

CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

CENTRAL LABORATORY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION

RAPORT ROCZNY 2015

ANNUAL REPORT 2015



WARSZAWA 2016

Redaktor naukowy / Scientific editor

Dr Paweł Krajewski

Redakcja techniczna / Technical editors

Mgr inż. Iwona Słonecka

Mgr inż. Jarosław Jaźwiński

RAPORT CLOR Nr 158

COPYRIGHT © BY Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 2016

All rights reserved.

ISBN 978-83-920940-9-8

Niniejszy raport roczny przedstawia główne osiągnięcia CLOR z 2015 r. i zawiera artykuły, streszczenia i ilustracje. Stanowi uzupełnienie informacji dostępnych na stronie internetowej CLOR oraz raportów, które nasz Instytut publikuje w ramach działań statutowych.

This annual report provides an overview of the CLOR main achievements in 2015 and includes concrete articles, abstracts and illustrations. It complements the information already available on CLOR's websites and in the reports that the Institute publishes on its public service missions.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Central Laboratory for Radiological Protection

ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Central Laboratory for Radiological Protection

ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Central Laboratory for Radiological Protection

ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

PRZEDMOWA	4
ZAKŁAD HIGIENY RADIACYJNEJ	9
Oznaczanie promieniotwórczości wody do picia w aglomeracjach miejskich i ocena dawek od jej spożycia	11
Adaptacja metody oznaczania trytu związanego organicznie (OBT) w próbkach biologicznych	13
Opracowanie założeń dla wdrożenia metody oznaczania węgla ^{14}C w próbkach środowiskowych	15
Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2013-2015	17
Przeprowadzenie pomiarów porównawczych w zakresie oznaczania izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr przez placówki podstawowe prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu	19
Oznaczenie stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach pożywienia	21
Pomiary skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, osadów dennych i w rybach, w ramach prowadzonego monitoringu skażeń promieniotwórczych Morza Bałtyckiego	23
Utrzymanie systemu zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych	27
ZAKŁAD DOZYMETRII	29
Ocena dawki skutecznej dla mieszkańców Polski od wchłonięcia aerozoli atmosferycznych drogą oddechową – sieć stacji ASS-500	31
Monitoring stężenia ^{137}Cs w glebie w latach 2014 – 2015	34
Pomiary wielkości uwolnień substancji promieniotwórczych do powietrza w okolicy obiektu jądrowego w Świerku	36
Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980 – 2015	38
Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Róźnie oraz wokół Ośrodka w Świerku	41
Analiza programów monitoringu radiologicznego środowiska poszczególnych krajów w kontekście energetyki jądrowej	44
Projekt „EDEN” – testy i ćwiczenia CBRNE determinowane potrzebami uczestników procesu zarządzania kryzysowego	51
Zorganizowanie i przeprowadzenie pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych dla jednostek organizacyjnych prowadzących takie pomiary	54
Utrzymanie akredytacji w Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej w zakresie określania stężeń promieniotwórczych ^{226}Ra , ^{228}Th i ^{40}K w surowcach i materiałach budowlanych	58
ZAKŁAD KONTROLI DAWEK I WZORCOWANIA	61
Metoda szacowania dawek na kończyny od promieniowania β i γ przy zastosowaniu dawkomierzy termoluminescencyjnych	63
Opracowanie i walidacja krzywej dawka-skutek dla chromosomów dicentrycznych indukowanych in vitro w ludzkich limfocytach krwi obwodowej przez terapeutyczną wiązkę protonową cyklotronu Proteus C-253	64
RENEB: samowystarczalna sieć dozymetrii biologicznej i retrospektywnej dozymetrii fizycznej w Europie	67
Wyznaczanie dawki od neutronów na podstawie analizy aktywności ^{24}Na we krwi i ^{32}P we włosach – przegląd literatury	71
Utrzymanie laboratorium pomiaru zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy dla potrzeb działania służb awaryjnych oraz na wypadek zagrożenia radiacyjnego	73
Informacja dotycząca Projektu MODARIA – MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments	76

Indywidualna dozymetria neutronowa oparta o folie CR-39 – optymalizacja metody pod kątem zastosowania przy izotopowych źródłach neutronów	87
Charakterystyka systemów do wykonywania map radiologicznych skażeń promieniotwórczych powierzchni ziemi z wykorzystaniem aparatury zamontowanej na statkach powietrznych	90
Ocena narażenia na promieniowanie w otoczeniu akceleratorów do prześwietleń pojazdów na przejściach granicznych w Polsce	92
Projekt ARCADIA Assessment of Regional Capabilities for new reactors Development through an Integrated Approach	94
Opracowanie metody dozymetrii indywidualnego równoważnika dawki $H_p(3)$ z wykorzystaniem detektorów termoluminescencyjnych	96
Wdrażanie metodyki pomiarów środowiskowych promieniowania gamma podłoża przy zastosowaniu komory jonizacyjnej RSS-131	98
Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej w 2015 r.	100
Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych. Część techniczna	102
Sprawozdanie z seminarium Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych	104
Sprawozdanie z seminarium Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych	108
Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych (PDiŚ) dla potrzeb ochrony radiologicznej – część techniczna	111
DZIAŁ SZKOLENIA I INFORMACJI	113
Realizacja prac Działu Szkolenia i Informacji CLOR w 2015 r. – zadania Komitetu Technicznego 246 ds. ochrony radiologicznej	115
FOREWORD	116
DEPARTMENT OF RADIATION HYGIENE	121
Determination of radiological parameters of drinking water in large cities, and evaluation of doses received by its consumption for people of different age categories	123
Adaptation of the method for determination of organically bound tritium (OBT) in biological samples	124
Preparation of assumptions for the implementation of methods for the determination of ^{14}C in environmental samples	126
Monitoring of radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2013-2015	128
Comparative measurements regarding ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope determination by basic units performing radioactive contamination measurements within the framework of radiation monitoring of the country 2015	129
Risk assessment for population of Szczecin and Białystok based on analyses of meals in 2015	130
Measurements of radioactive contaminations in samples of water, sediments and fish in the framework of the monitoring of radioactive contamination of the Baltic Sea	132
Maintaining the management system in Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis 2015	135
DOSIMETRY DEPARTMENT	137
Assessment of effective dose for residents of Poland from inhalation of atmospheric aerosols – network of ASS-500 stations	139
Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil, 2014 – 2015	142
Measurements of release of radioactive substances to air in the area of nuclear facilities in Świerk	144
Analysis and Evaluation of the Radioactivity of Raw and Building Materials Used in Poland in years 1980-2015	146

The estimate of the situation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan and around Institute in Świerk	149
Analysis of radiological environmental monitoring programs of selected European countries in the context of nuclear energy	152
Project "EDEN" – tests and exercises CBRNE determined by needs of participants of crisis management	159
Organizing and conducting comparative measurements content natural radioactive isotopes in raw materials building for institutions providing such measurements	162
Maintenance of accreditation in Measurements of Natural Radioactivity Laboratory in scope of ²²⁶ Ra, ²²⁸ Th and ⁴⁰ K radioactive concentration determination in raw and building materials	166
DEPARTMENT OF MONITORING AND CALIBRATION	169
Dose estimation method for extremity thermoluminescent dosimeters in beta and gamma field radiation	171
Determination and validation of the <i>in vitro</i> dose-response calibration curve for the induction of dicentric in human peripheral blood lymphocytes by therapeutic proton beam of the cyclotron Proteus C-253	172
Determination of neutron dose with bioassays for radioactive ²⁴ Na in blood and ³² P in hair – literature review	174
RENEB: a self-sustainable Network of Biological Dosimetry and Physical Retrospective Dosimetry in Europe	176
Maintaining a laboratory for measurement of the radioactive iodine in the thyroid gland for the operation of the emergency services and the emergency situation	178
Information on MODARIA project MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments	181
Individual neutron dosimeters based on CR-39 detectors – method optimization for isotopic neutron sources applicability	192
Characteristic of radiological mapping systems placed on flying machines	194
The occupational exposure assessment for operators of vehicle scanners operating on Polish border	196
The ARCADIA Project Assessment of Regional CAPabilities for new reactors Development through an Integrated Approach	198
Development of a method for monitoring the equivalent dose to the lens H _p (3) using thermoluminescent detectors	200
Implementation methodology for measuring environmental gamma using ionization chamber RSS-131	201
Calibration dosimeters for radiation protection purpose in 2015	203
Assurance and support of the quality system in Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments	204
Report of the seminar of the Laboratory of Calibrating of Dosimetric Devices and Radon	205
Report from the college of the Studio of Individual Doses and Environmental – 2016	208
Maintenance management system – Technical activity PDIŚ	210
DEPARTMENT OF TRAINING AND INFORMATION	211
Section of Training and Information in CLOR in 2015 – tasks of the Technical Committee No. 246 for radiological protection	213

Przedmowa

Tegoroczny raport CLOR przedstawia dokonania Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej w 2015 r. i omawia konkretne przykłady w postaci streszczeń, tabel i ilustracji.

Raport stanowi uzupełnienie informacji szczegółowo ujętych w ekspertyzach i wydawnictwach wydawanych przez CLOR w ramach jego misji oraz dostępnych również na stronie CLOR¹.

Podobnie jak w latach ubiegłych, zadania badawcze realizowane w 2015 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). Program Polskiej Energetyki Jądrowej ma zapewnić większe bezpieczeństwo energetyczne kraju poprzez dywersyfikację bazy paliwowej i przynieść polskiej elektroenergetyce źródło energii bezpieczne, stabilne, po konkurencyjnych kosztach, bez emisji gazów cieplarnianych, z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska, jak to zostało określone w celu 4-tym Polityki energetycznej Polski do 2030 r.

W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że w związku z obowiązkiem wdrożenia Nowej Dyrektywy Unii Europejskiej Basic Safety Standard (zatwierdzonej przez Parlament UE 14 stycznia 2014 r. z okresem transpozycji do prawa krajowego Państw Członkowskich najpóźniej do 6 lutego 2018 r.) wprowadzone tą Dyrektywą normatywy będą miały w roku 2018 wiążący dla Polski charakter. Dyrektywa wprowadza 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, i zaostrzone normy ochrony ludności, pacjentów medycznych, ochrony środowiska. W/w przepisy UE będą miały w roku 2018 r. wiążący charakter dla systemu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej (BJiOR) w Polsce. Pomimo, że w latach 2009 – 2015 wykonano w PAA pokaźną pracę nad przygotowaniem ram prawnych dla realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej to jednak w zakresie rozwoju kadry i infrastruktury wspomagającej system BjiOR wymaga pilnego wzmocnienia³. 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 rozrzuty po kraju potencjał ekspercki, który charakteryzują na ogół niewielkie zespoły specjalistów, rozmieszczone w kilkunastu instytucjach wykorzystujących większe urządzenia badawcze (reaktor, cyklotron, wysokoaktywne źródła promieniowania jonizującego) 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 Sanitarno-Epidemiologiczne. Sprawność tej sieci zależy od aktualnych, często zmiennych, zdolności pomiarowych tych placówek. Jakakolwiek 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 za tym idzie, brak lub odpływ młodej wykwalifikowanej kadry.

Istotne znaczenie dla integracji i wzmocnienia ośrodków związanych z jądrowym sektorem elektroenergetycznym miał konkurs Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego projektu badawczego „*Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej*”, gdzie szczególną rolę dla budowy nowoczesnej infrastruktury i zaplecza merytorycznego BjiOR dla potrzeb energetyki

¹ <http://www.clor.waw.pl/clor/clor.htm>

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

³ Szersze omówienie tego zagadnienia można znaleźć w artykule P. Krajewski, G. Krajewska, Strategiczny projekt badawczy NCBR. Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej. Zadanie nr 6. Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej, PTJ, VOL. 58 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2015.

jądrowej pełniło Zadanie Nr 6 w/w projektu pt.: „Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej”⁴.

Wspomniany projekt realizowała Sieć Naukowa czterech wiodących w kraju instytutów badawczych, które odgrywały również ważną rolę w realizacji pierwszego polskiego programu energetyki jądrowej w latach osiemdziesiątych XX w. Instytuty te stanowią istotne zaplecze naukowo-badawcze dla programu uruchomienia energetyki jądrowej. Są to: Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR, Warszawa), Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ, Warszawa), Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ, Świerk), Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN, Kraków).

Oprócz patronatu merytorycznego nad całością prac w/w zadań, prace CLOR koncentrowały się nad wdrożeniem prototypu mobilnej wysokoczułej stacji do pomiarów stężenia różnych form promieniotwórczego jodu w powietrzu. Jest to pierwsze w Polsce urządzenie tego typu, niezastąpione dla potrzeb specjalistycznego monitoringu skażeń uwalnianych z komina elektrowni jądrowej. Urządzenie to rozszerza ofertę konstruowanych w CLOR urządzeń do wykrywania skażeń radioaktywnych powietrza na potrzeby sieci radiacyjnego monitoringu Polski. Powyższa działalność CLOR jest sukcesywnie rozwijana, m.in. ostatnio opracowany prototyp mobilnej stacji do poboru aerozolowych skażeń promieniotwórczych NASS-1000, uzyskał pod koniec 2013 r. patent nr P.387609 „Stacja poboru dużych próbek aerozolowych zanieczyszczeń powietrza”. Zwiększyło to możliwości eksportowe tego urządzenia, jak również daje dobre podstawy do działań w kierunku unowocześnienia krajowego systemu ochrony radiologicznej.

Prowadzone prace odznaczały się wysokim standardem naukowym i niemałym stopniem innowacyjności. W sumie opracowano 16 nowych rozwiązań systemowych i metod pomiarowych oraz zgłoszono lub przygotowano do zgłoszenia do postępowania patentowego kilka nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Dokonano też usprawnień we wcześniej opracowanych prototypach, m.in. rozszerzono możliwości prototypu czytnika termoluminescencyjnego do rozróżnienia przypadków ekspozycji statycznej od dynamicznej. Projekt pozwolił na zaktywizowanie młodej kadry naukowej, co zaowocowało obroną (lub w trakcie postępowania) ośmiu prac licencjackich i magisterskich, otwarciem siedmiu przewodów doktorskich oraz opublikowaniem lub zgłoszeniem do publikacji kilkunastu prac naukowych.

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”, zespół wykonawców Zadania Nr 6 pozostaje w nadziei na kontynuację prac w kolejnych latach.

pozytywną ocenę Komitetu Sterującego NCBiR uzyskało również Zadanie 3 w/w programu pt: „Podstawy Zabezpieczenia Potrzeb Paliwowych Polskiej Energetyki Jądrowej (2011 – 2014)” (lider konsorcjum – Uniwersytet Warszawski), w którym CLOR jako członek konsorcjum realizował badania związane z oceną narażenia środowiska przy podwyższonych stężeniach uranu U-238 i radu Ra-226.

Zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (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 rozwoju energetyki jądrowej w Polsce.

Działania CLOR w kierunku utworzenia krajowego zaplecza eksperckiego (TSO) osiągnęły pewien postęp, gdy w 3 kwietniu 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. W zakresie objętym umową CLOR prowadzi m.in.:

⁴ W kwietniu 2015 r. Komitet Sterujący Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pozytywnie rozliczył pod względem merytorycznym zadanie badawcze Zadanie Nr 6.

- 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),
- organizuje również badania porównawcze dla placówek podstawowych prowadzących podstawowe pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju.

