mgr inż. Krzysztof Ciupek, apóźniej mgr inż. Jarosław Jaźwiński.
- 266 ds. aparatury jądrowej, którego CLOR jest członkiem z prawem głosowania.

Działalność normalizacyjna to w głównej mierze opiniowanie projektów norm, aktywne głosowanie nad nimi oraz ich przegląd, gdyż normy wydane przed rokiem 1994 są automatycznie wycofywane jeżeli nie wpłynęły wnioski o ich nowelizację. Ze względów finansowych tłumaczone są głównie tytuły i zakresy nowo wprowadzanych dokumentów.

W roku 2016 Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej uczestniczyło w wielu wydarzeniach informacyjno-edukacyjnych. Dzięki uprzejmości i zaangażowaniu pracowników CLOR organizowane są spotkania dla młodzieży, które przybliżają charakter prac realizowanych w CLOR. Ponadto CLOR uczestniczył w 20. Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, Pikniku W Kancelarii Premiera zorganizowanym z okazji Dnia Dziecka, a także w Festiwalu Nauki w Jabłonie. Na każdej z imprez stoisko wystawowe CLOR zawsze cieszy się ogromnym zainteresowaniem.

Sztandarową działalnością Działu Szkolenia i Informacji CLOR jest prowadzenie szkoleń, dlatego w 2016 r. podjęto próby mające na celu zdobycie zezwolenia na organizowanie szkoleń z zakresu ochrony radiologicznej pacjenta, które wydaje Główny Inspektorat Sanitarny. Uzyskanie zezwolenia planowane jest na początek 2017 roku.



Introduction

This CLOR report contains brief descriptions of all the main studies conducted by the Central Laboratory for Radiological Protection in 2016 in the form of summaries, charts and illustrations.

It is a compendium of information, that is discussed in further detail in expert evaluations and publications that have been issued by the CLOR as part of its mission or that are available on the CLOR website¹³.

As in previous years, research/ implementation studies realized in 2016 by the Central Laboratory for Radiological Protection were primarily related to the radiological protection issues listed in the Nuclear Power Programme for Poland (2014-2030), approved with Resolution 15/2014 (PPEJ) on the 28th of January, 2014 by the Council of Ministers. CLOR's work fits well into the individual tasks of the Nuclear Programme's Objective 6: "REINFORCE DOMESTIC SYSTEM OF RESPONDING TO RADIOLOGICAL EMERGENCIES, INCL. REINFORCE NATIONAL RADIATION MONITORING SYSTEM". Additionally, the CLOR statute requires that all conducted works be implemented for practical use and for their results to be publicized, especially for studies regarding radioanalysis and related methods of chemical analysis, or the improvement of methods for measurement or calibrating dosimetric and radiometric devices. Some of the more significant tasks carried out by the CLOR are as follows:

From 2011 to 2014, the CLOR was the coordinator of Research Task 6, "DEVELOPEMENT OF NUCLEAR SAFETY AND RADIOLOGICAL PROTECTION METHODS FOR THE NUCLEAR POWER ENGINEER'S CURRENT AND FUTURE NEEDS", realized within the framework of a strategic research project conducted by the National Centre for Research and Development: "TECHNOLOGIES SUPPORTING DEVELOPMENT OF SAFE NUCLEAR POWER TECHNOLOGIES". Apart from the substantive patronage over work surrounding the above mentioned objective, the tasks of the CLOR focused on implementing a prototype of a new NASS-500 station for determining radioactive contamination of air, on developing methodology for radiological evaluations in locations of the planned nuclear

power plant and on implementing new standards of occupational exposure dosimetry for employees of the future nuclear power plant. As written in the long-term Nuclear Power Programme for Poland (2014-2030), chapter 12: Technical Resources and Research Facilities of the Polish Nuclear Power, "WITH THE EVALUATION OF THE AFOREMENTIONED RESEARCH TASKS COMPLETED –THE TASKS BEING DELIVERED AS PART OF A STRATEGIC RESEARCH SCHEME, IN VIEW OF THEIR USEFULNESS FOR IMPLEMENTATION OF NUCLEAR POWER IN POLAND – PREPARATION OF A SUBSEQUENT EDITION OF THE PROJECT SHOULD BE CONSIDERED. AT THIS STAGE, ACCOUNT SHOULD BE TAKEN OF THE EXPECTATIONS OF THE NUCLEAR REGULATORY AUTHORITY AND THE GOVERNMENT ADMINISTRATION, IN THE LIGHT OF FUTURE DEMAND FOR THIRD-PARTY PROFESSIONAL (EXPERT) SERVICES, AMONG OTHER THINGS".

The CLOR was also a member of a research network implementing Research Task 3 of the above programme, "MEETING THE POLISH NUCLEAR POWER ENGINEERING'S DEMAND FOR FUEL – FUNDAMENTAL ASPECTS" (research network leader – University of Warsaw). The CLOR's research tasks within the above consortium regarded assessing the impact of post-mining areas, waste repositories and low-grade uranium mineralization on the environment, as well as the methodology of assessing models of future installation used not only for the advancement of nuclear power but also in the raw materials industry.

As a co-author of the project titled "ASSESSING EMPLOYEE EXPOSURE TO IONIZING RADIATION RESULTING FROM RADIOACTIVE ISOTOPES IN NUCLEAR MEDICINE INSTITUTES", which was part of the long-term national programme "IMPROVEMENT OF SAFETY AND WORKING CONDITIONS" lead by the Central Institute for Labour Protection, CLOR developed new safety and hygiene standards in accordance with EU Council Directive.

Under the Seventh Framework Programme, "ASSESSMENT OF REGIONAL CAPABILITIES FOR NEW REACTORS DEVELOPMENT THROUGH AN INTEGRATED APPROACH", ARCADIA, (2013-2016), work was carried out or the purpose of strengthening the substantive basis for the new generation of HTR nuclear reactors in the EU ALFRED programme.

¹³ <http://www.clor.waw.pl/>

In 2016, CLOR submitted a proposal for two new projects, that will be financed by the EU in 2017:

- The EURAMET METRORDON project, Reference no. 16ENV10, titled "METROLOGY FOR RADON MONITORING" (the project will be financed starting 01.06.2017). The project pertains to the validation of methods for radon measurement in EU countries, according to the requirements in EU Council Directive number 2013/59/EURATOM called Basic Safety Standards from 5th December 2013 r., using the radon calibration chamber in CLOR.
- EURAMET PREPAREDNESS project, Reference no. 16ENV04, titled "METROLOGY FOR MOBILE DETECTION OF IONISING RADIATION FOLLOWING A NUCLEAR OR RADIOLOGICAL INCIDENT" (the project will be financed starting 01.08.2017).

Also worth noting are the problematic aspects of adjusting the national radiological protection system in light of increased requirements, resulting from new EU recommendations and directives, which have been, or soon will be, transposed to national law. Due to mandatory implementation of the New European Union Basic Safety Standard Directive (approved by the EU Parliament on the 14th of January, 2014, with February 6th, 2018 as the deadline for transposition into the national law of EU Member States), it will become obligatory for Member States to comply with the increased standards of working conditions for dealing with sources of ionizing radiation, particularly for medical personnel, rescuers in emergency exposure situations and workstations with a heightened concentration of radon and other natural radionuclides ¹⁴. Regulations have also been tightened regarding the protection of civilians, medical patients and the environment. In 2018, the above EU laws will become binding for the Nuclear Safety and Radiation Protection (BJiOR) system in Poland.

The CLOR's activities towards modernizing the national radiological protection system are carried out amid the intensive cooperation with foreign institutions:

On May 5th, 2015, CLOR representative dr Pawel Krajewski was nominated for a four-year term as an

expert in the Group of Experts referred to in Article 31 of the Euratom Treaty.

On June 12th, 2015, CLOR became a member of the International Union of Radioecology, ALLIANCE. The "ALLIANCE" union brings together the largest European institutes and takes part in EU Horizon-2020 contests, for example, CLOR submitted a proposal for the program: 'CONCERT-European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research' under Horizon-2020.

On July 8th, 2015, an agreement was signed with the German Federal Office of Radiological Protection (Bundesamt für Strahlenschutz) regarding the measurement of noble gases Kr-85 and Xe-133 in the areas surrounding the Swierk Institute containing of the "MARIA" reactor and Radioisotope Centre POLATOM. Measurements are being continued in 2017 in a 10-day cycle.

Experts from the Central Laboratory for Radiological Protection participate in work done by research groups of the Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH), including: Working Party on Nuclear Emergency Matters, Expert Group on the Implications of ICRP Recommendations, Expert Group on Occupational Exposure.

As part of the quality management system, in accordance with standard PN-EN ISO/IEC 17025:2005, the accredited Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis (AB 1215) routinely participates in international laboratory comparisons organized by the International Atomic Energy Agency (IAEA, Vienna, Austria): determining U-238, U-234, Ra-226, Po-210 and Am-241 in various components of the environment and food products.

Work was also carried out within the framework of the Research Group responsible for testing and validating computer models dedicated to predicting doses and the contamination of the environment after a discharge of radioactive substances from nuclear installations, as part of the International Atomic Energy Agency program MODARIA II (Environmental Modeling for Radiation Safety) (2016-2019)

CLOR conducts studies of radioactive element content in sediments and biota of the Baltic Sea (a collaboration of all the Baltic States) as part of the Helsinki Commission (Baltic Marine Environmental Protection Commission, Helcom Mors)

¹⁴ NORM and TNORM – Technologically Enhanced Normally Occurring Radionuclides

Under its standardisation work, CLOR runs the secretariat and chairs the PKN/KT246 "Radiological protection" committee.

The Nuclear Safety and Radiation Protection (BjIOR) system requires strengthening¹⁵ in terms of supportive personnel and infrastructure. It seems that compared to other EU countries, the substantive base (TSO – Technical Support Organization) is the weak point of the BjIOR system in Poland. Of particular concern is the expert potential scattered throughout the country, usually in the form of small groups of specialists, located in a dozen or so institutes that employ larger research equipment (reactors, cyclotrons, high-level radioactive sources) or were created for industry needs (medicine, mining, defence). Specifically, the national network for radiation monitoring of the population and environment, coordinated by the PAA, is comprised of units functioning in different organizational systems, such as: Research Institutes, Polish Academy of Sciences, Specialist Faculties of Universities, Sanitary-Epidemiological Stations. The efficiency of these stations depends on the current, often changing, measurement capacity of these institutions. Any type of modernization, upgrade or expansion of particular elements of this network depends only on the resourcefulness and variable financial situation of the aforementioned institutions, while integration of the network is virtually impossible. Especially disconcerting is the high average age of employees at these institutes, the low wages and as a consequence of this, an outflow or complete lack of young, qualified personnel.

As per the IAEA regulations and the experiments done by countries, that have successfully, and with public acceptance, implemented and continued to develop nuclear power, it is important to possess scientific and research facilities, that will guarantee support in nuclear supervision and government administration throughout the process of issuing authorizations for the construction, start-up, operation and decommissioning of nuclear power plants, as well

¹⁵ This is discussed in more detail in an article by P.Krajewski and G.Krajewska, A Strategic NCBR Research Project. Technologies Supporting Development of Safe Nuclear Power Engineering. Research Task 6. Development of nuclear safety and radiological protection methods for the nuclear power engineering's current and future needs, PTJ, VOL. 58 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2015.

as for the duration of their construction, operation and decommissioning. The extended credibility of the national expert support (TSO) will have a positive impact on the societal acceptance of nuclear power in Poland.

CLOR's work towards the creation of a national expert support system (TSO) made some progress when on the 3rd of April, 2012, a Framework Agreement was signed with the President of the National Atomic Energy Agency (PAA), continuing the role of CLOR as specialized substantive support for the PAA and as a significant component of the national radiation safety system.

The PAA President's authorization of CLOR as a key unit in the Technical Support Organization for the department of Nuclear Supervision ¹⁶ was verified in the Laws Amending the Nuclear Law from December 4th, 2016, which contained entries guaranteeing stable and predictable conditions of cooperation between the President of the National Atomic Energy Agency and the TSO institutions.

Within the scope of what is covered by the agreement, CLOR is responsible for a variety of tasks, including:

Routine monitoring of the radioactive contamination of atmospheric aerosols in Poland, as part of maintaining the early warning network for the National Atomic Energy Agency.

Routine monitoring of areas surrounding nuclear sites or facilities, such as the Radioactive Waste Repository in Rozan or Maria Reactor in Swierk.

Monitoring tap water in large urban agglomerations and examining samples of daily diets and food products (Warsaw, Gdansk, Sosnowiec)

Surveying radioactive contamination in the Southern Baltic region (under the auspices of the Helsinki Commission – HELKOM)

CLOR also organizes comparative studies for measurement units that perform basic measurements of radioactive contamination as part of national radiation monitoring.

In 2016, CLOR also conducted several studies regarding the implementation of new measurement methodology, such as:

¹⁶ On April 3rd, 2012, as a result of a Framework Agreement signed with the President of the National Atomic Energy Agency (PAA)

Developing guidelines for implementing a method for carbon C-14 determination in environmental samples,

Developing a workstation for determining the concentration of isotope Rn-222 in water by means of alpha radiation spectrometry,

Optimizing the method for calibrating radon devices at low radon concentrations in the air (on the level of 300 Bq/m³) in accordance with the EU Directive from December 5th, 2013,

Characterisation of the neutron field produced by a D-T generator for the purpose of setting up a calibration workstation,

Determining organically bound tritium (OBT) in biological samples

Pilot studies about evaluating the exposure of employees' eyes in medical institutes, using TLD dosimeters.

and biological dosimetry, which results from the need for analyzing the effects of radiation on the human body as well as for the continuous development and maintenance of biological dosimetry methods, in terms of the advancement of nuclear power in Poland, specifically:

Determining the relative biological effectiveness of a therapeutic proton beam, created by the Proteus C235 cyclotron, with the use of the dicentric test in peripheral blood lymphocytes,

Inter-laboratory comparisons of absorbed X-ray dose determinations by means of the dicentric test in peripheral blood lymphocytes.

The year 2016 was also marked by a significant increase in the number of statutory services CLOR provides, which was accomplished thanks to highly skilled personnel, with extensive experience gained over many years of conducting operational work in the area of radiological protection, as well as the methods for determining radioactive isotope content in the environment and human body, which is unique on a national scale.

Apart from expert consultations, the Institute also carries out popularisation and training activities. Almost since the beginning of its existence, CLOR has been training Radiological Protection Inspectors (approx. 200 people a year) and conducting specialist training for the Border Patrol, Bureau of Counter Terrorist Operations, Civil Protection and the students of the Main School of Fire Service. Related issues that were abandoned in the 1980s, such as preventative actions in case of a threat of nuclear or radiation terrorism, should also be reintroduced.

In conclusion, it should be noted, that achieving a high level of competence and good scientific and financial results in 2016 was only possible because of the entire CLOR team, whom Management would now like to thank for their hard work and for faithfully upholding the three fundamental principles of an institute providing scientific and technical support, such as the CLOR: a high level of competence, independent and objective opinions, as well as dedication and availability in contacts with non-professionals.

Central Laboratory
for Radiological Protection

Director



Dr Paweł Krajewski

**DEPARTMENT OF RADIATION
HYGIENE**

Development of assumptions for implementing the ^{14}C determination method in environmental samples

A. Fulara

Introduction

The half-life of radiocarbon is 5730 years. It is evenly dispersed in the atmosphere and enters the organic carbon cycle through photosynthesis in the form of carbon dioxide. As long as the body lives, it exchanges matter with the environment and the ratios of radioactive to stable carbon in living matter are similar to that in the atmosphere.

The EU Commission (2000/473/Euratom) recommends determining the quantity of ^{14}C in samples of daily diets in order to assess the exposure of the population. Additionally, monitoring networks surrounding nuclear facilities in many countries make determinations of ^{14}C in various components of the environment, including water. Poland currently does not carry out ^{14}C determinations for national monitoring.

^{14}C is a beta-radioactive isotope with a maximum energy of 156 keV. It does not emit gamma radiation during decay, therefore using spectrometry methods is not possible. It is necessary to use a slightly more "subtle" measuring technique. There are a few ^{14}C measurement techniques, most important of which is the liquid scintillation counting method.

As part of this work, methods of dealing with samples of air, water, food, soil and sediment were analyzed. Particular attention was paid to the way water samples are handled, as described in the standard ISO 13162:2011 Water Quality – Determination of carbon 14 activity – Liquid scintillation counting method.

The collected literature was used to adopt assumptions for introducing a method of determining ^{14}C carbon quantities in environmental samples.

Conclusions

The results were presented during a reporting seminar on February 10, 2017.

Implementation of the ^{14}C measurement method will allow assessing the levels of this isotope in biological samples (important on account of the plans for construction of the first Polish nuclear power plant) and extend the offer of the Central Laboratory for Radiological Protection to include new methods of measurement.

Financing

The work was done for the Ministry of Science and Higher Education.

Adapting a method for organically bound tritium (OBT) determination in biological samples

A. Fulara

Introduction

Tritium is the heaviest, as well as the only radioactive hydrogen isotope. Decaying with a half-life of $T_{1/2} = 12.35$ years, it emits β particles with a max energy. = 18.6 keV and an average energy of 5.7 keV. In nature, it mainly occurs in the form of HTO, but if released into the environment, it can be incorporated into organic substance, and with it, enter the human body.

The purpose of this study was to adapt a method for the determination of organically bound tritium (OBT) in biological samples: plant material, food, urine, etc.

In 2016, a review of the available literature was conducted. The collected material was used to broaden the knowledge about this subject and adopt assumptions for introducing a method of measuring organically bound tritium in biological samples.

A method for the determination of organically bound tritium in urine samples was tested. It consisted of subtracting the HTO from the total tritium activity (OBT + HTO) in the urine.

In the first stage of the study, the urine samples were mixed with a liquid scintillator. In the second stage, the samples were passed through activated carbon. The determination of HTO is possible after

the organic matter contained in the urine is absorbed into the activated carbon. Double samples of urine were measured using LSC. The OBT was calculated by subtracting the result obtained in step 2 from the result obtained in step 1. The completion of this study was followed by a request to participate in international comparative research in order to verify the chosen methodology.

Conclusions

The collected material will be used in the year 2017, during which it is planned to make or purchase a device for recovering water from biological material and to participate in international comparative research to verify the selected methodology. The implementation of the organically bound tritium measurement method will enable establishing the levels of tritium contained in biological samples (which is important on account of plans for the construction of the first Polish nuclear power plant) and to extend the offer of the Central Laboratory for Radiological Protection to include new methods of measurement.

Financing

The study was done for the Ministry of Science and Higher Education.

Monitoring the radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2016-2019

M. Kardaś, A. Fulara, B. Rubel, M. Suplińska, E. Starościak, K. Pachocki, A. Adamczyk

Introduction

In order to monitor the radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2016, samples of water and bottom sediment were collected twice a year (in spring and autumn) from 18 sampling points. These sampling points were located along the Wisla River (7 sampling points), the Odra River (5 sampling points) and in selected Polish lakes (six points).

The samples of river water were taken from the main stream, whereas the lake water samples were taken from platforms. The volume of each water sample was 20 liters. Samples of bottom sediments (total mass of about 1 kg) consisted of sub-samples collected from three points, located 30-50m apart from one another.

^{137}Cs and ^{90}Sr levels in water and plutonium levels in bottom sediments were determined using radiochemical methods, whereas ^{137}Cs in bottom sediments was determined using gamma spectrometry.

An overall assessment of the radiological situation in Polish surface waters was done based on the average activity concentrations of the analyzed radionuclides in the examined waters. The unambiguous evaluation and comparison of particular data, regarding determinations in water and bottom sediments obtained in spring and autumn, cause some difficulties that result mainly from the different atmospheric conditions under which the sampling was carried out. In the case of sediments, the differences between samples can also result from the composition of the sediment (from sandy to clay loam) that had drifted to the sampling points during specific sampling periods.

The average activity concentrations of ^{137}Cs in water from basins of the Wisla River and Odra River, as well as from the chosen Polish lakes were at an even level and ranged from 2.13 mBq l^{-1} (for lakes) to 2.96 mBq l^{-1} (the Odra river basin). The average activity concentrations of ^{90}Sr ranged from 3.61 mBq l^{-1} for the Wisla river basin to 4.27 mBq l^{-1} for lakes.

Table 1. Annual average concentrations of ^{137}Cs and ^{90}Sr and their concentration ranges in the water of the basin of the Vistula, Odra and lakes.

Location of sampling	^{137}Cs [mBq l^{-1}] average annual	^{137}Cs [mBq l^{-1}] range	^{90}Sr [mBq l^{-1}] average annual	^{90}Sr [mBq l^{-1}] range
Basin of the Wisla (7)^{a)}	2.20 ± 1.07 ^{b)} (14)	0.92 – 4.24	3.61 ± 0.78 ^{b)} (14)	2.03 – 4.96
Basin of the Odra (5)	2.96 ± 0.71 (10)	1.94 – 4.23	4.27 ± 2.62 (10)	2.43 – 11.56
Lakes (6)	2.13 ± 1.00 (12)	1.23 – 4.87	3.72 ± 2.80 (12)	1.87 – 9.01
Average overall (18)	2.39 ± 1.00 (36)	0.92 – 4.87	3.83 ± 2.13 (36)	1.87 – 11.56

^{a)} Number of samples

^{b)} Average value ± Standard deviation

Significant differences in the activity concentrations of ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ were observed in bottom sediments of the rivers and lakes. The largest variations were observed in lakes. The

smallest were found in the bottom sediments from the Wisla River basin (Table 2).

The average activity concentrations of ^{137}Cs in bottom sediments also varied: the lowest value was

observed in the Odra River basin (3.90 Bq kg⁻¹) and the highest in lakes (16.03 Bq kg⁻¹).

The annual average activity concentrations of plutonium in bottom sediments were similar for both rivers and amounted to 35.00 mBq kg⁻¹ for the

Wisla River basin and 29.54 mBq kg⁻¹ for the Odra River basin. This value was significantly higher for lakes – 50.98 mBq kg⁻¹ (Table 2).

Table 2. Annual average concentrations of ¹³⁷Cs and ^{239,240}Pu and their concentration ranges in bottom sediments of the basin of the Vistula, Odra and lakes.

Location of sampling	¹³⁷ Cs [Bq kg ⁻¹] average annual	¹³⁷ Cs [Bq kg ⁻¹] range	^{239,240} Pu [mBq kg ⁻¹] average annual	^{239,240} Pu [mBq kg ⁻¹] range
Basin of the Wisla (7)^{a)}	4.86 ± 4.09 (14) ^{b)}	0.24 – 15.28	35.00 ± 36.43 (14)	1 – 120.02
Basin of the Odra (5)	3.90 ± 4.18 (10)	0.46 – 14.45	29.54 ± 49.29 (10)	6.04 – 167.05
Lakes (6)	16.03 ± 31.54 (12)	1.36 – 109.00	50.98 ± 118.59 (12)	2.01 – 418.75
Average overall (18)	8.32 ± 17.34 (36)	0.24 – 109.00	38.81 ± 62.00 (36)	1 – 418.75

^{a)} Number of samples

^{b)} Average value ± Standard deviation

Both the annual average concentrations of the analyzed radionuclides as well as the determination results for individual samples of water and sediment do not differ from data obtained in previous years.

Conclusions

Monitoring radioactive contamination of surface waters and sediments leads to the conclusion that ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr contamination of surface waters is low. Also, the concentration of radioactive ¹³⁷Cs and

^{239,240}Pu in bottom sediments of rivers and lakes remains at a low level.

Our determinations confirm that there were no recent releases of radioactive isotopes into the environment.

Financing

This study was done on request of the National Fund for Environmental Protection

Risk assessment for the population of Lublin and Katowice based on analyses of meals in 2016

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

Introduction

Radioactivity in foodstuffs is an important indicator of radionuclide transfer from the environment to man. We can express the radioactivity content of foodstuffs per unit weight or by estimating the ingested activity per day per person.

This paper presents the results of a dose assessment based on the ingestion of complete prepared meals in Lublin and Katowice. The dose assessment was done with regard to the intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

In 2016, samples of complete meals were collected every day for 5 days in April from school canteens in Lublin (east Poland) and for 5 days in May from school canteens in Katowice (south Poland). The meals were analysed separately for each day and town.

Spectrometric (spectrometer Canberra with HPGe detectors and Genie 2000 software) and radiochemical methods were applied to determine the activity of ^{137}Cs in meals. For radiochemical analyses, a dissolved sample was filtered through a radiochemical funnel with an ammonium molybdeno-phosphate (AMP) bed, selective for caesium. The activity of caesium in the AMP bed was measured using the Low Level GM Multicounter system (production Risoe, Denmark).

Strontium-90 was determined using the activity of its daughter isotope ^{90}Y , after a $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ equilibrium had been reached [1]. The same measurement system as for ^{137}Cs determination (beta radiation measurement) was used.

Results

The ranges of the average content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diets collected from canteens in Lublin and Katowice are presented in table 1.

Table 1. The mean and range content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diets in 2016.

Radionuclide	Lublin	Katowice
	content in daily diet [$\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$]	content in daily diet [$\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$]
	April 2016	May 2016
^{137}Cs	0.44 ± 0.05 (0.34 ÷ 0.53)	0.32 ± 0.04 (0.30 ÷ 0.34)
^{90}Sr	0.08 ± 0.01 (0.05 ÷ 0.09)	0.06 ± 0.01 (0.04 ÷ 0.09)

The differences in ^{137}Cs levels in daily meals can be attributed to the variation in the ^{137}Cs activity in food products. The variation of ^{137}Cs was mostly caused by the mass of the meals as well as the products used to prepare them. The masses of the meals in Lublin were higher (by 25%) than in Katowice, large amounts of multigrain bread were served.

The concentration of ^{90}Sr in meals in both towns was on a similar level, 0.06-0.08 Bq/day. The small differences were mainly due to the mass of the meals. The higher average content of ^{90}Sr in Lublin may be due to a higher consumption of multigrain bread.

In 2015, the average content of ^{137}Cs in daily diets in Finland was $0.23 \div 0.69 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ in Helsinki, $0.14 \div 1.34 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ in Rovaniemi and $0.09 \div 0.22 \text{ Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ in Tampere. The content of ^{90}Sr in weekly meals in these towns was $0.21 \div 0.49 \text{ Bq}\cdot\text{week}^{-1}$ [2].

Annual intake and effective dose were assessed based on the concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diets. The results are presented in table 2.

The study has shown that the annual ^{137}Cs and ^{90}Sr intake of the population of Poland is on a fairly low level. There are no significant variations between the intakes in different regions of Poland. The annual intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr with food is mainly dependent on the mass of a daily diet, the products

it consists of, and the amount of consumed milk, fish (some kinds) and beef. Doses received by inhabitants of Lublin and Katowice are on a similar level and do not differ from the doses received in previous years by inhabitants of other Polish cities. The ^{137}Cs effective dose received by the population of different towns in Poland varied from 1.4 μSv to 2.4 μSv while the ^{90}Sr dose ranged from 0.6 to 1.2 μSv . In 2015, the effective dose of artificial radionuclides received by the Norwegian population from food was 10 μSv [3].

Table 2. Annual intake of the isotopes from consumed meals and the effective dose.

	Annual intake from daily diet [Bq]		Effective dose [μSv]	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Lublin	161	29	2.1	0.8
Katowice	117	22	1.5	0.6

Conclusion

Based on the data obtained, it can be concluded that the annual effective dose related to ^{137}Cs and

^{90}Sr received by the Polish population via food ingestion is on a very low level. It is less than 1% of the permissible dose of 1 mSv.

Literature

- [1] Metodyki stosowane w pracach związanych z monitoringiem środowiska i żywności CLOR, Warszawa, listopad 2015.
- [2] Surveillance of Environmental Radiation in Finland. Annual Report 2015. Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK-B204/ELOKUU 2016.
- [3] Komperod M. et al, Radiation Doses to the Norwegian Population, Summary of radiation from exposure and the environment. Stralevern Repport 2015:13.

Financing

Work done according to a contract with the National Atomic Agency no 6/OR/2016/49, issued on 17.02.2016.

Comparative measurements regarding ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope determinations done by measurement units performing radioactive contamination assessments as part of monitoring the radiation in the country

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

Introduction

The project aimed to compare measurements of ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope content in samples of control material with pre-determined amounts of these isotopes. The study was carried out by measurement units responsible for the monitoring and measurement of local radioactive contamination in Poland.

Surface water from the Wisla River spiked with ^{137}Cs and ^{90}Sr was the control material (the required activity concentration of ^{137}Cs : $1 \div 8 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and of ^{90}Sr : $0.5 \div 5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$).

The calibration of gamma spectrometers (Canberra spectrometer with HPGe detectors and Genie 2000 software) was checked using multi-isotopic calibration sources. The accuracy of calibration had been previously verified in the framework of the international program „Radiotoxicology Intercomparisons 2015” managed by PROCORAD, France and ALMERA 2016. The calibration of the Low Level GM Multicounter System used for ^{90}Sr determination was checked using a reference solution of ^{90}Sr ($5.023 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$, date 01.05.2016).

To prepare samples of the control material, 180 liters of surface water were taken from the Wisla River. ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentrations were determined. Next, the water was spiked with the isotopes. The activity concentrations of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the spiked water were determined. Additionally, the homogeneity of the samples was checked.

Results

The results showed that the reference material is homogenous. The activity concentration in the water samples was $6.80 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0.49 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for ^{137}Cs and

$3.34 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0.27 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for ^{90}Sr , which was consistent with the requirements.

In the final stage, samples of ^{137}Cs -spiked surface water were prepared 29 units, which had registered to take part in comparative research, along with samples for ^{90}Sr determination that were prepared for 5 units. Each parcel of reference material was accompanied by blank forms to be filled out with data regarding the laboratory location, the staff conducting the analysis, the method(s) of measurement and the apparatus type.

The measurement results of ^{137}Cs activity concentration in the control samples were received from 29 units, who had conducted a total of 36 determinations. 19 units only used the spectrometric method, 3 units performed radiochemical determination, and 7 units used both methods to determine the activity concentration of ^{137}Cs in surface water samples. The results ranged from $4.4 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ to $7.35 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Conclusions

The submitted measurement results were recorded and compared to reference values. In addition, statistical analysis was performed. One result was rejected. 34 of the results (equal to 94% of all the received measurements) were within $\pm 25\%$ of the reference value. The accuracy and precision of the results provided by the units was assessed based on IAEA criteria. The results were accepted if they met *both* criteria. 35 results satisfied the requirements. Furthermore the "Z" parameter was determined. For 33 results, the absolute value of Z was ≤ 2 , which means that the results didn't differ significantly from the reference value.

The measurement results of ^{90}Sr activity concentration in the control samples were received from 5 units. Only two results were accepted. These results met the criteria for accuracy and precision.

Financing

Work done according to a contract with the National Atomic Agency no. 5/OR/2016/23, issued on March, 17th, 2016 r.

Determination of ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{90}Sr , ^{134}Cs and ^{137}Cs activity concentrations in the water from Oligocene wells in Warsaw

E. Starościk, M. Kardaś

Introduction

The consumption of water is one of the ways radioactive substances pass into the human body. The European Union 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 the Minister of Health regulation of November 27, 2015 "ON THE QUALITY OF WATER INTENDED FOR HUMAN CONSUMPTION" (Dz. U. 2015. pos. 1989) determine the levels of natural and artificial radionuclides permitted in these waters.