W/w Umowa Ramowa pozostawiła niestety tryb przetargowy uzyskiwania finansowania na wyszczególnione powyżej prace, a procedura przetargowa wynikająca z prawa zamówień publicznych (PZP), jakkolwiek coraz sprawniej przeprowadzana przez Departamenty PAA, nie sprzyja planowanemu rozwojowi systemu organizacji wsparcia technicznego (TSO) dla działań Dozoru Jądrowego (Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki). Należałoby przedyskutować i wskazać, które zasady wyłączeniowe PZP były by optymalne dla zapewnienia stabilnych i przewidywalnych warunków współpracy z organizacjami wsparcia technicznego.

W 2015 r. CLOR prowadził również szereg badań z zakresu 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:

- Pomiar zawartości sztucznych nuklidów promieniotwórczych w próbkach krwi, włosów i paznokci jako marker dawki pochłoniętej promieniowania neutronowego do stosowania w warunkach masowego narażenia.
- Opracowanie i walidacja krzywej dawka-skutek dla chromosomów dicentrycznych indukowanych in vitro w ludzkich limfocytach krwi obwodowej przez terapeutyczną wiązkę protonową cyklotronu Proteus C-235.
- Udział w projekcie RENEB (Realizing the European Network of Biodosimetry). Istnieją prawne przesłanki zobowiązujące służby zajmujące się ochroną radiologiczną do utrzymania metodyk dozymetrii biologicznej (indywidualne odtworzenie dawki) w każdym kraju członkowskim – General Safety Standards, General Safety Requirements Part 3 oraz Dyrektywa Rady Europejskiej 2013/59/EURATOM artykuł 69 4 b.

W 2015 r. zwiększyła się znacząco aktywność przedstawicieli CLOR w organizacjach międzynarodowych oraz nastąpiło zacieśnienie współpracy z ważnymi ośrodkami naukowymi, m.in.:

- 12 marca 2015 r. została podpisana umowa o współpracy między Francuskim Komitetem Energii Atomowej (French Atomic Commission CEA), a trzema wiodącymi ośrodkami atomistyki w kraju: NCBJ, ICHTJ oraz CLOR.
- Dnia 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).
- Dnia 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, gdzie m.in. CLOR złożył propozycje do programu „CONCERT-European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research” under Horizon 2020.
- Dnia 8 lipca 2015 r. podpisano 4-letnią umowę o współpracy z Niemieckim Biurem Federalnym Ochrony przed Promieniowaniem (Bundesamt für Strahlenschutz BfS) odnośnie pomiarów gazów szlachetnych ^{85}Kr i ^{133}Xe wokół kompleksu Świerk składającego się z reaktora Maria oraz Zakładu Produkcji Izotopów POLATOM.
- Eksperci 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.

Ponadto, w 2015 r. kontynuowano wieloletnią współpracę z uznanymi międzynarodowymi instytucjami, takimi jak:

- W ramach systemu zarządzania jakością zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005 akredytowane Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych (AB 1215), rutynowo brało udział w międzynarodowych porównaniach laboratoryjnych ALMERA organizowanych przez MAEA, polegających na oznaczaniu U-238, U-234, Ra-226, Po-210 i Am-241 w różnych komponentach środowiska i produktach żywnościowych.
- Prowadzone są intensywne prace w ramach Grupy Roboczej MAEA zajmującej się testowaniem i walidacją modeli komputerowych służących do przewidywania dawek i skażeń środowiska przy uwolnieniach substancji promieniotwórczych z instalacji jądrowych, w ramach programu MODARIA (Environmental Modeling for Radiation Safety) (2012-2015). Od 30 lat rozwijane są w CLOR modele komputerowe służące jako narzędzie do wspomaganie decyzji na wypadek wielkoskalowych uwolnień radionuklidów do środowiska. Od 2009 roku w/w tematykę rozszerzono o modele skażeń środowiska w wyniku wieloletnich uwolnień radionuklidów przy normalnej pracy Elektrowni Jądrowych, jak również modelowania zachowania się trytu ^3H i węgla ^{14}C . Podejmowana jest również tematyka wynikająca z ostatnich rekomendacji ICRP i niedawno wprowadzonych standardów MAEA, mianowicie system oceny dawek dla fauny i flory czy też zastosowanie metod stochastycznych dla oszacowania niepewności prognozy dawek.
- W końcowej fazie realizacji jest program badawczy realizowany w ramach 7-ego programu ramowego UE "Assessment of Regional Capabilities for new reActors Development through an Integrated Approach", ARCADIA, (2013-2016).
- We współpracy z IMGW Gdynia, CLOR prowadzi również badania zawartości pierwiastków promieniotwórczych w osadach dennych i biocie w Morzu Bałtyckim (współpraca wszystkich krajów nadbałtyckich) w ramach Komisji Helsińskiej (Helsinki Commission, Baltic Marine Environmental Protection Commission, Helcom Mors).

Rok 2015 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 m.in.:

- Prowadzony od 1970 r. w CLOR przez Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych (akredytowane w 2010 r., AB 1215) monitoring zawartości pierwiastków promieniotwórczych w produktach żywnościowych, zapewnia wiarygodny pomiar i fachową ekspertyzę, uznaną przez kraje UE, co zabezpiecza polski eksport produktów żywnościowych przed zarzutami niespełniania kryteriów sanitarnych jak również zapobiega próbom wprowadzenia na polski rynek skażonych produktów z innych krajów (Dyrektywa UE Unii Europejskiej 93/47/EURATOM i CODEX ALIMENTARIUS WHO). W tymże laboratorium w 2015 roku kontynuowano prace nad wdrażaniem nowej metody oznaczania węgla ^{14}C oraz trytu ^3H organicznego OBT w próbkach środowiskowych, ponieważ monitoring tych pierwiastków w środowisku jest niezbędny wokół pracujących elektrowni jądrowych.
- Prowadzone przez akredytowane laboratoria w CLOR wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych (AP 057) oraz kontrola narażenia zawodowego (AB 450), stanowią niezbędny element programu utrzymania wysokiego standardu aparatów radiodiagnostycznych i bezpieczeństwa radiacyjnego narażonych zawodowo w zakładach medycyny nuklearnej w resorcie zdrowia oraz w zakładach przemysłowych stosujących źródła promieniowania jonizującego (zgodnie z Dyrektywą UE 93/47/EURATOM). Laboratorium jest jedyną instytucją w kraju oferującą kompleksowe wzorcowanie wszelkiego typu przyrządów dozymetrycznych w pełnym zakresie energetycznym pól promieniowania jonizującego α , γ , β oraz promieniowania neutronowego n , jak również skażeń powierzchniowych α oraz β . Dodatkowo oferuje wzorcowanie przyrządów do pomiarów stężenia radonu ^{226}Rn i jego produktów rozpadu w powietrzu i w wodzie.
- Poza doradztwem eksperckim, Instytut prowadzi efektywną działalność popularyzacyjną i szkoleniową. Praktycznie od początku swego istnienia CLOR prowadzi szkolenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej

(ok 200 osób rocznie) oraz specjalistyczne szkolenia dla Straży Granicznej, Biura Operacji Antyterrorystycznej, Obrony Cywilnej oraz studentów Głównej Szkoły Służby Pożarniczej.

Oprócz prac związanych z Programem Energetyki Jądrowej w Polsce, z punktu widzenia strategii rozwoju Instytutu, działalność CLOR powinna się skupiać na palących potrzebach BJIOR wynikających chociażby z eskalacji potencjalnych źródeł zagrożenia radiacyjnego, m.in. zwiększenia liczby elektrowni jądrowych krajów sąsiednich, zlokalizowanych w pobliżu granic Polski, czy też wzrostu liczby użytkowników źródeł promieniowania jonizującego m.in. w sektorze medycznym, w związku z rozwojem nowych technik procedur diagnostycznych i terapeutycznych z zastosowaniem promieniowania jonizującego, czy też w związku z podwyższeniem standardów warunków pracy i ochrony środowiska przez UE.

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 działalności CLOR w 2015 roku, należy podkreślić duże zaangażowanie całej Załogi CLOR, której Instytut zawdzięcza sukces w osiągnięciu wysokiego poziomu merytorycznego prac oraz uzyskaniu dobrych wyników finansowych. W tym miejscu należy się moje podziękowanie Załodze za Jej wysiłek i poszanowanie dla trzech podstawowych zasad działania 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



Oznaczanie promieniotwórczości wody do picia w aglomeracjach miejskich i ocena dawek od jej spożycia

A. Fulara, A. Adamczyk

Wprowadzenie

W 2015 roku prowadzono badania wód wodociągowych pochodzących z Białegostoku, Bydgoszczy, Chełma, Gliwic, Grudziądza, Kielc, Łodzi, Radomia oraz Zamościa. Łącznie pobrano i wykonano analizy w wodach pobranych z 18 stacji uzdatniania wody.

Stacje uzdatniania wykorzystują wody powierzchniowe, infiltracyjne oraz wody pochodzące ze studni głębinowych.

Objętość wody pobieranej z każdego punktu poboru wynosiła 20 litrów. ^{137}Cs i ^{90}Sr oznaczano w tej samej próbie o objętości 15 litrów, w pozostałych pięciu litrach oznaczano ^3H oraz całkowitą promieniotwórczość α i β .

Wyniki

Wyniki oznaczeń ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach do picia pobranych w 2015 roku wskazują, że stężenia ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodzie pitnej znajdowały się na niskim poziomie. Stężenie promieniotwórcze cezu-137 zawierało się w granicach od wartości $0,43 \pm 0,09 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody pochodzącej ze Stacji Uzdatniania Wody Pietrasze w Białymstoku do $2,69 \pm 0,34 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody pobranej ze Stacji Uzdatniania Wody Łabędy w Gliwicach. Średnie stężenie cezu-137 obliczone dla badanych próbek wody wynosiło $1,53 \pm 0,69 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$.

W przypadku ^{90}Sr zakres stężeń wynosił od wartości mniejszej od granicy oznaczalności ($0,36 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) dla wody pochodzącej ze Stacji Uzdatniania Wody Jurowce w Białymstoku do $6,92 \pm 1,43 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla wody pochodzącej z Wodociągu Tomaszów – Łódź. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w badanych wodach do picia wyniosło $2,72 \pm 1,82 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$.

We wszystkich badanych próbach wody pitnej stężenie ^3H nie przekroczyło granicy oznaczalności czyli $0,5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Całkowita promieniotwórczość β badanych wód była bardzo niska i zawierała się w zakresie od $0,04 \pm 0,01 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ do $0,21 \pm 0,03 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$. Średnie stężenie całkowitej promieniotwórczości β obliczone dla wszystkich analizowanych wód wynosiło $0,10 \pm 0,05 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

Całkowita promieniotwórczość α przekroczyła granicę detekcji ($0,015 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$) tylko w przypadku czterech z osiemnastu badanych próbek (wody pobranej ze Stacji Uzdatniania Wody Czyżkówko w Bydgoszczy, z Ujęcia Tubaków oraz Bariera w Chełmie oraz SUW Łabędy w Gliwicach).

Zgodnie z Umową w przypadku przekroczenia wartości $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ całkowitej promieniotwórczości α należało wykonać oznaczenie stężenia ^{226}Ra , izotopów uranu (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U), natomiast w przypadku przekroczenia całkowitej promieniotwórczości β wartości $1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$, należało określić stężenie ^{40}K i ^{228}Ra .

W żadnej z badanych wód całkowita promieniotwórczość alfa i beta nie przekroczyła powyższych wartości. Z tego względu nie prowadzono oznaczeń ^{226}Ra , izotopów uranu (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U), ^{40}K i ^{228}Ra .

W Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61, poz. 417, Załącznik nr 3) późniejszymi zmianami w „Wymaganiach radiologicznych” określono, że dopuszczalne stężenie trytu w wodzie do picia nie może przekraczać $100 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$, a całkowita dopuszczalna dawka wynosi $0,1 \text{ mSv}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Dawka powyższa nie jest przekroczona, jeżeli całkowita promieniotwórczość α nie przekracza wartości $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ i całkowita promieniotwórczość β nie przekracza wartości $1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ (Raport WHO i Dyrektywa UE). Przeprowadzone analizy wskazują, że badane wody wodociągowe spełniają wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r.

Na podstawie oznaczonych stężeń ^{137}Cs i ^{90}Sr obliczono roczne wchłonięcia ^{137}Cs i ^{90}Sr z wodą w grupach wiekowych do 1-go roku życia (spożycie wody 250 l/rok⁻¹), 1 – 10 lat (spożycie 350 l/rok), 11 – 17 lat (spożycie 540 l/rok) i osób dorosłych (spożycie 730 l/rok).

Na podstawie tych danych obliczono średnie roczne wchłonięcia. Wchłonięcia te wynosiły odpowiednio $0,38 \pm 0,17 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$; $0,54 \pm 0,24 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$; $0,83 \pm 0,37 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$ i $1,12 \pm 0,51 \text{ Bq}/\text{rok}$ dla ^{137}Cs .

Wchłonięcia ^{90}Sr w odpowiednich grupach wiekowych były następujące: $0,68 \pm 0,46 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$; $0,95 \pm 0,64 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$; $1,47 \pm 0,98 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$; $1,98 \pm 1,33 \text{ Bq}\cdot\text{rok}^{-1}$.

W oparciu o roczne wchłonięcia i odpowiednie współczynniki przeliczeniowe wyrażone w $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$, podane w Tabeli 4 (Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego Dz. U. Nr

20, poz. 168) obliczono obciążające dawki skuteczne. Dawki od wchłonięć ^{137}Cs mieszczą się w zakresach od 0,006 do 0,015 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ co stanowi niewielki procent (0,0006% – 0,0015%) rocznej dawki granicznej dla osób z ogółu ludności określonej w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dn. 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego Dz. U. Nr 20, poz. 168 (1 mSv/rok).

Od wchłonięć ^{90}Sr dawki mieszczą się w zakresie od 0,055 do 0,156 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ co stanowi 0,0055% – 0,0156% dawki granicznej.

Wnioski

Otrzymane wyniki wskazują, że dawki te są zanedbywalnie małe a wody wodociągowe we wszystkich badanych miastach spełniają wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r.

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 maksymalnej równej 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. W Polsce niewiele laboratoriów zajmuje się tym tematem.

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

Wyniki

W 2015 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.

Tryt w próbkach biologicznych występuje w trzech formach:

- wolnej wody (cząsteczki HTO) związanej z materiałem;
- związanej z atomami tlenu i azotu w związkach materiału jest to forma wymienna pozostająca w równowadze ze stężeniem wody w trytowej wewnątrzkomórkowego środowiska;
- związanej z atomami węgla trwałym wiązaniem w materiale.

OBT najczęściej analizuje się stosując technikę ciekłej scyntytacji. Do pomiaru wykorzystywana jest woda uzyskana ze spalania materii organicznej (na suchą masę). Według najnowocześniejszego podejścia, tryt związany organicznie jest mierzony poprzez sumę wymiennych i niewymiennych części bez ich różnicowania.

W procesie spalania najczęściej wykorzystywane są urządzenia które wykorzystują proces utleniania lub pirolizy. Często stosuje się bombę Parra.

Próbki wodne są zwykle zbierane ręcznie w idealnie szczelne pojemniki ze szkła.

Próbki roślin, o ile to możliwe, powinny zostać pobrane bezpośrednio do naczynia w którym mają one być później przetwarzane. Jeśli wymagane jest tymczasowe składowanie, to zaleca się, aby próbki roślin zostały zamrożone w szczelnie zamkniętych pojemnikach. Wstępna obróbka próbki składa się z suszenia, mielenia i pakowania w podwójne worki polietylenowe. Próbki suszy się w suszarkach z wymuszonym obiegiem powietrza w umiarkowanej temperaturze (40°C), aby uniknąć częściowego zniszczenia materii organicznej.

Do prawidłowego oznaczenia OBT muszą zostać spełnione następujące warunki:

- odpowiednio dobrane urządzenie do spalania, które może pomieścić co najmniej 30 g wysuszonej próbki, a więc dostarczyć co najmniej 10 g wody, która jest optymalną ilością dla LSC,
- zastosowanie szybkiej i skutecznej techniki usuwania wody z próbki, która nie miała wpływu na strukturę organiczną próbki. Dzięki temu możemy uznać, że końcowa aktywność trytu po spalaniu pochodzi od niewymiennej części OBT C-H,
- zastosowanie skutecznej ochrony próbki przed narażeniem na działanie atmosfery laboratoryjnej, zwłaszcza po końcowym suszeniu a przed spalaniem, ponieważ wysuszony materiał na tym etapie jest bardzo higroskopijny i odbiera wodę z powietrza laboratoryjnego. Szczególną uwagę należy zwrócić podczas transferu próbki do układu spalania.

Wnioski

Zebrany materiał zostanie wykorzystany w 2016 roku na który to zaplanowano przystosowanie obecnego układu pomiarowego do wymagań metody oznaczania trytu związanego organicznie (OBT). W planach na następny rok jest również udział w międzynarodowej interkalibracji celem stwierdzenia poprawności 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.

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

A. Fulara, M. Piekarz

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.

Na 2015 zaplanowano przegląd dostępnej literatury dotyczącej oznaczania ^{14}C oraz wybór najbardziej czułej metody oznaczania tego izotopu w próbkach środowiskowych.

Wyniki

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

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. Generalnie możliwych technik pomiaru ^{14}C jest

kilka, z czego najważniejsze to technika ciekłoscyntylacyjna, wykorzystanie gazowych liczników proporcjonalnych lub akceleratorowa spektrometria mas.

Najbardziej nowoczesnym rozwiązaniem jest spektrometria mas, która umożliwi wykorzystanie najmniejszych próbek (nawet kilku miligramów gazu), jednakże wymaga ona bardzo skomplikowanego spektrometru mas z akceleratorem i specjalnej preparatyki próbek.

Sposób postępowania z próbkami zależy od ich rodzaju. próbki powietrza są przepuszczane przez płuczkę zawierającą wodorotlenek sodu. Inna metoda poboru powietrza polega na adsorpcji $^{14}\text{CO}_2$ przez sita molekularne. $^{14}\text{CO}_2$ jest uwalniany z sit molekularnych poprzez ogrzewanie (400°C) i przepłukiwanie azotem, następnie jest adsorbowany przez Carbo-Sorb E (Packard Co.) i mieszany z koktajlem scyntylacyjnym (Permafluor E+, PerkinElmer). Sita molekularne stanowią bardzo dobrą alternatywę dla wodorotlenku sodu, ponadto nie są tak żrące.

Wszelkie próbki organiczne (np. ryż, warzywa, owoce) zbierane są do foliowych woreczków, płukane 1% kwasem chlorowodorowym i suszone w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza. próbki mleka, ryb i mięsa są mrożone w temperaturze -50°C , proszkowane przy użyciu miksera i granulowane. Następnie próbki są spalane pod wysokim ciśnieniem powietrza w atmosferze tlenu do CO_2 i wody. Powstały CO_2 jest przepuszczany przez regulator gazu do płuczki zawierającej roztwór 150 ml 3M NaOH. Zebrany CO_2 wytrąca się w formie CaCO_3 przy użyciu CaCl_2 . Do osadu dodaje się kwasu azotowego, a wytworzony w ten sposób CO_2 zbiera się do naczynka scyntylacyjnego i poddaje pomiarowi LSC.

Wnioski

Zebrany materiał zostanie wykorzystany w 2016 roku na który to zaplanowano kontynuację wdrażania metody oznaczania węgla C-14 w próbkach środowiskowych. Przewidywane są konsultacje/szkolenia w ośrodkach specjalizujących się w tej tematyce, a jeśli będzie taka możliwość to udział w interkalibracji, celem sprawdzenia

poprawności zastosowanej metodyki. W planach ujęto również zakup normy ISO 13162:2011 Water Quality – Determination of carbon 14 activity – Liquid scintillation counting method.

Finansowanie

Praca wykonana na zlecenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2013-2015

M. Kardaś, A. Fulara, B. Rubel, M. Suplińska, A. Adamczyk, M. Kosiorek

Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie stanowi kontynuację badań monitoringowych promieniowania jonizującego, prowadzonych przez CLOR od 1994 r na potrzeby Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska z siedzibą w Warszawie. Obowiązek prowadzenia monitoringu nakładają istniejące akty prawne krajowe i opracowane przez Komisję Europejską. Krajowe akty prawne to przede wszystkim: 1. Ustawa – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627 z późn. zm.) art. 26. W artykule tym zdefiniowane są cele i zadania Państwowego Monitoringu Środowiska, w tym monitoringu promieniowania jonizującego. 2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych (Dz.U. Nr 239, poz. 2030), przygotowane na podstawie delegacji zawartej w Prawie Atomowym (Dz.U. z 2001r. Nr 3, poz. 18. z późniejszymi zmianami). Monitoring skażeń promieniotwórczych zaleca również Komisja Europejska w Rekomendacji z 8 czerwca 2000 roku o stosowaniu Artykułu 36 Traktatu Euroatomu dotyczącego monitoringu poziomów radioaktywności w środowisku w celu oceny ekspozycji całej populacji. Powyższe akty prawne stanowią podstawę umów zawieranych między Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska z siedzibą w Warszawie, a Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Wyniki

W ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2012 roku próbki wody i osadów dennych pobrano dwukrotnie (wiosną i jesienią) w 18 punktach, zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu



Rysunek 1. Usytuowanie miejsc poboru wód i osadów dennych.

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. Probki 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. Do ogólnej oceny sytuacji radiologicznej porównywane są wartości średnie. Jednoznaczna ocena i porównanie wyników uzyskanych dla poszczególnych pierwiastków wiosną i jesienią przysparza duże trudności, wynikają one przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych w jakich dokonywany jest pobór prób.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i wodach jezior były na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od $2,45 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (dla dorzecza Wisły) do $2,75 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (dla dorzecza Odry). Również średnie

roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr , były wyrównane i zawierały się w granicach $3,29 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla dorzecza Wisły – $3,73 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ dla dorzecza Odry.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych były zróżnicowane: najniższe w dorzeczu Odry $3,65 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najwyższe w jeziorach $8,14 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

W przypadku $^{239,240}\text{Pu}$ najniższe wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych obserwowano w osadach dennych dorzecza Odry – $20,56 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najwyższe dla jezior – $42,03 \text{ mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Zarówno średnie roczne stężenia promieniotwórcze wszystkich badanych nuklidów jak i dane uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody i osadów dennych nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach.

Wnioski

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

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

Finansowanie

Praca wykonana na zlecenie Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska

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

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

Wstęp

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. Organizowanie corocznych pomiarów porównawczych dla placówek podstawowych spoczywa na Prezesie Państwowej Agencji Atomistyki zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych (Dz.U. 2002 nr 239 poz. 2030), §7, p.4.

Wyniki

Materiałem kontrolnym było mleko płynne domieszkowane izotopami: ^{137}Cs i ^{90}Sr . Wymagane stężenie promieniotwórcze dla cezu: $8 \div 12 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ i strontu: $3 \div 8 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$.

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 2015. 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 $5,6 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ na dzień 01.01.2013.

Do sporządzenia próbek referencyjnych w celu oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs i ^{90}Sr zakupiono 108 litrów mleka płynnego produkcji Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Łowiczu.

Oznaczono stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w mleku oraz sprawdzono jego homogenność. 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 mleka płynnego wynosiło $10,60 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \pm 0,64 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$, a stężenie ^{90}Sr w próbkach mleka wynosiło $4,94 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \pm 0,52 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$.

Próbki domieszkowane ^{137}Cs przygotowano dla 30 placówek, które zgłosiły udział w pomiarach porównawczych a domieszkowane ^{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 27 placówek. Placówki wykonały łącznie 34 oznaczenia stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs metodą spektrometryczną i radiochemiczną oraz 3 oznaczenia ^{90}Sr . Wyniki dla obu metod oznaczania ^{137}Cs analizowano oddzielnie. Różnice wartości oznaczeń w stosunku do wartości referencyjnej wynoszą od $-22,6\%$ do $+13,5\%$ w metodzie spektrometrycznej i od $-31,1\%$ do $+4,8\%$ w metodzie radiochemicznej. Liczba wyników w zakładanych przedziałach (w zależności od stosowanej metody oznaczenia) $+15\%$ i $+20\%$ wartości referencyjnej stanowi 88% nadesłanych

wyników. Parametry statystyczne oszacowano dla wszystkich wyników w zakresie od $7,3 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ do $12,03 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$. 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 30 wyników, co oznacza, że wynik w sposób istotny nie różni się od wartości referencyjnej. Ponadto 2 wyniki były w zakresie $2 < Z \leq 3$, co oznacza wynik wątpliwy (nie można jednak stwierdzić, czy wynik istotnie różni się od wartości referencyjnej, czy też nie) oraz 2 wyniki dla parametru $Z > 3$ (wynik istotnie różni się od wartości referencyjnej). Wartości krytyczne parametru U są takie same jak przyjęte dla parametru Z . W jednym przypadku parametr ten był w zakresie $2 < U < 3$. Dla pozostałych wyników był poniżej 2, świadczy to o tym, że placówki w stosowanych przez siebie budżetach niepewności uwzględniły wszystkie istotne źródła niepewności.

Wnioski

Oceniono poprawność i precyzję nadesłanych przez placówki wyników oznaczeń stężenia promieniotwórczego w próbkach kontrolnych. Wynik pomiaru jest akceptowany, jeżeli spełnia obydwa kryteria. Z oceny wynika, że 26 wyników spełnia obydwa kryteria.

Placówki wykonały 3 oznaczenia ^{90}Sr . Dwa wyniki zostały odrzucone (gruby błąd). Ze względu na niewystarczającą liczbę wyników poprawnych (tylko 1 wynik), nie przeprowadzono analizy statystycznej dla oznaczenia ^{90}Sr . Oceniono tylko poprawność i precyzję poprawnego wyniku. Placówka spełniła kryterium akceptacji wyniku.

Finansowanie

Umowa z Państwową Agencją Atomistyki nr 19/OR/2015/109 z dnia 31 marca 2015 r.

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

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

Wprowadzenie

Celem pracy było oznaczenie zawartości ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach całodziennego pożywienia mieszkańców dwóch miast Polski: Szczecina (województwo zachodnio-pomorskie) i Białegostoku (województwo podlaskie) i 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: dzieci (stołówka w Szczecinie), młodzieży i dorosłych, ale porcje posiłków do badań były przeznaczone dla osób dorosłych.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczano spektrometrycznie (detektor HPGe, oprogramowanie 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 2015 roku.

Radionuklid	Szczecin		Białystok
	zawartość w całodziennych posiłkach [Bq-dzień ⁻¹]		zawartość w całodziennych posiłkach [Bq-dzień ⁻¹]
	maj	wrzesień	maj
^{137}Cs	0,33 ± 0,04 (0,31 ÷ 0,38)	0,46 ± 0,06 (0,31 ÷ 0,55)	0,38 ± 0,05 (0,29 ÷ 0,46)
^{90}Sr	0,07 ± 0,01 (0,05 ÷ 0,09)	0,16 ± 0,02 (0,13 ÷ 0,20)	0,07 ± 0,01 (0,05 ÷ 0,09)

Na różnicę w zawartości ^{137}Cs w poszczególnych posiłkach ma wpływ zarówno masa posiłków jak i ich skład. We wrześniu posiłki w Szczecina były o około 10% większe, mniej płynne, a bardziej treściwe (podawano zdecydowanie więcej pieczywa). W Białymstoku (maj) zawartość ^{137}Cs w całodziennych posiłkach była na zbliżonym poziomie do zawartości ^{137}Cs w posiłkach ze

Szczecina, natomiast masa posiłków ze Szczecina była około 20% wyższa od masy posiłków z Białegostoku w analogicznym okresie. Zawartości ^{90}Sr w posiłkach pobieranych w maju w Szczecinie i Białymstoku były w takim samym zakresie od 0,05 Bq-dzień⁻¹ do 0,09 Bq-dzień⁻¹. Nie ma różnic w zawartości ^{90}Sr w posiłkach z różnych miast pomimo różnicy w masie posiłków. Zawartość ^{90}Sr

w całodziennych posiłkach pobieranych we wrześniu w Szczecinie była 2-krotnie wyższa od zawartości strontu w posiłkach z maja i wynosiła od 0,13 do 0,20 Bq-dzień⁻¹. Głównym źródłem ⁹⁰Sr w całodziennych posiłkach jest mleko, produkty zbożowe i warzywa. Do posiłków we wrześniu podawano zdecydowanie więcej pieczywa mieszanego niż to było w maju. Dla porównania w 2014 roku zawartość ¹³⁷Cs w całodziennych diecie mieszkańców Finlandii (w zależności od rejonu) była w zakresie od 0,11 do 0,26 Bq-dzień⁻¹

w Helsinkach, 0,13 - 1,1 Bq-dzień⁻¹ w Rovaniemi i w Tampere od 0,19 do 1,3 Bq-dzień⁻¹. Zawartość ⁹⁰Sr w tygodniowych całodziennych posiłkach w tych samych miastach była w zakresie od 0,40 Bq-tydzień⁻¹ do 0,49 Bq-tydzień⁻¹ [2].

Na podstawie oznaczonych zawartości ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr w całodziennych posiłkach oszacowano roczne wchłonięcia analizowanych izotopów z żywnością i oszacowano dawkę otrzymywaną przez mieszkańców miast. Dane zestawiono w Tabeli 2.

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

	Roczne wchłonięcia [Bq]		Dawka skuteczna [μSv]	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Szczecin	146	43	1,9	1,2
Białystok	138	26	1,8	0,7

Dawki otrzymywane przez mieszkańców Szczecina i Białegostoku są na zbliżonym poziomie i nie odbiegają od dawek otrzymywanych przez mieszkańców innych miast Polski w latach ubiegłych. Dawki od ¹³⁷Cs wynosiły od 1,4 μSv do 2,4 μSv, a od ⁹⁰Sr 0,6 μSv do 1,2 μSv. Dla porównania w 2014 roku dawka od ¹³⁷Cs w diecie mieszkańców Irlandii wynosiła 2,7 μSv [3]

Wnioski

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

Finansowanie

Umowa z Państwową Agencją Atomistyki nr 25/OR/2015/114 z dnia 28.04.2015 r.