The aim of this study was to determine the activity concentrations of natural isotopes: uranium-234, uranium-238, polonium-210, lead-210 and artificial isotopes: strontium-90, cesium-134 and cesium-137 in water samples from Oligocene wells located in Warsaw. The waters were taken from ten Oligocene water intakes located in different districts of Warsaw: pl. Hallera – Praga Polnoc, ul. Inflancka – Srodmiescie, ul. Porajow – Bialoleka, ul. Szaserow - Praga Poludnie, ul. Luczek – Wlochy, ul. Zagloby – Ursus, ul. Kazubow – Bemowo, ul. Gajowiczynskiej – Zoliborz, ul. Plocka – Wola, ul. Wolumen – Bielany.

Results

The activity concentration of ^{210}Po ranged from <0.3 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for the water intake at ul. Kazubow to 2.02 ± 0.12 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water from ul. Szaserow. ^{210}Pb concentration ranged is from 0.98 ± 0.09 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for

water from ul. Porajow to 4.04 ± 0.22 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water from ul. Inflancka. In four water samples (ul. Szaserow, ul. Porajow, ul. Inflancka and pl. Hallera), the activity concentration of ^{234}U was above the limit of detection (0.5 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) and ranged from 1.18 ± 0.24 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ to 1.56 ± 0.28 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$. The activity concentration of ^{238}U in three samples was above 0.5 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$: pl. Hallera – 0.75 ± 0.23 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$, ul. Szaserow – 0.81 ± 0.22 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ and ul. Porajow – 0.82 ± 0.51 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$.

For each of the tested samples of Oligocene water, the activity concentration of ^{90}Sr was below 0.45 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$. The ^{134}Cs determination results, obtained through gamma spectrometry, were below 0.13 $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ for all of the tested water samples. ^{137}Cs activity concentrations were determined by means of radiochemistry and the results ranged from <0.32 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for the water intake at ul. Luczek to 3.91 ± 0.45 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for water from ul. Porajow. The measured activity concentrations of the studied isotopes are shown in Figure 1.

Conclusions

All of the tested water from the wells meets the requirements listed in the Minister of Health regulation of November 27, 2015 "On the quality of water intended for human consumption".

Financing

Ministry of Science and Higher Education.

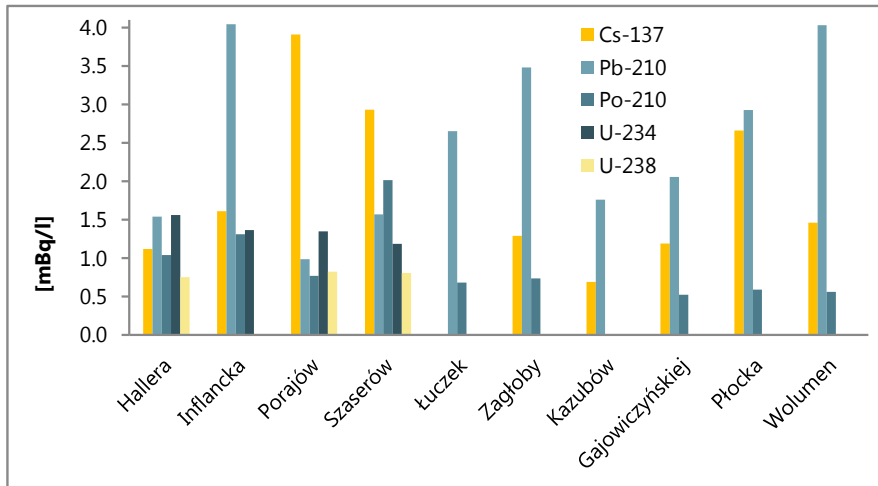


Figure 1. Activity concentrations of studied isotopes in the Oligocene waters of the Warsaw area.

Measurement of radioactive contamination in samples of water, sediments and fish, as part of monitoring the radioactive contamination of the Baltic Sea

M. Suplińska^a, T. Zalewska^b

^a CLOR, Warszawa ^b IMGW-BIP Maritime Branch- Gdynia

Introduction

Research includes determination of radioactive contamination in the marine environment: water, bottom sediments and biota (fish), originating from southern Baltic Sea. These studies are coordinated by the Helsinki Commission and are carried out by all of the Baltic States. The data on radioactive contamination are submitted to the Data Bank of the Helsinki Commission.

Determinations of ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra in water were performed on surface and near bottom layers from the six given sampling stations (Figure 1). In the bottom sediments, determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed on stratified core samples from the above mentioned locations, while determination of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ were done for two chosen sampling stations. Strontium-90 determination was performed on non-stratified samples from each sampling station. ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra determinations were also performed in cods, herrings, sprats and plaices.

Determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed by means of gamma spectrometry, however in the case of ^{137}Cs determinations in the water, the radiochemical method finalised by gamma spectrometric measurements was used. Plutonium isotopes were determined by means of radiochemical analysis and alpha spectrometry, ^{226}Ra – using the emanation method, and ^{90}Sr determination was performed using a radiochemical method and the measurement of ^{90}Y activity concentration after the radioactive equilibration of ^{90}Sr - ^{90}Y had been established.

Results

Water

In 2016, the average activity concentration of ^{137}Cs in the surface layer of the southern Baltic Sea

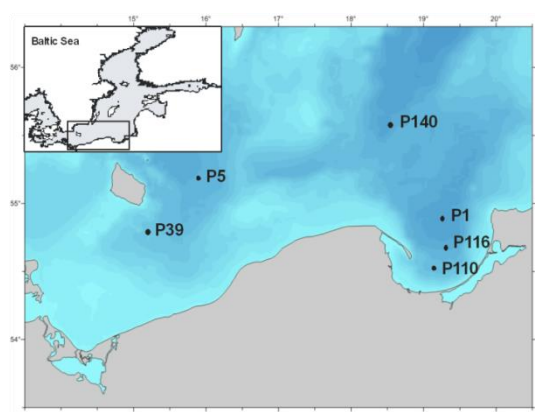


Figure 1. Bottom sediment and water sampling stations

at six sampling stations was $22.5 \pm 2.1 \text{ Bq m}^{-3}$ (in the range of $18.7 \div 24.3 \text{ Bq m}^{-3}$). The lowest value was found in the Gulf of Gdansk at P 110, on the profile of Wisla River estuary, where the diluting effect of river water was observed. In most locations, the concentration of ^{137}Cs in surface waters was higher than in near bottom waters, which is in accordance with the long-term trend [1]. The average activity concentration of ^{137}Cs in near bottom layers was $20.6 \pm 1.9 \text{ Bq m}^{-3}$. The smallest value, 17.8 Bq m^{-3} , was measured in the Bornholm Deep (P 5) and accompanied by the highest salinity. This characteristic is directly related to the impact of highly saline water from the North Sea, which has a significantly lower concentration of ^{137}Cs [2]. The activity concentrations of ^{40}K in surface and near bottom waters ranged from 2254 to 6354 Bq m^{-3} and increased with salinity. The activity concentration of ^{226}Ra in surface waters were very similar and ranged between 3.18 and 3.89 Bq m^{-3} . The bottom waters had greater variations in the concentrations of ^{226}Ra , and the range was $3.55 \div 5.00 \text{ Bq m}^{-3}$.

Bottom sediments

As in previous years, higher ^{137}Cs activity concentrations were observed in the upper sediment layers and differences in the concentrations related to the location were also observed [3,4]. The highest concentrations of ^{137}Cs in the three locations of the Gdansk Basin (P 110, P 116, P 1) ranged from $177 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $192 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$

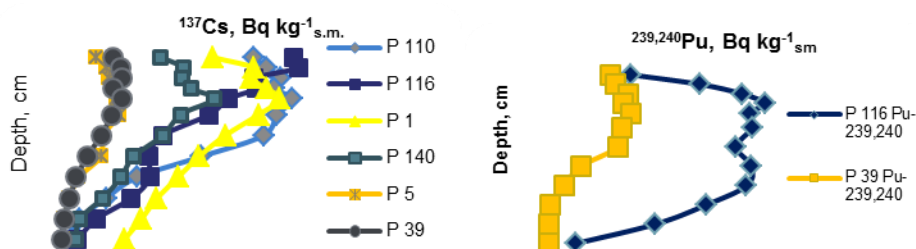


Figure.2. Vertical distribution of ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in bottom sediments from southern Baltic Sea

The determination of plutonium in bottom sediments are carried out every three years. In 2016, plutonium determinations were performed in the Gulf of Gdansk (P 116) and Bornholm Basin (P 39). Similarly to previous studies [5,6], and as in case the of ^{137}Cs , differences in plutonium concentrations related to the location were observed. In P 116, higher concentrations of $^{239,240}\text{Pu}$ were observed in the layers from 2 cm to 13 cm deep, with an average value of $3.37 \pm 0.14 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$ (Figure 2). In P39, concentrations of $^{239,240}\text{Pu}$ were about three times lower than in P 116 and the average (for the layers 2 – 9 cm deep) was $1.30 \pm 0.10 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$. The activity concentrations of ^{238}Pu in P 116 were in the range of $0.013 \div 0.099 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$ and in P 39, they ranged from $< 0.002 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $0.042 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$. The ratio of ^{238}Pu to $^{239,240}\text{Pu}$ in both locations was in the range of $0.02 \div 0.04$, which is similar to that determined for fallout from nuclear weapon tests.

Activity concentrations of ^{90}Sr in bottom sediments (performed in samples for the 0-19 cm layer) were similar, ranging from 2.26 to $3.19 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$. The small differences in concentrations of ^{90}Sr between locations are due to the fact that the main source of this isotope was the fallout after nuclear weapon tests (81%). Contamination from this source

$^{1}_{\text{dw}}$, while in the Bornholm Basin (P 5, P 39) they ranged from $48.1 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $50.8 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$. Concentrations of ^{137}Cs decrease farther into the sediment profiles, even to single Bq. The vertical distributions of ^{137}Cs activity concentrations in bottom sediments are shown in Figure 2.

in the northern hemisphere was fairly even [2]. Activity concentrations of ^{40}K were in the range of $599 \div 1096 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{dw}}$ and depended mainly on the amount of organic matter and the granulometric composition of sediment.

Fish

Determinations of ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra performed in cods, herrings, sprats and plaices were carried out on fish fillets, with the exception of the sprat, in which case the entire fish, without the head, was analyzed (Table 1).

As in previous years, the highest average activity concentration of ^{137}Cs was found in cods – $4.52 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{ww}}$ [7] and the lowest in herrings – $2.55 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{ww}}$ (Table 1). The average ^{137}Cs concentration calculated for the four species in 2016 was $3.29 \pm 0.88 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{ww}}$. The activity concentration of ^{137}Cs in Baltic Sea fish has decreased over time (Figure 3), but it is still almost two times higher than before the Chernobyl accident [8]. Activity concentrations of ^{226}Ra were more varied, the highest was measured in cods - $95 \text{ mBq kg}^{-1}_{\text{ww}}$ and the lowest in herrings - $28 \text{ mBq kg}^{-1}_{\text{ww}}$.

Table 1. The average concentrations of ^{137}Cs and ^{226}Ra in Baltic Sea fish flesh in 2016.

Fish species (total number)	Weight of sample [g]	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra
		[Bq kg ⁻¹ ww]		
Sprat (279)	520 - 620	2.79 ± 0.19	105.5 ± 9.0	0.068 ± 0.005
Herring (109)	500 - 505	2.55 ± 0.74	110.3 ± 19.1	0.028 ± 0.003
Cod (30)	505 - 540	4.52 ± 0.51	111.5 ± 16.9	0.095 ± 0.003
Plaice (33)	500 - 520	3.32 ± 0.52	96.6 ± 6.5	0.055 ± 0.003

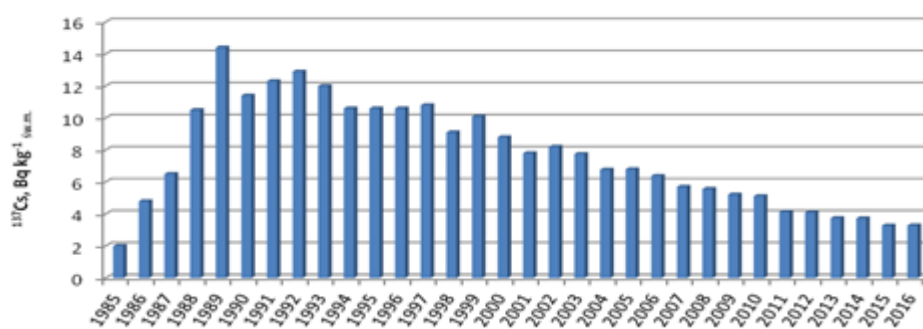


Figure.3. The average activity concentration of ^{137}Cs in Baltic Sea fish in years 1985-2016.

Conclusions

Activity concentrations of ^{137}Cs in water and the distribution of ^{137}Cs , ^{90}Sr and plutonium isotopes in sediments confirm that new contamination of anthropogenic radionuclides have not been observed in the South Baltic. The main sources of contamination are still: fallout after the Chernobyl accident (^{137}Cs) and nuclear weapon tests, most intense in the years 1961-1962 (isotopes of plutonium and ^{90}Sr).

Concentrations of ^{137}Cs in southern Baltic Sea waters in 2016 were similar to those observed in the previous year. The average concentration of ^{137}Cs in near bottom waters was lower than those observed on the surface. This characteristic is directly related to the impact of highly saline water from the North Sea, which is less contaminated with ^{137}Cs than Baltic Sea waters.

The highest concentrations of ^{137}Cs occurred in the upper sediment layers and decreased farther along into the profiles. As in previous years, differences in the concentrations of ^{137}Cs related to the location were observed.

The highest concentrations of $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{238}Pu occurred in deeper sediment layers and the ratio of ^{238}Pu to $^{239,240}\text{Pu}$ was 0.027 ± 0.005 , which is typical of the radioactive fallout after nuclear weapon tests.

In the southern Baltic Sea, there were no significant differences in the spatial distribution of ^{90}Sr in the bottom sediments.

^{137}Cs contamination in fish has reduced about 4 times compared to the maximum observed in 1989, but is still almost two times higher than before the Chernobyl accident. The activity concentrations of ^{137}Cs and ^{226}Ra in fish depends on their species, mainly due to their nutrition.

Fish are good reference organisms, due to their prevalence, position in the food chain and their importance to the ecosystem of the marine environment.

Literature

- [1] Zalewska T., Apanel A., Saniewski M.,(2016). ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Polish sector of the Baltic Sea, in 2015. MORS EG 6-2016, 3-3, Upsala 24-26 May 2016.
- [2] IAE-TECDOC-1426. (2005) Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. 122-138, IAEA

-
- [3] Suplińska M., Adamczyk A., (2013). Rozmieszczenie wybranych izotopów promieniotwórczych w osadach dennych Bałtyku Południowego, 2011-2012., XVI Zjazd Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych Białowieża, 23-26.09.2013
- [4] Suplińska M., Rubel B., Zalewska T. Radioactive contamination of bottom sediments and fish in the Southern Baltic Sea in 2015, MORS EG 6-2016 3-1 Upsala, Sweden, 24-26 May 2016.
- [5] Suplińska M, Pietrzak-Flis Z., (2008), Sedimentation rates and dating in bottom sediments in the Southern Baltic Sea region. Nukleonika 53, S105-S111
- [6] M. Suplińska, B. Rubel, A. Adamczyk. (2016) Izotopy promieniotwórcze w osadach dennych Bałtyku Południowego, 2013-2015, VII Krajowa Konferencja Radiochemii i Chemii Jądrowej, Lublin 2016
- [7] Zalewska T., Suplińska M., (2013 A). Fish pollution with anthropogenic ^{137}Cs in the southern Baltic Sea., Chemosphere 90 1760-1766
- [8] Grzybowska D., (1997), Concentration of ^{123}Cs in marine fish from Southern Baltic Sea in 1990-1995, Nukleonika, 42 (3), pp. 665-674.

Financing

Performed under PAA agreement Nr 4/OR/2016/41.

Determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr in freshwater fish from the northern Poland as the initial contamination level of the aquatic environment before the launch of the Polish nuclear power plants

M. Suplińska, B. Rubel

Introduction

This work is a continuation of research conducted in 2013 concerning the radioactive contamination of fish from Lake Zarnowiec and Baltic fish[1]. In 2016, the study focused on the assessment of ^{137}Cs and ^{90}Sr radioactive contamination in four species of fish from lakes Lebsko and Gardno, and the Piasnica River. The analyzed fish species, popular in Polish freshwater, differ in their way of feeding: the perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox Lucius*) are predatory fish while the crucian carp (*Carassius carassius*) and bream (*Abramis brama*) are planktivorous fish (feeding on insect larvae and zoobenthos).

Determinations of ^{137}Cs and ^{90}Sr were carried out in fish samples and water samples from Lebsko Lake and the Piasnica River. The measurement of the activity concentration of ^{137}Cs in fish was performed by means of gamma spectrometry, whereas in the water, it was conducted using a radiochemical method. The radiochemical method is based on the adsorption of cesium on the selective bed of ammonium phosphomolybdate (AMP). ^{90}Sr was determined from the beta radiation of ^{90}Y after equilibrium had been reached in the $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ radioactive system. The beta activity of ^{137}Cs on the AMP bed and ^{90}Y was measured using a Low Level Beta GM Multicounter System.

Results

Determinations of ^{137}Cs and ^{90}Sr in fish samples were carried out on fillets with skin, fish bones, whole heads and, if possible, on samples of fish scales. In the case of samples containing a larger number of individuals, determinations were also done on the whole fish (eviscerated). The activity concentrations of ^{137}Cs in perches showed significant differences related to the place of their origin. Perches from lakes Lebsko and Gardno were

characterized by a much higher activity concentration of this isotope ($9.44 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$ and $8.17 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$) compared to the perches from the Piasnica River ($0.90 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$). Such differences were not observed in the other tested species: bream, crucian carp and pike, in which the activity concentrations of ^{137}Cs were at a similar level of ($1.21 \div 1.99$) $\text{Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$. However, significant differences were observed for ^{90}Sr quantities in the perches from lakes ($0.221 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$ and $0.239 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$) compared to the perches from the Piasnica River ($0.086 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$). However, the highest activity concentrations of ^{90}Sr were observed in bream ($0.393 \div 0.474$) $\text{Bq kg}^{-1}_{\text{f.m.}}$ from both lakes and the river (Figure 1).

The analysis of the individual fish parts confirmed that the largest amounts of ^{137}Cs accumulate in fillets (muscle tissue), and several times less in fish bones and scales. The build-up of ^{90}Sr occurs mainly in fish heads (due to the high content of bone tissue), in fish bones and scales - as has been illustrated on the example of the analysis of the bream (Figure 2).

Analyses of fishes derived from two lakes and a river showed that 67.2-82.2% of the total ^{137}Cs is accumulated in fish fillets, while 1.1 - 7.5% in fish bones. The content of ^{90}Sr in fish fillets showed significant differences related to their preparation. Fillets with their layer of scales intact (perch and pike) were characterized by a ^{90}Sr content that was one order of magnitude higher ($34.1 \div 38.8$)% than the fillets of the bream and the crucian carp, whose scales had been removed ($4.2 \div 5.4$)%. However, the measurements carried out on the separated scales (crucian carp and bream) showed that the content of ^{90}Sr was in the range of ($29.2 \div 31.1$)%, which is consistent with J.T. Smith et al[2]. In all the tested species of fish, the highest content of ^{90}Sr was observed in their heads, (40.6 - 52.0)%.

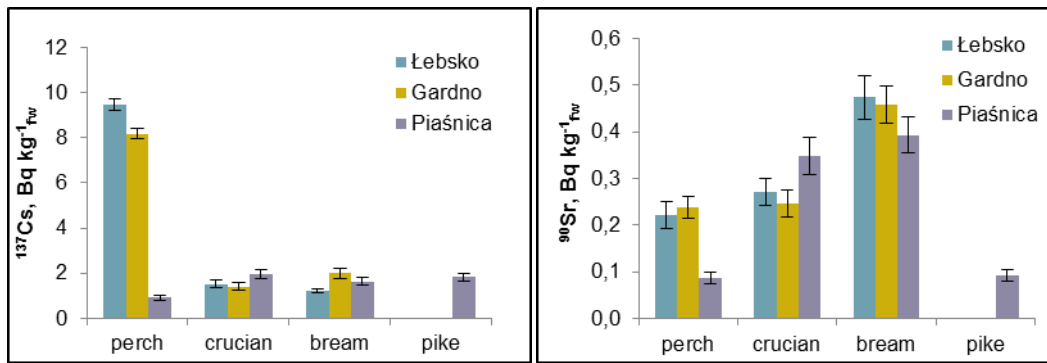


Figure 1. Activity concentration of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in freshwater fishes.

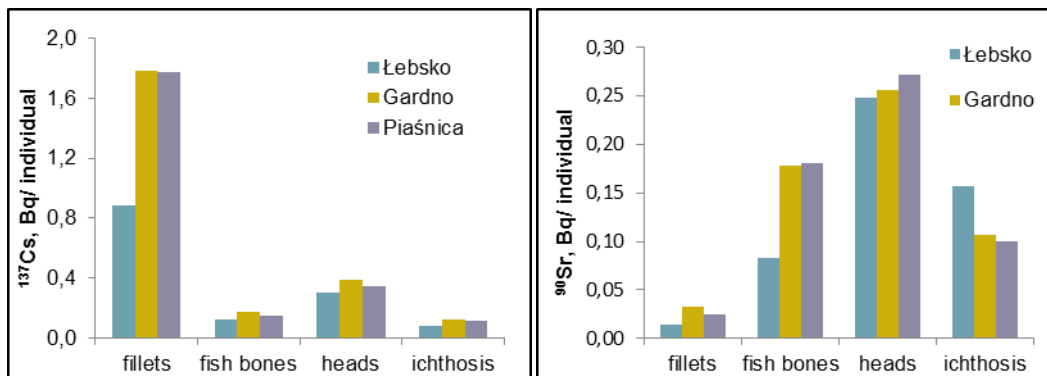


Figure 2. Content of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in bream: fillets, fish bones, head and scales [Bq/individual]

Analyses of fishes derived from two lakes and a river showed that 67.2-82.2% of the total ¹³⁷Cs is accumulated in fish fillets, while 1.1 - 7.5% in fish bones. The content of ⁹⁰Sr in fish fillets showed significant differences related to their preparation. Fillets with their layer of scales intact (perch and pike) were characterized by a ⁹⁰Sr content that was one order of magnitude higher (34.1 ÷ 38.8)% than the fillets of the bream and the crucian carp, whose scales had been removed (4.2 ÷ 5.4)%. However, the measurements carried out on the separated scales (crucian carp and bream) showed that the content of ⁹⁰Sr was in the range of (29.2 ÷ 31.1)%, which is consistent with J.T. Smith et al [2]. In all the tested species of fish, the highest content of ⁹⁰Sr was observed in their heads, (40.6 - 52.0)%.

In addition, measurements of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr were done in water samples taken from Lebsko Lake and the Piasnica River. The activity concentration of ¹³⁷Cs in water was: 3.3 mBq l⁻¹ and 1.5 mBq l⁻¹, respectively, and for ⁹⁰Sr: 1.0 mBq l⁻¹ and 0.904 mBq l⁻¹. These concentrations do not

differ from the concentrations of other inland waters in Poland [3]. The calculated concentration factors CF_{Cs-137} in fish from Lebsko Lake and the Piasnica River were in the wide range of 363 ÷ 2834, depending on the species and origin of the fish. The coefficients of concentration CF_{Sr-90} in fish were lower than CF_{Cs-137}, which ranged from 95 to 474. Obtained concentration factors are higher than those observed in Baltic fish [2,3], which is mainly related to lower concentrations of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in inland waters, as well as the differences in physical and chemical parameters of the waters [4], especially between freshwater and saltwater. Based on the average concentrations of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in freshwater fish fillets and the annual fish consumption in Poland (about 4.0 kg), the annual effective dose of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr due to freshwater fish consumption was calculated to be 0.09 µSv/year and 0.004 µSv/year, respectively. In comparison, the effective dose due to Baltic fish consumption is twice as high in the case of ¹³⁷Cs and on a similar level in the case of ⁹⁰Sr [3].

Tablea 2. Roczna dawka skuteczna.

	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Average activity concentration in fillets [Bq kg⁻¹]¹⁾ [Bq kg ⁻¹ _{św.m.}]	1.71 ± 0.37	0.038 ± 0.012 ¹⁾
Average intake [Bq]	7.18	0.16
Coefficient factor [μSv Bq⁻¹]	0.013	0.028
Annual effective dose [μSv/year]	0.09	0.004

1) without fillets of perch prepared with scales

Conclusions

1. The determined activity concentrations of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr show the current level of contamination of lakes in northern Poland

2. The analyzed species of fish were characterized by high concentration coefficients, both ¹³⁷Cs (CFCs-137) and ⁹⁰Sr (CFSr-90), confirming that they may be good aquatic indicators.

3. The data obtained allowed us to estimate the doses due to consumption, which are on a very low level for both isotopes and are two orders of value lower than the annual effective dose received by the inhabitants of Poland as a result of consuming food containing isotopes ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr [5].

Literature

- [1] T. Zalewska, M. Saniewski, M. Suplińska, B. Rubel., (2016) ⁹⁰Sr in fish from the southern Baltic sea, coastal lagoons and freshwater lake. *Journal of Environmental Radioactivity* 158-159, 38-46
- [2] J. T. Smith et al. (2009) A revive and test of predictive models for bioaccumulation of radiostrontium in fish. *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 950-954.
- [3] M. Suplińska, B. Rubel, M. Kardaś, T. Zalewska, A. Adamczyk. (2016) ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra i ⁴⁰K w rybach z południowego rejonu Morza Bałtyckiego. XVII Zjazd PTBR, Siedlce, 27-37 września 2016
- [4] I. Outola, Ritva L. Saxèn, S. Heinävaara. (2009) Transfer of ⁹⁰Sr into fish in Finnish lakes, *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 657-664.
- [5] B. Rubel, M. Kardaś, M. Suplińska. (2016) Ocena wchłonięć ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr z żywnością przez osoby dorosłe w Polsce w latach 2006-2015. VII Krajowa Konferencja Radiochemii i Chemii Jądrowej, Lublin 2016.

Financing

The work was funded by the Ministry of Science and Higher Education.

Maintaining the management system in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis

E. Starościak, B. Rubel, A. Fulara, M. Kardaś, K. Pachocki, M. Suplińska, K. Trzpił, A. Adamczyk

„MAINTAINING THE MANAGEMENT SYSTEM IN THE LABORATORY OF RADIOCHEMICAL AND SPECTROMETRIC ANALYSIS" was carried out in the Radiation Hygiene Department of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in 2016. The following subjects were realized:

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

On February 19, 2016, an external audit was carried out in the Laboratory by experts from the Polish Centre for Accreditation. During the evaluation, the auditors agreed that the Laboratory has maintained the necessary competencies to conduct research via all the methods within the scope of the accreditation.

The auditors did not find any incompatibilities. The evaluation report listed two observations.

The Laboratory has taken preventive actions in relation to these observations. Auditors also identified strong points of Laboratory. The observations and comments have been carefully analyzed.

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

Due to the improvement of the management system, the observations of PCA auditors and insights from the document review in 2016, new editions of the following documents were prepared and implemented: the research manual QIB 2.1 "PRETREATMENT OF SAMPLES FOR DETERMINATION OF STRONTIUM-90" - Ed. 2 dated. 21.03.2016r. and the QD 4.4 Overview of order form, dated. 26.02.2016r.

Six internal training sessions took place in the Laboratory according to the "Training Plan 2016" and resulting from the changes in the management system documentation. The Laboratory staff also participated in 4 external training sessions, 1 international meeting and 2 national conferences.

Following the PCA recommendation to participate in proficiency testing and interlaboratory comparisons (DA-05), the Laboratory participated in two international and one national proficiency test in 2016, organized by the following:

- PAA/ICH TJ: the subject was the determination of ^{137}Cs activity concentrations in samples of water, liquid milk and dried vegetables by means of the QPB 1 procedure, as well as ^{90}Sr determination in samples of liquid milk and dried vegetable according to the QPB 2 procedure and in water samples according to the QPB 8 procedure;
- International Atomic Energy Agency: The IAEA-TEL-2016-04; worldwide open proficiency test on the determination of the following radionuclides: ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{22}Na in samples of water according to procedure QPB 1, ^{234}U , ^{238}U in sediment samples according to procedure QPB 5 and ^{90}Sr in water samples by means of the QPB 8 procedure.
- PROCORAD 2015 Radiotoxicological Intercomparisons, France, where the subject was the determination of the activity concentration of ^{239}Pu in reference solutions according to procedure QPB 4.

3. Two internal audits - of the management system and of the technical area:

In accordance with the "PROGRAM OF AUDITS FOR THE YEAR 2016", two internal audits were conducted in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis - internal audit No. 1/2016 pertaining to the general requirements of the management system and internal audit No. 2/2016 concerning the technical area of the management system. The internal audits were carried out very carefully. Auditor did not find any incompatibilities during the audit. Two observations were listed in the evaluation report. Audits have shown that the

Laboratory management system is implemented and is being continuously improved.

4. Technical supervision and repair of Laboratory research equipment:

⁸⁵Sr and ⁹⁰Sr reference solutions have been purchased from accredited producers. Calibrations of the following devices were conducted in

accredited Calibration Laboratories: the Adventurer OHAUS type AR 3130 balance and the XA 60/220 analytical balance. The periodic inspection of Laboratory research equipment and auxiliary equipment was done.



DOSIMETRY DEPARTMENT



Assessment of effective dose for residents of Poland due to inhalation of atmospheric aerosols – ASS-500 stations network

K. Isajenko, I. Kwiatkowska, B. Piotrowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski

Introduction

For the assessment of the effective dose caused by the absorption of radionuclides by means of inhalation, we used the following formula:

$$D = \sum_i D_i$$

Where:

D - is the calculated effective dose resulting from isotopes being absorbed through the respiratory system,

D_i - is the effective dose from a single (i-th) isotope. In this paper, we consider only the doses received from several natural isotopes: beryllium⁷Be, potassium⁴⁰K, lead²¹⁰Pb, radium²²⁶Ra and actinium²²⁸Ac, and from all artificial isotopes, whose concentrations were set at levels above the LLD (where cesium¹³⁷Cs and iodine¹³¹I are always taken into account).

NOTE - if the concentration of a radionuclide did not exceed the limit of detection (LLD), then to calculate the effective dose we assume the value of LLD. This way, of course, the calculated effective doses are inflated in comparison to the actual doses received by the Polish population.

The effective dose resulting from the absorption of a single radionuclide through

inhalation (D_i) for people in 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 – the effective dose from a single isotope,

$A_{w,i}$ – the specific activity (radioactivity concentration) of the i-th isotope in ambient air (measured by the station ASS-500 in given locations),

$e(g)_i$ – the value of the committed effective dose for the i-th isotope for a person of age group g ,

$V(g)_{odd}$ – the efficiency (speed) of the breathing for a person of age group g ,

T – is the time for which the effective dose is calculated (ie, week, month, quarter or year).