Literatura

- [1] Grabowski, D., Rubel, B., Świetochocka, J., Kurowski, W., Muszyński, Jankowska, S., Petrykowska, M., Metodyki radiochemicznego oznaczania izotopów cezu i Sr-90 w produktach żywnościowych i wodzie, Raport CLOR nr 13/2004, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa, 2004.
- [2] Surveillance of Environmental Radiation in Finland. Annual Report 2014. Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK-B190/SYYSKUU 2015.
- [3] C.O'Connor et al. Radiation Doses Received by the Irish Population, 2014. Radiological Protection Institute of Ireland, RP II/02, June 2014

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

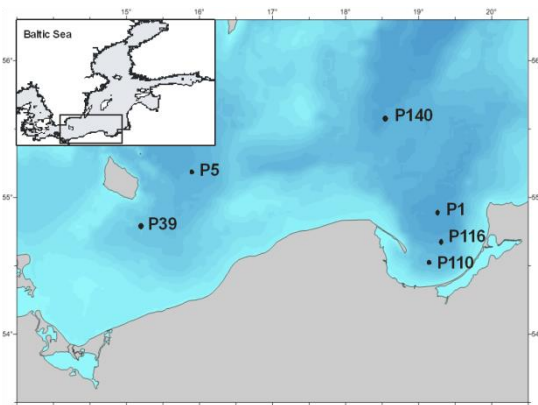
M. Suplińska¹, T. Zalewska², A. Adamczyk¹

¹ CLOR, Warszawa ² IMGW-BIP Oddział Morski, Gdynia

Wprowadzenie

Badania obejmują oznaczanie substancji promieniotwórczych, w trzech komponentach środowiska morskiego: w wodzie, osadach dennych i organizmach żywych (ryby) pochodzących z południowego rejonu Bałtyku. 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 i ^{226}Ra w wodzie przeprowadzono w próbkach z warstwy powierzchniowej i przydennej z ustalonych miejsc poboru próbek (Rysunek 1). W osadach dennych ^{137}Cs i ^{40}K oznaczano w stratyfikowanych próbkach rdzeniowych pobranych 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 zbiorczych z 6 lokalizacji. W rybach ^{137}Cs , ^{40}K i ^{226}Ra oznaczono w dorszu, śledziu, szprocie i storni (22 próbki).



Rysunek 1. Miejsca poboru próbek wody i osadów dennych.

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 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$.

Wyniki

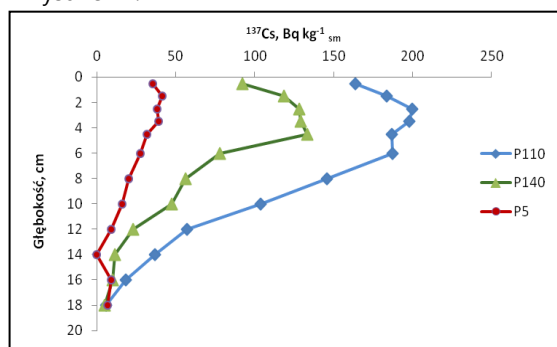
Woda

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie powierzchniowej z 6 lokalizacji południowego Bałtyku wynosiło $21,3 \pm 2,2 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (zakres $17,8 \div 24,5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). Najniższa wartość charakteryzowała stację zlokalizowaną w Zatoce Gdańskiej (P110) na profilu ujścia Wisły, gdzie obserwuje się rozcieńczający wpływ wód rzecznych. We wszystkich lokalizacjach stężenia ^{137}Cs w wodzie powierzchniowej były niższe niż w roku ubiegłym [1], co jest zgodne z wieloletnim trendem. Średnie stężenia ^{137}Cs w wodach przydennej – $17,6 \pm 2,8 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ – było mniejsze od obserwowanego na powierzchni, a najmniejszą wartość – $14,3 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ określono w Głębi Bornholmskiej (P5). 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 $2152 \div 2730 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. W wodach przydennej stężenia ^{40}K były wyższe i wzrastały wraz z zasoleniem, obejmując zakres $3636 \div 5814 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Stężenia promieniotwórcze ^{226}Ra w południowej części Morza Bałtyckiego były

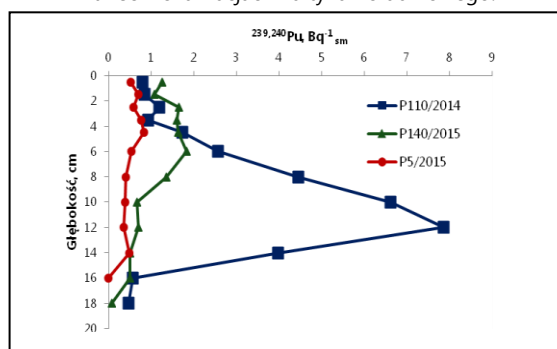
wyrównane w wodzie powierzchniowej i mieściły się w zakresie $3,26 \div 3,63 \text{ Bq m}^{-3}$. W wodzie przydennej zaobserwowano większe różnice w stężeniach ^{226}Ra niż w wodzie z powierzchni, a ich zakres wynosił $3,44 \div 5,30 \text{ Bq m}^{-3}$.

Osady denne

Wyższe stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs obserwowano w górnych warstwach osadów, analogicznie jak w latach ubiegłych obserwuje się również różnice w jego stężeniach związane z lokalizacją [3, 4]. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w warstwach od 0 do 5 cm w Zatoce Gdańskiej (P110 i P116) mieściły się w zakresie od $123 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ do $212 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ natomiast w rejonie Basenu Bornholmskiego (P5 i P39) stężenia te były w zakresie od $31,8 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ do $66,1 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$. Stężenia ^{137}Cs zmniejszają się w głąb profili osadowych osiągając wartości pojedynczych Bq. Rozmieszczenie pionowe stężeń ^{137}Cs w osadach dennych w wybranych trzech stacjach przedstawia Rysunek 2.



Rysunek 2. Rozmieszczenie ^{137}Cs w głąb osadów dennych w trzech lokalizacjach Bałtyku Południowego.



Rysunek 3. Rozmieszczenie $^{239,240}\text{Pu}$ w głąb osadów dennych w trzech lokalizacjach Bałtyku Południowego

Oznaczenia izotopów plutonu w osadach dennych wykonywane są w cyklu trzyletnim. W 2015 r. przeprowadzono je w Basenie Gotlandzkim (P140) i Głębi Bornholmskiej (P5).

Stężenia promieniotwórcze plutonu w tych lokalizacjach były mniejsze niż w Basenie Gdańskim (P110, P1) [5]. Stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w P140 w warstwach od 0 do 7 cm wzrastały od $1,09 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ do $1,82 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ (Rysunek 3), a po osiągniętym maksimum, w warstwie 5-7cm, malały aż do $0,07 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ w najgłębszej warstwie. Stężenia ^{238}Pu w P140 były z zakresu od $0,019 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ do $0,075 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$, a poniżej 13 cm były poniżej granicy oznaczalności. W Głębi Bornholmskiej (P5) obserwowano jeszcze niższe stężenia $^{239,240}\text{Pu}$, a jego maksymalna wartość określona w warstwie 4-5 cm wynosiła $0,84 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$. Stężenia ^{238}Pu były w zakresie $0,008 \div 0,025 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$. Stosunek ^{238}Pu do $^{239,240}\text{Pu}$ w obu lokalizacjach wynosił średnio $0,031 \pm 0,010$, był więc typowy dla opadu w okresie próbnych wybuchów jądrowych.

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w osadach dennych były w zakresie $2,87 \div 3,44 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ (warstwa 0 – 19 cm). Małe różnice w stężeniach ^{90}Sr pomiędzy lokalizacjami wynikają z tego, że jego głównym źródłem (81%) był opad promieniotwórczy po próbnych wybuchach jądrowych, a skażenia te były na półkuli północnej równomierne. [6]. Stężenia ^{40}K były w zakresie $672 \div 1016 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{sm}}$ i zależały głównie od ilości substancji organicznych oraz składu granulometrycznego osadu.

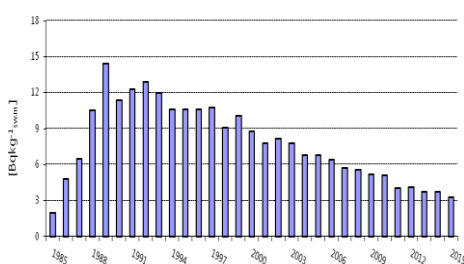
Ryby

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 - $3,85 \pm 0,50 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, a najniższe dla śledzia - $2,97 \pm 0,27 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Stężenia ^{226}Ra w rybach było bardziej zróżnicowane, ale najwyższe określono również w dorszu - $91 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$, a najniższe w śledziu - $27 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Średnie stężenia ^{137}Cs wyliczone dla czterech gatunków ryb bałtyckich w roku 2015 wynosi $3,28 \pm 0,40 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{św.m.}}$. Stężenie to maleje w czasie (Rysunek 4), ale jest nadal prawie dwa razy wyższe niż przed awarią w Czarnobylu [8].

Tabela 1. Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{226}Ra w mięsie ryb w roku 2015.

Gatunek ryb (ogółem sztuk)	Masy próbek [g]	^{137}Cs [Bq·kg ⁻¹ _{św.m.}]	^{40}K [Bq·kg ⁻¹ _{św.m.}]	^{226}Ra [Bq·kg ⁻¹ _{św.m.}]
Szprot (279)	510 - 600	3,09 ± 0,20	111,1 ± 6,2	0,067 ± 0,003
Śledź (109)	500 - 550	2,97 ± 0,27	117,4 ± 8,7	0,027 ± 0,003
Dorsz (30)	500 - 670	3,85 ± 0,50	115,8 ± 3,1	0,093 ± 0,008
Stornia (33)	500 - 505	3,20 ± 0,80	91,9 ± 11,0	0,052 ± 0,003



Rysunek 4. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w rybach bałtyckich w latach 1985-2015

Wnioski

Zgodnie z wieloletnim trendem we wszystkich lokalizacjach stężenia ^{137}Cs w wodzie powierzchniowej były niższe od obserwowanych w roku poprzednim. Najniższe stężenia zaobserwowano w P110 (Zatoka Gdańska) dla stacji zlokalizowanej na profilu ujścia Wisły, gdzie obserwuje się rozcieńczający wpływ wód rzecznych. Stężenia ^{137}Cs w wodach przydennych były mniejsze od obserwowanych na powierzchni. Taka charakterystyka związana jest bezpośrednio z wpływem silnie zasolonych wód z Morza Północnego, mniej skażonych ^{137}Cs niż wody bałtyckie.

Rozmieszczenie ^{137}Cs oraz izotopów plutonu w głąb osadów dennych potwierdza, że w rejonie Bałtyku Południowego nie obserwuje się nowych źródeł skażeń promieniotwórczych, a głównymi źródłami są opad po awarii czarnobylskiej (^{137}Cs) oraz próbne wybuchy jądrowe (izotopy plutonu).

Skażenie osadów dennych na obszarze Bałtyku Południowego jest nierównomierne, co związane jest z nierównomiernym skażeniem środowiska Morza Bałtyckiego wskutek awarii reaktora w Czarnobylu, różną szybkością sedymentacji oraz

różnymi właściwościami osadów w poszczególnych rejonach. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i izotopów plutonu były większe w Basenie Gdańskim niż w Basenie Bornholmskim. Niewielki różnicę obserwuje się jedynie w rozmieszczeniu przestrzennym ^{90}Sr .

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w rybach bałtyckich zmniejszyło się 4-krotnie w stosunku do maksymalnego obserwowanego w roku 1989, ale jest wciąż prawie dwa razy wyższe niż przed awarią czarnobylską. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{226}Ra w rybach zależą od ich gatunku i są związane ze sposobem odżywiania się ryb.

Finansowanie

Praca realizowana zgodnie z umową z PAA Nr 26/OR/2015/96.

Literatura:

- [1] Zalewska T., Apanel A., Saniewski M. ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Polish economic zone (seawater and fish), in 2014 MORS EG 5- 2015 3-5 Oulu, Finland, 19-21 May 2015.
- [2] IAE-TECDOC-1426. (2005) Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. 122-138, IAEA
- [3] Suplińska M, Pietrzak-Flis Z., (2008), Sedimentation rates and dating in bottom sediments in the Southern Baltic Sea region. Nukleonika 53, S105-S111.
- [4] 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
- [5] Suplińska M., Rubel B., Adamczyk A. Monitoring of radioactive contamination of bottom sediments and fish in the Southern Baltic Sea in 2014, MORS EG 5-2015 3-2 Oulu, Finland, 19-21 May 2015.
- [6] Lüning M. et al. (2009) Sources of radioactive substances in the Baltic Sea, HELCOM 2009. Baltic Sea Environ. Proc 117:9-54
- [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.

Utrzymanie systemu zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych

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

Praca pt. „Utrzymanie Systemu Zarządzania w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych” była realizowana w 2015 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 20 lutego 2015 r. w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych odbył się audit zewnętrzny przeprowadzony przez ekspertów Polskiego Centrum Akredytacji. Podczas oceny audytorzy stwierdzili, że Laboratorium utrzymuje kompetencje do wykonywania badań wszystkimi metodami badawczymi objętymi zakresem akredytacji. Audytorzy nie stwierdzili żadnych niezgodności. W Raporcie z oceny spisano jedno spostrzeżenie, audytorzy wskazali także silne strony Laboratorium oraz obszary do doskonalenia systemu zarządzania. Uwagi audytorów zostały wnikliwie przeanalizowane, zaplanowano i zrealizowano działania zapobiegawcze do spisanego spostrzeżenia.

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

W związku z doskonaleniem Systemu Zarządzania Laboratorium, uwagami audytorów PCA oraz własnymi spostrzeżeniami z przeglądu dokumentów w 2015 roku opracowano i wdrożono nowe wydanie procedury ogólnej QPO 2 „Dokumentowanie wyników badań” – wyd. 4 z dn. 23.11.2015 r. oraz wprowadzono aktualizacje w Księdze Jakości i procedurze ogólnej QPO 4 „Współpraca z klientem”. Opracowane zostały nowe formularze: QD 2.5 i QD 2.6 „Sprawozdania z Badań – wersja angielska”, QD 2.7 „Pismo Przewodnie – wersja angielska”, QD 4.5 „Zamówienie”, QD 4.6 „Oferta”.

W 2015r. w Laboratorium odbyły się cztery szkolenia wewnętrzne: zgodnie z „Planem szkoleń w roku 2015” oraz wynikające ze zmian wprowadzonych w dokumentacji systemu zarządzania. Pracownicy Laboratorium wzięli także udział w 4 szkoleniach zewnętrznych oraz w 3 międzynarodowych spotkaniach.

W 2015 r. Laboratorium wzięło udział w dwóch międzynarodowych badaniach biegłości:

- IAEA-TEL-2015-04, którego przedmiotem było oznaczanie stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{22}Na , ^{65}Zn i ^{40}K w próbkach wody i gleby – wg procedury QPB 1 oraz $^{239+240}\text{Pu}$ w próbkach gleby – wg procedury QPB 4;

- PROCOARAD 2015, którego przedmiotem było oznaczanie stężenia promieniotwórczego ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{22}Na i ^{40}K w próbkach moczu – wg procedury QPB 1.

Zgodnie z Planem zapewnienia jakości wyników badań na rok 2015 wykonano także:

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

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

Realizując Program auditów wewnętrznych na rok 2015 w Laboratorium Analiz Radiochemicznych i Spektrometrycznych przeprowadzone zostały dwa audyty wewnętrzne. W dniach 16 - 17 września 2015r. odbył się audyt wewnętrzny nr 1/2015 dotyczący wymagań ogólnych systemu zarządzania. W dniach 24 – 25 września 2015r. odbył się audyt wewnętrzny nr 2/2015 dotyczący obszaru technicznego systemu zarządzania. Audyty wewnętrzne przeprowadzone zostały bardzo wnikliwie. Podczas audytów audytor nie stwierdził niezgodności. 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 Mix gamma (59,5÷1836 keV). W akredytowanych Laboratoriach Wzorcujących,

zapewniających spójność pomiarową, wykonano wzorcowania wagi AXIS B2000I, termometru szklanego cieczowego, termometru cyfrowego z czujnikiem, wzorców masy 1 g, 10 g, odważników kalibracyjnych 100 g, 200 g oraz termohigrometru. 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

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

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

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

Gdzie:

D_i – jest dawką skuteczną od pojedynczego izotopu,

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

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

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

T – jest to czas dla 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.