Unit calculations:

$$D_i: \left[\frac{Bq}{m^3} \right] \cdot \left[\frac{Sv}{Bq} \right] \cdot \left[\frac{m^3}{doba} \right] \cdot [doba] = [Sv]$$

The committed effective dose $e(g)$ for members of the general public, caused by the inhalation of a radionuclide with an activity of 1Bq (Council of Ministers of 18 January 2005 on ionizing radiation dose limits (Dz. U. No. 20/2005, pos. 168)) is presented in Table 1.

Table 1. The values of the committed effective dose from the absorption of selected radionuclides through the respiratory system (for different age groups) [1].

Izotop	Okres połowicznego rozpadu	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	8.8·10 ⁻⁹	5.4·10 ⁻⁹	3.6·10 ⁻⁹	3.7·10 ⁻⁹	4.4·10 ⁻⁹	4.6·10 ⁻⁹
¹³¹ I	8.04 days	7.2·10 ⁻⁸	7.2·10 ⁻⁸	3.7·10 ⁻⁸	1.9·10 ⁻⁸	1.1·10 ⁻⁸	7.4·10 ⁻⁹
⁷ Be	53.3 days	2.5·10 ⁻¹⁰	2.1·10 ⁻¹⁰	1.2·10 ⁻¹⁰	8.3·10 ⁻¹¹	6.2·10 ⁻¹¹	5.0·10 ⁻¹¹
⁴⁰ K	1.28·10 ⁹ years	2.4·10 ⁻⁸	1.7·10 ⁻⁸	7.5·10 ⁻⁹	4.5·10 ⁻⁹	2.5·10 ⁻⁹	2.1·10 ⁻⁹
²¹⁰ Pb	22.3 years	4.7·10 ⁻⁶	2.9·10 ⁻⁶	1.5·10 ⁻⁶	1.4·10 ⁻⁶	1.3·10 ⁻⁶	9.0·10 ⁻⁷
²²⁶ Ra	1.60·10 ³ years	1.5·10 ⁻⁵	1.1·10 ⁻⁵	7.0·10 ⁻⁶	4.9·10 ⁻⁶	4.5·10 ⁻⁶	3.5·10 ⁻⁶
²²⁸ Ac	6.13 hours	1.8·10 ⁻⁷	1.6·10 ⁻⁷	9.7·10 ⁻⁸	5.7·10 ⁻⁸	2.9·10 ⁻⁸	2.5·10 ⁻⁸

Inhalation coefficients for adults and children of all ages are defined in the "HUMAN RESPIRATORY TRACT MODEL FOR RADIOLOGICAL PROTECTION". ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24(1-3) 1994". They are presented in Table 2.

Table 2. Speed breathing for adults and children of different ages [2].

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

Results

The results are based on measurements of the radionuclide concentrations in air filters exposed at the stations of the ASS-500 network. Below are the locations of ASS-500 stations 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

Krakow – 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

Lodz – Technical University of Lodz, Department of Chemistry, Institute of Applied of Radiation Chemistry

Sanok – Provincial Sanitary-Epidemiological Station in Rzeszow, Laboratory of Radiation in Sanok

Szczecin – West Pomeranian University of Technology, Institute of Chemical Engineering and Environmental Protection Processes

Torun – Nicolaus Copernicus University, Institute of Physics

Wroclaw – Wroclaw University of Technology, the Radiological Protection Supervisor

Zielona Gora – University of Zielona Gora, Institute of Environmental Engineering, Department of Conservation and Land Reclamation.

The measurement results of the concentration of various radionuclides in atmospheric aerosols taken from air at ground level are shown in Table 3. The place and time of the maximum concentration of each radionuclide is also given in the table.

Based on the concentrations of radionuclides measured in the ASS-500 station network in Poland, the effective doses the inhabitants of our country received by breathing air containing the measured concentrations of radionuclides have been determined. Table 4 lists the calculated values of the doses received by residents (of all ages) in the cities where the ASS-500 stations are located.

The effective doses received through inhalation varied between 1.434 mSv per year for children aged 2-7 residing in Gdynia and 5.975 mSv for adolescents aged 12-17 years. The maximum effective dose was calculated for the residents of Krakow.

Table 3. Annual average (for all of Poland) concentrations of radioactive radionuclides in ground-level air in 2016.

Radio-nuklid	Stężenie w powietrzu, $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Zakres $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Miejscowość i okres wystąpienia maksymalnego stężenia
^{137}Cs	0.07 ± 0.15	$<0.08 \div 93.57$	Wrocław, 16.08 - 22.08
^{131}I	0.61 ± 0.02	$<0.03 \div 2.87$	Katowice, 18.01 - 25.01
^7Be	3032 ± 67	$507 \div 11282$	Katowice, 06.06 - 13.06
^{40}K	14.4 ± 0.4	$2.2 \div 84.2$	Gdynia, 02.05 - 09.05
^{210}Pb	424 ± 12	$33 \div 2799$	Szczecin, 12.09 - 19.09
^{226}Ra	7.5 ± 0.3	$<1.3 \div <55.4$	Kraków, 18.01 - 25.01
^{228}Ac	1.3 ± 0.0	$0.3 \div <9.9$	Kraków, 18.01 - 25.01

Table 4. The values of the annual effective dose in 2016 due to inhaling radioactive radionuclides at the location of the station., for different age groups.

LOCALIZATION OF ASS-500 STATION	AGE GROUPS					
	≤ 1 year	1÷2 years	2÷7 years	7÷12 years	12÷17 years	> 17 years
WARSZAWA	4.007	3.112	3.050	3.962	4.574	3.301
BIAŁYSTOK	4.244	3.289	3.214	4.191	4.840	3.488
GDYNIA	1.849	1.447	1.434	1.835	2.118	1.537
KATOWICE	4.159	3.223	3.149	4.107	4.742	3.417
KRAKÓW	5.189	4.109	4.139	5.182	5.975	4.371
LUBLIN	4.629	3.610	3.561	4.586	5.294	3.832
ŁÓDŹ	3.816	2.963	2.904	3.773	4.356	3.143
SANOK	4.628	3.584	3.501	4.569	5.277	3.801
SZCZECIN	3.806	2.964	2.917	3.768	4.350	3.145
TORUŃ	4.227	3.281	3.213	4.178	4.824	3.480
WROCLAW	3.631	2.863	2.865	3.618	4.173	3.043
ZIELONA GÓRA	4.595	3.565	3.489	4.541	5.243	3.781

Conclusions

The calculated doses of radionuclides in the air received by the people of our country are very low. The results obtained in the above work show that these doses are only a fraction of the dose limit.

Financing

The work was financed by the National Atomic Energy Agency under contract No. 2 / OR / 2016/2 of 29 December 2015.

Literature

- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 20/2005, poz. 168).
- [2] Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994

Monitoring of ^{137}Cs concentrations in soil, 2014-2015

K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski

Introduction

The investigation of radioactive contamination of soil has been performed as part of the Polish State Environmental Monitoring System since 1988. Soil samples meant for measurements are taken every two years from a network of meteorological stations belonging to the Institute of Meteorology and Water Management – the sampling points are shown in Figure 1.

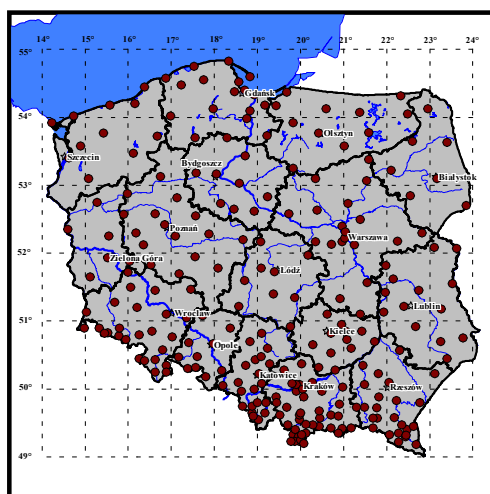


Figure 1. Soil sampling points in Poland (October 2014).

Results

The results of the soil sample measurements from each point are stored in a database and are used to create a radiological map of Poland. The maps are created using the MapInfo Professional 8.5 PL system. This system visualizes the measurement results from individual sampling points in the form of circular cartodiagrams, with surfaces proportional to the magnitude of the radioactivity concentration, as well as in the form of

raster maps, in which the concentrations measured in points are extrapolated to the whole country. In 2015, soil samples taken from the surface layer at 0-10 cm from 254 points (+ samples from the 0-25 cm layer at 10 of the points) were prepared (dried, crushed, weighed and placed in Marinelli beakers) and then measured.

The soil samples underwent analysis to determine the concentrations of cesium ^{137}Cs (converted to deposition of the isotope on the surface of the soil) and natural radionuclides radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac and potassium ^{40}K by means of high resolution gamma spectrometry. The measurements of radionuclide concentrations in soil samples were made using spectrometers with HPGe detectors, situated in low-background lead shields. The time of each measurement was 80000 s.

The mean values of natural radionuclide concentrations in Polish soil are:

- for radium ^{226}Ra - $31.9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,
- for actinium ^{228}Ac - $22.9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,
- for potassium ^{40}K - $390 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,

and are lower than the world average concentrations of 33 , 45 and $420 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively [1].

The highest concentrations of radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac and potassium ^{40}K were measured in the southern parts of Poland – this is related to the geological structure of the country. For example, in a sample taken in Szklarska Poreba (province: Dolny Slask), concentrations of these radionuclides are $128.0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for ^{226}Ra , $91.4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for ^{228}Ac and $1065 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for ^{40}K .

Example maps of radionuclide concentrations in Polish soil are shown in Figures 4 and 5.

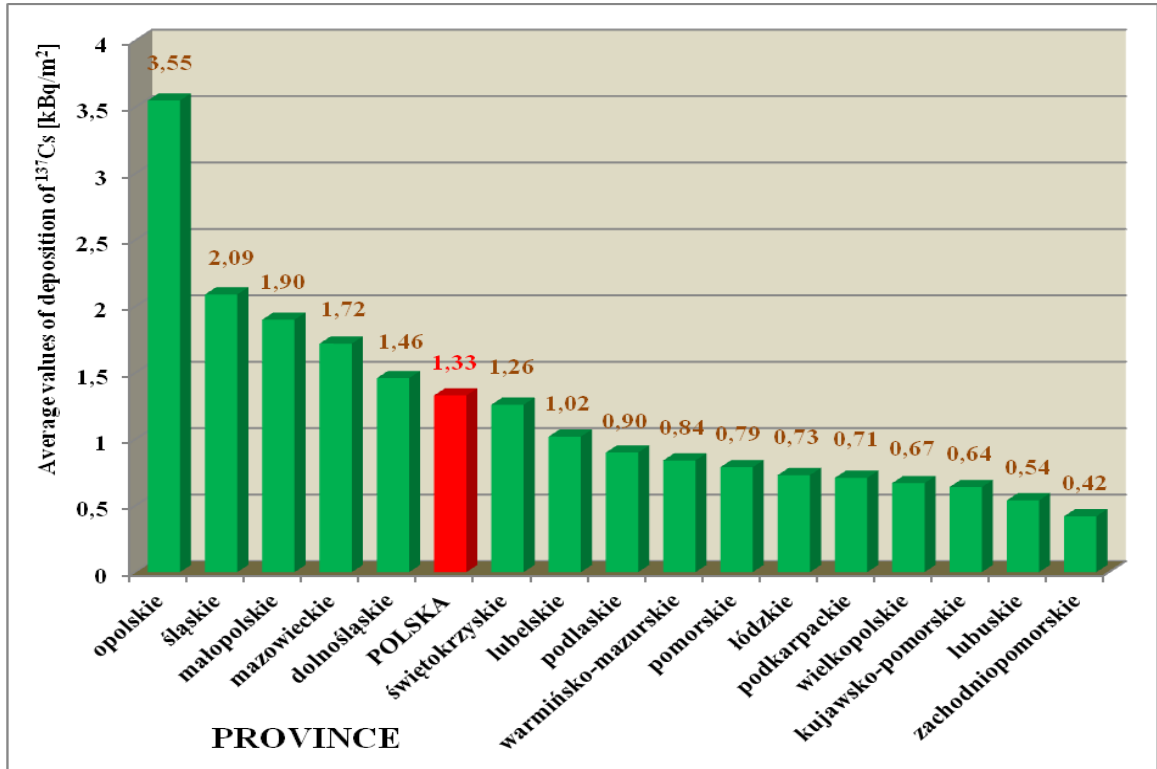


Figure 2. The histogram of average deposition values of ^{137}Cs in Poland and its different provinces, for soil collected in October, 2014.

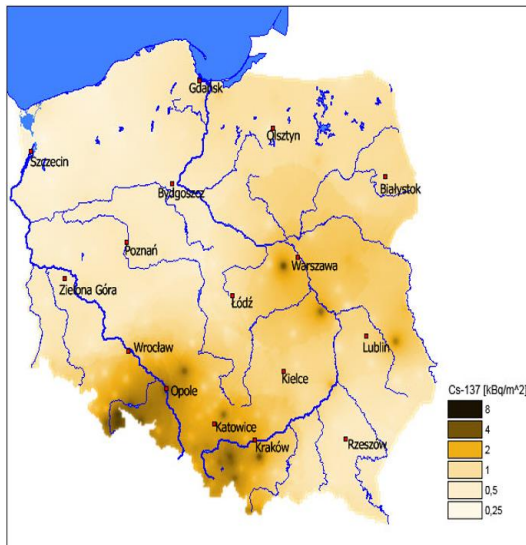


Figure 3. Deposition of the cesium ^{137}Cs in Polish soil collected in October 2014.

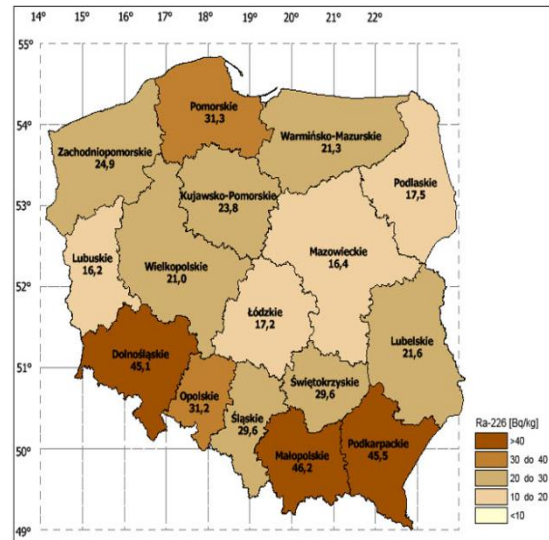


Figure 4. Average concentration of radium ^{226}Ra in provinces in soil collected in Poland in October 2014.

Conclusions

The Ordinance of the Council of Ministers from December 17th, 2002, states in § 9 (1) point 1e, that the tasks of specialized institutions, including the Central Laboratory for Radiation Protection, consist of measuring radioactive isotopes in samples of environmental materials, including soil. Concentrations of caesium ¹³⁷Cs above 1 kilobecquerel per square meter (kBq/m²) are determined. According to previous studies, the average concentration of ¹³⁷Cs in the surface layer of soil in Poland is still higher than 1 kBq/m² and amounts to 1.33 kBq/m² (results of the measurements taken in 2014 - the last completed measurement series).

Consequently, monitoring of ¹³⁷Cs concentrations in soil should be continued.

Financing

The work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management under agreement No. 20/2014 / F of July 17, 2014, signed between the Central Laboratory for Radiological Protection and the Chief Inspectorate for Environmental Protection.

Literature

- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. nr 20/2005, poz. 168).
- [2] Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994

Monitoring of ionizing radiation implemented within the framework of the State Environmental Monitoring programme. TASK 3: Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil

K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, O. Stawarz, I. Kwiatkowska, A. Ząbek, A. Kiełbasińska, M. Kardaś

Introduction

The investigation of radioactive contamination of soil has been performed as part of the Polish State Environmental Monitoring System since 1988. Soil samples meant for measurements are taken every two years from a network of meteorological stations belonging to the Institute of Meteorology and Water Management – the sampling points are shown in Figure 1.

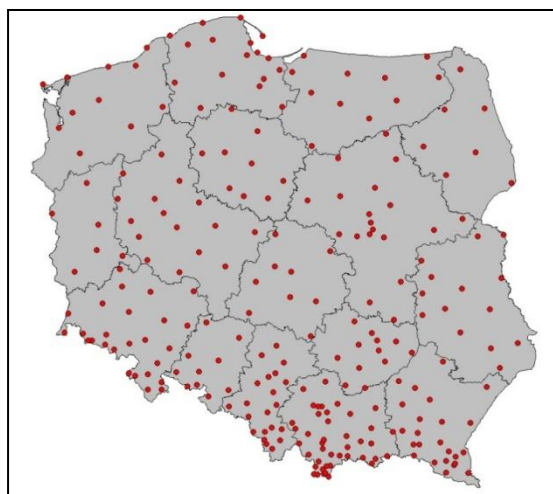


Figure 1. Soil sampling points in Poland (Autumn 2016)

The number of soil sampling points, from which soil was collected in autumn 2016, located in individual voivodships is shown in Table 1.

Table 1. Number of soil sampling points in Poland (autumn 2016) in voivodships.

No.	Voivodship	Number of samples taken
1.	Dolnośląskie	27
2.	Kujawsko-pomorskie	9
3.	Lubelskie	15
4.	Lubuskie	6
5.	Łódzkie	9
6.	Małopolskie	43
7.	Mazowieckie	20
8.	Opolskie	10
9.	Podkarpackie	24
10.	Podlaskie	8
11.	Pomorskie	19
12.	Śląskie	22
13.	Świętokrzyskie	12
14.	Warmińsko-mazurskie	12
15.	Wielkopolskie	17
16.	Zachodniopomorskie	11
TOTAL - POLAND:		264

Results

Soil sampling points (254 points) are located throughout Poland and are situated in meteorological gardens of stations of the Institute of Meteorology and Water Management. A total of 264 samples are taken: 254 from the 10 cm layer of soil and 10 from the 25 cm layer.

Soil samples are collected in areas where the micro-environment is not distorted or altered, for example, by ploughing or fertilization, which makes it possible to assess even minor levels of contamination. These collection point locations have several advantages, namely:

- the stability of sampling points (the possibility of repeating surveys for the same places, which will allow catching changes in the level of 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. ploughed or dredged) or 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 the spatial distribution of contamination in a given area.
- In 2016 the following tasks were accomplished:
- 264 soil samples were collected at 254 points (254 samples taken from the 10 cm layer and 10 samples from the 25 cm layer of the soil);
- coordination of sample collection was done;
- a report describing the sampling (sampling method, sampling dates, description of the way of transport and storage) was compiled.

In 2017, all samples will be prepared for measurement and measured using high resolution ionizing radiation spectrometry.

Financing

The work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management under agreement No 8/2016/F of May 02, 2016, signed between the Central Laboratory for Radiological Protection and the Chief Inspectorate for Environmental Protection.

Literature

[1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 2000.

Analysis and evaluation of the radioactivity of raw and building materials used in Poland in 1980-2016

*B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, I. Kwiatkowska, K. Wojtkowski,
A. Kiełbasińska, A. Ząbek*

Introduction

The evaluation of raw and building materials with regard to the presence of radioactivity concentration is done in accordance with the criteria presented in the Ordinance of the Council of Ministers published on January 2nd, 2007, (Journal of laws No 4 poz. 29) "on the requirements regarding the content of natural isotopes of potassium, K-40, radium Ra-226 and thorium Th-228 in the raw materials and the materials used in buildings intended for the dwelling of people and livestock, and also in the industrial waste used in buildings and control the content of these isotopes". The regulation classifies the possibility of applying different raw materials and building materials for different types of housing by specifying two parameters:

- the qualification coefficients f_1 - Specifies the content of natural isotopes in the test material and is the coefficient of gamma radiation exposure to whole body.
- the qualification coefficients f_2 , (Ra-226 concentration) - specifies the content of Ra-226 in the test material and is a coefficient of the exposure of the lung epithelium to alpha radiation emitted by the decay products of radon, that had entered the human respiratory system along with inhaled air.

Results

In 2016, the Laboratory for Measurements of Natural Radioactivity completed studies and developed opinions on the application of building and raw materials for the 51 samples sent in from different regions of the country. They included ash-slag mixtures (31 samples), slag (5 samples), furnace waste (4 samples) and 11 various samples.

From 1980 until the end of 2016, data regarding 46273 samples had been entered into a Polish

national database of raw and building materials. In 2016 alone, results for 840 samples were entered into the database, including:

1. the results for raw materials of natural origin: 71
2. the results for the building materials of industrial origin: 596
3. the results for building materials: 173.

Compared to the previous year, in 2016 there were fewer cases in which the qualification coefficients $f_1 = 1.2$ or $f_2 = 240$ Bq/kg for housing and utilities exceeded the limit values. Higher results were recorded for 46,7% of the ashes and 23,3% of the gas desulphurization products.

Figures 1-5 show the changes in the average values of the activity coefficients f_1 and f_2 for several selected raw and building materials (Figure 1 – ashes, Figure 2- slag, Figure 3 - cement, Figure 4-concrete, Figure 5- building ceramics) in the years 1980-2016.

By analyzing the average values of the qualification coefficients f_1 and f_2 from the entire database for housing construction and public service in the years 1980-2016, it can be concluded that:

- the highest f_1 value for ashes and the smallest qualification coefficients f_1 and f_2 for concretes and building ceramics were recorded for 2016.
- in 2016, 100% of the raw materials of natural origin were authorized to be used in residential buildings (as in the previous years).
- in 2016, in the case of raw materials of industrial origin, ash was characterized by poor qualification coefficients in terms of the admissibility of their application in housing
- 100% of the finished building materials produced in 2016 have been authorized for use in housing.

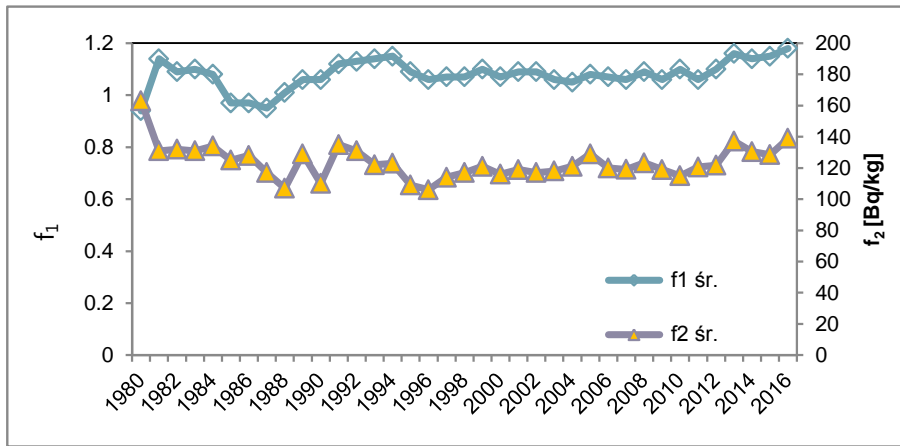


Figure 1. Average value f_1 and f_2 for ash in period 1980 -2016.

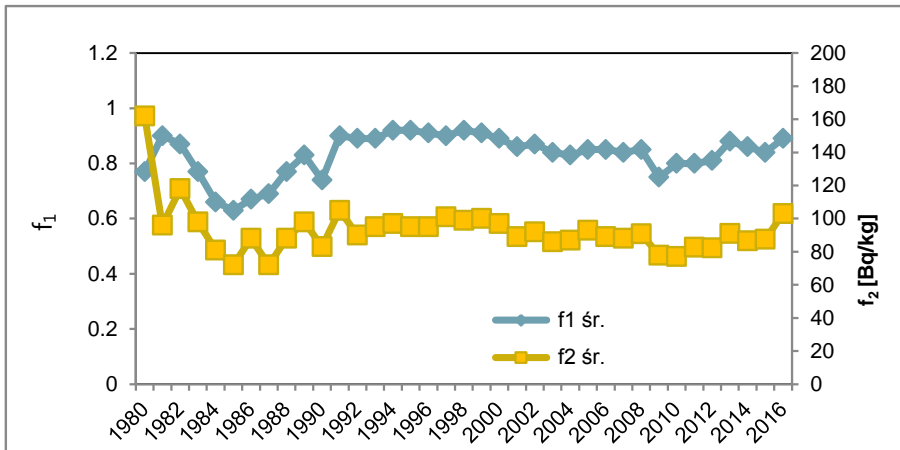


Figure 2. Average value f_1 and f_2 for slag in period 1980 -2016.

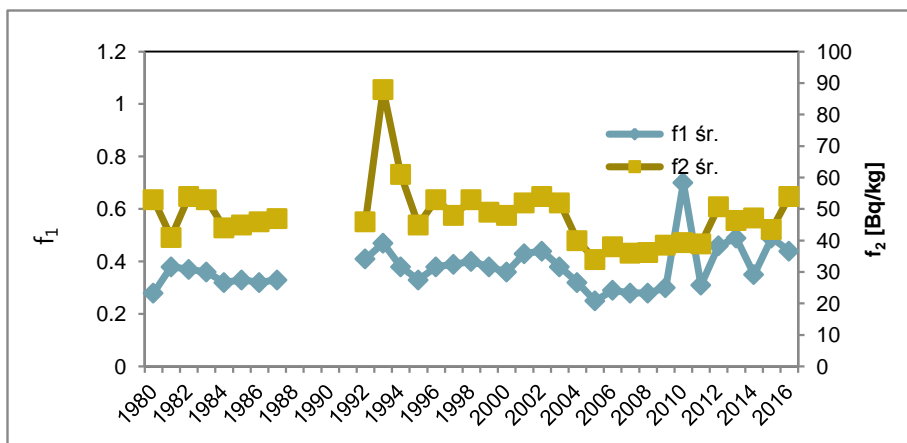


Figure 3. Average value f_1 and f_2 for cement in period 1980 -2016.

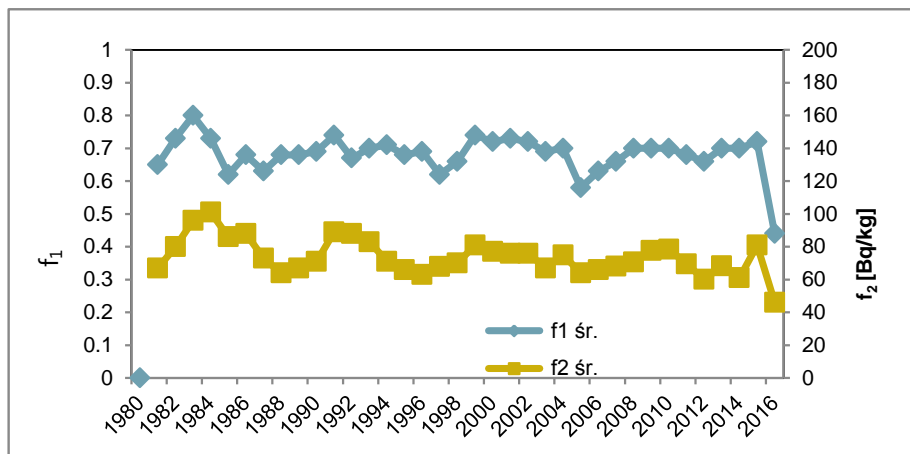


Figure 4. Average value f_1 and f_2 for concrete in period 1980 -2016.

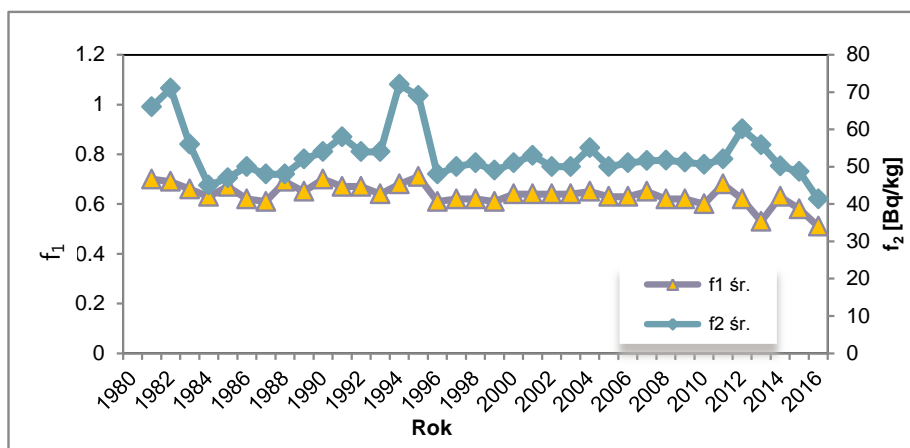


Figure 5. Average value f_1 and f_2 for building ceramics in period 1980 -2016.

Assessment of the radiation situation in the vicinity of the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Rozan and around Institute in Swierk

B. Piotrowska, K. Isajenko, O. Stawarz, A. Fulara, I. Kwiatkowska, A. Adamczyk, A. Ząbek, K. Wojtkowski, A. Kietbasińska

Introduction

In 2016, the estimation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Rozan focused on:

- research into the gamma activity in spring waters taken once a year from three measuring points, which allowed the detection of artificial gamma-emitting isotopes ($> 0.1 \text{ Bq/dm}^3$), the measurement of the total caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) and tritium (^3H) content $> 0.4 \text{ Bq/dm}^3$, as well as the determination of the total strontium (^{90}Sr) content in one aggregate sample;
- studying the total beta activity in ground water collected by piezometers in eight points twice a year and, if the results exceed 1 Bq/dm^3 , the measurement of potassium (^{40}K) content and tritium (^3H) content ($> 0.4 \text{ Bq/dm}^3$),
- the measurement of dose rate in five points as well as the collection of soil twice a year for the measurement of gamma radiation, with the distinction between artificial $> 0.7 \text{ Bq/kg}$ (dry mass) and natural $> 2.5 \text{ Bq/kg}$ (dry mass) gamma-emitting isotope,

The estimation of the radiation situation around the Institute in Swierk in 2016 focused on:

- researching gamma radiation in order to determine the content of artificial gamma-emitting isotopes in water from Swider River ($> 0.1 \text{ Bq/dm}^3$) (sampling from two points, twice per year) and measure the total content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) and tritium (^3H) $> 0.4 \text{ Bq/dm}^3$,
- research regarding gamma activity in water from a sewage treatment plant in Otwock, collected from one sampling point twice a year and tested for the total content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) $> 0.4 \text{ Bq/dm}^3$;

- gamma radiation research aiming to measure the artificial isotope content in well water taken from two points twice a year ($> 0.1 \text{ Bq/dm}^3$) and determine the total caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) content and tritium (^3H) content in each sample ($> 0.4 \text{ Bq/dm}^3$) as well as the strontium content (^{90}Sr) in two aggregate samples (for two points) ($> 0.4 \text{ Bq/dm}^3$),
- the measurement of dose rate in five points, and the collection of grass and soil to test for gamma radiation with the determination of gamma radioactive isotope content:
 - artificial: $> 1 \text{ Bq/kg}$ is for grass (dry mass); $> 0.7 \text{ Bq/kg}$ for soil (dry mass);
 - natural: $> 20 \text{ Bq/kg}$ is for grass (dry mass); $> 2.5 \text{ Bq/kg}$ (dry mass).

Results

Surroundings of the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Rozan

Spring water

The study of the environment surrounding the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Rozan was carried out through the spectrometric analysis of ionizing radiation in spring water samples collected from three points (Z-1, Z-2, Z-3). The results are as follows:

- initial measurements registered trace amounts of ^{40}K ($> 0.1 \text{ Bq/dm}^3$) in only two of the samples, Z-2 and Z-3
- tritium levels below the detection threshold were registered in all samples;
- the highest content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) was registered in spring water from point Z-1: $7.38 \pm 0.78 \text{ mBq/dm}^3$;
- the activity concentration of strontium ^{90}Sr in an aggregate sample (Z-1 + Z-2 + Z-3) was below the detection threshold.

Groundwater

The analysis of beta radiation in samples of ground water surrounding KSOP in Rozan showed:

- the highest content of tritium in samples from collection points:
P-2(collected in summer) : $99.7 \pm 7.0 \text{ Bq/dm}^3$,
P-2(collected in autumn) : $73.7 \pm 5.2 \text{ Bq/dm}^3$;
- the highest total beta radioactivity content in samples from collection points:
P-1, P-6, P-7 (collected in summer): $0,08 \pm 0,02 \text{ Bq/dm}^3$
P-6 (collected in autumn): $1.26 \pm 0.12 \text{ Bq/dm}^3$

Soil

A spectrometric analysis of gamma radiation in soil samples from the surroundings of KSOP in Rozan has shown the presence of only one artificial isotope - caesium (^{137}Cs), with the highest content present in samples from collection point D-1, collected in May: $59.9 \pm 0.3 \text{ Bq/kg}$, and in September: $78.1 \pm 1.3 \text{ Bq/kg}$.

Grass

The analysis of gamma spectra from samples of grass surrounding the KSOP Rozan showed the presence of only one artificial isotope - caesium (^{137}Cs). The activity concentration of this isotope ranged between $0.46 \pm 0.11 \text{ Bq/kg}$ dry mass (collected from points D-5 in May) and $0.49 \pm 1.1 \text{ Bq/kg}$ dry mass (collected from point D-2 in September).

Atmospheric aerosols

The gamma spectra of aerosols collected on filters (at levels over the detection limit) were analyzed at energies ranging from 40 to 2000 keV. The results showed the presence of only one artificial isotope – caesium ^{137}Cs . The activity concentrations of isotopes identified in both samples (Ro-1626 and Ro1636), that is, beryllium (^7Be) and lead (^{210}Pb), correspond to the average concentrations of these isotopes recorded in aerosol samples from the ASS-500 stations, placed throughout the country.

Exposition dose rate

The dose rate of gamma radiation in the environment surrounding the KSOP in Rozan ranged between 60.13 nGy/h in sampling point D-5

(measured in September) and 80.73 nGy/h in sampling point D-1 (measured in May).

The average exposition dose rate for areas surrounding KSOP in Rozan is:

- 73.00 nGy/h for measurements done in May of 2016;
- 64.91 nGy/h for measurements done in September of 2016.
- Average exposition dose rate (for all measurements) is 95.22 nGy/h .

Surroundings of the Institute in Swierk

Water

A spectrometric analysis of gamma radiation in samples of water collected from areas around the institute in Swierk, i.e. from the Swider River (samples WS-1 and WS-2) and from a well (samples G-106 and G-108), showed an absence of artificial gamma-emitting isotopes with an activity concentration above 0.1 Bq/dm^3 .

An artificial gamma-emitting iodine isotope (^{131}I) was registered in samples of water, collected in both May and September, from the outlet channel of a sewage treatment plant in Otwock (RSD). The highest iodine activity was present in the sample collected in September and amounted to $1.21 \pm 0,012 \text{ Bq/dm}^3$;

The tritium (^3H) content in samples of well water and water from the Swider River was determined by enriching tritium using the electrolytic method and then measuring the beta activity using a liquid scintillation spectrometer. The results showed a low tritium level. The highest activity concentrations of tritium in water collected from areas surrounding the Institute in Swierk were registered:

- during the summer sampling period – in samples of water collected from the outlet channel of a sewage treatment plant in Otwock (RSD). The concentration was equal to $1.5 \pm 0.2 \text{ Bq/dm}^3$;
- during the autumn sampling period – in all of the samples, the activity concentration was below the lower limits of detection.

Caesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) content in samples of water was measured by means of selective sorption of caesium on fluid quinoline ammonium (AMP) and then measuring the β ray activity. Results showed a low level of caesium activity in all of the samples. The highest average content of caesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) was registered in well water sample

G-108. The average value of caesium activity concentration ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) in this sample was $5.24 \pm 0.55 \text{ mBq/dm}^3$.

The highest content of caesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) in samples of water collected from areas surrounding the Institute in Swierk was recorded:

- during the summer sampling period - $4.27 \pm 0.47 \text{ mBq/dm}^3$ - in the well water sample marked G-108.
- during the autumn sampling period - $6.20 \pm 0.63 \text{ mBq/dm}^3$ - in the well water sample marked G-108

Strontium ^{90}Sr content was registered in two aggregate samples of well water from the spring and autumn collections (G-106, G-108) and river water (WS-1 and WS-2). The highest ^{90}Sr content was recorded in sample WS-1 and amounted to $10.7 \pm 2.2 \text{ mBq/dm}^3$.

Soil

A gamma-ray spectrometric analysis of soil samples from areas around the Institute in Świerk recorded:

- isotopes of natural origin – the presence of natural isotopes i.e. radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac and potassium ^{40}K with a content over 2.5 Bq/kg. Activity concentrations of these isotopes ranged:
 - ^{40}K : from $120 \pm 2 \text{ Bq/kg}$ (point MD-05) to $227 \pm 5 \text{ Bq/kg}$ (point MD-04);
 - ^{226}Ra : from $6.28 \pm 0.34 \text{ Bq/kg}$ (point MD-05) to $17.7 \pm 0.5 \text{ Bq/kg}$ (point MD-02);
 - ^{228}Ac : from $4.68 \pm 0.16 \text{ Bq/kg}$ (point MD-05) to $18.1 \pm 0.4 \text{ Bq/kg}$ (point MD-02).
- artificial isotopes-the presence of caesium (^{137}Cs) with a content over $0.7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ was found in four samples;
- maximum activity of caesium (^{137}Cs): $12.0 \pm 0.1 \text{ Bq/kg}$ (point MD-05);
- minimum activity of caesium (^{137}Cs): $0.32 \pm 0.03 \text{ Bq/kg}$ (point MD-04).

Grass

The spectrometric analysis of gamma radiation in samples of grass from areas surrounding the Institute in Swierk found:

- artificial isotopes - four samples showed the presence of caesium (^{137}Cs)

- the maximum activity concentration: $9,21 \pm 0,22 \text{ Bq/kg}$ (sample MD-01)
- natural isotopes – in all of the samples, the ^{40}K activity concentration was over 20 Bq/kg;

^{40}K activity concentration in samples of grass ranged from $83.8 \pm 4.9 \text{ Bq/kg}$ in sample MD-05 to $863 \pm 14 \text{ Bq/kg}$ in sample MD-01.

Exposition dose rate

Exposition dose rate in areas around the Institute in Swierk ranged from 47.5 nGy/h in point MD-05 to 59.8 nGy/h in point MD-03.

The release of radioactive substances into the air

Atmospheric aerosols

An analysis of aerosols collected on filters from the air surrounding the Institute in Swierk showed the presence of two artificial isotopes, i.e. ^{131}I and ^{137}Cs . The activity concentrations of these isotopes was below the lower limit of detection.

The activity concentrations of the isotopes identified in sample OŚ-1628, that is, beryllium (^7Be) and lead (^{210}Pb), correspond to the average concentrations of these isotopes recorded in samples of aerosols from the ASS-500 stations, placed throughout the country.

Iodine in gaseous form

The gamma-ray spectrum analysis of a gaseous iodine absorbent recorded one isotope of iodine, ^{131}I , with a value significantly above the lower limit of detection. The high concentration of radioactive ^{131}I indicates the possibility of significant releases of this isotope during the normal operation of the reactor MARIA. In particular, it may be visible during the so called "molybdenum cycles" – cycles of the reactor when it is operating with increased power.

Noble gasses

During the measurement of noble gases taken from the area surrounding the Institute in Swierk two isotopes were identified: ^{85}Kr krypton and xenon $^{131\text{m}}\text{Xe}$ with activity concentration levels well above the lower limit of detection.

Conclusions

The work done in the Institute in Swierk and the presence of the National Radioactive Waste Repository in Rozan do not pose a radiological risk for the residents of areas surrounding both locations.

Financing

The work was done at the request of the State Agency for Atomic Energy.

Monitoring of noble gases in Warsaw and Swierk in 2015 and 2016

K. Wojtkowski, K. Isajenko

Introduction

The station for the collection of noble gases from atmospheric air is a mobile device. In order to protect the flow meter and the valve from being contaminated with dust, air is pumped through a filter made of cotton, which is attached to a column filled with silicate-gel. The function of the silicate-gel is to absorb water from the air sample. Next, air enters an adsorbent immersed in a Dewar flask containing liquid nitrogen (temperature: 77 K/- 196 °C). The column with the adsorbent is kept under negative pressure (below 0.5 bar) which prevents the condensation of nitrogen and oxygen. The value of the flow should be about 60 litre/min (maximum to 70-75 litre/min.). After drawing noble gases into the adsorbent, they must be transferred into transport-measuring dishes. In order to transfer the gases, the column containing the adsorbent is put into a special stove, where it is kept in 300 °C for about 1 hour. By scouring the adsorbent with inert gases (nitrogen or helium), the noble gases are transferred from the adsorbent into MINICAN containers, which must be filled to 4 bars. Next, MINICANs are sent to the BfS Institute (Bundesamt für Strahlenschutz) in Freiburg (Germany), where their contents are measured using a gas chromatograph. The results of the measurements are then sent to CLOR. In 2015, the Central Laboratory for Radiological Protection entered an agreement (No. 29 / OR/ 2015 / 137 from 25 June 2015) with the Chairman of the National Atomic Agency. An object of the contract was conducting measurements of radioactive substances released into the air near the nuclear installation in Swierk. The station for collecting noble gases was placed about 1.1 km from the chimney of the reactor, situated so that in the initial phase of the sampling, the wind blew from the chimney towards the station. The meteorological conditions around the sampling point were registered by a WMR-928NX meteorological

station from Scientific Oregon. Based on the noble gases collected during this time, BfS determined the concentration of Kr-85 to be 1.6 Bq/m³ (± of the 3.2%), with a detection threshold of 0.046 Bq/m³. According to the information we received from Germany, this value is at the level of the background in Central Europe, which amounts to about 1.5 Bq/m³. However, for truly relevant determinations of Kr-85 concentrations, a week's worth of air sampling, or from a briefer period (but not less than 5 days) with a greater flow (increased to the value 0.060 - 0.075 m³/h), is required. In 2016, as part of an objective titled "Comprehensive measurements used for evaluating radiation intensity surrounding the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Rozan and near the Centre in the Swierk", noble gases were collected from the surroundings of Swierk, in accordance with agreement No. 11 / OR/ 2016 / 77 from the 24th of April 2016, between the Chairman of the National Atomic Agency and the Central Laboratory for Radiological Protection. The date of the radioactive noble gas collection was chosen based on the time during which the Maria reactor is in the "molybdenum cycle", which is when the reactor is operating with increased power. The sampling point was about 0.62 km from the chimney of the reactor. Stations were placed in locations where the wind was blowing from the direction of the reactor chimney. During the measurements of noble gases in areas surrounding Swierk, two isotopes were identified: Kr-85 and Xe-131(m), with activity concentrations significantly higher than the lower detection limit. Measurements of noble gases in Warsaw were financed by the Central Laboratory for Radiological Protection.

Results

Below are the measurement results from 2015-2016:

Table 1. Kr-85 concentration in samples taken in Warsaw in 2015-2016

Start	ts	Bq/m³ air	u [%]	ml Kr	tc
2015-10-21	7	1,49	1,0	4,34	16,7
2016-04-13	7	1,67	0,7	3,56	1,2
2016-05-09	7	1,61	0,7	5,30	1,0
2016-06-14	7	1,92	0,8	4,48	0,7
2016-08-29	7	2,00	0,7	5,57	0,7
2016-09-20	7	1,70	0,2	6,64	15,0
2016-10-06	7	1,67	0,6	6,84	1,0
2016-10-31	7	1,50	0,7	6,50	0,8
2016-12-05	7	1,97	0,5	3,40	15,0
2017-01-03	7	1,52	0,8	6,98	0,5

Table 2. Xe-133 concentration in samples taken in Warsaw in 2015-2016

Start	ts	mBq/m³ air	u [%]	ml Xe	tc
2015-10-21	7	2,90	-	0,39	16,7
2016-05-09	7	1,10	0,35	0,40	1,2
2016-06-14	7	3,30	0,97	0,25	0,7
2016-08-29	7	1,85	0,40	0,45	0,7
2016-09-20	7	-	0,20	0,45	15,0
2017-01-03	7	-	0,8	0,54	0,5

Table 3. Xe-131 (m) concentration in samples taken in Warsaw in 2015-2016

Start	ts	mBq/m³ air	u [%]	ml Xe(m)	tc
2015-10-21	7	4,70	-	0,39	16,7
2016-05-09	7	1,70	0,16	0,40	1,2
2016-06-14	7	0,70	0,19	0,25	0,7
2016-08-29	7	0,38	0,70	0,45	0,7
2016-09-20	7	0,60	0,13	0,45	15,0
2017-01-03	7	0,39	0,8	0,54	0,5

Maintenance of accreditation in the Measurements of Natural Radioactivity Laboratory with regards to ^{226}Ra , ^{228}Th and ^{40}K radioactive concentration determination in raw and building materials

O. Stawarz, K. Isajenko, B. Piotrowska, K. Wojtkowski, A. Kiełbasińska, A. Ząbek

2016 was the third year of the second accreditation cycle for the Measurements of Natural Radioactivity Laboratory (certificate number: AB 1108). The laboratory conducted measurements of 50 samples such as: a mixture of ash and slag, slag, furnace waste, a mixture of ash and sludge, natural aggregate, fly ash, mixture of slag, fly ash and dust, artificial aggregate, dolomite and railway breakstone.

In the framework of maintaining the accreditation for determining ^{226}Ra , ^{228}Th and ^{40}K radioactive concentrations, the following were carried out: technical supervision of laboratory equipment, training, internal audits, an audit under the supervision of the Polish Centre for Accreditation, a review of management and other actions related to the improvement of the management system. Two people were trained and authorized to perform the measurements and one of them was also accredited to authorize the reports. The technical supervision of the equipment included activities in accordance with the equipment control plan for 2016. The following periodic checks were done: daily temperature and relative humidity control in the measuring room, testing the MAZAR-95 analyzer using the volume calibration standards once a week, a measurement of one of the standard samples (K056, Ra056, Th056, CLOR W3P5, standard "Koszyce" ash) and a measurement of the background for the MAZAR-95 analyzer done using an aluminum cylinder with a mass of 1600 g. After measuring the standard samples with the analyzer, the trends of radium, thorium and potassium specific activities in the last quarter was checked. The MAZAR-95 analyzer was calibrated in November 2016. Two electronic scales were recalibrated in the accredited laboratory. Also Marinelli beakers for sample measurements in the MAZAR-95 analyzer were purchased.

The laboratory staff took part in training regarding the following topics: external documents (two sessions); the procedure of measuring ^{40}K , ^{226}Ra and ^{228}Th concentrations using the MAZAR-95 analyzer in raw and building material samples, evaluation of measurements and preparation of the results; the MAZAR-95 analyzer functions; registration of orders and samples, customer surveys and complaints; research reports; criteria for staff authorization; deviation and supervision of research that is incompatible with the requirements; selected issues regarding the PN-EN ISO/IEC 17025:2005 norm and ITB Guide; usage of the accreditation symbol; changes in the Quality Manual – criteria for authorizing personnel; planning the participation in PT/ILC; changes in Laboratory and amendments in PN-EN ISO/IEC 17025:2005 norm (external training). Moreover, the laboratory staff summarized the testing and calibration of the equipment as well as the training carried out in 2015, updated the Quality Manual and quality procedures, and also conducted training of performing measurements using the MAZAR-95 analyzer (for four laboratories).

In April and May of 2016, two internal audits took place. There was no need for corrective or preventive actions. Also in May of 2016, the management review was conducted, during which technical problems, the functioning of the management system, objectives from the previous review and tasks to be carried before the next management review were discussed.

On the 31st of May, 2016, an audit under the supervision of the Polish Centre for Accreditation took place. The auditors noted three nonconformities and had two observations. Corrective actions were implemented. The accreditation of the Measurements of Natural Radioactivity Laboratory was maintained.

**DEPARTMENT OF MONITORING AND
CALIBRATION**



Validation of models forecasting radioecological exposure – the assumptions of IAEA’s new program, MODARIA II 2016-2020 (MOdelling and Data for Radiological Impact Assessments)

P. Krajewski, G. Krajewska

Introduction

The MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments project, known as the MODARIA II (2016-2020), is the seventh program created by the International Atomic Energy Agency, dedicated to issues regarding the accuracy and credibility of dose values predicted using computer models of the environment. The almost 30-year history of these programs began shortly after the failure of Reactor No. 4 of the Chernobyl Nuclear Power Plant (April 26th, 1986). This when it became apparent, that there is an urgent need to use the appropriate calculation tools to conduct rapid exposure assessments for the inhabitants of areas affected by radioactive clouds. Especially since, as it later turned out, an incorrect estimation of the exposure led to controversial and *harmful* rescue operations carried out by the government of that time, such as mass resettlements from areas with minor contamination (UNSCEAR 2000). Recommendations regarding the development and validation of computer codes, created as decision support in case of a large scale release of radionuclides into the environment, were covered in several documents, including reports issued by the International Atomic Energy Agency SS 75 (1986) and the Governmental Committee for Assessment of Nuclear Radiation and Prophylactic Measures Rap. Kom. Rz. (1986).

In the following years, with each subsequent program, the scope of issues subject to intense work by specialists from around the world broadened to include issue topics such as: models of environmental contamination resulting from many years of radionuclide discharge during the normal operation of nuclear power plants, modelling the environmental impact of radioactive waste repositories, that is, heaps containing natural

radioactive elements, the so-called NORM¹⁷ and TENORM¹⁸, and modelling the behaviour of tritium ³H and carbon ¹⁴C.

It is important to note, that the term “environment”, when referencing the study of physics and chemistry of radioactive elements, pertains to both the natural environment as well as the environment that has been partially created by man. This term refer to: man, fauna, flora, soil, water, air, natural resources, and also water resources, (especially crops, livestock and waste). When assessing environmental changes caused by introducing radioactive substances, the term “environment” primarily pertained to human settlements and only recently has it been broadened to include wild flora and fauna ¹⁹ ICRP 103 (2007), ICRP 124 (2014).

It is worth noting, that the discussed IAEA programs are neither competition nor sponsored works, such as the EU programs created as part of EURATOM or HORIZON 2020, or NCRD national grants. They are more of an exchange of experience between high level specialists under the auspices of the IAEA²⁰, while participation in these programs has always been financed by participating countries. However, this doesn’t affect the popularity of these programs, which usually has around 200 participating scientists from over 40 countries of economic importance from all continents.

The Central Laboratory for Radiological Protection has been participating in these programs

¹⁷ Normally Occurring Radioactive Materials

¹⁸ Technically Enhanced Normally Occurring Radioactive Materials

¹⁹ In this definition, the term “environment” does not include elements such as climate, landscape, material resources, cultural heritage or even social living condition of an individual and community

²⁰ The results of the research are published as detailed IAEA TECDOC reports

since their inception (1988), primarily in creating and validating calculation models dedicated to assessing a radiological situation. Among other things, the CLRP (*Concentration Levels Rapid Predictions*) computer model was developed and tested on the basis of "blind scenarios". It is used for environmental contamination predictions resulting from emergency or routine discharges of radioactive substances and forecasting radiation doses in the public. During the EMRAS program (2003-2007), CLOR lead a working group, "MODEL TESTING RELATED TO COUNTERMEASURES APPLIED TO THE INTAKE OF IODINE-131 FROM THE CHERNOBYL ACCIDENT", where, based on real scenarios (Tula region, Masovia, Prague and its surroundings), the effectiveness of various remedial measures was researched. This included: evacuation, remaining in buildings, prohibiting grazing, and thyroid blocking, i.e. administering doses of stable iodine to people inhabiting contaminated areas in order minimize the dose absorbed by the thyroid EMRAS IWG (2012). The CLRP computer model has also found substantive application in creating test scenarios for the RODOS and ARGOS systems, with which the Radiation Emergency Centre in the National Atomic Energy Agency has been equipped. The above mentioned systems will be used as decision support when intervening in radiation emergencies. From 2006 to 2008, tests were conducted of modules RODOS FCDM and ARGOS FCDM (Food-Chain and Dose Module), to study the "response" of the above codes to various radiological situations, simulated based on developed test scenarios CLOR 2006 (Umowa Nr 7/SP/2006).

CLOR's participation in the MODARIA I program is described in the IAEA report MODARIA WG 5 Report (2016), which includes a thorough explanation of the employed algorithms and a detailed analysis of the results. A comparison of the results predicted by CLRP and those forecasted by other participating computer models can be found in the CLOR's 2015 Annual Report Krajewski 2015.

Historia programów MAEA walidacji modeli radioekologicznych

IAEA programs dedicated to validating radioecological models have an almost 30-year history. In the beginning, the main objective was verifying methods used in many countries for assessing radiological risk caused by contamination

after the failure in Chernobyl, especially identifying the source of uncertainty linked to this assessment VAMP TECDOC 904 (1996). The participants of the programs worked in several research groups. For instance, during the VAMP program there were four working groups, each focused on a different aspect of the study regarding the behaviour of radionuclides within the human body VAMP TECDOC 795 (1995), VAMP TECDOC 904 (1996):

- The Terrestrial Environment Group
- The Urban Environment Group
- The Aquatic Environment Group
- The Multiple Pathways Assessment Group

Members of the working groups were divided based on expertise:

"experts", whose tasks focused mainly on issues regarding parameters that describe the passage of radionuclides between levels of various ecosystems. This research resulted in the formation of unique databases of parameters characterising the transport of radionuclides through different components of the environment and the detailed analysis of phenomena related to the behaviour of radionuclides in a variety of environmental conditions VAMP TECDOC-857 (1996), VAMP TECDOC-1143 (2000), SRS 19 (2001), BIOMASS 5 (2003), TECDOC 1678 (2012).

"modellers", whose work was dedicated to creating appropriate computer models and verifying values predicted by the models with measured values (based on data acquired after the Chernobyl failure) in the form of the so-called "blind scenarios".

In addition, the *"experts"* were responsible for collecting and analyzing measurement data with the purpose of choosing a geographical region and developing a contamination scenario of that region (the region remained unknown to the participants involved in modelling) VAMP TECDOC 795 (1995), VAMP TECDOC 904 (1996).

"Modellers" were responsible for TECDOC 1678 (2012):

- carrying out model calculations (generating values predicted by the models)
- determining the reasons why the model predictions are inconsistent with the measured results
- determining the statistical error of the values predicted by the model

The subsequent editions of the programs focused on issues regarding exposure assessment in

various scenarios where radioactive isotopes are released into the environment. The subject matter of each consecutive edition was continuously broadened to include additional elements, both as a result of changing radiological protection standards ICRP 103 (2007), ICRP 114 (2009), ICRP 124 (2014) as well as due to the emergence of new aspects of exposure assessment, such as: radionuclide transport in river BIOMASS 4 (2003) or forest environments BIOMASS 1 (2002), exposure of the environment to tritium H₃ released from nuclear installations BIOMASS 3 (2003), or the assessment of projects for deep high-level radioactive waste repositories, where the forecast period is specified for several thousand years BIOMASS 6 (2003), BIOMASS 7 (2004). A fixed component of these programs was determining and eliminating the main reasons for discrepancy between the predictions of various models, resulting from, for example, a subjective interpretation of the scenario data and how knowledgeable the person performing the calculations is about the code BIOMOVs II (1996), BIOMOVs II (1996). A four-year functioning cycle was maintained and so were the structures of the thematic groups, consisting of approximately 20 specialists from a given field, as well as the meetings: one plenary meeting at the end of the year in Vienna, at the IAEA headquarters, and one meeting of the working groups in the middle of the year in a location chosen by the participants, always in the presence of an IAEA expert in the role of group secretary.

Table 1 presents the original names, period of operation and range of issues of each consecutive program. The description of each program as well as detailed reports are available on the International Atomic Energy Agency IAEA website: <http://www.iaea.org/projects/emras/emras2/default.asp?s=8&l=63>.

The assumptions and structure of the MODARIA II program

The MODARIA II program (2016-2019) is a continuation of the MODARIA I program (2012-2015) Krajewski 2015, therefore it retains the goals and scope of its predecessor, however it refers to a greater extent to new IAEA radiological protection recommendations, in particular to GRS Part 3 (2014), DS427 2015. Special emphasis was placed on regulations contained in the publication GRS Part 3

(2014)²¹, which fundamentally change the classification of operations done with radioactive sources and, as a consequence, radiological protection procedures. The categorization dictated by the previous regulations (practices and intervention) BSS 115 (1996), was replaced in the new specifications by a classification based on the conditions of exposure, creating three categories: planned, existing and emergency. As a result, radiological protection was broadened to include previously ignored exposure sources (existing), such as NORM and TNORM, cosmic radiation²² and areas with a higher background radiation (legacy size). Another significant change in radiological protection introduced in the GRS Part 3 (2014) publication is the approach to uncertainties in dose predictions, which need to be precisely defined for each individual case. This, in practice, means adopting a chosen probability distribution model (probability density function PDF) for input parameters and employing the Monte Carlo method for calculating the uncertainties in dose predictions. Thus, the calculation model and the nature of forecasting the dose, which is no longer determined by one value (deterministic model), but by a dose probability function (probabilistic model) (Figure 1), has been changed.

The compulsory application of the probabilistic model requires that the groups participating in the MODARIA program have sufficient knowledge of mathematical statistics and possess the appropriate software. As a result, several groups were combined into larger, more efficient working groups with a more consistent study plan. In addition, scenarios of short-term radionuclide discharge in emergency conditions (nuclear installation failures) were abandoned, due to difficult probabilistic models. Instead, the prediction of exposure to larger quantities of radionuclides in scenarios of long-term release during the routine operation of nuclear facilities was introduced. In these types of scenarios, it is assumed that the radionuclide concentrations in particular environmental components is at an equilibrium, which allows using linear models that are simple in terms of computation (equilibrium models). Figure 2 presents the changes in the

²¹replaces the previous regulations of radiological protection included in BSS 115 (1996),

²²exposure of the flight crew was included in occupational exposure

organizational structure of MODARIA II compared to MODARIA I as well as the scope of the planned research for 2016-2019.

Table 5. The history of IAEA program regarding the validation of radiological models

Acronyms and names of the programs	Sponsoring organization (duration of the program)	Specification and organization of the program
VAMP: Validation of Model Predictions	IAEA (1988-1996)	Model validation based in scenarios from Chernobyl, instances of radionuclide release into the atmosphere: Central Bohemia (Czech Republic) and Finland, prognosis for ^{137}Cs i ^{131}I , work on new data regarding coefficients for radionuclide transfer in the environment
BIOMOVs: BIOSpheric Model Validation Study	Swedish Radiation Authority (1991-1996)	Short-term and long-term instances of release into the atmosphere (Scenario BREMEN and Fort COLINS), predictions for ^{131}I i ^{137}Cs
BIOMASS: BIOSphere Modelling and ASsessment	IAEA (1996-2001)	Chernobyl scenarios (surface water environment of Prypec River), eliminating radioactive contamination from the environment, multi-year environmental contamination resulting from radioactive waste repositories: determining Reference Biospheres.
EMRAS I: Environmental Modeling for Radiation Safety	IAEA (2003-2007)	Scenarios of routine and emergency situations (Chernobyl) Guide for creating radioecological models, manuals with updated coefficients for the transfer of radionuclides between particular environmental components. Testing and comparing models for assessing fauna and flora exposure
EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety	IAEA (2009-2011)	EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety Reference methodology for assessing doses absorbed by the population: reference methodology for routine discharges from nuclear power plants reference methodology for creating models dedicated to assessing the effects of radioactive waste management and the recultivation of areas with high levels of natural radionuclides (NORM) and formerly contaminated areas. reference methodology for assessing exposure resulting from radioactive waste repositories. Reference methodology for assessing fauna and flora doses: assessment models for fauna and flora exposure (BIOTA) radionuclide transfer coefficients in the ecosystem of wild plants and animals (Manual) models for assessing the effects of radiation doses received by representatives of the fauna and flora Methodology for assessing exposure in radiological emergencies: tritium release (HTO, OBT) during nuclear facility failures the sensitivity of the environment to radiation urban areas (models for assessing exposure of the public in case of the use of a radiological dispersal device in a built-up area)

<p>MODARIA I: MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments</p>	<p>IAEA (2012-2015)</p>	<p>Recultivation of contaminated areas Recultivation strategy and decision assistance methods (contaminated areas of the former USSR) Radiological exposure in cases of contamination in urban environments – the effectiveness of remedial measures Adopting assessment models for radiobiological exposure of the environment as a result of higher concentrations of natural radionuclides (NORM) and anthropogenic radionuclides in formerly contaminated areas. Uncertainty and dose prediction variability</p> <ul style="list-style-type: none"> analyzing radioecological data published in IAEA technical reports (Technical report Series) in order to identify radionuclides and the corresponding key parameters for assessing the exposure of the population as well as wild plants and animals. defining key factors in the uncertainty and the variability of radiological exposure prognosis in case of routine radioactive substance release a uniform methodology for keeping a record of environmental changes in long-term safety assessments of radioactive waste repositories. methodology unification and comparative assessments of models used for the evaluation of exposure during an emergency release of tritium. <p>Exposure to radiation and its effect on the fauna and flora developing models for the fauna and flora: advanced radiation transfer and exposure models and their applications in exposure scenarios. models for evaluating the effects of radiation in various wild species populations. Models of the marine environment Developing and validating dispersal and transfer models in case of emergency radionuclide release into the marine environment from onshore nuclear facilities.</p>
---	-----------------------------	--

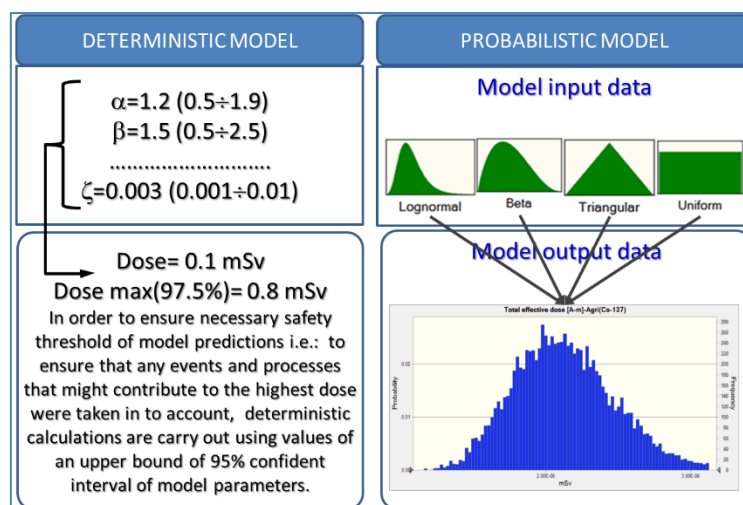


Figure 1. A diagram illustrating two different approaches to model calculations: deterministic and probabilistic

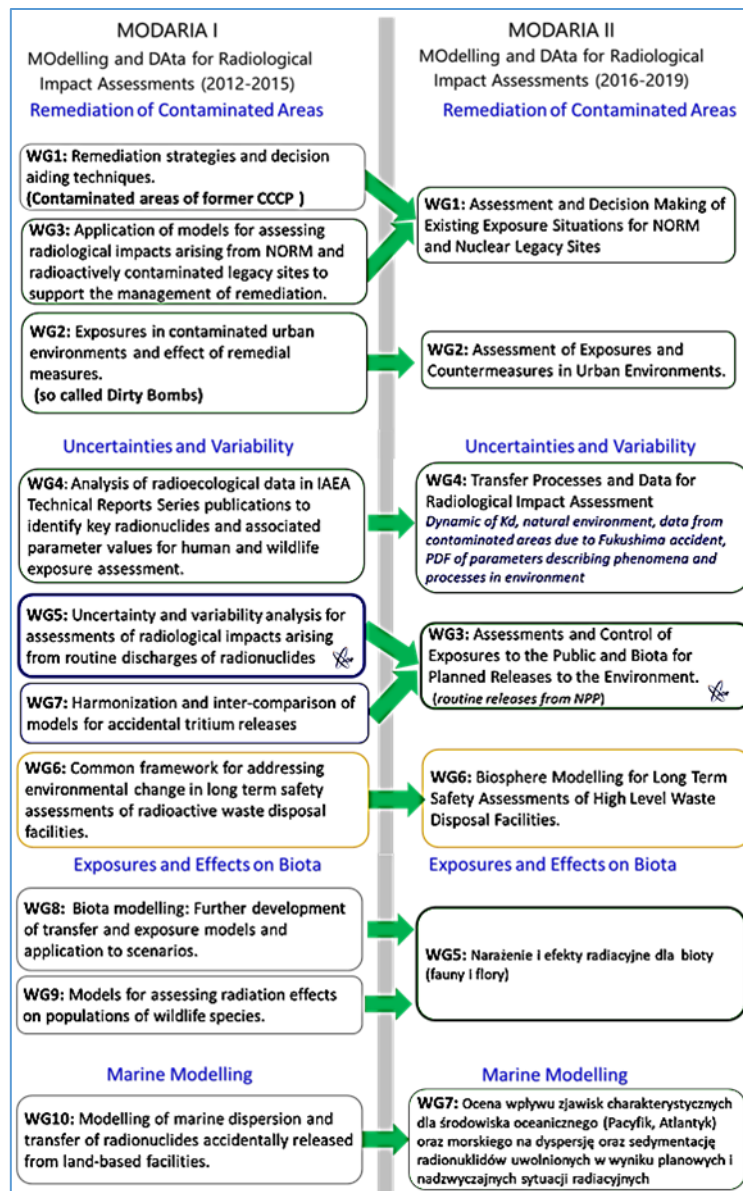


Figure 2. Organizational changes within the working groups in the MODARIA II program

Planned research of the WG3 group:
Assessments and Control of Exposures to the Public and Biota for Planned Releases to the Environment

The tasks of group WG3 in the MODARIA II program (which includes the former WG7 group that dealt with tritium ^3H and carbon ^{14}C models) are the continuation the work done during MODARIA I by group WG5: UNCERTAINTY AND VARIABILITY ANALYSIS FOR ASSESSMENTS OF RADIOLOGICAL IMPACTS ARISING FROM ROUTINE DISCHARGES OF RADIONUCLIDES.