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 Sanitarно-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

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.

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

Izotop	Okres połowicznego rozpadu	Wartość e(g) w [Sv·Bq ⁻¹] dla grupy wiekowej g:					
		≤1 rok	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	1,61·10 ⁻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 ⁻¹]	5,2	6,5	12,2	17,2	21,4	22,2

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

Radionuklid	Stężenie w powietrzu [μBq·m ⁻³]	Zakres	Miejscowość i okres wystąpienia maksymalnego stężenia
¹³⁷ Cs	0,91±0,08	<0,08 – 28,47	Łódź, 24.08 – 31.08
¹³¹ I	0,54±0,02	<0,02 – <5,99	Łódź, 26.10 – 02.11
⁷ Be	3084±63	531 – 11082	Katowice, 10.08 – 17.08
⁴⁰ K	15,2±0,4	1,8 – 80,4	Białystok, 12.10 – 19.10
²¹⁰ Pb	436±11	74 – 1997	Zielona Góra, 02.11 – 09.11
²²⁶ Ra	6,2±0,3	<1,2 – <56,6	Kraków, 02.11 – 09.11
²²⁸ Ra	1,2±0,1	<0,2 – <10,6	Kraków, 02.11 – 09.11

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.

Tabela 4. Wartości rocznej dawki skutecznej dla różnych grup wiekowych od wchłonięcia radionuklidów promieniotwórczych drogą oddechową w miejscu lokalizacji stacji.

Lokalizacja stacji ASS-500	Grupy wiekowe					
	≤1 rok	1÷2 lat	2÷7 lat	7÷12 lat	12÷17 lat	>17 lat
Warszawa	3,931	3,053	2,994	3,886	4,487	3,239
Białystok	4,123	3,195	3,122	4,072	4,702	3,388
Gdynia	1,645	1,280	1,259	1,628	1,880	1,359
Katowice	4,288	3,321	3,241	4,233	4,888	3,520
Kraków	5,366	4,241	4,261	5,353	6,173	4,511
Lublin	4,869	3,783	3,711	4,815	5,559	4,013
Łódź	3,257	2,530	2,480	3,220	3,718	2,683
Sanok	4,864	3,767	3,678	4,802	5,546	3,994
Szczecin	3,140	2,439	2,391	3,105	3,585	2,587
Toruń	4,086	3,171	3,104	4,038	4,663	3,363
Wrocław	4,087	3,180	3,125	4,044	4,669	3,374
Zielona Góra	4,874	3,782	3,703	4,817	5,562	4,012

Wnioski

Dawki skuteczne otrzymane drogą oddechową zmieniały się w zakresie od 1,259 μSv w ciągu roku dla dzieci w wieku 7 – 12 lat zamieszkałego w Gdyni do wartości 6,173 μSv dla młodzieży w przedziale wiekowym 12 – 17 lat.

Maksymalne dawka skuteczna została skalkulowana dla mieszkańców Krakowa.

Finansowanie

Praca była prowadzona na podstawie Umowy podpisanej z Państwową Agencją Atomistyki.

Literatura

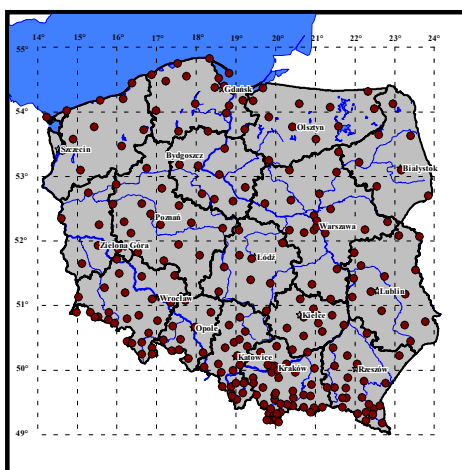
- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz.U. nr 20/2005, poz. 168).
- [2] Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994.

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

K. Isajenko, B. Piotrowska

Wprowadzenie

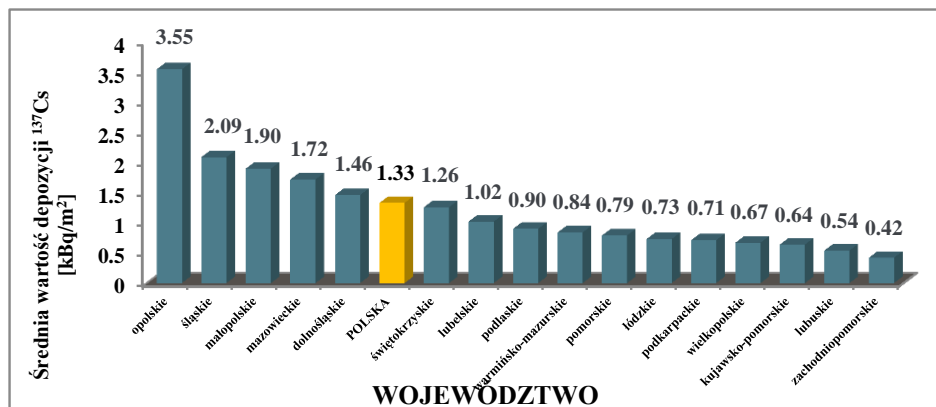
Badania skażeń promieniotwórczych gleby prowadzone są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w Polsce od roku 1988. Finansowane są one ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Próbkę gleby do pomiarów pobiera się w cyklu dwuletnim w sieci stacji i posterunków meteorologicznych 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 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 naczyniach Marinelli) i następnie zmierzone. W próbkach zostały określone stężenia cezu-137 (przeliczone następnie na depozycję tego izotopu na powierzchnię gleby) oraz radionuklidów naturalnych radu-226, aktynu-228 i potasu-40 za pomocą analizy metodą wysokorozdzielczej spektrometrii promieniowania gamma. Czas każdego pomiaru wynosił 80000 sekund.



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

Pomiary zawartości radionuklidów w glebie są wykonywane przy użyciu spektrometrów z detektorami półprzewodnikowymi HPGe, umieszczonymi w niskotłowych ołowianych domkach osłonnych.

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 $8,62 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Lądek Zdrój – woj. dolnośląskie).

Średnie wartości stężeń naturalnych radionuklidów w glebach w Polsce wynoszą:

- dla radu ^{226}Ra – $31,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,
- dla aktynu ^{228}Ac – $22,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,
- dla potasu ^{40}K – $390 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,

i są niższe od wartości średnich stężeń tych radionuklidów na świecie wynoszących odpowiednio 33, 45 i $420 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ [1].

Wnioski

Najwyższe stężenia ^{226}Ra , ^{228}Ac oraz ^{40}K zmierzono w południowych częściach Polski – jest to związane ze strukturą geologiczną naszego kraju. Dla przykładu w próbce pobranej w Szklarskiej Porębie (woj. dolnośląskie) stężenia tych radionuklidów wynoszą odpowiednio: $128,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla ^{226}Ra , $91,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla ^{228}Ac oraz $1065 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla ^{40}K .

Literatura

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

Pomiary wielkości uwolnień substancji promieniotwórczych do powietrza w okolicy obiektu jądrowego w Świerku

K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz

Wprowadzenie

W ramach pracy w otoczeniu Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku zostały pobrane aerozole atmosferyczne (4 razy), jod w postaci gazowej (4 razy) oraz gazy szlachetne (1 raz). Aerozole oraz jod były mierzone w Zakładzie Dozymetrii CLOR, natomiast próbka gazów szlachetnych została pomierzona w Instytucie BfS we Freiburgu (Niemcy).

Według zawartej umowy, w pobranych próbkach należało określić stężenia promieniotwórcze następujących radionuklidów:

- w próbkach aerozoli atmosferycznych: ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ac , ^7Be , ^{137}Cs oraz ^{134}Cs , ^{131}I i ^{60}Co ;
- w próbkach jodu gazowego: stężenia następujących izotopów jodu: ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I oraz ^{135}I ;
- w próbce gazów szlachetnych: stężenie izotopu ^{85}Kr .

We wszystkich pomiarach należało dla każdego radionuklidu określić jego stężenie promieniotwórcze, niepewność określenia tego stężenia oraz wartość minimalnego progu detekcji LLD (wartość LLD powinna być określona w każdym przypadku, bez względu na to czy dany radionuklid został zarejestrowany na mierzalnym poziomie czy nie).

Dodatkowo dla każdego poboru próbek należało określić dane meteorologiczne (takie jak kierunek i siła wiatru, ciśnienie, temperatura, wilgotność, opady, zachmurzenie) oraz warunki techniczne poboru (jak czas poboru, wielkość pobranej próbki, typ filtra, na który została pobierana próbka, prędkość przepływu powietrza).

Wszystkie pobory staraliśmy się prowadzić w czasie cykli pracy reaktora „MARIA” na zwiększonej mocy (tzw. cykl molibdenowy), o ile taki cykl był planowany. Niestety, jak widać z przedstawionych wyników, nie zawsze udało się nam wykonać pobór w takim terminie (pomimo, że mieliśmy przekazany przez PAA harmonogram pracy reaktora).

Wyniki

W pomiarach aerozoli atmosferycznych, z izotopów promieniotwórczych pochodzenia sztucznego, udało się określić w lipcowym poborze jod ^{131}I na poziomie $4,00 \pm 1,28 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Poza tym kilkakrotnie zarejestrowano obecność ^{203}Hg na poziomie kilku – kilkunastu $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Zarejestrowana rtęć może pochodzić z POLATOMU, gdyż jest to powszechnie stosowany radionuklid do produkcji źródeł kalibracyjnych (ze względu na to, że jest to izotop monoenergetyczny). Rejestrowano także ^{95}Nb , który może pochodzić z reaktora.

Przy pomiarach gazowej postaci jodu CLOR jest w stanie zmierzyć tylko izotop ^{131}I (pomiar czerwcowy i lipcowy), inne izotopy są poniżej progów wykrywalności metody pomiarowej, które są dość wysokie (dla ^{132}I na poziomie 500 – 620 $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, dla ^{133}I na poziomie 650 – 1250 $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, a dla ^{135}I aż na poziomie kilkudziesięciu $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$). Możliwe więc będzie określenie tylko bardzo dużych stężeń tych izotopów (o ile takie wystąpią). W pobranym powietrzu udało się dwukrotnie określić dość wysokie stężenia ^{131}I w postaci frakcji gazowej. Było to w poborze czerwcowym (prawie 2 $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$) i lipcowym (prawie 3,5 $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$).

Tabela 1. Przykładowe wyniki pomiarów aerozoli atmosferycznych.

Lp.	Data poboru (Początek pomiaru) czas pomiaru	Izotop	Stężenie promieniotwórcze [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Niepewność [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	LLD [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]
1.	30.06.2015 02.07.2015 g. 09:18) 80 000 sekund	^{134}Cs	<2,20		2,20
		^{137}Cs	<1,68		1,68
		^{131}I	<2,46		2,46
		^{60}Co	<2,27		2,27
		^{40}K	<19,4		19,4
		^{226}Ra	<31,2		31,2
		^{228}Ac	4,6	3,2	4,1
		^7Be	2475	60	13
		^{203}Hg	7,93	0,80	1,27
		2.	14.07.2015 15.07.2015 g. 10:18) 80 000 sekund	^{134}Cs	<3,46
^{137}Cs	<2,53				2,53
^{131}I	4,00			1,28	2,14
^{60}Co	<3,55				3,55
^{40}K	<91,9				91,9
^{226}Ra	<57,5				57,5
^{228}Ac	<9,20				9,20
^7Be	1976			60	23
^{95}Nb	6,38			1,68	2,09

Tabela 2. Przykładowe wyniki pomiarów jodu w postaci gazowej.

Lp.	Data poboru (Początek pomiaru) czas pomiaru	Izotop jodu	Stężenie promieniotwórcze [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Niepewność [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	LLD [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]
1.	30.06.2015 01.07.2015 g. 11:19) 80 000 sekund	^{131}I	1945,55	197,88	250
		^{132}I	<602		602
		^{133}I	<1230		1230
		^{135}I	<57,6 mBq·m ⁻³		57,6 mBq·m ⁻³
2.	14.07.2015 15.07.2015 g. 10:13) 80 000 sekund	^{131}I	3471,86	243,89	297
		^{132}I	<590		590
		^{133}I	<1180		1180
		^{135}I	<55,8 mBq·m ⁻³		55,8 mBq·m ⁻³

W gazach szlachetnych pobranych we wrześniu podwykonawcy w BfS Freiburg (Niemcy) określili stężenie ^{85}Kr na poziomie $1,6 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ($\pm 3,2\%$), przy progu detekcji wynoszącym $0,046 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Wg informacji, jaką otrzymaliśmy od Niemców, wartość ta jest na poziomie tła panującego w Europie Środkowej wynoszącego ok. $1,5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Jednak dla w pełni miarodajnego określenia stężenia ^{85}Kr wymagany jest tygodniowy pobór powietrza albo pobór krótszy (ale nie mniej niż 5 dni) z większym przepływem (zwiększonym do wartości $0,060 - 0,075 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$).

Wnioski

Badania te powinny być kontynuowane, gdyż pozwalają na uzyskanie informacji, jakie rzeczywiście izotopy w postaci gazowej

i aerozolowej są obecne w środowisku otaczającym reaktor Maria. Należałoby tylko dopracować przekazywanie informacji o okresach, w których powinny być prowadzone takie badania (uściślić rzeczywiste terminy pracy reaktora), gdyż jak widać z przedstawionego opracowania, prowadzenie tego typu badań poza rzeczywistymi okresami, w których reaktor pracuje, nie pozwala na rzeczywistą kontrolę uwolnień z reaktora. Są to pierwsze prowadzone w Polsce pomiary gazów szlachetnych, pierwszego znacznika wystąpienia skażeń spowodowanych awarią. Jest to podstawowy element monitoringu środowiska w wielu krajach.

Finansowanie

Praca była prowadzona zgodnie z Umową zawartą z Państwową Agencją Atomistyki.

Analiza i ocena zmian radioaktywności surowców i materiałów budowlanych stosowanych w Polsce w latach 1980 – 2015

B. Piotrowska, K. Isajenko, I. Kwiatkowska, O. Stawarz, K. Wojtkowski,
A. Kiełbasińska, 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. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{228}Th 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 (Dz.U. Nr 4 poz. 29).*

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 ^{226}Ra 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 2015 roku Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej wykonało badania i opracowało opinie dotyczące zastosowania materiałów i surowców budowlanych dla 66 próbek nadesłanych z różnych regionów kraju. Były to m.in.

mieszaniny popiołowo-żuźlowe (36 próbek), kruszywo naturalne (8 próbek), żużel (12 próbek), pozostałe 10 próbek – różne.

Od 1980 roku do końca 2015 roku do ogólnopolskiej bazy danych surowców i materiałów budowlanych zostało wprowadzonych danych dla 45180 próbek. W samym 2015 roku wprowadzono do bazy wyniki dla 870 próbek, w tym:

- wyniki surowców budowlanych pochodzenia naturalnego: 86,
- wyniki surowców budowlanych pochodzenia przemysłowego: 636,
- wyniki materiałów budowlanych: 148.

W 2015 roku zarejestrowano większą liczbę przekroczeń wartości granicznych wyznaczanych wskaźników aktywności $f_1=1,2$ lub $f_2=240 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ określonych dla budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej w porównaniu do roku ubiegłego. Przekroczenia odnotowano dla 31,9% partii popiołów lotnych oraz 71,9% partii popiołów bez odsiarczania spalin.