The fundamental goal of the research done by group WG3 is the development of a new (integrated) system for assessing the impact of a nuclear facility or installation containing a radioactive source. The system is to consist of algorithms for calculating doses to humans and the biota. This approach is justified by the fact that the system input parameters are the same for both humans and biota (e.g. radionuclide activity concentration in fundamental mediums such as water, air or soil), as are the ratios of chemical element concentrations in particular environmental components (also known as transfer parameters), e.g. air to soil, plants to soil, animal tissue to water or plants. The only difference is in values known as the concentration to dose conversion coefficients²³. Moreover, the integrated system has the advantage of simultaneously providing risk information for both humans and the environment, which makes it easier to analyze costs and make appropriate decisions regarding the type and scope of preventative measures. It is worth noting, that the work of the WG3 group also covers recent worldwide trends of protecting all living species from radiation. The former standpoint (sometimes called a paradigm) of the International Commission on Radiological Protection ICRP (1997): "THE COMMISSION THEREFORE BELIEVES THAT IF MAN IS ADEQUATELY PROTECTED THEN OTHER LIVING THINGS ARE ALSO LIKELY TO BE SUFFICIENTLY PROTECTED", has been significantly revised throughout the past decade in favour of the environment, adding that for the radiological protection of the environment, it is necessary "...TO CONSIDER A WIDER RANGE OF ENVIRONMENTAL SITUATIONS, IRRESPECTIVE OF ANY HUMAN

²³ is a result of geometric differences between objects and the metabolism of the organism.

CONNECTION WITH THEM" and "TO DEMONSTRATE, DIRECTLY AND EXPLICITLY, THAT THE ENVIRONMENT IS BEING PROTECTED, EVEN UNDER PLANNED SITUATIONS" ICRP (2003).

The system for protecting all living species from ionizing radiation has been gradually evolving throughout the 90s under the auspices of recognized international organizations, i.e. UNSCEAR, ICRP and IAEA. The EU has also launched several projects (FASSET, ERICA, PROTECT, FUTURAE, STAR, COMET) aimed at creating such a system PEREIRA 2014. Recently, the implementation of a system for the radiological protection of all living species became mandatory as per EU Directive Dyr. Rad 2013/59/EURATOM and international recommendations GRS Part 3 (2014), it has already been introduced in several countries, including USA and Canada PEREIRA 2014. After 20 years of development, the system appears to be sufficiently advanced to enter the next phase, which is testing and practical application. Therefore, the objective is for group WG3 to conduct comprehensive exposure assessments for the public as well as for the fauna and flora, based on chosen scenarios. Additionally, it is expected that the group's work will be carried out in accordance with IAEA's latest recommendations DS432 2014, DS427 2015 and that they will regard planned exposure from nuclear and radioactive installations. The research will be done according to the following thematic blocks:

STUDY DIFFERENT GUIDANCE – Analysing international and national guidance in order to demonstrate their compliance with recently introduced requirements for the protection of the environment from ionizing radiation

COMPILE INFORMATION ON AVAILABLE CODES – Analysing the stage of advancement (CURRENT STATE OF KNOWLEDGE) of available methods and programs (COMPUTER CODES) used for performing dose assessments during routine radionuclide discharges from nuclear installations, which could be used in creating the integrated system for human and biota exposure assessments.

REFERENCE INSTALLATIONS AND SCENARIOS – Analysing the type of radioactive substance release into the environment, that requires a direct exposure assessment of all living species (*including humans*), preparing databases consisting of input data and parameter of reference scenarios.

PRACTICAL EXAMPLES – Carrying out dose calculations and assessments of result uncertainties for doses received by the human and biota population in the above scenarios.

BENCHMARK – Conducting a comparative analysis of the implemented models, parameters and the characteristics of the codes used in the assessment

STUDY, VALIDATE ^3H AND ^{14}C – Compiling information regarding the results of the latest advanced studies of tritium ^3H and carbon ^{14}C behaviour in the environment – this will mainly apply to the lesser known natural environment (that is, wild-living species) and short-term discharges resulting from failures.

GAPS – Creating a report for IAEA that covers: the presentation and discussion of test results, the identification of gaps and deficiencies in knowledge regarding the implementation of the integrated system for assessing the exposure of the environment, resulting from radionuclide discharges from nuclear facilities or installations featuring a radioactive material, IAEA recommendations.

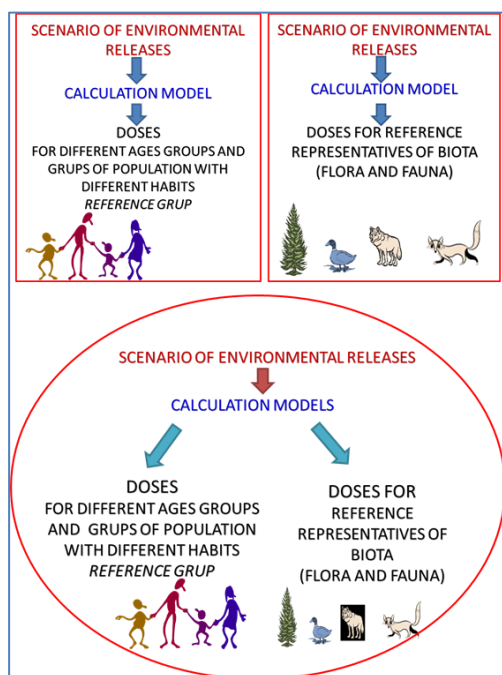


Figure 3. A diagram illustrating the integrated dose assessment for humans as well as the fauna and flora, during a routine release of radioactive elements.

Conclusions

The plan for the MODARIA II program presented in this article is connected with many practical aspects of implementing

recommendations from the European Council directive Dyr. Rad 2013/59/EURATOM, which will be obligatory for all member of the EU as of February 2018.

As a consequence, exposure evaluation methodology for fauna and flora, as well as the assessment of dose prognosis uncertainties should soon become a standard obligation required by, for example, nuclear supervisory authorities, when assessing the impact of a nuclear facility on the environment. A more detailed description of this is present in the "Draft law from June 12, 2017 amending the law – Nuclear Law".

Participation in the work of group WG3 is an opportunity for updating and validating the Polish CLRP model (Concentration Levels Rapid Predictions) based on the broadening of the database and new scenarios, it is also a chance to acquire the essential experience to apply the previously mentioned standard in practice.

Literature

BIOMASS 1 (2002), *Modelling the Migration and Accumulation of Radionuclides in Forest Ecosystems*, IAEA BIOMASS-1, 2002, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass1_web.pdf

BIOMASS 2 (2003), *Testing of environmental transfer models using data from the atmospheric release of Iodine-131 from the Hanford site, USA*, in 1963, IAEA-BIOMASS-2, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass2_web.pdf

BIOMASS 3 (2003), *Modelling the environmental transport of tritium in the vicinity of long term atmospheric and sub-surface sources*, IAEA-BIOMASS-3, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass3_web.pdf

BIOMASS 4 (2003), *Testing of environmental transfer models using Chernobyl fallout data from the Iput River catchment area, Bryansk Region, Russian Federation*, IAEA-BIOMASS-4, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass4_web.pdf

BIOMASS 5 (2003), *Modelling the transfer of radionuclides to fruit*, IAEA-BIOMASS-5, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass5_web.pdf

pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass5_web.pdf

BIOMASS 6 (2003), "Reference Biospheres" for Solid Radioactive Waste Disposal, IAEA-BIOMASS-6, 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass6_web.pdf

BIOMASS 7 (2004), *Testing of environmental transfer models using data from the remediation of a radium extraction site*, IAEA-BIOMASS-7, (2004, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Biomass7_web.pdf

BIOMOVS (1991), Proceedings of a Symposium on the Validity of Environmental Transfers Models, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1990, Sweden

BIOMOVS II (1996), *Uncertainty and Validation: Effect of Model Complexity on Uncertainty Estimates*, BIOMOVS II Technical Report No. 16, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1996, Sweden.

BSS 115 (1996), FAO, IAEA, ILO, NEA, PAHO, WHO, *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, IAEA Safety Series No. 115, Vienna 1996

Dose in Biota: A Comprehensive Review. Journal of Environmental Protection, 5, 751-759.

DS427 2015, *A general framework for prospective radiological environmental impact assessment and protection of the public*, IAEA DS427 Draft Version 6, Vienna, March 2015.

DS432 2014, *Radiation Protection of the Public and Protection of the Environment*, DRAFT SAFETY GUIDE DS432, International Atomic Energy Agency, Vienna, September 2014.

Dyr. Rad 2013/59/EURATOM, DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM, z dnia 5 grudnia 2013 r., ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom, Dz. U. L. 13 z 17.1.2014, s. 73

EMRAS IWG (2012), The Chernobyl I-131 Release: Model Validation and Assessment of the Countermeasure Effectiveness, IAEA, Assessment and Management of Environmental Releases Unit,

Vienna (Austria); [1 CD-ROM]; ISBN 978-92-0-129810-2; ISSN 1011-4289; Jun 2012; 440 p; PROJECT NIAID-Y2-AL-5077; PROJECT NCI-Y3-CO-5117; [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_CD/Reports/Theme_1_WorkingGroup3\(ChernobylI-131Release\)/The%20Chernobyl%20I-131Release-ModelValidationandAssessmentoftheCountermeasureEffectiveness.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_CD/Reports/Theme_1_WorkingGroup3(ChernobylI-131Release)/The%20Chernobyl%20I-131Release-ModelValidationandAssessmentoftheCountermeasureEffectiveness.pdf)

GRS Part 3 (2014), *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements*, No. GSR Part 3, Vienna, 2014

<http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.59077>

ICRP 103 (2007), *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Publication 103, Elsevier (2007)

ICRP 109 (2009), *Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations*, ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1), Elsevier (2007)

ICRP 114 (2009), *Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants*, ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6), Elsevier (2009)

ICRP 124 (2014), *Protection of the Environment under Different Exposure Situations*, ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1), Elsevier (2014)

Krajewski 2015, Krajewski, P., Krajewska, G., *Informacja dotycząca Projektu MODARIA – Modelling and Data for Radiological Impact Assessments*, CLOR, Raport roczny-2015, ISBN 978-83-920940-9-8

MODARIA (2012-2015), *Modelling and Data for Radiological Impact Assessments*, <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#0>

MODARIA WG 5 Report (2016), *Report of Working Group 5 "Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides"*, <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#3>

PAA 2017, *Projekt z dnia 12 czerwca 2017 r. Ustawy o zmianie ustawy - prawo atomowe*, <https://legislacja.rcl.gov.pl/docs//2/12293151/12398912/12398913/dokument302656.pdf>

PEREIRA 2014, de S. Pereira, W. and Kelecom, A. (2014) *International Recommendations on Calculation of Absorbed*

Rap. Kom. Rz. (1986), *Raport Komisji Rządowej (1986)*, Komisja Rządowa do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych, 1986, Warszawa.

SRS 19 (2001), *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*, IAEA Safety Reports Series No. 19, Vienna, 2001

SS 75 (1986), *International Nuclear Safety Advisory Group, Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident*, IAEA Safety Series No. 75, 1986, Vienna,

TECDOC 1616 (2010), *Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments*, IAEA-TECDOC-1616, Vienna, 2009.

TECDOC 1678 (2012), *Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS), A Summary Report of the Results of the EMRAS Programme (2003–2007)*, IAEA-TECDOC-1678, Vienna, 2012, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_Web.pdf

TRS 472 (2010), *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments*, IAEA Technical Reports Series No. 472, Vienna, 2010

TRS 479 (2014), *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife*, IAEA Technical Reports Series No. 479, Vienna, 2014

UNSCEAR 2000, UNSCEAR 2000 REPORT Vol. II; SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION; ANNEX J: Exposures and effects of the Chernobyl accident, http://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Annex-J.pdf

VAMP TECDOC 795 (1995), *Validation of multiple pathways assessment models using Chernobyl fallout data from the Central Bohemia of Czech Republic- Scenario CB. First report of the VAMP Multiple Pathways Assessment Group*, IAEA-TECDOC-795, Vienna, 1995, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_795_prn.pdf

VAMP TECDOC 904 (1996), *Validation of Models Using Chernobyl Fallout Data from Southern Finland - Scenario S. Second Report of the VAMP Multiple Pathways Assessment Working Group*, IAEA-TECDOC-904, Vienna, 1996, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_904_prn.pdf

VAMP TECDOC-1143 (2000), *Modelling of the transfer of radiocaesium from deposition to lake ecosystems, Report of the VAMP Aquatic Working Group*, IAEA-TECDOC-1143, Vienna, 2000, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1143_prn.pdf

VAMP TECDOC-857 (1996), *Modelling of radionuclide interception and loss processes in vegetation and of transfer in semi-natural ecosystems. Second report of the VAMP Terrestrial Working Group*, IAEA-TECDOC-857 (1996), International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_857_prn.pdf

CLOR 2006 (Umowa Nr 7/SP/2006), Krajewska, G., *Opracowanie scenariuszy testowych na potrzeby walidacji modeli obliczeniowych służących do oceny sytuacji radiacyjnej kraju w wypadku zdarzeń radiacyjnych*, Umowa Nr 7/SP/2006, CLOR 2006

Pilot studies on the exposure of the eyes of medical employees to ionizing radiation ($H_p(3)$) using TLD dosimeters

G. Krajewska

Introduction

The lens of the eye is one of the most radiosensitive tissues in the human body.

Detectable lesions in the lens can be observed at doses of at least an order of magnitude smaller than in the case of changes in other tissues of the eye. Initially, these changes do not cause visual impairment, but their severity tends to increase gradually with dose and time. As a consequence, they can lead to a partial or total opacity of the lens. Recent reports and publications show an increased risk of cataracts in workers exposed to ionizing radiation. Previously, the threshold limit was thought to be 2-5 Gy. Recent results indicate that radiation-induced cataracts occurs for doses exceeding 0.5 Gy, while the most radical of these studies suggest the complete lack of a threshold level.

Exposure to X-rays during medical procedures performed in interventional radiology creates a high risk for occupational exposure [UNSCEAR, 2000; IAEA, 2012].

Studies on the occurrence and induction of eye lens cataracts have clear consequences primarily for the staff performing the interventional radiology treatments. Potentially the sources of the highest doses to which medical staff are exposed, continue to be radiology procedures, despite the widespread use of radiation shielding. This refers to all therapeutic and diagnostic procedures performed through the skin of a patient under local or general anesthesia, using fluoroscopic imaging for localizing lesions and for monitoring radiological medical procedures, as well as for monitoring and documenting the therapy.

A characteristic property of radiotherapy is the relatively high doses of radiation that both patients and medical personnel are exposed to. Statistical evaluations show that 5 to 15% of patients

undergoing such treatment have radiation-induced skin lesions of various severity.

The staff performing treatments remains close to the source of X-rays and among the higher energy range of scattered radiation for several hours a day during treatment, which creates a large risk for occupational exposure. It is important to note, that the primary source of human exposure is diffuse radiation produced within the patient.

The $H_p(3)$ value was not used in the beginning of radiological protection, as opposed to $H_p(10)$ and $H_p(0.07)$ values, which were widely used for many years. One of the reasons for the lack of dedicated $H_p(3)$ dosimeters was the high annual dose limit. As a result, there was no need for monitoring and there were no reliable KAIR/ $H_p(3)$ conversion factors.

The ICRU publications state that "monitoring of $H_p(3)$ will be required only in exceptional circumstances", because it is assumed that the limit of the equivalent dose for the eye will not be exceeded, if the limit of the dose for the entire body (20 mSv per year) and the limit of the equivalent dose for skin (500 mSv per year) are not exceeded.

Results

The International Commission on Radiation Protection ICRP has recommended reducing the current annual dose limit for the eye lens from 150 mSv to 20 mSv [ICRP 118, 2012].

This limit was approved and recorded in the new European Union Directive [Euratom, 2013].

As a consequence of reducing this limit, it became necessary to monitor the equivalent dose for the eye lens, using the operating value $H_p(3)$, which hadn't been routinely measured up until this point [ICRP 103, 2007].

In response to recommendations regarding the need for measuring Hp(3) doses on the lens and lowering the dose limit, development work on methods of eye lens dosimetry has begun, consisting of the search for a suitable dosimeter, phantom, and calibration procedures. The first studies in this direction have been undertaken within the framework of the European ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) project [www.oramed-fp7.eu/].

Designed in the ORAMED project in 2011 [www.oramed-fp7.eu/], the dosimeter is named EYE-DTM and consists of a plastic housing with a polyamide capsule housed in a high-detector MCP-N (LiF: Mg, Cu, P) with a diameter of 4.5 mm and a thickness of 0.9 mm (Figure 1).



Figure 1. The EYE-DTM eye dosimeter (also in version with headband)

In 2015 in CLOR, works to determine the energy characteristics of thermoluminescent detectors used for eye lens dosimetry were carried out and a method for estimating exposure of the eye lens to ionizing radiation using an individual dose equivalent Hp(3) was developed.

The aim of the following pilot studies was the implementation and testing of new methods and dosimeters to measure doses absorbed by the eye lens. Within the framework of the study, detailed measurements of ionizing radiation doses and

exposure assessments of interventional radiology workers were performed - with particular attention to eye lens doses. Body and skin dose measurements were also performed, estimating the Hp(10) and Hp(0.07) values.

The measurements were performed in two medical institutions in Warsaw: the Mazovia Brodnowski Hospital (Hemodynamic Laboratory) and the Cardiac Catheterization and Angiography Laboratory (Department of Diagnostic Imaging) at the Children's Memorial Health Institute.

The Hemodynamics Laboratory of the Mazovian Brodnowski Hospital was established in November of 2004.

It is equipped with a modern digital Philips Allura angiograph (70 kV, 480 mA).

There are about 1200 coronary angiography and approx. 700 coronary angioplasty procedures performed annually.

The laboratory conducts, among others: coronary angiographies, coronary angioplasty and coronary stent implantations.

The Cardiac Catheterization and Angiography Laboratory is located in the Department of Diagnostic Imaging at the Children's Memorial Health Institute (IPCZD), where X-rays are used to perform invasive cardiovascular diagnostic tests and therapeutic treatments in the field of cardiology and interventional radiology in children, who are patients in the clinical departments of IPCZD. The diagnostic tests (called angiographies) are designed to illustrate the vascular architecture of organs with pathological changes (e.g. the central nervous system, kidney) and, in the case of the heart (a cardioangiography procedure), to visualize individual heart cavities and abnormalities within the heart.

The results are presented in Tables 1 and 2.

Table 1. The evaluation of effective whole-body (Hp(10)), skin (Hp(0,07)) and eye lens (Hp(3)) doses for the staff of the Hemodynamics Laboratory of the Mazowian Brodno Hospital in Warsaw

Employee	Hp(3)	Hp(10)	Hp(0.07)
1	0,21	X	X
2	LD	X	X
3	0,02	X	0,44
4	0,21	X	0,14
5	LD	X	X
6	LD	X	X
7	0,64	X	X
8	LD	X	X
9	LD	X	X
10	2,26	X	6,2
11	LD	X	X
12	0,46	0,31	1,24
13	0,28	X	X
14	LD	X	X
15	0,08	X	X
16	0,73	x	0,59
17	LD	X	0,29
18	LD	X	X
19	LD	X	X
20	0,41	0,20	X
21	0,39	X	X

Table 2. The evaluation of effective whole-body (Hp(10)), skin (Hp(0,07)) and eye lens (Hp(3)) doses for the staff of the Cardiac Catheterization and Angiography Laboratory (the Department of Diagnostic Imaging) at the Children's Memorial Health Institute

Employees	Hp(3)	Hp(10)	Hp(0.07)
1	0,21	X	X
1	LD	X	X
2	LD	X	X
3	LD	X	X
4	LD	X	X
5	0,33	X	X
6	LD	X	X
7	LD	X	X
8	LD	X	X
9	LD	X	X
10	LD	X	X
11	LD	X	X
12	LD	X	X
13	0,19	X	X
14	LD	X	X
15	LD	X	X
16	LD	X	X
17	LD	X	X
18	LD	X	X
19	LD	X	X
20	0,03	X	X
21	LD	X	X
22	0,13	X	X
23	LD	X	X
13	0,28	X	X
14	LD	X	X
15	0,08	X	X
16	0,73	x	0,59
17	LD	X	0,29
18	LD	X	X
19	LD	X	X
20	0,41	0,20	X
21	0,39	X	X
22	0,13	X	X
23	LD	X	X

Conclusions

Interventional radiology creates the risk of exposing the eye lens of individuals performing the procedures to ionizing radiation (doses have been registered both in those who directly carry out the treatments as well as in accompanying individuals).

In the group of surveyed employees, the dose limit for the exposed workers was not exceeded, the value did not exceed 3 mSv per year.

There is probably a correlation between doses absorbed by the skin (measured by ring dosimeter) and doses measured on the eye lenses of the staff (a numerical dependence was not observed as a result of too few results), but further research is required.

Financing

The work was funded by the Ministry of Science and Higher Education.

Maintaining the Iodine Monitoring Laboratory CLOR to perform content measurement iodine radiation in the thyroid gland for the operation of the emergency services and the emergency situation

G. Krajewska

Introduction

Activity measurements of iodine deposited in the thyroid are performed in the Laboratory for Monitoring of Iodine in CLOR with two sets of gamma-ray spectrometer - stationary and portable. The apparatus allows the measurement of iodine in the thyroid gland at workplaces or site of an accident or local contamination of the iodine, as well as in the population in areas of radioactive contamination in the event of failure of large-scale, eg. nuclear power plant accident. It was produced by Canberra-Packard - detector is a crystal NaI (TI) 3 x 3 inches, with a resolution of 7.5% for energy 661.6 keV.

Main activities of Laboratory, included in 2016, among other things, the task of maintaining readiness of equipment to take immediate measurements of radioactive iodine in the thyroid gland, which consists in carrying out systematic measurements of background in photopeaks of isotopes ^{125}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{131}I and testing the

electronic modules measuring sets, as well as the task of performance measurements of radioisotopes of iodine-131 and technetium-99m in the thyroid gland, which were made at the employees of nuclear medicine in Poland conducting diagnostic and therapeutic tests associated with diseases of the thyroid gland.

Results

Background in the Laboratory room, measured systematically twice during the month, was 3, 4, 3 cps in photopeaks of isotopes ^{125}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{131}I , respectively, and ranged from 20% of the average of the measured background annual previous years, remaining at a constant level and thus determining the low limit of detection measurements. In Figure 1 and Figure 2 shows the spectrum of the background radiation measured set of stationary and portable, respectively.

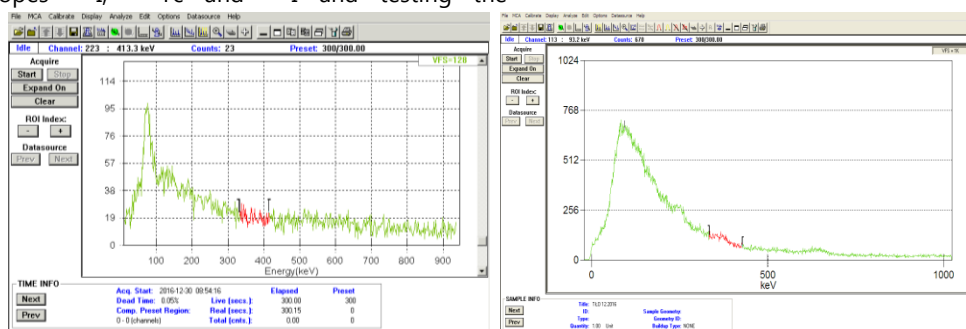


Figure 1. The background spectrum in laboratory with stationary unit measured (left plot) and with mobile unit (right plot).

In 2016 we made measurements of radioactive iodine ^{131}I and technetium $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in the thyroid gland of people representing the medical staff at the Department of Nuclear Medicine of the Children's Memorial Health Institute in Warsaw

(ZMNIPCZD), Department of Nuclear Medicine of Miedzylesie Specialist Hospital in Warsaw (ZMN MSS) and at the Clinical Department of Endocrinology, Metabolism and Internal Diseases of Clinical Hospital (SZKL) in Poznan.

In these facilities, the use of radioactive iodine are carried out in diagnostic tests, ie. scintigraphic the thyroid gland, thyroid uptake, determination of the level of thyroid hormones, therapeutic and research as well as in the treatment of thyroid disorders, including cancer in the branch system. Moreover, they are carried out the diagnostic tests to other organs using technetium. The results of activity measurements of iodine-131 and technetium-99m in the thyroid and the estimated doses of absorptions of ^{131}I with

employees of the Department of Nuclear Medicine of the Children's Memorial Health Institute in Warsaw (ZMNIPCZD) are shown in Table 1 and in Figure 2, and the corresponding results for the employees of the Department of Nuclear Medicine of Miedzylesie Specialist Hospital in Warsaw (ZMN MSS) and at the Clinical Department of Endocrinology, Metabolism and Internal Diseases of Clinical Hospital (SZKL) in Poznan) are shown in Table 2, 3 and Figures 3-5, respectively.

Table 1. The results of measurements of the activity levels of radioactive iodine and technetium in employees of the the Department of Nuclear Medicine of the Children's Memorial Health Institute (ZMNIPCZD) in Warsaw

Employee	Measured in thyroid activity of iodine - ^{131}I [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/ technetium-99m+iodine-123 [Bq]
I.C.	<68*)	<0.38	<1.90	-
A.C.	<68	<0.38	<1.90	-/240
B.M.	<68	<0.38	<1.90	2150/-
B.Ma.	<68	<0.38	<1.90	-/250
M.H.	<68	<0.38	<1.90	-
M.G.	<68	<0.38	<1.90	-
P.Ł.	<68	<0.38	<1.90	-
A.Ś.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Minimum measurable activity

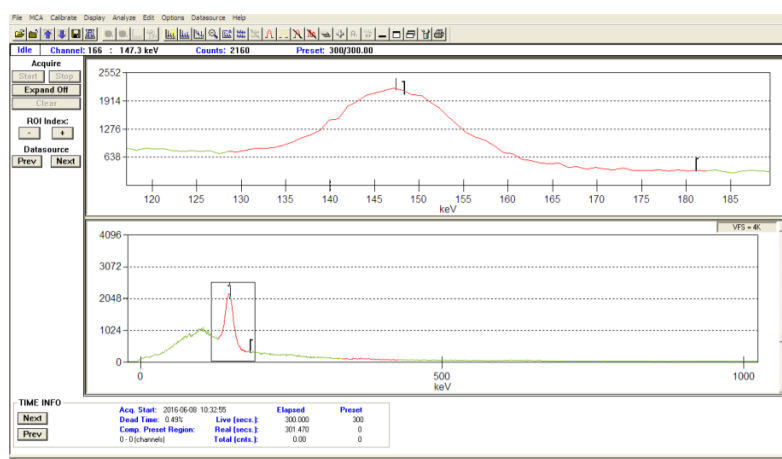


Figure 2. The spectrum of radiation measured in the employee B.M. (ZMNIPCZD) (visible peak of $^{99\text{m}}\text{Tc}$)

Table 2. The results of measurements of the activity levels of radioactive iodine and technetium in employees of the Department of Nuclear Medicine of Miedzylesie Specialist Hospital in Warsaw (ZMN MSS)

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]
E.S.	<68*)	<0.38	<1.90	-
J.S.	<68	<0.38	<1.90	-
M.A.	<68	<0.38	<1.90	-
M.G.	<68	<0.38	<1.90	1440
T.S.	<68	<0.38	<1.90	2400
A.R.	<68	<0.38	<1.90	2520
H.W.	<68	<0.38	<1.90	1850
J.M.	<68	<0.38	<1.90	-
A.K.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Minimum measurable activity

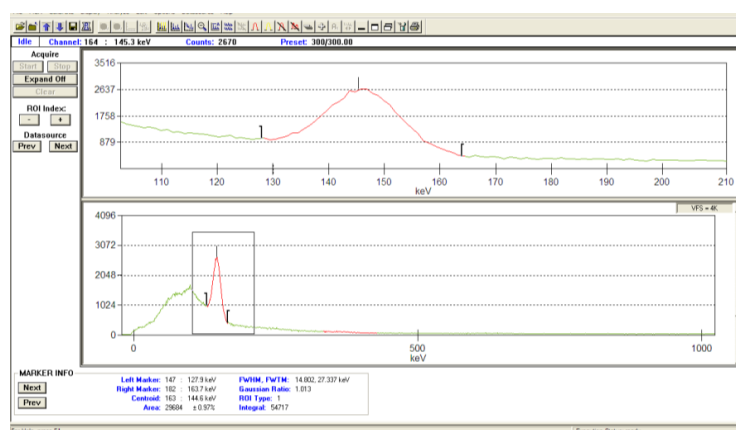


Figure 3. The spectrum of radiation measured in the employee A.R. (ZMN MSS) (visible peak of ^{99m}Tc)

Table 3. The results of measurements of the activity levels of radioactive iodine and technetium in employees of the Clinical Department of Endocrinology, Metabolism and Internal Diseases of Clinical Hospital (SZKL) in Poznan.