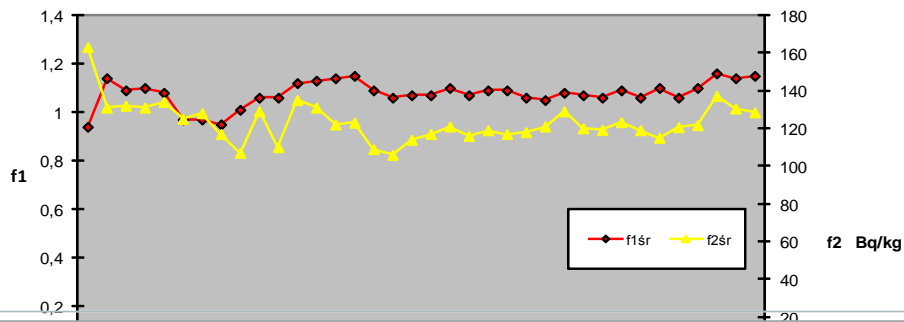
Na rysunkach 1 – 5 przedstawiono zmiany średniej wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 dla kilku wybranych surowców i materiałów budowlanych: Rysunek 1 – popioły, Rysunek 2 – żużle kotłowe, Rysunek 3 – cementy, Rysunek 4 – betony, Rysunek 5 – ceramika budowlana, w latach 1980 – 2015.

Wnioski

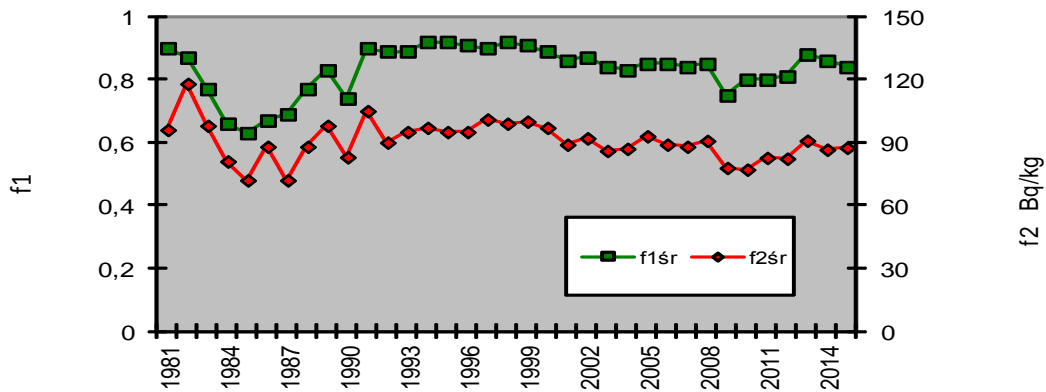
Analizując średnie wartości wskaźników aktywności f_1 oraz f_2 z całej bazy określonych dla budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej w latach 1980-2015 należy stwierdzić, że:

- od kilku lat utrzymuje się stała tendencja wartości średnich wyznaczanych wskaźników aktywności f_1 i f_2 dla surowców i materiałów budowlanych,

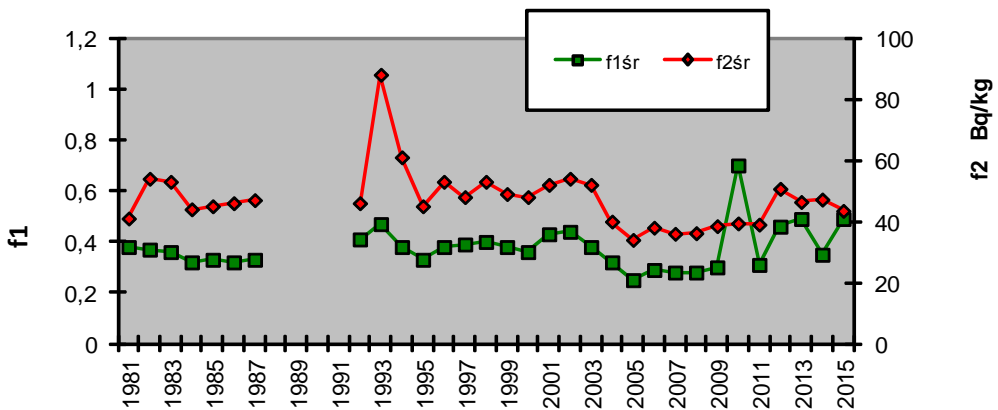
- w 2015 roku 100% surowców pochodzenia naturalnego mogło mieć zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym (podobnie jak w latach poprzednich),
- w przypadku surowców pochodzenia przemysłowego w 2015 roku słabymi wskaźnikami aktywności pod względem dopuszczalności ich do zastosowania w budownictwie mieszkaniowym charakteryzowały się popioły lotne i popioły bez odsiarczenia spalin,
- z gotowych materiałów budowlanych wyprodukowanych w 2015 roku 100% cementu i betonu komórkowego została dopuszczona do zastosowania w budownictwie mieszkaniowym.



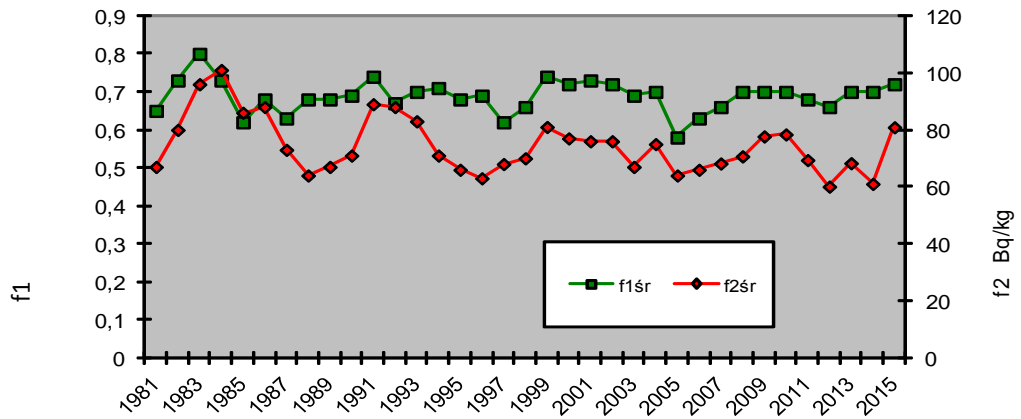
Ryc. 2 Wartości $f_1(\bar{r})$ i $f_2(\bar{r})$ dla żużli kotłowych
Rysunek 1. Średnie wartości f_1 oraz f_2 dla popiołów w latach 1980-2015.



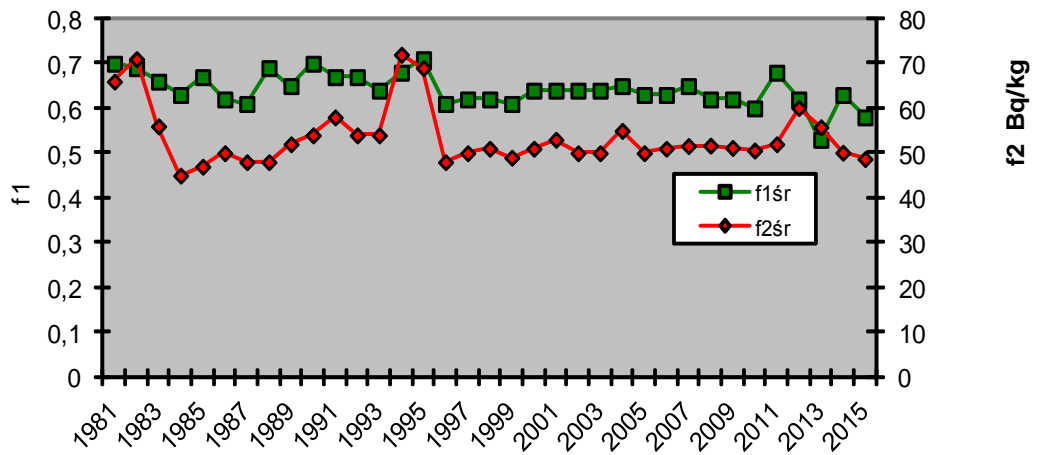
Rysunek 2. Średnie wartości f_1 oraz f_2 dla żużli kotłowych w latach 1980-2015.



Rysunek 3. Średnie wartości f_1 oraz f_2 dla cementów w latach 1980-2015.



Rysunek 4. Średnie wartości f_1 oraz f_2 dla betonów komórkowych w latach 1980-2015.



Rysunek 5. Średnie wartości f_1 oraz f_2 dla ceramiki budowlanej w latach 1980-2015.

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 2015 roku skupiła się na:

- wykonaniu badań radioaktywności gamma wód źródlanych pobranych jeden raz w roku w trzech punktach pomiarowych umożliwiających wykrycie sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych o zawartości $> 0,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$, pomiarów całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs) i trytu (^3H) $> 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ 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 $1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ - wykonanie pomiaru zawartości potasu (^{40}K) oraz określeniu zawartości trytu (^3H) $> 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- 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 $> 0,7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i naturalnych $> 2,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 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 $> 1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. i naturalnych $> 20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 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, umożliwiającą określenie stężenia tych radionuklidów powyżej $5 \mu\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;

Ocena sytuacji radiacyjnej w otoczeniu Ośrodka w Świerku w 2015 roku skupiła się na:

- badaniach radioaktywności gamma umożliwiających wykrycie sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych wody z rzeki Świder o zawartości $> 0,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ (pobór z dwóch punktów dwa razy w roku) oraz pomiarze całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs), strontu (^{90}Sr) i trytu (^3H) $> 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- 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) $> 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- badaniach promieniowania gamma umożliwiających wykrycie sztucznych izotopów w wodzie studziennej pobranych z dwóch punktów dwa razy w roku o zawartości $> 0,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ oraz pomiarach całkowitej zawartości cezu (^{134}Cs i ^{137}Cs) i zawartości trytu (^3H) w każdej próbce $> 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ a także pomiarach zawartości strontu (^{90}Sr) $> 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ 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: $> 1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ – dla trawy s.m.; $> 0,7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ – dla gleby s.m.;
 - naturalnych: $> 20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ – dla trawy s.m.; $> 2,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.

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 ^{40}K o zawartości powyżej $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Największą zawartość trytu, wynoszącą $2,0\pm 0,3 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$, zarejestrowano w próbce wody oznaczonej jako Z-3.

Największą zawartość sumy cezów: ^{134}Cs i ^{137}Cs , wynoszącą $6,62\pm 0,71 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$, zarejestrowano w próbce wody źródlanej oznaczonej jako Z-3.

Stężenie aktywności ^{90}Sr w próbce zbiorczej (otrzymanej z połączenia próbek Z-1, Z-2 oraz Z-3 w jedną próbkę) wyniosło $3,14\pm 0,54 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$. Jest to normalny poziom stężenia aktywności strontu rejestrowany w wodach rzecznych w Polsce.

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): $13,5\pm 2,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$,
 - P-2 (w poborze jesiennym): $129,1\pm 19,4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- największą całkowitą radioaktywność beta w próbce oznaczonej jako:
 - P-1 (w poborze letnim): $0,17\pm 0,03 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
 - P-6 (w poborze jesiennym): $0,13\pm 0,02 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Gleba

Badania spektrometryczne promieniowania gamma próbek gleby z otoczenia KSOP w Różanie wykazały, jedynie obecność ^{137}Cs ze sztucznych izotopów. Największe jego stężenie w poborze majowym zmierzono w próbce pobranej w punkcie D-1. Stężenie to wyniosło $51,3\pm 0,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. W poborze wrześniowym najwyższe stężenie, wynoszące $32,4\pm 0,6 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ zostało zarejestrowane w próbce pobranej w punkcie D-2.

Trawa

W analizie widm promieniowania gamma próbek trawy pobranych z otoczenia KSOP w Różanie zarejestrowano tylko ^{137}Cs z izotopów

promieniotwórczych pochodzenia sztucznego. Jego stężenia zawierały się w granicach od wartości $< 0,20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (dla próbki pobranej w maju w punkcie D-5) do $26,3\pm 0,6 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (dla próbki pobranej w maju w punkcie D-2).

Aerozole atmosferyczne

W analizie widm promieniowania gamma aerozoli atmosferycznych zebranych na filtrach w przeliczeniu na dzień poboru próbki w zakresie energii od 40 do 2000 keV nie został zmierzony żaden izotop sztuczny promieniotwórczy na poziomie wyższym od limitu detekcji. Wartości stężeń aktywności izotopów zidentyfikowanych w obydwu próbkach (Ro-1531 oraz Ro-1544) tj.: ^7Be i ^{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 $66,10 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie D-5 (w pomiarach przeprowadzonych we wrześniu) do wartości $80,54 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie D-1 (w pomiarach przeprowadzonych we wrześniu). Średnia wartość mocy dawki określona dla otoczenia KSOP w Różanie wyniosła:

- $73,96 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ dla pomiarów przeprowadzonych w maju 2015 r.
- $73,01 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ dla pomiarów przeprowadzonych we wrześniu 2015 r.

Otoczenie Ośrodka w Świerku

Woda

W badaniach otoczenia Ośrodka w Świerku, po przeprowadzeniu analizy spektrometrycznej promieniowania gamma w próbkach wody (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 $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

W wodzie pobranej z oczyszczalni ścieków w Otwocku (próbki WOS) stwierdzono obecność izotopu gamma promieniotwórczego pochodzenia sztucznego o stężeniu aktywności powyżej $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$, dla próbki pobranej we wrześniu.

Maksymalne stężenie ^{131}I zarejestrowano w próbce WOS (próbka pobrana w oczyszczalni

ścieków w Otwocku we wrześniu 2015 r.). Wynosiło ono $0,454 \pm 0,007 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Badania zawartości trytu w próbkach wody studziennej i wody z rzeki Świder metodą polegającą na wzbogaceniu trytu metodą elektrolityczną i pomiary aktywności beta w spektrometrze ciekłoscyntylacyjnym wykazały obecność trytu na niskim poziomie. Maksymalne stężenie trytu w wodzie pobranej z okolic Ośrodka w Świerku zarejestrowano:

- w poborze letnim – w próbce wody studziennej oznaczonej jako G-106. Wartość ta wynosiła $3,7 \pm 0,6 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- w poborze jesiennym – w próbce wody z oczyszczalni ścieków w Otwocku. Wartość ta wynosiła $1,4 \pm 0,2 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Badanie zawartości $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ w próbkach wody metodą polegającą na selektywnej sorpcji cezju na złożu fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu wykazało, że we wszystkich próbkach poziom aktywności cezju jest na niskim poziomie. Największą średnią zawartość $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ zarejestrowano w próbce wody z rzeki Świder, oznaczonej jako WS-1 (pobór letni). Stężenie cezjów w tej próbce wynosiło $10,58 \pm 1,10 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Maksymalne stężenia aktywności cezju $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ w próbkach wody pobranych w okolicy Ośrodka w Świerku zarejestrowano:

- w poborze letnim - w próbce wody z rzeki Świder oznaczonej jako WS-1. Wartość ta wynosiła $10,58 \pm 1,10 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- w poborze jesiennym - w próbce wody studziennej oznaczonej jako G-108. Wartość ta wynosiła $6,00 \pm 0,64 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

W badaniach oznaczeń ^{90}Sr 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 ^{90}Sr , z największą jego zawartością w próbce G-108, wynoszącą $18,82 \pm 3,88 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Gleba

W próbkach gleby z otoczenia Ośrodka w Świerku stwierdzono:

- z izotopów pochodzenia naturalnego – obecność izotopów naturalnych szeregu promieniotwórczych tj. radu-226 i aktynu-228 oraz naturalnie występujący izotop potas-40, o zawartościach powyżej $2,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$,

- wartości stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia naturalnego zawierały się w granicach:

- potas-40: od $121 \pm 2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próbka MD-05) do $330 \pm 8 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próbka MD-03);
- rad-226: od $5,94 \pm 0,36 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próbka MD-01) do $28,8 \pm 0,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próbka MD-02);
- aktyn-228: od $3,28 \pm 0,15 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próbka MD-05) do $16,7 \pm 0,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próbki MD-03);
- z izotopów sztucznych – obecność cezju-137 we wszystkich próbkach, z czego w czterech próbkach stężenie promieniotwórcze było powyżej $0,7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

- maksymalną zawartość cezju-137 o stężeniu $10,3 \pm 0,1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ zawierała próbka MD-02;
- najmniejszą zawartość cezju-137 o stężeniu $0,33 \pm 0,03 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ zawierała próbka MD-04.