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)
A. B.	<68*)	<0.38	<1.90
K. O.	360	1.00	5.00
M. O.	<68	<0.38	<1.90
K. S.	650	1.95	9.75
A. P.	250	0.75	3.75
W. W.	<68	<0.38	<1.90
G. W.	1500	4.50	22.50
M. S.	<68	<0.38	<1.90
L. W.	1170	3.53	17.63
K. D.	500	1.50	7.50
Z. R.	<68	<0.38	<1.90
B. B.	250	0.75	3.75

R. O.	<68	<0.38	<1.90
E. R.	<68	<0.38	<1.90
J. N.	<68	<0.38	<1.90
E. G.	<68	<0.38	<1.90
D. Ł.-C.	<68	<0.38	<1.90
A. N.	<68	<0.38	<1.90
E. P.	400	1.20	6.00
A. S..	<68	<0.38	<1.90
L. P.	250	0.75	3.75
A. G.	<68	<0.38	<1.90
A. Ż.	<68	<0.38	<1.90
E. S.-B.	<68	<0.38	<1.90
W. B.	395	1.19	5.93
M. M.	150	0.45	2.25
M. F.	250	0.75	3.75
M. G.	100	0.30	1.50
R. L.	<68	<0.38	<1.90
A. S.	<68	<0.38	<1.90
M. R.	<68	<0.38	<1.90
A. K.	<68	<0.38	<1.90
Ż. M.	<68	<0.38	<1.90
A. P.	700	2.10	10.50
A. B.	1150	3.45	17.25
R. S.	615	1.85	9.23
K. W.	100	0.30	1.50
M. Gł.	1010	3.03	15.15

*) Minimum measurable activity

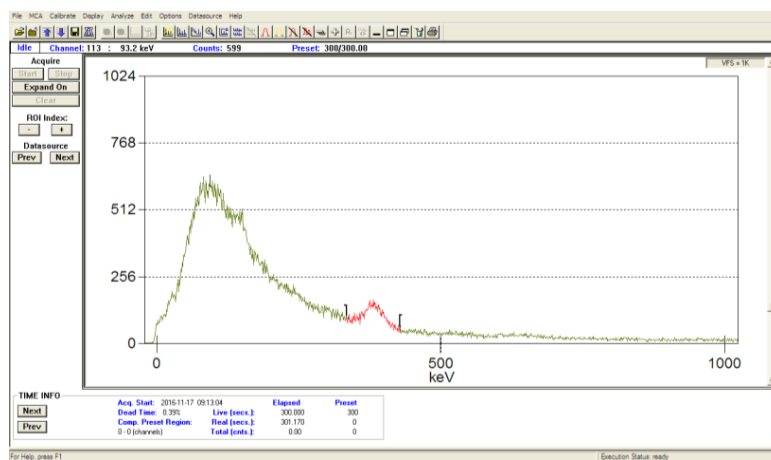


Figure 4. The spectrum of radiation measured in the employee G.W. (SZKL) (visible peak of ^{131}I)

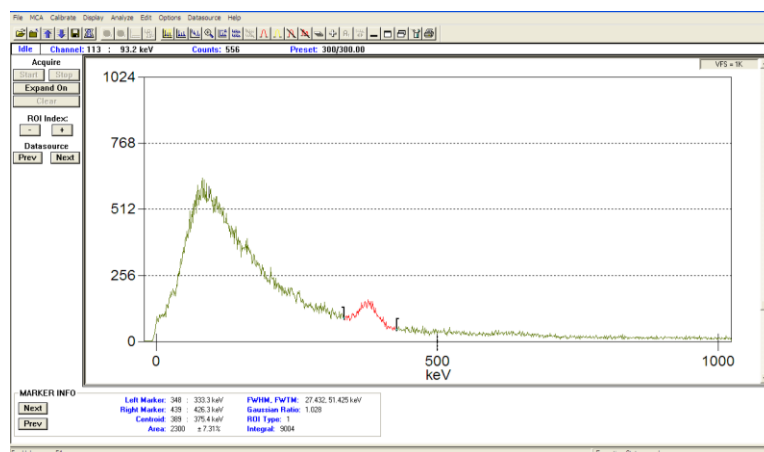


Figure 5. The spectrum of radiation measured in the employee A.B. (SZKL) (visible peak of ^{131}I)

Activity levels of iodine-131 in the thyroid of employees of the Department of Nuclear Medicine of the Children's Memorial Health Institute (ZMNIPCZD) in which the measurements were low (Table 1). The maximum dose was approx. 0.625 mSv, not exceeding 3.1% of the annual limit for occupationally exposed.

Activity levels of iodine-131 in the thyroid of employees of the Department of Nuclear Medicine of Miedzylesie Specialist Hospital in Warsaw (ZMN MSS), in which the measurements were low (Table 2). The measurements did not exceed the value of the least measurable activity. In several cases, the presence of Tc-99m is present, because in the ZMN a large number of diagnostic tests, mainly scintigraphy of various organs, are performed with the Tc-99m.

Activity levels of iodine I-131 in the thyroid of the Clinical Department of Endocrinology, Metabolism and Internal Diseases of Clinical Hospital (SZKL) in Poznan, in which the measurements were different (Table 3). Measurements were in the range of the lowest measurable activity value to about 1500 Bq. Estimated doses did not exceed 23% of the maximum dose for the exposed person. Maximum activity was measured in closed-loop patient beds where patients were treated at therapeutic doses.

Financing

The work was funded by the National Atomic Energy Agency under the Contract No. 13 /OR / 2015/14.

Maintaining radiation standards and the development and maintenance of the quality assurance system for the calibration of dosimetry instruments

A. Kudynowska, K. Wołoszczuk, Ł. Modzelewski, A. Wiśniewski,
Z. Podgórska, I. Słonecka, K. Szewczak

Introduction

The operation of a calibration laboratory, especially one that has been accredited for all of the calibration services it provides, requires three fundamental elements:

the requirement of maintaining the infrastructure and management system, completing investment projects and conducting an achievement assessment in order to set key objectives.

The Laboratory for the Calibration of Dosimetry and Radon Instruments (LWPDiR), operating within the Central Laboratory for Radiological Protection in Warsaw, is the leading laboratory of this kind in Poland. The beginnings of the calibration Laboratory in CLOR go back to 1958. The first dedicated room, a hall located on the premises of the Zeran Heat Power Station, was equipped with an industrial X-ray machine. Currently, the LWPDiR is comprised of two calibration halls, a room containing a radon chamber as well as technical

and office rooms. A crucial moment in the history of the LWPDiR was obtaining accreditation in 2003 from the Polish Centre for Accreditation, for carrying out calibrations as per the approved procedures in accordance with the requirements of international standard PN/EN ISO-IEC 17025. At present, the personnel carrying out the tasks of the laboratory includes: three employees with a doctoral degree, five with a masters degree and 4 engineering and technical workers. LWPDiR is the unit with the widest variety of accredited calibration workstations, see Table 1.

The Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) – The Laboratory for the Calibration of Dosimetry and Radon Instruments (LWPDiR) – accreditation number AP 057

The Laboratory obtained accreditation in 2003. Initially, it only provided calibration of instruments for measuring γ radiation, but currently it offers the widest range of calibration procedures in Poland.

Table 1. Measurement capabilities of the LWPDiR

TYPE OF RADIATION	SOURCE/SPECTRUM	ENERGIE/*AVERAGE ENERGY
Γ RADIATION	⁶⁰ Co	1250 KEV
	¹³⁷ Cs	662 KEV
	²⁴¹ Am	59,5 KEV
X-RAY	N-60	* 48 KEV
	N-80	* 65 KEV
	N-100	* 83 KEV
	N-120	* 100 KEV
	N-150	* 118 KEV
	N-200	* 164 KEV
	N-250	* 208 KEV
	N-300	* 250 KEV

B RADIATION	^{90}Sr	546 keV
	^{85}Kr	687,1 keV
NEUTRON RADIATION	Am/Be	* 4,4 MeV
SURFACE EMISSION OF A RADIATION	^{241}Am	5,48 MeV
SURFACE EMISSION OF B RADIATION	^{14}C	156,5 keV
	^{90}Sr	546 keV
	^{36}Cl	708,6 keV
RADON CONCENTRATION IN THE AIR POTENTIAL A ENERGY CONCENTRATION	^{226}Ra RADON	

The quality management system within the Laboratory consists of: the Quality Manual, 18 general procedures, 5 calibration procedures and 11 technical instructions. These documents require constant maintenance, that is, monitoring and updating. An important part of LWPDiR operation are processes regarding the quality control of measurements. For this purpose, each year, the Laboratory executes around 34 items, a variety of tests and inspections, meant to guarantee the accuracy of calibration procedures conducted in the Laboratory. In addition, the infrastructure of the Laboratory of Individual and Environmental Doses Monitoring in CLOR, in particular the thermoluminescence dosimetry equipment, is also utilized in quality control procedures.

In 2016, the maintenance of the infrastructure as well as the quality control system in LWPDiR was realized with the support of the Ministry of Energy, in accordance with contract no. 74/II/P/15004/2830/16/DEJ, "MAINTAINING RADIATION STANDARDS AND THE DEVELOPMENT AND MAINTENANCE OF

THE QUALITY ASSURANCE SYSTEM FOR THE CALIBRATION OF DOSIMETRY INSTRUMENTS." The contract covered two objectives, divided into specific tasks:

OBJECTIVE 1

- Calibration of reference standards
- Maintenance of the air conditioning system
- Re-calibration of surface sources

OBJECTIVE 2

- Internal audits
- Participation in the accreditation system
- External audits
- Participation in training
- Participation in conferences

The objectives were fully realized, with only minor time delays, which didn't have any impact on the effectiveness of their completion.

As part of objective nr 1, a series of calibrations were performed for reference standards used in the Laboratory when determining reference values of measured parameters. A list of completed calibrations has been presented in Table 2.

Table 2. List of calibrations of LWPDiR reference standards, completed in 2016

Reference Standard	Calibration laboratory	Calibrartion workstation
PTW Ionization chamber M23361 (nr 0340, objętość 30cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlandia	GAMMA
PTW Ionization chamber TM32002 (nr 0089, objętość 1000cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlandia	GAMMA
PTW Ionization chamber M23361 (nr 0340, objętość 30cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	PTW, Niemcy	RTG
PTW Ionization chamber M32002 (nr 0027, objętość 1000cm ³) + electrometr UNIDOS 10001	STUK Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlandia	RTG
Monitor AlphaGUARD PQ2000 PRO (nr 1103)	SUJCHBO, Czechy	Radonowe
Monitor Radon WL Meter (nr S39812-763)	SUJCHBO, Czechy	Radonowe

Objective 1 also involved the maintenance of air conditioning and ventilation systems in the Gamma calibration hall as well as conducting the re-calibration of four surface sources, used in the LWPDiR as reference standards during the calibration instruments dedicated to measuring surface contamination.

Objective 2 was aimed at system activity related to the maintenance of documentation and conducting audits in the Laboratory. In the process of implementing this goal, 4 internal audits were carried out and external audits by PCA employees were funded. An important factor in the proper functioning of the Laboratory is improving the qualifications of the personnel responsible for its operation. In 2016, in line with tasks in objective 2, the employees of the LWPDiR took part in 6 conferences. Internal training sessions were also conducted.

An additional element realized as a result of a grant from the Ministry of Energy, under investment contract nr 77/II/P/15004/6230/16/DEJ "THE PURCHASE OF RADIATION SOURCES AND SECONDARY STANDARDS FOR THE PURPOSE OF MAINTAINING AND DEVELOPING THE QUALITY ASSURANCE SYSTEM FOR THE CALIBRATION OF DOSIMETRY INSTRUMENTS", was carrying out investments involving the purchase of: a Co-60 source, a group of reference standards and a set of personal dosimeters. As a result, the range of

measurements that can be done with the Co-60 source was extended from 2,5 mGy/h to 100 mGy/h. This wide of a range allows for most instruments to be calibrated in their full measuring range. Equipping the Laboratory with additional secondary sources enabled the calibration process to be more exact, lowering the uncertainties of reference values. The purchase consisted of, among other things, a highly specialized Bohm extrapolation chamber designed for measuring beta radiation and low-energy X-rays. Active dosimeters, equipped with a gamma and neutron detector, provided the means for constant monitoring of personnel exposure and raised the safety standards in the Laboratory, especially when considering that the LWPDiR uses both gamma and neutron sources. In total, 5 DMC 2000 GN MGP instruments were purchased.

The last crucial element in the development of the calibration Laboratory is the assessment of its achievements and outlining its plans. In 2016, LWPDiR employees published two publications in journals with an Impact Factor. Studies conducted in the Laboratory were presented at six conferences, three of which were international. It's also important to note didactic activities carried out in the form of diploma theses realized in the LWPDiR, written mostly by students from the Warsaw Institute of Technology. In 2016, three

engineering theses and one master's thesis were completed, while research has begun for another two engineering theses and one master's thesis.

The Laboratory's operation was also aimed at participating in external projects. As a result, the LWPDiR was included in a consortium realizing a European project within the framework of the EURAMET platform. Therefore, between the years 2017 and 2020, the Laboratory employees will partake in completing objectives of the MetroRADon and Preparedness projects, financed by EURAMET.

In terms of objectives in the near future, an additional workstation is to be accredited, allowing for calibration using low-energy X-ray beams. The first to be considered were K-alpha lines with average energies of 23.2, 25.3 and 75 keV. Pilot studies regarding this have already been conducted, a system diagram has been outlined and an initial beam characterization has been performed. Another objective for the near future is the modernization and development of the neutron workstation. A critical point in achieving this is

adapting an additional area (hall) within the CLOR for a low scattering neutron workstation. The final goal is completing the project: "Creating an infrastructure and developing a method of calibrating systems for the monitoring of natural radiation levels in Poland". The realization of this objective is the assumption that calibrating instruments dedicated to monitoring levels of natural radiation requires extensive calibration methods. Currently, the proper calibration of these types of instruments is only possible outside of Poland, for example in Germany. Therefore, the goal of this project will be to create and maintain calibration workstations, allowing the research of instruments' responses, separately to near-surface and cosmic radiation. The project should involve constructing workstations:

- with a minimum of 15x15m reference surface
- with low background radiation and the elimination of the cosmic factor
- with the elimination of the near-surface factor – on the surface of a water reservoir (i.e. a lake).

Characterizing the neutron field produced by a D-T generator for the purposes of assembling a calibration workstation

I. Słonecka, K. Szewczak, Ł. Modzelewski, Z. Podgórska, K. Wołoszczuk

Introduction

There are requirements that must be realized during the calibration of dosimetry instruments. The most fundamental of these is adjusting the characteristics of the radiation beam used during calibration in order for it to correspond to the radiation field present in the area, where the instrument is used by its owner. The above requirement pertains especially to equipment used for measuring neutron fields. This is due to the significant dependence of the response of neutron measuring instruments on the energy of registered neutrons. Currently, in both Poland and all around the world, there has been a rise in the employment of accelerator-based neutron sources (neutron generators) as well as an increase in the exposure to secondary neutrons that accompany accelerator beams (this applies mainly to the medical industry). Along with an increase in the applications of neutrons, there is an even greater need for developing methods and calibration workstations dedicated not only to testing active dosimetry instruments, but also to the exposure of passive dosimeters for the purpose of their calibration.

At present, there are only two calibration workstations in Poland, where the exposure of dosimeters to standard neutron radiation fields is

possible. Both use radioisotope neutron sources, primarily Am/Be, Cf and Pu/Be. For all of the mentioned sources, the average energy of emitted neutrons is in the range of several MeV, for example, the average neutron energy in the scale of the ambient equivalent dose is 4,4 MeV. In addition, the energy distribution of neutrons emitted from isotope sources is continuous and often contains several extremes, such as, for instance, the neutron energy distribution for the Am/Be source, illustrated in Figure 1. Consequently, the calibration of dosimetry instruments is done using non-monoenergetic neutron beams, which in turn significantly impacts the results of the calibration. In an ideal situation, attaining an exact response from the calibrated instrument would require using a series of monoenergetic neutron radiation fields. This becomes possible with neutron sources based on particle accelerators. Reactions involving protons and deuterons are particularly important. The first helps create neutrons with energies ranging from 0,025 MeV ($T(p,n)^3\text{He}$ and $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$ reactions) to 2,5 MeV ($T(p,n)^3\text{He}$ reactions). In the case of accelerator schemes involving deuteron, it is possible to create neutrons with energies reaching 19 MeV ($T(d,n)^4\text{He}$).

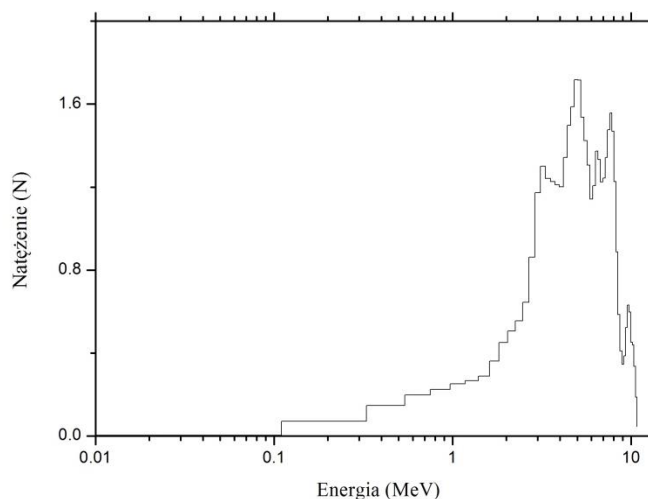


Figure 1. The energy distribution of neutrons emitted from the Am/Be source.

The Central Laboratory for Radiological Protection has a neutron calibration workstation, that functions as part of the Laboratory for the Calibration of Dosimetry and Radon Instruments. The station is equipped with two sources of neutron radiation: an isotopic Am/Be source and a D-T neutron generator. The primary difference between the characteristics of the radiation fields originating from the two above sources is the geometry of the emitted neutron fields. In the case of Am/Be, the source is placed in a biological shield and as a result, the neutron beam exiting the collimator takes the shape of a truncated cone. Due to the shielding of the collimator, the output beam has a circular cross-section. The second of the two sources, the D-T neutron generator, emits neutrons in a 4π geometry, with more intensity in several directions due to the beam-target construction of the generator. As a result of this, the neutron beam originating from the D-T generator must undergo an extensive characterization before it can be used for calibration.

The work done was part of the described statutory objective consisted of three research tasks, the results of which are to be used to validate the geometry of the neutron beam at the calibration workstation equipped with a D-T neutron generator. These tasks were as follows:

- Defining the angular distribution of neutrons
- Assessing the ambient dose equivalent in reference points of the calibration workstation.
- Assessing the neutron flux density

Materials and methods

The object of research was the D-T neutron generator, produced by ThermoScientific. Some fundamental details about this generator are presented below:

- Type: MP-320
- Maximum neutron emission: 1×10^8 n/s
- Neutron energy: $E_n = 14$ MeV
- Maximum accelerating voltage: $V_{Max} = 90$ KeV
- Possibility of either a pulsed or continuous output

The first research task was completed using CR-39 track detectors, placed in the vertical plane, 30 cm from the plane of the generator target (Figure 2). During experimentation, tests were conducted with a variety of radiators attached to the surface of the detectors. Detector configurations applied during research: CR+PE, CR+Al, CR+Cu, CR+H₂O, CR, where CR is the detector with no additional layer. Following exposition, the CR-39 detectors underwent chemical digestion and were then analyzed using an optical system. The reference value was provided by a background detector that wasn't subjected to exposition but underwent chemical treatment with the exposed detectors. The analyzed value was the amount of tracks per surface area unit of a given detector.



Figure 2. The positioning of CR-39 detectors in the vertical plane surrounding the generator.

The assessment of the ambient dose equivalent in the area surrounding the generator was performed with a Berthold active instrument, the LB 6411 Neutron Probe with a helium counter tube. Measurements were done in five reference points, i.e.: a) 2m from the surface of the tritium target, on the extended axis of the acceleration tube, b)/c) at a 90° angle to the left/right from the axis in point a), d) in the control room of the calibration hall and e) in the office room adjacent to the calibration hall. The parameters of the generator during the measurements were: accelerating voltage of 80kV, pulse duty cycle 100% (continuous), beam current 60 μ A.

The testing of the efficiency of neutron emission was conducted using the activation method. The sample that underwent neutron activation was a 1cm x 5cm (thick. x dia.) copper disc. It was placed by the surface of the generator's acceleration tube at the height of the target's surface. The distance between the sample and the neutron emission point was estimated at 1,5 cm. Activation was done with the same generator parameters as in the previous assessment, as described in the above paragraph. The activation time was 60 s, the cooling time (the time between the end of activation and the beginning of measurement) - 40 s while the measurement time

was set to 60 s. Analysis of the gamma spectrum emitted by the sample was performed with an LaBr₃ detector, positioned in the lead shield, which worked in cooperation with the Inspector 2000, a multichannel analyzer produced by Canberra Packard. Before defining the unit activity of the sample, the calibration of the spectrometric system efficiency was conducted using the LabSOCS numeric instrument.

Results

The average number of tracks per surface area unit in the CR-39 detector positioned around the generator was 12 tracks/cm², whereas the track density registered by the background detector amounted to 11 tracks/cm². Based on the obtained results it was impossible to determine, with the required precision, the distribution of neutron intensity in the vertical plane. The comparison of track densities registered by detectors of different configurations showed a 3% difference. This is indicative of the fact that for fast neutrons, such as the ones in this study, require the design of a dedicated radiator with an increased thickness.

The measurement results of the neutron ambient dose equivalent rate, done by the Berthold instrument, are presented in Table 1.

Table 1. Measurement results of the ambient dose equivalent rate around the neutron generator

Position	Ambient dose equivalent rate, H*(10) [μSv/h]
Generator tube axis, 2 m	266
+90° from the generator tube axis, 2 m	328
-90° from the generator tube axis, 2 m	329
Control room	18,0
Office room	1,8

Based on the obtained results for the H*(10) value, it should be noted that the highest intensity is present perpendicular to the generator tube axis. The dose rate in this direction increases by 23% compared to the dose rate registered on the extended axis of the generator tube. The highest ambient dose equivalent rate value in the control room was 18,0 μSv/h. Regarding the exposure of the staff operating the generator, in order for category B employees to stay below the yearly limit, the maximum amount of hours working with the generator cannot exceed 333 hours per year, which amounts to 1,5 hours per day. In the case of

the office room, this time is ten times longer, so 15 hours per day. Assuming the worst, where the generator works 6 hours a day, a person permanently in the office room would receive a yearly dose of 2,5 mSv.

Figure 3 presents the gamma spectrum registered while measuring the copper sample, activated by a neutron beam. The notable extreme corresponds with the energy of the copper isotope ⁶²Cu, resulting from the activation, in accordance with the reaction ⁶³Cu(n,2n)⁶²Cu.

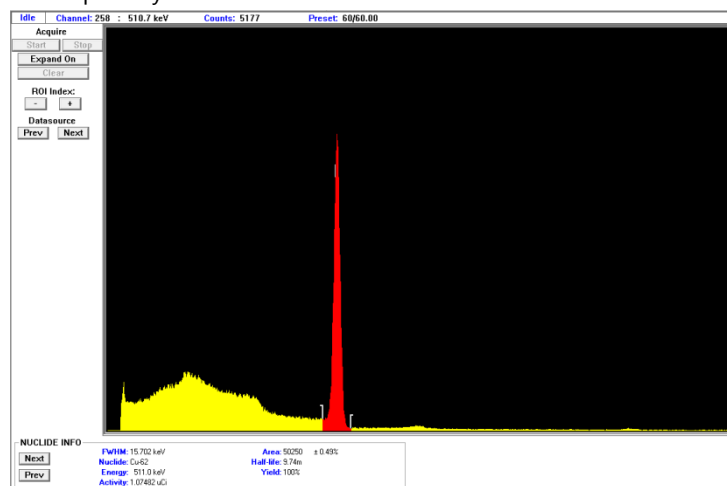


Figure 3. Energy spectrum registered for the sample activated in a 14MeV neutron beam from the D-T generator.

Based on the count number in the extreme, the flux density on the surface of the sample was estimated at $3,01 \times 10^6 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which when converted to total emission efficiency (in a full solid angle) amounts to $8,49 \times 10^7 \text{ n s}^{-1}$. The experimentally determined value shows good agreement with the reference value declared by the manufacturer.

Conclusions

The conducted research led to the determination of the direction with the highest intensity of neutrons emitted from the D-T generator in terms of the ambient dose equivalent rate. This is crucial information considering that the calibration of most dosimetry instruments is done for this specific value. Another important conclusion is that the activation method should be the primary research method in future experimental

studies involving the generator. The method employing track detectors needs to be modified in terms of radiator configuration. It is also necessary to begin researching the employment of Monte

Carlo simulations for the evaluation of an exact neutron spectrum in reference points and in the direct vicinity of the generator.

Construction of a measurement stand for the radon concentration measurements in water samples

Z. Podgórska, K. Wołoszczuk

Introduction

Radon is a noble radioactive gas naturally occurring in all components of the environment: air, soil and water. The main risk for humans results from an impact of radon and its decay products. Radon, as a water-soluble gas, can also get into the body with drinking water. That is why it is so important to monitor the concentration of this isotope in water intended for human consumption.

The aim of this project was to develop a station for radon concentrations measurements in water

samples. According to the new law - the Regulation of the Minister of Health of 15.11.2015 r. *The quality of water intended for human consumption* – measurements of radon concentrations in water

Results

The stand consists of a radon monitor AlphaGUARD and a dedicated AquaKIT with an air pump. The diagram of the measuring system is shown in Figure 1. Photo of the system - Figure 2.

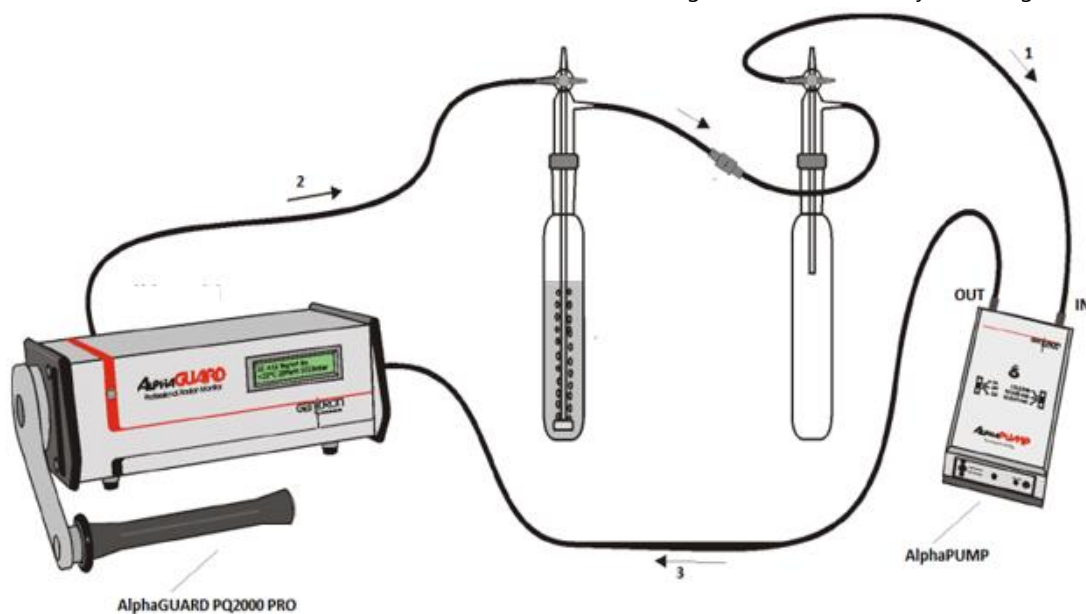


Figure 1. The scheme of the measuring system.

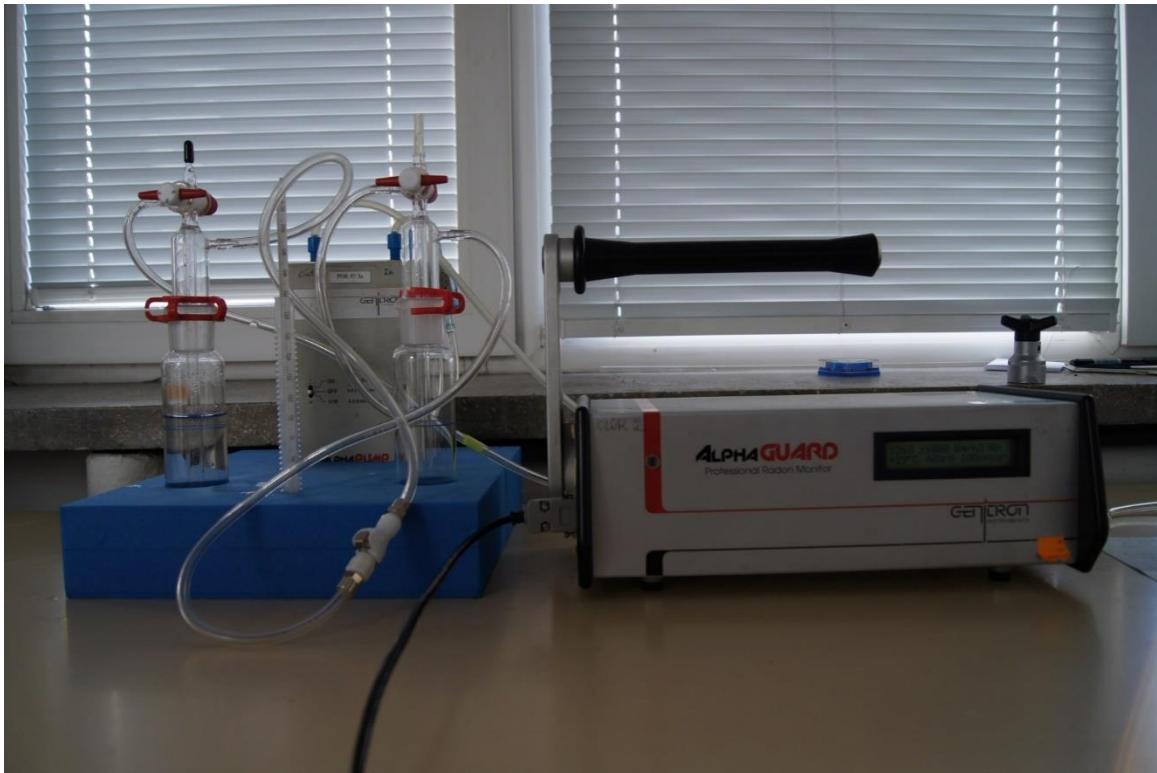


Figure 2. The measuring system – a radon monitor AlphaGUARD with AquaKIT.