Trawa

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

- z izotopów sztucznych – obecność cezju-137 w czterech próbkach;
- maksymalną zawartość cezju-137: $9,86 \pm 0,36 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ w próbce MD-01;
- z izotopów pochodzenia naturalnego – zawartość ^{40}K powyżej $20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ we wszystkich próbkach;
- stężenie promieniotwórcze ^{40}K w trawie (s.m.) zawierało się w granicach od $238 \pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ w próbce MD-05 do $539 \pm 15 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ w próbce MD-01.

Moc dawki ekspozycyjnej

Moc dawki w otoczeniu Ośrodka w Świerku zawierała się w przedziale od $44,9 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie MD-05 do wartości $56,4 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ w punkcie MD-02.

Wnioski

Badania na przestrzeni kilkunastu lat wykazują, że zarówno praca Ośrodka w Świerku jak i obecność Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie nie stwarzają zagrożenia pod względem radiologicznym dla mieszkańców obydwu lokalizacji.

Analiza programów monitoringu radiologicznego środowiska poszczególnych krajów w kontekście energetyki jądrowej

O. Stawarz, K. Isajenko

Celem pracy była analiza programów monitoringu radiologicznego środowiska wybranych krajów europejskich w kontekście energetyki jądrowej. Temat został opracowany na podstawie umowy pomiędzy Prezesem PAA a CLOR nr 37/OR/2015/224 z dnia 3 września 2015 roku.

Praca obejmowała następujące zagadnienia:

1. Przedstawienie charakterystyki i ogólnych założeń monitoringu radiacyjnego wokół elektrowni jądrowych na przykładzie rozwiązań organizacyjnych w wybranych krajach Europy posiadających program energetyki jądrowej (Francja, Hiszpania, Szwajcaria, Belgia, Holandia) z uwzględnieniem stosowanych w każdym z państw standardów i wytycznych międzynarodowych, rozwiązań wykorzystywanych w monitoringu radiacyjnym (monitoring pasywny, aktywny, on-line, off-line, stacjonarny i mobilny, laboratoria i sprzęt pomiarowy), rodzajów analizowanych izotopów promieniotwórczych, próbek środowiskowych i artykułów spożywczych oraz podziału kompetencji pomiędzy operatorem elektrowni jądrowej a instytucjami zewnętrznymi odpowiedzialnymi za ocenę stanu środowiska w kraju.
2. Sformułowanie opinii dotyczących możliwości adaptacji w Polsce poszczególnych rozwiązań zawartych w programach monitoringu radiacyjnego wokół elektrowni jądrowych w wymienionych krajach.

Programy monitoringu radiologicznego środowiska wokół elektrowni jądrowych

Programy monitoringu radiologicznego środowiska wokół elektrowni jądrowych mają na celu przede wszystkim oszacowanie narażenia ludności na promieniowanie, ocenę wpływu obiektu na środowisko, szybkie wykrycie nietypowego wzrostu radioaktywności i zapewnienie wstępnych pomiarów w przypadku uwolnienia substancji

radioaktywnych oraz sprawdzenie zgodności działań licencjobiorców z wymogami prawnymi.

Opracowując program monitoringu radiologicznego środowiska wokół EJ określa się m.in. takie etapy jak: ocena naturalnego promieniowania tła przed budową elektrowni, ocena warunków w otoczeniu obiektu, ustalenie populacji, grup wiekowych, dróg ekspozycji i potencjalnie krytycznych radionuklidów oraz ustanowienie sieci monitorowania dla pomiaru mocy dawki i poboru i analizy próbek środowiskowych.

Każde z omawianych poniżej państw stosuje w odniesieniu do ochrony radiologicznej, bezpieczeństwa jądrowego i monitoringu radiologicznego środowiska własne ustawy, rozporządzenia, czy dekrety, a także dyrektywy europejskie, wytyczne Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i postanowienia Traktatu Euratomu.

Francja

Organem odpowiedzialnym za bezpieczeństwo jądrowe i ochronę przed promieniowaniem jest Urząd Bezpieczeństwa Jądrowego (ASN). Francja posiada 19 elektrowni jądrowych, w których pracuje 58 reaktorów typu PWR. W monitoring radiologiczny zaangażowany jest m.in. Instytut Ochrony Radiologicznej i Bezpieczeństwa Jądrowego (IRSN), który wykorzystuje w tym celu:

- a) ciągłe monitorowanie na miejscu za pomocą niezależnych systemów (sieci zdalnego monitorowania - transmisja wyników na bieżąco):
 - sieć T  leray – 390 monitorów do pomiaru przestrzennej mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu na terenie całego kraju, gęstość sieci zwiększona w promieniu od 10 do 30 km od EJ,

- sieć Hydrotéléray - monitorowanie głównych cieków wodnych, w dół rzeki od obiektów jądrowych do granic państwowych,
 - sieci ciągłego pobierania próbek – np. sieci monitoringu radioaktywności aerozoli atmosferycznych (pomiar próbek w laboratorium),
- b) przetwarzanie i pomiary w laboratorium próbek pobranych z różnych działów środowiska, zarówno w pobliżu, jak i dalej od obiektów mogących odprowadzać radionuklidy.

Licencjodawcy obiektów jądrowych są odpowiedzialni za monitorowanie środowiska wokół obiektów zgodnie z indywidualnymi wymaganiami określającymi czynności i ich częstotliwość, niezależnie od dodatkowych ustaleń dokonanych przez licencjodawców na własny monitoring. Operatorzy odpowiadają za zapewnienie monitorowania ścieków usuwanych z obiektów, wewnątrz i na zewnątrz obiektów jądrowych.

W ramach monitoringu radiologicznego wokół EJ prowadzone są pomiary następujących komponentów środowiska:

- powietrze - stacja ciągłego poboru aerozoli na filtr, stacje ciągłego poboru gazów na adsorbent, detektory mocy dawki (1-5 km od EJ i przy ogrodzeniu) - spektrometria alfa i gamma, całkowita aktywność alfa i beta, stężenie jodu gazowego, ^3H , ^{40}K , ^{14}C ,
 - opady – całkowita aktywność beta, ^3H , spektrometria gamma,
 - wody gruntowe – całkowita aktywność alfa i beta ^3H , ^{40}K ,
 - woda pitna - całkowita aktywność alfa i beta, ^3H , ^{40}K ,
 - gleba – spektrometria gamma, ^{14}C ,
 - trawa - spektrometria gamma, ^3H , ^{14}C , aktywność alfa,
 - uprawy rolne - spektrometria alfa i gamma, ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr ,
 - mleko - spektrometria gamma, ^3H , ^{14}C , ^{40}K , ^{90}Sr .
- Monitoring związany z oceną wpływu ścieków z EJ na środowisko obejmuje następujące pomiary:
- woda – próbki z rzeki powyżej zrzutu ścieków, ze strumieni w pobliżu EJ – aktywność alfa i beta, ^3H , ^{40}K ,

- osady denne, fauna, flora (rzeki w górę i w dół od punktu zrzutu ścieków) – spektrometria gamma, ^3H , ^{14}C ,
 - woda morska – spektrometria alfa i gamma, aktywność beta, ^3H , ^{40}K , ^{90}Sr ,
 - wodorosty, ślimaki, ryby, skorupiaki, mięczaki i małże – spektrometria alfa i gamma, ^{14}C ,
 - osady denne (morze) – spektrometria alfa i gamma, ^{90}Sr ,
 - osady denne (strumienie w pobliżu EJ) – spektrometria gamma, ^3H .
- Ponadto: spektrometria gamma w zbożu, warzywach liściastych i korzeniowych, winie i cydrze oraz ^3H w owocach.

Hiszpania

Instytucją odpowiedzialną za bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną kraju jest Rada Bezpieczeństwa Jądrowego (CSN). Hiszpania posiada 5 elektrowni jądrowych, w których łącznie pracuje 7 reaktorów (PWR i BWR).

System sieci monitorowania środowiska wokół EJ jest zintegrowany przez:

- sieć monitorowania urządzeń towarzyszących – program monitoringu radiologicznego w środowisku obowiązujący dla operatorów obiektów jądrowych (PVRA) oraz niezależne programy kontroli CSN,
- narodową sieć monitoringu radiologicznego środowiska REVIRA - utworzoną i zarządzaną przez CSN.

REVIRA składa się z:

- a) sieci stacji pomiarowych – REM:
 - program monitoringu środowiska wodnego (wody śródlądowe i przybrzeżne)
 - program monitoringu atmosfery i środowiska lądowego
- b) sieci stacji automatycznych do ciągłego pomiaru – REA – pomiar mocy dawki promieniowania gamma w czasie rzeczywistym, detektory typu Geigera-Mullera.

Ponadto istnieją sieci wspólnot autonomicznych oraz Sieć Ostrzegania o Radioaktywności (RAR) Dyrekcji Generalnej Obrony Cywilnej i Sytuacji Kryzysowych Ministerstwa Spraw Wewnętrznych.

Monitoring prowadzony jest w ramach dwóch rodzajów sieci:

- sieć gęsta – stacje pomiarowe rozmieszczone na całym obszarze tak, aby umożliwić ustalenie średniego poziomu aktywności w regionie,
- sieć rzadka (wysokoczuła) – podzbiór sieci gęstej, zawiera w każdym regionie dla każdego rodzaju próbek co najmniej jedno próbkowanie dla danej stacji. W tych punktach są wykonywane bardzo czułe pomiary.

W ramach monitoringu atmosfery i środowiska lądowego (oba rodzaje sieci) wykonywane są pomiary w następujących komponentach środowiska:

- aerozole atmosferyczne – aktywność alfa i beta, spektrometria gamma, ^7Be , ^{90}Sr , ^{137}Cs ,
- powietrze – całkowita aktywność beta, ^{131}I ,
- gleba – aktywność alfa i beta, spektrometria gamma, ^{90}Sr ,
- woda pitna – całkowita aktywność alfa i beta, aktywność pozostałej bety, spektrometria gamma, ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , izotopy naturalne (co 2 lata),
- mleko – spektrometria gamma, ^{90}Sr , ^{137}Cs ,
- dieta (dla jednej osoby przez 5 dni, raz na kwartał) – spektrometria gamma, ^{14}C , ^{90}Sr , ^{137}Cs .

Monitoring środowiska wodnego obejmuje rzeki głównych działów wodnych i wody przybrzeżne Hiszpanii. Istnieje ponad 80 punktów poboru, w tym 2 stacje w ramach sieci rzadkiej. Pobór i analiza próbek wody z rzek odbywa się w sposób ciągły, co miesiąc lub co kwartał. Woda morska pobierana jest z 15 stacji (2 stacje w programie sieci rzadkiej) – 10 mil od brzegu lub w porcie. Pobór i analiza próbek wody morskiej odbywa się raz na kwartał. W próbkach pobranych z sieci gęstej wykonuje się następujące pomiary: aktywność całkowita alfa i beta, aktywność pozostałej bety, oznaczanie ^3H i spektrometria gamma. W próbkach pobranych z sieci wysokoczułej wykonywane są oznaczenia stężenia ^{137}Cs .

Ponadto w wodzie deszczowej, osadach i organizmach wskaźnikowych mierzony jest ^{90}Sr i wykonuje się spektrometrię gamma. W wodach powierzchniowych i gruntowych oznacza się ^3H , całkowitą i pozostałą aktywność beta i gamma emitery. Dla mleka i zboża przeprowadzana jest spektrometria gamma oraz oznacza się ^{90}Sr i ^{131}I .

Próbki mięsa, jaj, ryb, skorupiaków i miodu poddawane są analizie gammaspektrometrycznej.

Sieć automatycznych stacji REA pozwala na bieżący monitoring radioaktywności w powietrzu na terenie kraju (46 stacji). Stacje składają się z automatycznej stacji radiologicznej i automatycznej stacji pogody INM, posiadają oprogramowanie do pomiarów mocy dawki promieniowania gamma, stężenia aktywności alfa, beta, ^{131}I i ^{222}Rn . Istnieje ciągły monitoring pomiarów i alarmów, awaryjny tryb działania oraz automatyczne tworzenie plików, które są wysyłane do europejskiej platformy wymiany danych z sieci automatycznego monitoringu (EURDEP).

Szwajcaria

Dozorem jądrowym w Szwajcarii zajmuje się Federalne Biuro Zdrowia Publicznego (BAG). Jednostką podległą BAG, odpowiedzialną za monitoring radiologiczny elektrowni jądrowych, reaktorów badawczych oraz Krajowego Centralnego Tymczasowego Magazynu Odpadów Promieniotwórczych ZWILAG jest Szwajcarski Federalny Inspektorat Bezpieczeństwa Jądrowego (ENSI). Szwajcaria posiada 4 elektrownie jądrowe, w których pracuje 5 reaktorów.

Sieć Automatycznego Monitoringu Mocy Dawki w Poblżu Obiektów Jądrowych (MADUK nadzorowany przez ENSI) składa się z 4 zależnych sieci, zlokalizowanych w promieniu 6 km od każdej elektrowni. Odczyt mocy dawki (liczniki GM) odbywa się z 57 punktów.

Raporty ENSI zawierają następujące informacje:

- wartości średniej i całkowitej rocznej dawki otrzymanej przez pracowników EJ,
- wartości stężenia gazów szlachetnych, jodu, aerozoli i ^{14}C w powietrzu wylotowym,
- wartości stężenia ^3H i całkowitej aktywności od pozostałych nuklidów w ściekach,
- całkowita dawka roczna (podana za raportem BAG),
- roczne stężenia różnych nuklidów alfa i beta promieniotwórczych w ściekach oraz w powietrzu wylotowym z EJ (za raportem BAG),
- wartości dawek w otoczeniu elektrowni jądrowych – wyniki z sieci MADUK,
- mapy z wynikami pomiarów radiometrycznych mocy dawki (pomiary wykonywane z samolotu).

Narodowe Centrum Ratunkowe (NEOC) posiada sieć monitoringu radioaktywności NADAM (Automatic Dose Alarm and Monitoring Network – 66 stacji), urządzenia pomiarowe do radiometrii powietrznej (wspólne działanie z lotnictwem) oraz przenośne urządzenia pomiarowe. Współpracuje z laboratoriami (np. pomiary próbek) oraz w razie potrzeby mobilizuje Atomowe Punkty Ostrzegawcze AWP (108 punktów - komisariaty, punkty kontroli granicznej, straż pożarna) wyposażone w przenośne urządzenia pomiarowe.