Instructions and procedures for water sampling, measurement, calculation and estimation of measurement uncertainties have been developed. Measurements are carried out in accordance with QPB 1 procedure.

Completing this task allowed to prepare a complete facility to measure the radon concentration in water samples. Our laboratory have received a positive opinion of the State Sanitary Inspection. As a result, the laboratory is authorized to carried out commercial orders in this

scope. Then this method has been accredited by the Polish Center of Accreditation.

Conclusions

Currently, the stand is used to measure radon concentrations in water samples from intakes throughout Poland, as well as to carry out other investigations.

Financing

The task was funded by the Ministry of Science and Higher Education for 2016.

Methodology of doses estimation of mixed beta and gamma radiation with the use of TLD and Bayesian statistics

I. Stonecka, K. Ciupek

Introduction

The aim of the study was to carry out measurements to verify the effectiveness of Bayesian statistics and possibilities of this method as complement to mixed radiation dosimetry.

The limitations of dose estimation with the use of thermoluminescence dosimetry in beta and gamma mixed field ($\beta + \gamma$) in many cases make it impossible to properly assess of workers risk.

The calibration coefficients for environmental dosimeters (spatial equivalent dose $H^*(10)$) and individual dosimeters (dose equivalent $H_p(10)$), designated in the Central Laboratory for Radiological Protection, allow estimation of doses in $\beta + \gamma$ mixed fields for Kr-85, Sr-90 and Cs-137 and Co-60.

However, the problem occurs with the ring dosimeters. There are also significant limitations to the use of radiation sources with energies that go beyond calibration. In such situations Bayesian statistics, based on conditional probability, can be used. It enables describing the unknown parameter with the use of probability distribution (prior function). It also enables to take into account uncertainties associated with this parameter to the dose estimation. In this case, such an unknown θ parameter is the ratio of the components of the mixed beta and gamma radiation. The prior allows to estimate the doses absorbed in the body of exposed person in the situation where classical methods does not work. The idea of Bayesian statistics is the use of information derived directly from experience (so-called likelihood function, LF) and also prior function (prior distribution, PD) which comes outside the experiment.

Idea of Bayesian statistics is presented on the Figure 1.

Posterior probability can be obtain by the use of the prior function and likelihood function.

Describing the idea of Bayesian statistics with the use of equation one can obtain the formula 1.

$$\text{Posterior} \propto LF \cdot PD \quad (1)$$

Transforming it into a convenient form for calculation one can obtain equation 2.

$$P(D_x) = \int_0^1 L(D_x|\theta) p(\theta) d\theta \quad (2)$$

Where: $x=\gamma$ for gamma-ray, $x=\beta$ for beta radiation, $P(D_x)$ – posteriori distribution, probability

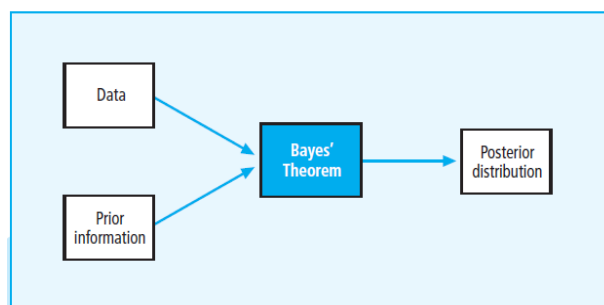


Figure 1. The idea of Bayesian statistics.

of finding the dose D_x , θ – parameter describing the ratio of the components of the mixed beta and gamma radiation, $p(\theta)$ – prior distribution of unknown θ parameter, L – likelihood function, data obtain with the experiment.

Results

The theoretical equations needed to perform the dose calculation of mixed beta and gamma radiation by the Bayesian method were found in this work. The likelihood function was determined as the dose distribution (counting) after irradiation the detectors with the same dose of radiation which was 1 mSv. After irradiation series of pellets, separately for gamma radiation (Cs-137) and beta (Sr-90), readings were made in a RADOS 2000 reader. The obtained results are shown in Figures 1 and 2.

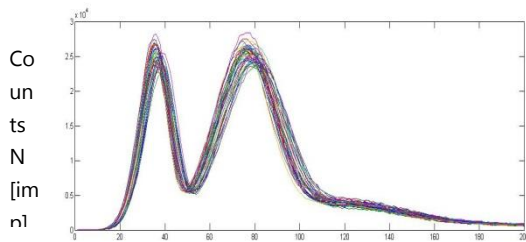


Figure 2. Curves after irradiation dosimeters by the $H_p(10)=1$ mSv from Cs-137.

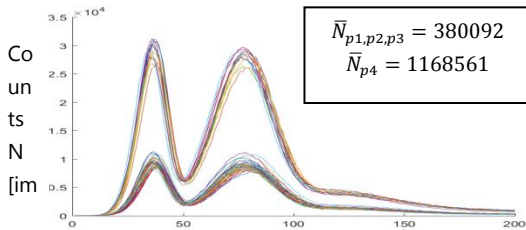


Figure 3. Curves after irradiation dosimeters by the $H_p(0.07)=1$ mSv from Sr-90.

The curves show some scattering, which takes the form of a Gaussian distribution (Figure 4). In Figure 2, there is also a difference in the counts caused by the overlay of the first three pellets by the aluminum filter (Figure 3), which significantly weakens the incident beta radiation. The reliability

function for both gamma and beta is therefore normal.

Based on the available literature on mixed ionizing radiation [1], a priori distribution of the unknown θ parameter was describe by the Gaussian distribution.

For the calculation of mixed doses $\beta + \gamma$ radiation, information on the total number of counts, N_c , which means information from the uncovered pellet position, is required. Also the expected value of θ parameter (which in the case of individual dosimeters is known from the ratio of the counts in the sheltered and uncovered positions) and calibration coefficients k_γ and k_β , where:

$$H_p(10) = k_\gamma \cdot N_\gamma \quad (3)$$

$$H_p(0.07) = k_\beta \cdot N_\beta \quad (4)$$

In the next part of work, measurements were made. Irradiation of individual TLD dosimeters with the dose 1 mSv in mixed beta (Sr-90) and gamma (Cs-137) radiation in different doses ratios of β/γ , was performed. The results from the irradiation have been implemented into an algorithm that allows the calculation of doses. The results are shown in Table 1.

Table 1. Results obtained after irradiation of TLD detectors with the use Bayesian statistics.

Position	θ	N_β [imp]	N_γ [imp]	N_c [imp]	$k_\beta \left[\frac{mSv}{imp} \right]$	$k_\gamma \left[\frac{mSv}{imp} \right]$	Real dose		Bayesian method	
							$H_p(0,07)$ [mSv]	$H_p(10)$ [mSv]	D_β [mSv]	D_γ [mSv]
1,2,3	0,61	344919	220199	557559	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	0,8	0,2	0,782	0,198
4	0,83	1055411	223325	1315123	$7,6 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	0,8	0,2	0,830	0,200
1,2,3	0,25	164003	484165	641863	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-7}$	0,5	0,5	0,496	0,394
4	0,57	608775	464533	1052879	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,5	0,5	0,618	0,486

As one can see in the Table 1, Bayesian results are comparable to actual dose values assuming that input parameters such as doses ratio (β/γ), number of counts from pellet 4 and calibration coefficients k_β and k_γ , are known.

Conclusions

Measurements of mixed beta and gamma doses using Bayesian statistics provide very satisfactory results. Measurements were made on individual dosimeters, which, thanks to the aluminum filters

used, can easily assess the dose component from beta and separately from gamma radiation. The problem occurs with ring dosimeters. There are also significant exceptions to the use of radiation sources with energies that go beyond calibration. The idea of the method used is to estimate the dose in the absence of exact knowledge of radiation sources. This paper demonstrates that Bayesian statistics may be a complement to thermoluminescent dosimetry, but many measurements are still needed.

Financing

The work was financed by the MNiSW.

Use of Bayesian and Monte Carlo methods in biological assessment of absorbed dose as a result of accidental irradiation of humans with $n+\gamma$ reactor radiation.

I. Stonecka

Introduction

The purpose of this project was to use modern statistical tools such as Monte Carlo modeling methods and Bayesian statistics to evaluation of mixed ionizing radiation $n+\gamma$ doses. Within the project, three Engineering Thesis' of students from the Faculty of Physics at Warsaw University of Technology, were accomplished. The project was divided into three stages:

- Improvement of software which uses Bayesian statistics
- Development of software executing group of cells radiation simulation
- Statistical analysis cells strikes of ionizing radiation particles
- Tumor risk analysis with Monte Carlo method

Ionizing radiation occurring in nuclear reactor is mixed radiation including neutrons and gamma photons. As they vary in ability to ionization, it translates into their different biological effectiveness in case of influence o human body. According to this, after irradiation of mixed $n + \gamma$ field, it is important to assess not only total absorbed dose, but also its neutron and photon components. Personal dosimeters are most commonly used to set down absorbed dose, but in case of lack of this kind of dosimeters, most widely used method is retrospective biological dosimetry. It gives information about received absorbed dose based on frequency of damage which radiation brings on in living body analysis. In this case the damages are dicentric chromosomes arisen in irradiated person's peripheral blood lymphocytes. It is assumed that value of total frequency of dicentrics additively depends on separate components of total dose because it is impossible to differ dicentrics arisen under the influence of gamma and neutron radiation. Estimating the

absorbed doses on this basis is possible using commonly used iterative method, in case when exact ratio of doses from photon and neutron beams is known. If this ratio is unknown it is possible to apply statistical approach consisting of use of Bayesian statistics or Monte Carlo method. In this case unknown ratio of doses is stated as probability distribution.

Results

Goals set in the project were achieved using Bayesian and Monte Carlo methods. One of the stages of the project was developing computer programs which, basing on theoretical data from the actual experiment, enabled us to assess absorbed dose. The experiment concerned irradiation of human blood in mixed $n + \gamma$ radiation field and took place in Maria reactor in Swierk. Both methods were compared to each other and to the actual data.

Improvement of software using Bayesian statistics

As stage of the project, existing program to estimation of absorbed dose from mixed $n + \gamma$ radiation, was expanded. Additional probability distributions simulating actual beam characteristics were added to the program. A couple of new distributions were analyzed and added to the program. What is more, brand new bookmark was added, the bookmark enables user to match curve to implemented by himself measurement points with Bayesian method.

Statistical assessment of correctness of particular match is also possible i. e. the program using fitting parameter chooses more probable curve matching general trend of points.

Entire program obtains professional graphic design so that it is easy and intuitive in use even for average user (Figure 1)

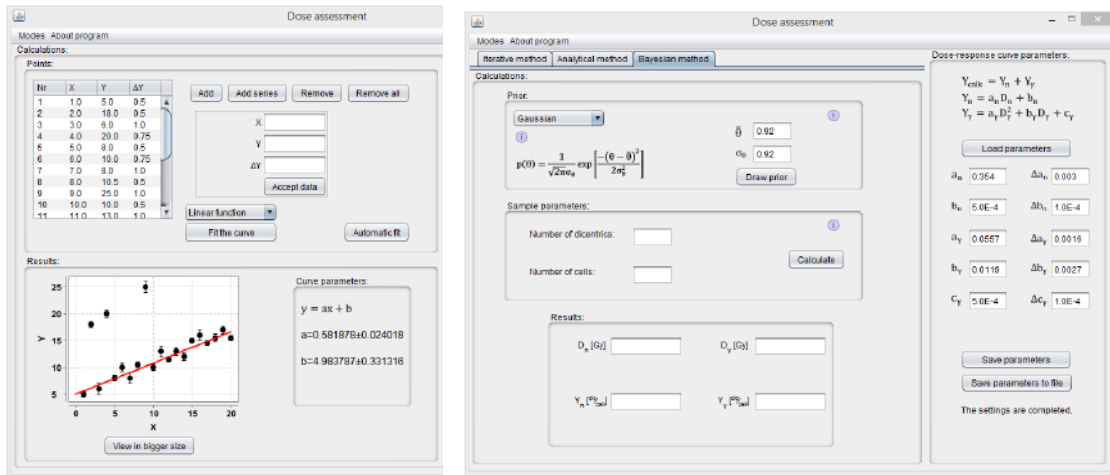


Figure 1. Program Rusing Bayesian statistics to fit curves (on the left) and to computer constituents of mixed n+y radiation (on the right) [1].

Creating computer program performing simulations of cell group irradiation and statistical analysis of cells strikes with ionizing radiation particles.

Another program (Figure 2) developed as part of the project performs simulations of virtual cell group irradiation, statistical analysis of cells strikes with ionizing radiation particles and estimation of absorbed doses using Monte Carlo method. Operating of the program consists of drawing cells from virtual sample and then using value θ (θ is

dose from gamma radiation versus total dose ratio) given by user or a priori probability distribution (Gaussian, scaled Gaussian, Beta, scaled Beta, sigmoid function) it evaluates if particular cells were damaged by photons gamma or neutrons. It performs subsequent iterations until it achieves assumed at start aberration frequency. Received results fits experimental data (dependence of absorbed dose of aberrations frequency). The results were also compared to Bayesian method (Table 1).

Table 1. Comparison of results from Monte Carlo, Bayesian and iterative metod [2].

Method	D _c [Gy]	D _v [Gy]	D _n [Gy]
Monte Carlo			
Gaussian	6,027±0,198	3,682±0,163	2,345±0,093
Scaled Gaussian	6,040±0,204	3,674±0,168	2,350±0,115
Beta	6,012±0,202	3,636±0,168	2,376±0,113
Iterative	-	3,638±0,921	2,318±0,587
Analytical	-	3,673±0,831	2,351±0,533
Bayesowska	-	3,638±0,921	2,318±0,687

Cancer risk analysis with Monte Carlo metod.

Last program accomplished as part of the project simulates a cell group response to ionizing radiation accommodating different effects taking place in living body under the influence of radiation, e. g. bystander effect (Figure 3) [3].

Irradiation of spatially arranged group of cells, with different doses, in certain period of time, simulation was performed. The program computes dependence of number of health cells of duration of radiation for different doses and dependence of

number of mutated cells of time for alternating dose. The program simulates response of cell group to ionizing radiation considering different effects taking place In living body under the influence of radiation. It describes biophysical events concerning irradiated cell including i. a. cell death, transformation into cancer cell, spontaneous damage inception, neighbor effect, adaptive answer effect, damage repair etc. It is a tool to simulate many processes simultaneously but also is able to focus on chosen one.

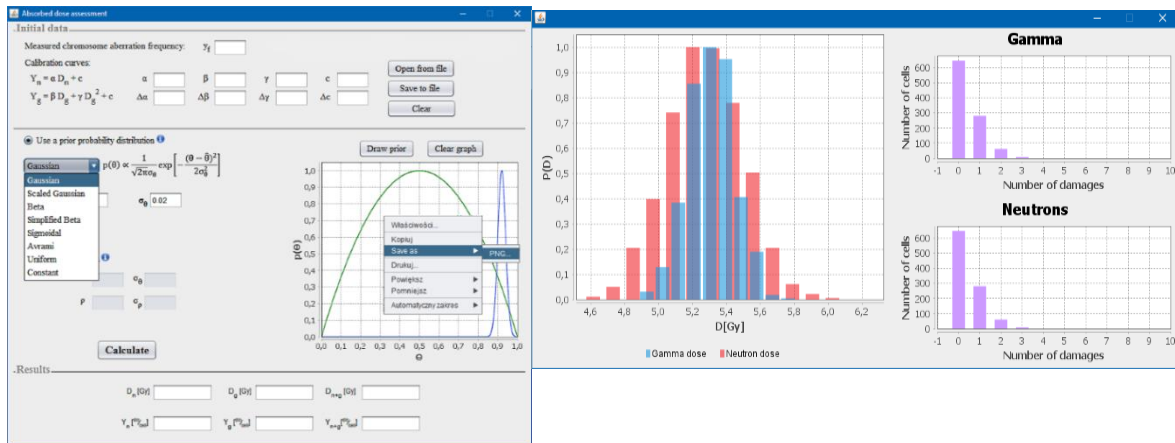


Figure 2. Program computing dose from mixed $n + \gamma$ radiation using Monte Carlo method (left). Statistical analysis of damage achieved for sample $y_f=3,5$ dic/cell, $D_c=10,59$ Gy. $\theta=0,5$ [2].

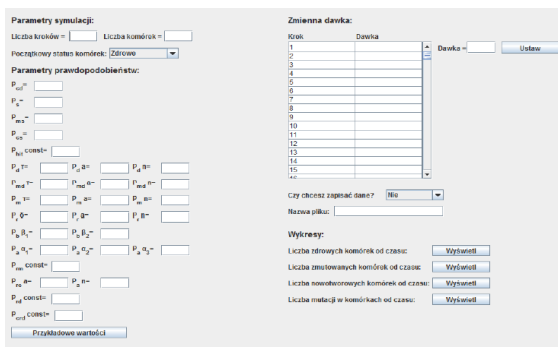


Figure 3. Program simulating response of cell group to ionizing radiation.

Financing

The research project was executed within grant for activities consisting in research or development works and tasks connected with them, providing development of young scientists and PhD students.

Literature

- [1] K. Łukasik, Praca inżynierska, *Zastosowanie statystyki bayesowskiej jako narzędzia w dozymetrii biologicznej*, Warszawa, 2016.
- [2] A. Powojcka, Praca inżynierska, *Ocena dawki pochłoniętej metodą dozymetrii cytogenetycznej w oparciu o modelowanie Monte Carlo*, Warszawa, 2016.
- [3] P. Wysocki, Praca inżynierska, *Modelowanie odpowiedzi grupy komórek na promieniowanie jonizujące metodą Monte Carlo*, Warszawa, 2016
- [4] I. Słonecka, Praca magisterska, *Biologiczna ocena dawek mieszanego promieniowania jonizującego z zastosowaniem metod statystyki bayesowskiej*, Warszawa, 2014.

Optimization of the method of calibration radon-222 measurement instruments at low activity concentrations in the light of the European Council Directive 2013/59/EURATOM.

K. Wołoszczuk, Z. Podgórska, K. Szewczak

Introduction

The aim of this task was to improve the method of calibration of radon-222 measurement instruments at low activity concentrations. This task is important, among other, because of regulations defined by the European Council Directive 2013/59/EURATOM for indoor radon concentrations at workplaces and dwellings.

In the light of the EU Directive of 5 December 2013, it is necessary to carry out the radon concentration measurements (as an annual average). This implies the need to set up radon instruments calibration procedures to obtain results of average annual radon concentration

measurements in the low range (tens to hundreds of Bq/m^3) with relatively low uncertainty.

Results

In order to optimize the method of calibration, performed the following:

- participation in interlaboratory comparisons organized by the Main Mining Institute (GIG), the range of comparisons is radon concentration in the air at three levels: 400 Bq/m^3 , 1000 Bq/m^3 and 15000 Bq/m^3 (Figure 1). A positive result was obtained.



Figure 1. Interlaboratory comparisons organized by the Main Mining Institute (GIG).

- participation in interlaboratory comparisons organized by the Faculty of Geoenvironment, Mining and Geology, Wrocław University of Science and Technology. The range of comparisons is radon concentration in the air at

three levels: 1 000 Bq/m^3 oraz 2 000 Bq/m^3 . Comparisons took place in "Liczyrzepa" Mine in Kowary (Figure 2). A positive result was obtained.

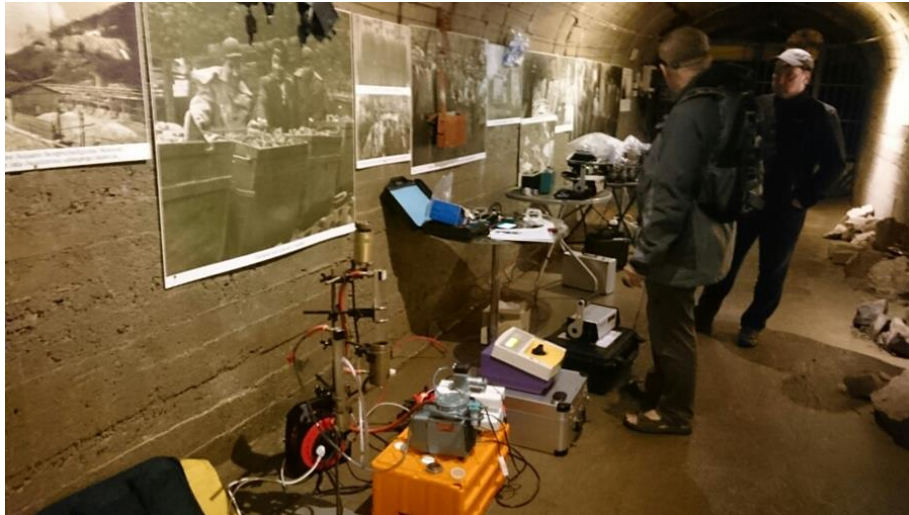


Figure 2. Interlaboratory comparisons organized by the Faculty of Geoengineering, Mining and Geology, Wrocław University of Science and Technology

- radon reference standards for activity radon concentration and potential energy alpha SUJCHBO (Czech Republic) were calibrated.
- a review and update of the technical documentation of the management system;
- following the positive assessment of the Polish Accreditation Center, the scope of accreditation has been extended to allow the radon instruments to be calibrated from the range of 50 Bq/m^3 .
- a series of measurements in the radon chamber was performed, with low concentrations of radon-222 (about 300 Bq/m^3)

Conclusions

These results will allow for accurate calibration of equipment at low activity concentration of radon-222.

The results obtained from the implementation of the task, due to their nature will not be commercialized.

Calibration dosimeters for radiation protection purpose in 2016

K. Wołoszczuk, A. Wiśniewski, Ł. Modzelewski

Abstract

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 (Cs-137, Co-60 and Am-241),
- beta radiation (Sr-90/Y-90, Kr-85)
- X-ray (narrow series- N-40 ÷ N-250)

18.02 Surface emission.

- alfa- radiation source- Am-241,
- beta- radiation sources - Sr-90, C-14, Cl-36

18.03 Radon measurements.

- radon concentration in air,
- equivalent equilibrium radon concentration EEC.

Typically in a year Laboratory of Dosimeters and Radon Devices Calibration performed about 700 calibrations, most of them are devices calibrated in

gamma radiation field.

In 2016 Laboratory received 798 contracts for calibration of more than 50 types of instruments:

- 740 calibration certificates for gamma dose rate,
- 342 calibration certificates for surface contamination monitors,
- 122 calibration certificates for X-ray dose rate,
- 11 calibration certificates in radon calibration stand,
- 4 calibration certificates in neutron calibration stand,
- 2 calibration certificate in for beta calibration stand,
- 23 unserviceable protocols.

Most often calibrated (Figure 1):

- instruments were RK-67, EKO-C and RKP-1,
- individual dosimeters were ISOTRAK and STEPHEEN,
- instruments with ionization chamber were EKO-K, RGD and VICTOREEN,
- instruments with proportional counter was FH,
- probes with scintillation counter were SSU and SGB-D.

Approximately 80% calibrated instruments in LWPDiR had Geiger-Müller counter.

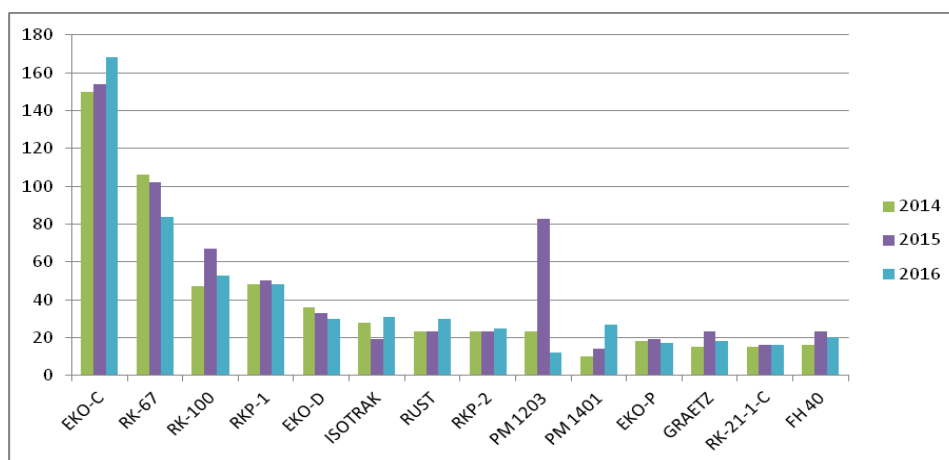


Figure 1. Most often calibrated types of dosimeters in LWPDiR

Report of the seminar of the Laboratory of Calibrating of Dosimetric Devices and Radon – 2017

A. Kudynowska

On 14.02.2016, a seminar reporting Fri "ENSURING AND MAINTAINING A QUALITY SYSTEM AT THE LABORATORY FOR CALIBRATION OF RADIATION PROTECTION AND RADON (LWPDiR) FOR RADIOLOGICAL PROTECTION" - part of the system.

She reported the subject to Mrs. Alicja Kudynowska. The plan of the seminar was following:

1. organizational structure of the laboratory
2. staff
3. scope of accreditation
4. documentation
5. inspection of the management
6. Goals and objectives for the year 2015/2016 (Discussion of implementation) and the plan for the year 2016/2017.
7. results Auditów internal and outside
8. feedback from Customers
9. completion of trainings
10. evaluation by outside organizations - Polish Centre for Accreditation (PCA)
11. strong sides and indicating areas for improving.

At the outset, they presented the organizational structure, noting that the Laboratory for Calibration of Radiation Protection and Radon is part of the Department of Control Dose and Calibration.

The organizational structure of the Laboratory isolated the following functions: KL, KLJ, KLT and supervisor positions - for the six posts (Gamma, Beta, Contamination, X-rays, Radon and Neutron).

Reporting on topic No 2 states that no changes were made among management personnel. The Manager LWPDiR she was Mrs. Katarzyna Wołoszczuk and her assistant. Was Mr. Kamil Szewczak. Manager function. Quality she was Mrs. Alicja Kudynowska. Mrs. K. Wołoszczuk also exercised the function of Head of technical (assistant Mr. Szewczak).

Changes in personnel wzorcującym: from day 04.01.2016r. returned from maternity leave, Ms Susanna Podgórska entrusted with the function of

an employee of the operator on the st. radon and at the same time guardian st. radon (as before the holiday). Records of staff certify competence, assigned responsibilities and authorities.

The records concerning the staff are confirming competence, the attributed responsibility and entitlements.

Within 3 issues informed that on 30.06.2016 was held under the supervision of audit No. A-941/2016 of - the assessment team: Katarzyna Wisniewska (team leader), Dariusz Marczyk (SAT).

The applicable scope of accreditation to issue No. 15 of 22 August 2016. Areas of accreditation: ionizing radiation and radioactivity (18.01, 18.02, 18.03). The existing scope of accreditation AP 057 LWPD and R was extended to the issue of certificates in the field of measurement (18.01, 18.03).

As regards documentation LWPDiR, it passed the following text: "Documentation LWPDiR is constantly supervised and perfected. In 2016 was introduced 17 edition of the Quality Manual (with 28.12.16), Issued 3 new general procedures and made a number of changes in the general procedures, technical and forms.

In 2016, the Laboratory maintained 18 general procedures, calibration procedures 6 and 11 technical instructions, a list of which is given in Annex 6.2 of the Quality Manual.

Then discussed issue was the "management review", which was carried out on 21.06.2016, in accordance with the procedure QPO10 by the Director of Central Laboratory for Radiological Protection Pawła Krajewskiego, according to the management plan review. Themes included all the elements of the management system requirements specified in the standard.

Then, in detail they discussed the issue of "The objectives and tasks for the period 2015/2016". It has been discussed 8 goals, with a particular focus on the causes of these, which has failed to meet the deadline set.

It is reported that re-established the date of their realization in the fourth quarter of 2016.

They recalled that at the present review have been prepared goals and objectives for the years 2016/2017, which were presented on the slides.

Laboratory receives feedback from customers in the form SURVEY customer satisfaction.

In the interval from June 2015 - May 2016 Laboratory received from customers 41 surveys and carried out their analysis.

CONSEQUENCES OF THE ANALYSIS RESULTS OF SURVEY

Laboratory meets the needs and expectations of its customers, as evidenced by the fact that 100% of the respondents expressed their readiness command it to other customers.

In terms of the level of customer service, the highest LWPDiR note received on the:

Substantive knowledge workers 100% respondents rated at 5 (1-5 scale)

Competence and professionalism of the staff - 98%

Ease of contact and availability - 95%.

In the process of implementation services fared the best:

Quality of service - 100%
Flexibility in setting the conditions for cooperation - 100%

Fulfillment of the conditions of the contract - 98%

The weakest pricing laboratory:

Attractive prices 5 rated 65% of respondents

Value for money 83%

The conditions and method of payment of 95 of the respondents.

There were no complaints

For better visualization of customer satisfaction over the last 4 years, which refers presented 3 charts.

According to the plan presented conducting training sessions in 2016. Formulating the following provisions:

Training needs have been identified on the basis of forecasts and the findings of the management review.

Done training plan for 2016. as well as the implemented form for training as ad hoc. They planned and carried out 11 training courses,

including 2 external training. 8 unscheduled documented training, including 6 external training (2 Payable and 4 free).

We present the results of internal and external audits:

Internal Audit No. 1/2016 dated 16/3/2016 - leading auditor: Grazyna Krajewska - no discrepancies were found and there were no sightings.

Internal Audit No. 2/2016 dated 18.05.2016- leading auditor: Grazyna Krajewska - well, there was no incompatibility and no recorded observations. Surveillance visit No. A-941/2016 dated 30/06/2016 - evaluation team: Katarzyna Wisniewska (team leader), Dariusz Marczyk (SAT).

In the report, there were no non-conformities, but credited 3 observations, of which 1 on part of the system and was following content "Instructions System Laboratory provision for the period of 1 month to file a complaint by the Client on the results of calibration (from the date of receipt by him of the calibration certificate).

No unambiguous instructions to the management system on how to inform the laboratory customer of this fact can significantly reduce the efficiency of cooperation laboratory with the client and limit customers the opportunity to respond to cases of services do not meet their expectations and requirements.

With regard to the above observations LWPDiR rated the risks and have taken preventive measures.

At the end of the meeting participants familiarized with the assessment of the Laboratory by external organizations - PCA.

During the assessment surveillance, on 30.06.2016 the evaluation team did not indicate items requiring special attention during the next assessment. They were recognized strengths and weaknesses laboratory.

Strengths include:

- engagement of the Management Laboratory
- educated and competent persone
- measuring equipment Laboratory.

Weaknesses:

- supervising technical procedures

No comments no questions to the issues discussed at the seminar.

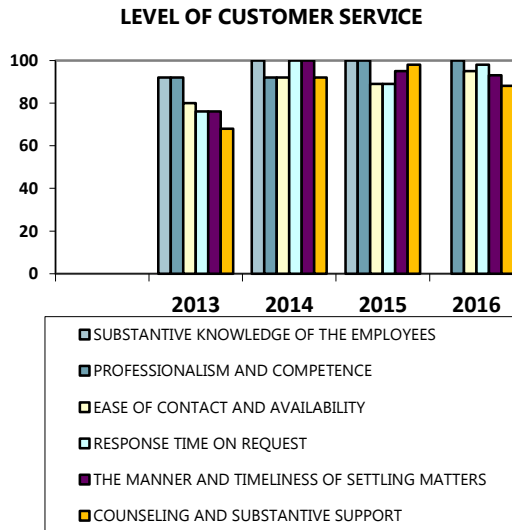


Figure 1. Customer service level.

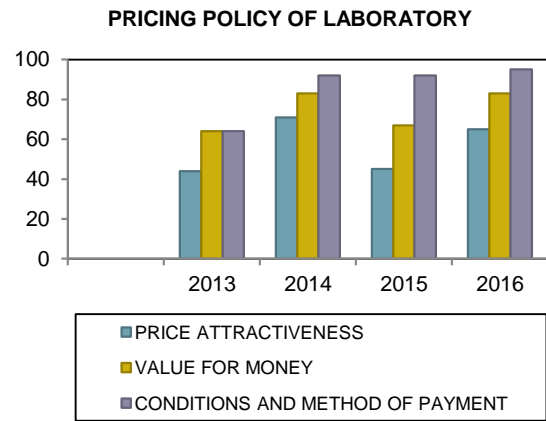


Figure 3. Pricing policy of laboratory

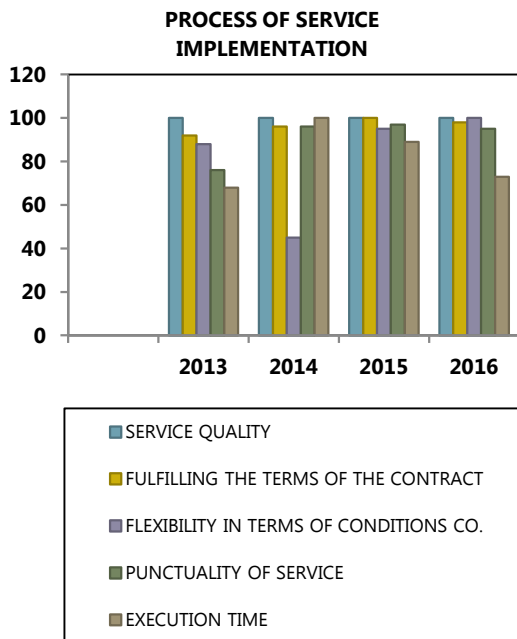


Figure 2. Process of service implementation

Report from the college of the Studio of Individual Doses and Environmental – 2017

A. Kudynowska

On 14.02.2017, a seminar Fri. "TO ENSURE AND MAINTAIN THE QUALITY SYSTEM IN THE LABORATORY OF ENVIRONMENTAL AND INDIVIDUAL DOSE (PDIŚ) FOR RADIOLOGICAL PROTECTION" - part of the system.

Subject presented Mrs. Alicja Kudynowską discussing the following issues:

1. Organizational structure PDIŚ
2. Personnel PDIŚ
3. The scope of accreditation PDIŚ
4. Documentation lab
5. Management review
6. Goals and objectives for the year 2014/2015 (Discussion of implementation) and the plan for the year 2015/2016.
7. The results of internal and external audits.
8. Feedback from Clients
9. Implementation of training
10. Assessment by external organizations - PCA.

At the outset, presented the organizational structure, noting that the Laboratory of Individual Doses and Environmental part of the Department of Control Dose and Calibration.

The organizational structure of the Laboratory isolated the following functions: KL, KLJ, KLT, Tutor positions - for 4 positions: position control doses using TLD - No. 1, position monitoring iodine - No. 2, the position of cytogenetic dose reconstruction - No. 3

and position for measuring the concentration of radon in water - st. 4..

Referring to the staff PDIŚ found that, in relation to the previous year, there have been personnel changes in the laboratory when it comes to management personnel. The Manager PDIŚ she was Mrs. Grażyna Krajewska and her assistant was Mr. Kamil Szewczak. Manager function. Quality she was Mrs. Alicja Kudynowska. Mr. Kamil Szewczak held also the Head of the technical function

Changes in personnel performing research. On 01/10/2016 at PDIŚ hired Ms. Zuzanna Podgórska to carry out tests on st. 4, while on

10.06.2016 was hired Ms. Dr. Żaneta Szkarłat to carry out tests on st. No. 3.

As for the caregivers positions, the functions entrusted to perform the following persons:

- Guardian st. No. 1 - Mr. Kamil Szewczak
- Guardian st. No. 2 - Ms. Maria Kowalska
- Guardian st. No. 3 - Ms. Grażyna Krajewska
- Guardian st. No. 1 - Mr. Kamil Szewczak

Staff lecture. Research is Sir: Will Hanna, Hanna Feder, Agata Wyszowska, Zuzanna Podgórska and Żaneta Szkarłat.

Records of staff certify competence, assigned responsibilities and authorities.

As regards the scope of accreditation is submitted that the existing scope of accreditation AB 450 has not changed. The range is subject to the identification code 0/3; 0/9 study involving radiochemistry and radiation - objects and biological materials for research, environmental samples.

Tested objects and research methods are:

- dosimeter in the field of ionizing radiation –Method TLD.
- thyroid man - gamma spectrometry method.
- peripheral blood lymphocytes of man - method of cytogenetic biological dosimetry.
- the concentration of the isotope radon Rn-222 in the water a method of spectrometry alpha radiation.

Documentation PDIŚ is constantly supervised and perfected. Introduced 09 edition of the Quality of 09.03.2016 year.

Maintained:

- 19 general procedures (3 new edit.)
- 5 test procedures (2 new edit.)
- 19 user research (1 new edit.)

Changes have been made in other procedures of general, technical and forms.

Widely discussed issue was the issue No. 5, "management review", which was conducted by the Director of the Central Laboratory for Radiological Protection - Dr. Paweł Krajewski, on 21.06.2016, in accordance with the procedure QPO10 according to plan management review. The subjects included all elements of the management system provided the requirements of the standard.

Next, the "GOALS AND OBJECTIVES FOR THE YEAR 2015/2016", ie. 6 goals, with particular focus on the causes of unrealized goals for those that could not be realized in time.

They recalled that at the present review have been prepared objectives and tasks for the next year (2016/2017).

They presented and discussed the results of internal and external audits, namely:

Internal Audit No. 1/2016 dated 27/4/2016 - assessor: Katarzyna Wołoszczuk - there were no observations or discrepancies.

Internal Audit No. 2/2016 dated 02.06.2016- auditor: Katarzyna Wołoszczuk - there were no observations or discrepancies.

Surveillance visit A - 932-2016 dated 06/27/2016 The assessment team:

- Jerzy Piestrzeniewicz - AW - 2 observations
- Janusz Skubalski - AT-2 observations
- Halina Lisowska - E - 1 mismatch

In the report, lead auditor has reported two observations:

1). In the Quality no updated information on the direct subordination CLRP (in Chapter 2 KJ contains information that supervision exercised CLRP nonexistent Minister of Economy) .:

2). In research reports symbol of accreditation is given in equivalent positions but slightly below the name of the accredited entity. Identification of persons authorized to authenticate reports of research is presented as "authorized signature", the signature of the Head of the Laboratory "or" Head of the Laboratory", but without explicit identification, it is a person authorizer.

Also 2 observations noted auditor technical incompatibility and 1 technical expert wrote:

1). supplied by the customer records of sampling may in some cases prevent the administration of a meaningful result of the audit.

2). presented for evaluation by the Laboratory quality control plan for projects for internal

position No. 4 does not exhaust all feasible measures.

INCOMPATIBILITY

Laboratory does not systematically periodically checking the temperature of the incubator used for cell culture, in order to determine meet the requirements for temperature, referred to e research methodology. "

Presents referred to the first consideration, stating that it was not justified. He announced that the Laboratory has implemented corrective actions in relation to the non-compliance, and conducted an analysis and risk assessment in relation to the documented observations.

Then the issue was discussed feedback from customers.

Laboratory receives feedback from customers in the form SURVEY customer satisfaction.

In the period July 2015 - June 2016 Laboratory received from customers 41 surveys and carried out their analysis, from which the following conclusions:

- The degree of customer satisfaction in the surveyed, the above timeframe is declining compared to the previous period respondent,

Average laboratory is slightly lower than last year's assessment but much better than the assessment in 2014 and 2013.

- Received the highest score PDIŚ deadlines for the execution of contracts and the quality test reports. The next item is a satisfactory result for the competence PDIŚ and contact with in the course of service delivery.

- 39% are regular customers, 31% of new customers signed up with a very good recommendation regular customers, 10% learned about our business courses OR and 20% of the websites.

There were no complaints.

To better illustrate customer satisfaction which refers presented a graph summarizing the results of the surveys over the last four years.

It transferred to participants of the seminar that PDIŚ training needs have been identified on the basis of forecasts and the findings of the management review.

Done training plan for 2016. As well as a developed form as ad hoc training. Among the planned 8 training was held on 7 internal training and external 1. There have also

been 12 training unscheduled - including 8 external (2 charge).

At the end of the first part of the seminar familiarized the participants with the assessment of the Laboratory by external organizations - PCA.

During the evaluation of surveillance were written the following strengths of the laboratory:

A strong commitment CLRP Director and Management Laboratory at improving the management system (AW)

- Detailed documentation of the duties, powers and responsibilities of employees (AW)

- Particularly in-depth analysis of customer satisfaction surveys developed in the form of verbal and graphic (AW)

- Special insight in documenting the activities associated with the corrective and preventive action (AW)

- Powers of the technical staff (E)

- Experienced staff (AT)

Weaknesses not found. The evaluation team did not indicate the items requiring special attention during the next assessment.

Assurance and support of the quality system in Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments

K. Wołoszczuk

Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR)

Calibration Laboratory was established in 1967. In 1995- 1999 was realized the investment, which allows to fulfill the requirements for Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDLs). The network of SSDLs is under auspices of IAEA/WHO. Currently LWPDiR is under preparation to join the IAEA/WHO network of SSDLs.

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, including its unattached fraction f_p [μ J/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 (Cs-137, Co-60 and Am-241),
- beta radiation (Sr-90/Y-90, Kr-85)
- X-ray (narrow series- N-40 ÷ N-250)

18.02 Surface emission.

- alfa- radiation source- Am-241,
- beta- radiation sources - Sr-90, C-14, Cl-36

18.03 Radon measurements.

- radon concentration in air,
- equivalent equilibrium radon concentration EEC.



Figure 1. Reference instruments LWPDiR.

**DEPARTMENT OF TRAINING AND
INFORMATION**



Section of Training and Information in CLOR in 2016

Tasks of the Technical Committee no. 246 for radiological protection

I. Słonecka

Section of Training and Information in CLOR is involved in:

- providing training in a field of radiation protection,
- developing training programs and training materials,
- publishing activities and the dissemination of scientific CLOR's achievements, which are carried out in the form of annual reports of CLOR activities. From 2015, the scientific achievements of employees are recorded in the public database named Polish Scientific Bibliography.
- supervision of the CLOR's archive,
- supervision of the CLOR's library (annual report library K-03 to GUS),
- coordination development and evaluation of standards and national and international regulations,
- secretariat management of the TC no. 246.

In 2016 two trainings lasting three weeks were conducted for candidates to gain license of the Radiation Protection Officer – RPO (IOR-1Z, IOR-1R, IOR-1, IOR-3) and five one-week trainings updating the knowledge of RPO's having such permission. Another type of courses are two-days training for operators of accelerators and devices for brachytherapy containing radioactive sources. CLOR organizes also courses in nuclear safety and radiological protection. In total, 161 certificates were given to participants of above mentioned trainings. In 2016 CLOR organized the training for about 60 students of SGSP.

CLOR participates in the standardization works in two technical committees:

TC no. 246 for radiological protection, whose Chairman is CLOR's Director Dr Paweł Krajewski and the secretariat that was managed by MSc. Krzysztof Ciupek and later MSc. Jarosław Jaźwiński.

TC no. 266 for nuclear instrumentation in which CLOR is a member.

Normalization is mainly focus on providing opinions on draft standards, the active vote on them and their review due to withdrawing the standards issued before 1994. For financial reasons only the titles and scopes of newly introduced documents are translating.

In 2016 Central Laboratory for Radiological Protection participated in a series of informative and educational events. Thanks to courtesy and involvement of CLOR staff, meetings are organized for young people, which show the nature of the works done in CLOR. In addition, CLOR participated in the 20th Science Picnic of the Polish Radio and Copernicus Science Center, Picnic in the Prime Minister's Office organized on the occasion of Children's Day, and at the Science Festival in Jabłonna. At every event, the CLOR exhibition stand is always of great interest.

The main activity of the Training and Information Department is training and therefore in 2016 attempts were made to obtain permission to organize training in terms of radiological protection of the patient, which is issued by the Main Sanitary Inspectorate. The authorization is scheduled for early 2017.

**Recenzja raportu rocznego
Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej
za 2016 rok**

Na początek mała dygresja – czym w ogóle jest ochrona radiologiczna?

Po wpisaniu w przeglądarce internetowej terminu „ochrona radiologiczna” widzimy na pierwszym miejscu informację Wikipedii: „OCHRONA RADIOLOGICZNA JEST TO ZESPÓŁ PRZEDSIĘWZIĘĆ ORGANIZACYJNYCH ORAZ ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH, MAJĄCY NA CELU MINIMALIZOWANIE ZAGROZEŃ ZWIĄZANYCH Z ODDZIAŁYWANIEM PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO NA ORGANIZM CZŁOWIEKA”. Nieco dalej jest odnośnik do strony www CLOR, gdzie na stronie tytułowej czytamy: „Nasza działalność jest nastawiona na ochronę przed skutkami promieniowania jonizującego społeczeństwa i osób narażonych zawodowo”.

Jakie treści kryją się za tymi sformułowaniami? Jakie przedsięwzięcia, jakie rozwiązania techniczne są podejmowane, by chronić ludzi narażonych zawodowo i całe społeczeństwo?

Otrzymały do recenzji raport pozwala na zorientowanie się o jakie konkretnie działania chodzi w tych lapidarnych sformułowaniach. Raport zawiera „zwięzły opis głównych prac Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej prowadzonych w 2016 r.” - informuje pierwsze zdanie przedmowy raportu. Raport jest także kolejnym z serii wydawanych corocznie raportów, w związku z czym informacje podane są faktycznie w bardzo zwięzłej formie, odsyłając w wielu miejscach czytelnika do podawanych referencji gdzie można znaleźć dane szczegółowe na poziomie dedykowanym specjalistom w zakresie ochrony radiologicznej.

Już w przedmowie Dyrektor odwołuje się wielokrotnie do programów rządowych i wynikających z nich dyrektyw wydawanych w celu realizacji poszczególnych punktów tych programów. Rzeczywiście, w wielu przypadkach CLOR odgrywa kluczową rolę w ich realizacji. Dotyczy to zarówno prowadzenia prac badawczych i doskonalenia metod pomiarowych, jak i wdrażania oraz upowszechniania ich wyników. Realizowane badania i cała gama różnego rodzaju prac wynika ze szczególnej roli jaką odgrywa CLOR w systemie zapewnienia bezpieczeństwa radiacyjnego naszego kraju. Chodzi zarówno o geograficzne położenie Polski, w szczególności względem działających w sąsiedztwie naszego kraju elektrowni jądrowych, jak i wewnątrz potencjalne zagrożenia związane z wykorzystywaniem materiałów promieniotwórczych w medycynie i wielu innych dziedzinach nauki i techniki. Cały czas trwa dla CLORu „alert” związany z potencjalnym rozpoczęciem budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

Istnienie potencjalnych zagrożeń, które ,szczególnie ostatnio, muszą uwzględniać także możliwość działań terrorystycznych, wymaga systemu ciągłego monitoringu, co z kolei implikuje konieczność stałego funkcjonowania i utrzymywania w pełnej sprawności specjalistycznej aparatury pomiarowej. Aparatura ta musi być kalibrowana zgodnie z międzynarodowym systemem wzorcowania, bowiem konsekwencje nieprawidłowych wyników pomiarowych mają wagę nie tylko w skali Polski, ale w skali globalnej, a skutki dotyczą całego społeczeństwa. Jest to odpowiedzialność najwyższej miary.

Zadania i prace zrealizowane w CLOR w 2016 roku przyporządkowane są w raporcie poszczególnym zakładom i prezentowane są na ogół w jednolity sposób. Po podaniu tytułu i autorów, treść raportu z realizacji danego zadania rozpoczyna „Wprowadzenie” zawierające dosyć szczegółowy opis prowadzonych badań, (miejsca i sposób poboru próbek, metody wykonywania pomiarów i analizy danych itd.) Nierzadko podawane są dane liczbowe, oraz rysunki (wykresy) i tabele. Niekiedy wydzielone są „Wyniki” jako oddzielna sekcja. Podane następnie „Wnioski” zwykle informują czy uzyskane rezultaty pomiarowe zawierające dane dotyczące: zawartości, stężenia, dawek, wchłonięcia itd. mieszczą się w granicach dopuszczalnych norm. Często podawana jest literatura odnosząca się do omawianego tematu i zawierająca odnośniki do raportów i

publikacji pracowników CLOR. Prezentację zwykle kończą informacje dotyczące finansowania danego projektu.

Jako pierwsze prezentowane są zadania realizowane przez „Zakład Higieny Radiacyjnej”.

W zakładzie tym badane są różnorodne materiały pod względem zawartości w nich substancji promieniotwórczych. Jest to bardzo szeroki wachlarz materiałów. Są wśród nich szeroko rozumiane materiały spożywcze, wśród nich organizmy żywe np. ryby, ale także woda oligoceńska i morska itp. Dla badań tych opracowywane są nowe metody oznaczania zawartości izotopów promieniotwórczych w różnego rodzaju próbkach. Prowadzony jest także monitoring skażeń radiacyjnych różnych elementów środowiskowych. np. wód powierzchniowych czy osadów dennych. Związana z tym jest konieczność utrzymania aparatury pomiarowej w stanie pełnej funkcjonalności i posiadanie odpowiednich akredytacji.

Nie ma potrzeby omawiać tu detalicznie poszczególnych zadań i prac wykonywanych w zakładzie, bo jest ich wiele. Poniżej, jako przykład, przedyskutowany będzie nieco bardziej szczegółowo opis jednego, wybranego losowo zadania.

Omówimy zadanie badawcze „Określenie zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w rybach słodkowodnych z rejonu polski północnej jako poziomu wyjściowego skażeń środowiska wodnego przed uruchomieniem polskich elektrowni atomowych” Badania dotyczyły oceny stężeń izotopów promieniotwórczych cezu i strontu w czterech gatunkach ryb pochodzących z jeziora Łebsko i Gardno oraz z rzeki Piaśnicy. Analizowano gatunki ryb różniących się sposobem odżywiania: ryby drapieżne - okoń i szczupak oraz karaś i leszcz, których pożywieniem są m. in. larwy owadów. Oznaczenia skażenia przeprowadzono także dla wody z jeziora Łebsko i rzeki Piaśnicy. Oznaczenia stężenia cezu w rybach prowadzono metodą spektrometrii gamma, dla wody stosowano metodę radiochemiczną. Pomiar prowadzono również za pomocą niskotłowego licznika beta. Oznaczenia prowadzono w różnych częściach ryb oraz w całych rybach.

W rezultacie wykonanych pomiarów stwierdzono w przypadku okonia większe stężenia dla ryb pochodzących z jezior w stosunku do tych, które pochodziły z rzeki, czego nie zaobserwowano dla pozostałych gatunków ryb. Najwyższe stężenia strontu zarejestrowano w leszczach. Gromadzenie się największych zawartości cezu zaobserwowano w tkance mięśniowej badanych ryb, a wielokrotnie niższe w ościach i łusce. Stront natomiast występował głównie w łbach ryb. Wykonano także oznaczenia tych radionuklidów w próbkach wody pobranej z jeziora Łebsko i rzeki Piaśnicy. Wyniki ilościowe podane zostały w postaci tabeli oraz zilustrowane graficznie w formie wykresów. Na podstawie wykonanych pomiarów wyliczono roczną dawkę skuteczną od spożycia ryb w wodach słodkowodnych Polski i porównano z dawką dla ryb bałtyckich. W przypadku cezu jest ona o połowę niższa od oszacowanej dla ryb bałtyckich, a dla strontu ma taką samą wartość.

We wnioskach stwierdzono, że analizowane gatunki ryb, charakteryzują się wysokimi współczynnikami koncentracji zarówno cezu jak i strontu. Oznacza to, że mogą być dobrymi organizmami indykatorowymi dla środowiska wodnego. Uzyskane dane pozwoliły też na oszacowanie dawki od ich konsumpcji, która jest dla obu izotopów o dwa rzędy wielkości niższa od rocznej dawki skutecznej otrzymywanej przez mieszkańców Polski, w wyniku spożywania żywności zawierającej promieniotwórcze izotopy cezu i strontu (^{137}Cs i ^{90}Sr). Na zakończenie podano spis literatury zawierający 5 pozycji, z których 3 odnoszą się do prac opublikowanych z udziałem autorów z CLOR.

Ten skrótowy opis tylko jednego z zadań realizowanych w tym zakładzie pozwala zorientować się jak wiele analiz zostało wykonanych, jak wiele różnorodnych materiałów przebadanych, jak wiele wartości wyznaczonych, jak różnorodne prawidłowości zaobserwowano... Nasuwa się też uwaga, że uzyskane wyniki, mogłyby stać się podstawą dalszych analiz naukowych. Analizy takie mogłyby dostarczyć nowych i nieosiągalnych innymi metodami informacji.

W następnej kolejności omawiane są prace realizowane przez „Zakład Dozymetrii”.

Można powiedzieć, że jest to zakład, który czuwa nad bezpieczeństwem radiacyjnym naszego kraju. Wnika to z faktu nadzorowania i koordynowania pracy sieci stacji ASS-500 rozmieszczonych w wielu punktach Polski od Szczecina i Białegostoku, po Wrocław i Sanok. Stacje te służą do pomiarów wchłonięcia

radionuklidów promieniotwórczych drogą oddechową. Wyniki dla 2016 roku pokazały, że dawki te są na poziomie ułamkowych części dawek granicznych.

Monitoring radiacyjny dotyczy jednak nie tylko powietrza. W raporcie przytoczone są wyniki pomiarów stężenia radionuklidu ^{137}Cs w glebie dla wielkiej liczby stacji rozmieszczonych na terenie całej Polski. Prowadzona jest także analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce. W sposób szczególny prowadzono ocenę sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie oraz wokół Ośrodka jądrowego w Świerku k. Otwocka. Podobnie prowadzono także monitoring gazów szlachetnych w Warszawie i Świerku.

Działające w ramach tego Zakładu Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej posiada akredytację w zakresie określania stężeń promieniotwórczych ^{226}Ra , ^{228}Th i ^{40}K w surowcach i materiałach budowlanych. Rok 2016 był trzecim rokiem drugiego cyklu akredytacji. W związku z tym przeprowadzono nadzór techniczny nad wyposażeniem Laboratorium, szkolenia, audyty wewnętrzne i szereg innych działań związanych z doskonaleniem systemu zarządzania. W rezultacie podjętych działań i przeprowadzonych audytów Laboratorium utrzymało akredytację.

Kolejnym prezentowanym zakładem jest „Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania”.

Zakład ten, wbrew swej nazwie sugerującej prowadzenie jedynie rutynowych prac kontrolnych, prowadzi badania naukowe o charakterze eksperymentalnym i obliczeniowym, mające zarówno wartość poznawczą jak i aplikacyjną. Co więcej, w badaniach tych uczestniczą studenci w ramach współpracy z Politechniką Warszawską. Jest to dla nich niezwykle cenna możliwość uzyskania autentycznych danych doświadczalnych, uczestnictwa w badaniach, których wyniki znajdują wdrożenie oraz nawiązanie kontaktu z potencjalnym miejscem ich przyszłego zatrudnienia.

Zakład uczestniczy w programie walidacji modeli prognozujących narażenie radioekologiczne w ramach programu MAEA MODARIA II. Program ten poświęcony jest zagadnieniom dokładności i wiarygodności wielkości dawek prognozowanych za pomocą komputerowych modeli środowiska. Już w latach wcześniejszych CLOR brał udział w rozwijaniu i testowaniu podobnych programów np. CLRP lub EMRAS. W tym programie CLOR uczestniczył w pracach grupy WG3, której celem było stworzenie nowego systemu oceny wpływu obiektu jądrowego lub instalacji zawierającej źródła promieniotwórcze na środowisko.

Wykonano także pilotażowe badania narażenia na promieniowanie jonizujące oczu pracowników w placówkach medycznych z wykorzystaniem dozymetrów TLD. Prace te dotyczyły rozwoju metod dozymetrii soczewki oka, polegające na poszukiwaniu odpowiedniego dawkomierza, fantomu i procedur kalibracji. Dokonano szczegółowych pomiarów dawek promieniowania jonizującego oraz oceny narażenia pracowników w radiologii interwencyjnej. Pomiary wykonano w Mazowieckim Szpitalu Bródnowskim oraz w Centrum Zdrowia Dziecka. Nie zarejestrowano przekroczenia limitu dla pracowników. Zauważono możliwość istnienia korelacji pomiędzy dawkami na skórę a dawkami na gałkę oczną personelu, co wymaga dalszych badań, ale może mieć zastosowania praktyczne.

Na wyróżnienie zasługują prace, w których do rozwiązania problemów szacowania dawek w polach mieszanych np. beta-gamma, gamma-neutrony zastosowano metody statystyki bayesowskiej oraz metody Monte-Carlo. W przypadku, kiedy składowe padającego na dany obiekt promieniowania różnią się zdolnością jonizacji, odmienna jest także ich skuteczność biologiczna oddziaływania na organizm człowieka. W związku z tym, po napromieniowaniu mieszanym polem, ważne jest oszacowanie nie tylko całkowitej dawki pochłoniętej, ale również jej składowych. Wykonano serie dedykowanych temu problemowi pomiarów zarówno dla przypadku szacowania dawek (beta-gamma) z użyciem detektorów TLD, jak i dla pól mieszanych (neutrony-gamma) z jakim mamy do czynienia w reaktorach jądrowych.

Zastosowano też opracowaną wcześniej metodę dozymetrii biologicznej, gdzie otrzymaną dawkę pochłoniętą ocenia się na podstawie analizy częstości uszkodzeń jakie promieniowanie wywołuje w żywym organizmie. (W tym celu wykonano naświetlenia próbek krwi w reaktorze „Maria” w Świerku.) Metody statystyki bayesowskiej pomocne są szczególnie w przypadku, kiedy nieznan jest stosunek dawek od składowej neutronowej i od promieniowania gamma. Wykonano też symulacje napromieniowania wirtualnej grupy komórek, analizę statystyczną trafień komórek cząstkami promieniowania oraz oszacowanie otrzymanych dawek pochłoniętych, wykorzystując metodę Monte Carlo. Wyniki zostały porównane

z eksperymentalnie wyznaczoną dawką pochłoniętą oraz z wynikami otrzymanymi metodą bayesowską. Opracowano aplikację, umożliwiającą pracę z programem komputerowym także niezawansowanym w technikach informatycznych użytkownikom.

Zawartą w nazwie zakładu „kontrolę dawek i wzorcowania” wykonywano dla wielu różnych źródeł i typów promieniowania oraz wielu rodzajów urządzeń pomiarowych. Wymienić tu należy: utrzymanie gotowości Laboratorium Monitoringu Jodu do wykonywania pomiarów zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy, utrzymanie wzorców promieniowania oraz utrzymanie i rozwój systemu zapewnienia jakości wzorcowania przyrządów dozymetrycznych, charakterystykę pola neutronowego wytwarzanego z generatora D-T do celów ustanowienia stanowiska kalibracyjnego, opracowanie stanowiska do wyznaczania stężenia ^{222}Rn w wodzie, optymalizację metody wzorcowania przyrządów radonowych przy niskich stężeniach radonu w powietrzu, wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej itd.

Raport kończą informacje o realizacji prac Działu Szkolenia i Informacji.

Wymienione są rutynowe formy działalności oraz podane są konkretne dane dotyczące przeprowadzonych szkoleń i kursów, wydanych zaświadczeń, opiniowania projektów norm itp. W 2016 roku CLOR uczestniczył także w wielu wydarzeniach informacyjno-edukacyjnych, np. w Pikniku i Festiwalu Nauki.

Oceniając całość materiału informacyjnego zawartego w sprawozdaniu, można sformułować następujące uwagi:

1. W Laboratorium prowadzone są analizy i badania rutynowe, których celem jest zapewnienie bezpieczeństwa radiacyjnego Polski. Wrażenie robi mnogość badanych w tym celu materiałów i elementów środowiskowych, od powietrza, gleby i wody zaczynając, a na faunie i florze kończąc.
2. Laboratorium realizuje ogromną liczbę różnorodnych zadań, z których wiele mogłoby być jedynym przedmiotem pracy danej pracowni i grupy ludzi. Jako przykład może posłużyć opis zadania dotyczącego zawartości cezu i strontu w rybach słodkowodnych. Tymczasem, patrząc na nazwiska autorów widać, że uczestniczą oni w wielu różnych pracach. Pogratulować należy efektywności pracy.
3. Bardzo wysoko ocenić należy prowadzenie prac o charakterze naukowym i to zarówno eksperymentalnych jak i obliczeniowych. Wiele z tych prac zasługuje na opublikowanie w liczących się periodykach naukowych, może być przedmiotem referatów na konferencjach specjalistycznych oraz podstawą prac dyplomowych i to nie tylko inżynierskich czy magisterskich, ale doktorskich i habilitacyjnych.
4. Fakt, że CLOR oferuje możliwości odbywania staży i praktyk oraz wykonywania prac dyplomowych studentom uczelni warszawskich jest bardzo wartościowym elementem działalności CLOR, co mogłoby być bardziej wyraźnie podkreślone w raporcie. Podobna uwaga dotyczy też, znanej recenzentowi, współpracy CLOR z Politechniką Warszawską dotyczącej prowadzenia zajęć, wykładów i laboratoriów dla studentów Wydziału Fizyki oraz organizowania wizyt studentów w CLOR.
5. Sam raport jest, jak we wstępie pisze Dyrektor, „zwięzłym opisem głównych prac”. Sposób prezentacji pokazuje, że faktycznie ma charakter sprawozdawczy i przeznaczony dla specjalistów. Tymczasem nawet niezbyt duże uzupełnienie informacji, przedstawionej w przystępnej formie, mogłoby uczynić z niego znakomity materiał informacyjny, a umieszczenie go w łatwo dostępnym miejscu strony WWW CLOR, mogłoby być wartościową informacją dla znacznie szerszego kręgu zainteresowanych tematyką ochrony radiologicznej osób, także niespecjalistów.

Jan Pluta

ISBN 978-83-947765-1-0