Sekcja Radioaktywności Środowiska (URA) w BAG posiada sieci stacji:

- RADAIR – stacje on-line do pomiaru aerozoli w trybie ciągłym, zlokalizowane głównie wzdłuż granic narodowych, wyposażone w urządzenia do pomiaru promieniowania alfa i beta; sieć składa się z:
 - monitora aerozoli FHT 59 S (11 stacji),
 - monitora FHT 1700 do wykrywania jodu gazowego ^{131}I (dodatkowo w 4 stacjach),
 - monitora spektroskopowego FHT 59 N (1 monitor z filtrem „drop” do monitorowania spektroskopowego, pomiar za pomocą detektora germanowego),
- LUSAN - sieć wielu stacji poboru powietrza i aerozoli, które są częścią programu monitorowania BAG.

Urządzenia pomiarowe URA (o niskiej granicy wykrywalności) do monitoringu powietrza:

- Wysokowydajna Stacja Poboru (HV) – 6 lokalizacji, pobór powietrza na filtr, wymiana filtrów i analiza aerozoli w laboratorium - spektrometria gamma,
- Filtry „Höhenflug” (HFF) w samolotach wojskowych Szwajcarskich Sił Powietrznych - 2 filtry umieszczone w samolotach, pomiar próbek w laboratorium - spektrometria gamma,
- Filtry „Höhenflug” (HFF) w urządzeniach do zbierania aerozoli (FWP) – 8 stacji, zbierany jest tzw. pył z ciągłego poboru aerozoli z powietrza, wymiana i analiza filtrów - spektrometria gamma.

Grupa Aeroradiometrii wykonuje pomiary mocy dawki i stężenia aktywności radionuklidów za pomocą urządzeń znajdujących się na pokładzie helikoptera należącego do Armii Szwajcarskiej. Grupa zajmuje się monitorowaniem elektrowni jądrowych, pomiarem mocy dawki i stężenia aktywności ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th i ^{238}U .

Ponadto dla potrzeb monitoringu radiologicznego wykorzystywane są: pojazdy pomiarowe i zespoły monitorujące (EJ, URA BAG), laboratoria federalne i kantonalne, dwa mobilne laboratoria pomiarowe, radiometria powietrzna oraz ręczne monitory do pomiaru mocy dawki i wyposażenie do poboru próbek (wojsko).

Monitoring radiologiczny kraju obejmuje pomiary w następujących komponentach:

- powietrze (moc dawki – wyniki z sieci stacji; ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs – stacje HVS; stężenie ^3H , ^{14}C , ^{37}Ar , ^{85}Kr , ^{131}I i aerozoli – powietrze wylotowe z EJ; ^7Be , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I gazowy – wyniki pomiarów z samolotów; przestrzenna dawka równoważna $\text{H}^*(10)$ – otoczenie EJ),
- aerozole (aktywność całkowita, naturalne radionuklidy alfa i beta – sieć RADAIR),
- opad (aktywność całkowita, gamma emitery, ^3H),
- gleba (^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am),
- trawa (^7Be , ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr),
- liście drzew (^{14}C – otoczenie EJ i innych obiektów jądrowych),
- gleba, powietrze, woda, osady, rośliny wodne i ryby – otoczenie EJ, określenie wpływu zrzutów na środowisko (^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , $^{241}\text{Am}/^{239,240}\text{Pu}$ i $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$),
- woda z rzek (^3H , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs),
- zawiesiny (^3H , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{177}Lu , ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{240}Pu),
- ścieki płynne (^3H , radionuklidy alfa i beta promieniotwórcze),
- gazy wylotowe (radionuklidy alfa i beta promieniotwórcze),
- ciało człowieka (^{137}Cs i ^{40}K – w wybranych miastach),
- zęby mleczne i kręgi (^{90}Sr , ^{210}Po , ^{226}Ra – w wybranych miastach),
- woda pitna (^3H , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{222}Rn , izotopy radu i uranu, ^{210}Pb i ^{210}Po – kampania w 2014 r.),
- mleko i owoce (^3H , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I),
- zboża, warzywa, grzyby (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I),
- dziczyzna (^{137}Cs),
- warzywa korzeniowe, zioła, rabarbar, wodorosty i inna żywność krajowa i importowana (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I , izotopy szeregu uranowego).

Belgia

Federalna Agencja Kontroli Nuklearnej (FANC) i Belgijska Agencja Gospodarki Odpadami

Radioaktywnymi i Wzbogaconymi Materiałami Rozszczepialnymi (ONDRAF/NIRAS) jest organem odpowiedzialnym za bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną kraju.

W Belgii pracują 2 elektrownie jądrowe.

Jednym z zadań FANC jest prowadzenie systemu nadzoru radiologicznego obejmującego obszar całego kraju. Program monitoringu opiera się na dwóch zasadniczych częściach:

- system TELERAD - ciągły pomiar poziomu radioaktywności w powietrzu i wodzie,
- pobór i analiza próbek gleby, aerozoli, mleka, wody pitnej, mięsa i warzyw.

Sieć TELERAD składa się z:

- 128 stacji automatycznych do pomiaru przestrzennej mocy dawki promieniowania gamma - obszar całego kraju (liczniki GM),
- 64 stacji automatycznych przy ogrodzeniach obiektów jądrowych - spektrometria gamma, detektor NaI, pomiar przestrzennej mocy dawki i aktywności radionuklidów,
- 8 stacji do pomiaru promieniowania w wodzie – 6 typu Retrofit i 2 typu BCI,
- 7 stacji do pomiaru aerozoli w powietrzu (całkowita aktywność alfa i beta, jednostka do pomiaru jodu).

Belgijskie Centrum Badań Jądrowych SCK-CEN (wsparcie techniczne dla FANC) prowadzi pomiary na bardzo niskim poziomie radioaktywności. W laboratoriach mierzona jest żywność i próbki środowiskowe.

Do zadań operatorów obiektów jądrowych należy ciągła kontrola i analiza zrzutów za pomocą urządzeń pomiarowych umieszczonych na każdym wylocie ścieków płynnych i na kominie gazów wylotowych, natychmiastowe przesyłanie wyników pomiarów do centrali monitorowania, pobieranie ścieków ze zbiorników elektrowni, analiza w laboratorium oraz wdrożenie programu monitoringu środowiska.

W ramach nadzoru prowadzone są następujące pomiary:

- oznaczanie ^3H , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{124}Sb , ^{131}I i ^{137}Cs w zrzutach płynnych,
- oznaczanie ^3H i ^{131}I , gazów szlachetnych oraz alfa i beta emiterów w gazach wylotowych.

W celu kontroli ścieków płynnych pobierane są następujące próbki z punktów w górę i w dół rzeki, w kilku odległościach od zrzutu: woda, osady denne, glony, rośliny wodne, ryby, skorupiaki.

W celu monitoringu radionuklidów uwalnianych do atmosfery pobierane są następujące próbki: powietrze (aerozole atmosferyczne), woda deszczowa, gleba, trawa i mleko.

W programie monitoringu radiologicznego środowiska w otoczeniu elektrowni jądrowych znajdują się następujące komponenty:

- powietrze (depozycja: spektrometria gamma, aktywność alfa i beta, ^3H , ^{90}Sr ; aerozole – spektrometria gamma),
- gleba (spektrometria gamma),
- woda pitna (spektrometria alfa i beta, ^3H , ^{40}K),
- woda z rzek (spektrometria gamma, aktywność alfa i beta, ^3H , ^{40}K),
- sedymenty z rzek oraz krewetki (spektrometria gamma),
- mleko (spektrometria gamma, ^{90}Sr),
- mięso, ryby, warzywa (spektrometria gamma: ^{40}K , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs),
- grzyby, owoce, mąka, płatki zbożowe i inna żywność pochodząca ze sklepów (spektrometria gamma: ^{40}K , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs ; ^{14}C),
- fauna i flora morska (^3H , ^{90}Sr , ^{99}Tc),
- ścieki płynne i gazy wylotowe (spektrometria gamma i beta, ^3H).

Holandia

W Holandii Minister Infrastruktury i Środowiska zajmuje się realizowaniem Ustawy o energii jądrowej. Instytucją odpowiedzialną za bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną jest Urząd Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej (ANVS). W Holandii działa jedna elektrownia jądrowa (Borssele).

Programy monitoringu radiologicznego środowiska naturalnego są oparte o:

- sieci stacji automatycznych z transmisją danych on-line do centrum danych
- sieci pobierania próbek środowiskowych i przeprowadzania ich analizy w laboratorium.

Rozszerzony monitoring środowiska prowadzi na zlecenie ANVS Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego i Środowiska (RIVM). RIVM monitoruje stężenie radionuklidów w pyle (aerozole atmosferyczne) i w opadzie atmosferycznym. Zbiera dane z instytucji pobierających próbki gleby, wody pitnej, trawy, mleka, żywności, wody rzecznej i morskiej, czy osadów. Wykonuje także pomiary zrzutów radioaktywnych z obiektów jądrowych.

Na sieć stacji pomiarowych NMR (National Radioactivity Monitoring Network) składają się:

- monitory do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma na zewnątrz - praca w sposób ciągły w trybie on-line (sieć gęsta i sieć rzadka),
- przenośne stacje pomiarowe,
- stacje w sieci rzadkiej do pomiaru całkowitej aktywności alfa i beta w powietrzu - praca w trybie on-line
- monitor jodu - pomiar stężenia jodu gazowego w powietrzu,
- monitor spektrometryczny wysokiej rozdzielczości - pomiar aktywności poszczególnych radionuklidów w aerozolach,
- wysokowydajna stacja poboru próbek powietrza - analiza filtrów w Laboratorium Badań Radiacyjnych (LSO) w RIVM.

Sieć gęsta składa się ze 153 punktów pomiaru przestrzennej mocy dawki za pomocą monitorów Bitt RS03/X (licznik proporcjonalny). Sieć rzadka składa się z 14 punktów pomiarowych, w których monitory Berthold BAI 9128 mierzą całkowitą aktywność alfa i beta w aerozolach atmosferycznych, stężenia radionuklidów beta-promieniotwórczych zebranych na filtry oraz przestrzenną moc dawki promieniowania gamma.

Monitoring prowadzony jest także wokół ogrodzenia elektrowni jądrowej za pomocą sond z licznikami GM (m.in. sieć MONET). Na terenie EJ raz w roku prowadzony jest pomiar skażeń dachów i budynków.

W centrum danych pochodzących z sieci NMR i MONET odbywa się zbieranie i automatyczne wyświetlanie danych pomiarowych. Baza jest połączona on-line ze stacjami, istnieje możliwość wyboru danych w oparciu o czas i stacje monitorujące i eksportu danych w różnych formatach. Wyniki są przesyłane do europejskiej platformy wymiany danych w JRC.

Monitoring środowiska w otoczeniu EJ prowadzony jest przez The Nuclear Research & Consultancy Group na zlecenie licencjobiorcy w następujących próbkach:

instytucje. Mierzone są: powietrze, wody powierzchniowe i wodociągowe, osady denne, żywność, pasza, gleba, opad atmosferyczny i jod promieniotwórczy w tarczycy (laboratorium w gotowości kryzysowej).

- powietrze (moc dawki w 16 pkt.),
- aerozole atmosferyczne (5 pkt., aktywność alfa i beta, radionuklidy naturalne, ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs),
- trawa (5 pkt., ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs),
- gleba (4 pkt., ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs),
- woda (4 pkt., całkowita i pozostała aktywność beta, ^3H , ^{40}K),
- zawiesiny (4 pkt., całkowita aktywność beta),
- wodorosty, osady denne (4 pkt., ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs).

W ramach monitoringu środowiska na terenie całego kraju wykonywane są następujące pomiary:

- aerozole atmosferyczne (całkowita aktywność alfa i beta, ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb),
- depozycja (całkowita roczna aktywność alfa i beta; ^3H , ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{210}Po),
- woda z rzek (6 punktów poboru dla oceny zrzutów z EJ; całkowita aktywność alfa, pozostała aktywność beta, ^3H , ^{90}Sr , ^{226}Ra),
- zawiesiny (ocena zrzutów z EJ; ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{131}I , ^{60}Co),
- woda morska (8 punktów poboru dla oceny zrzutów z EJ; całkowita aktywność alfa, pozostała aktywność beta, ^3H , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{210}Pb),
- trawa (42 pkt., ^{60}Co , ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{40}K).

W celu kontroli żywności z terenu całego kraju badane są następujące próbki:

- mleko krowie i kozie (^{40}K , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{131}I , spektrometria gamma, ^{90}Sr ; część detektorów znajduje się w mleczarniach),
- woda pitna (ponad 180 stacji; całkowita aktywność alfa i beta, ^3H , ^{40}K),
- pasza (ponad 500 pkt. poboru; ^{134}Cs , ^{137}Cs),
- miód, drób, dziczyzna (^{137}Cs),
- zboże, owoce, mięso, sałatki, warzywa, olej, masło, herbata, ryby, woda mineralna i inne (ponad 1000 próbek; ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs).

Możliwość adaptacji w Polsce poszczególnych rozwiązań zawartych w programach monitoringu radiacyjnego wokół elektrowni jądrowych w innych krajach

Monitoring radiologiczny środowiska w Polsce jest prowadzony w okrojonym zakresie przez różne

Istniejący w Polsce system nadzoru nie jest ukształtowany na tyle, aby zapewnić bezpieczeństwo mieszkańców i środowiska wokół elektrowni jądrowej, a zwłaszcza, żeby zapewnić ochronę w przypadku awarii.

Tworząc program monitoringu należałoby oprzeć się głównie na rozwiązaniach z Belgii i Holandii (podstawowe etapy opracowywania programu nadzoru, m.in. pomiar tła przed budową EJ, rodzaje pobieranych próbek, częstotliwość, oznaczane radionuklidy, szacowanie wpływu ścieków, pomiar mocy dawki, wykaz laboratoriów i aparatury, przesyłanie danych, nadzór nad całym programem). W sytuacji kryzysowej ewentualne możliwe byłoby wykorzystanie części rozwiązań ze Szwajcarii.

Propozycje dotyczące rozbudowy i poprawy programu monitoringu radiologicznego środowiska wokół elektrowni jądrowej w Polsce: unowocześnienie sieci wczesnego ostrzeżenia o skażeniach, rozbudowa sieci unowocześnionego modelu stacji do poboru i pomiaru próbek aerozoli z powietrza oraz sieci stacji ASS-500, dodatkowe wyposażenie stacji ASS-500 w urządzenia umożliwiające pomiary mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu, oparcie systemu on-line na standardach światowych (detektory LaBr₃), zbudowanie sieci stacji do pomiaru stężenia gazów szlachetnych w powietrzu oraz skażenia opadu, rozbudowa sieci stacji mierzących jod gazowy w powietrzu, doposażenie jednostek podstawowych w nowoczesną aparaturę spektrometryczną do pomiaru próbek środowiskowych i żywności, zwiększenie liczby ruchomych laboratoriów spektrometrycznych,

rozpatrzenie możliwości używania statków powietrznych do pomiarów skażeń, sprawowanie nadzoru nad siecią przez jedno specjalistyczne laboratorium odpowiedzialne za zbieranie danych z całej Polski, opracowywanie ich i przekazywanie do Prezesa PAA oraz usprawnienie systemu przekazywania informacji do CEZAR.

Na przykładzie Francji, Hiszpanii, Szwajcarii, Belgii i Holandii przeanalizowano programy monitoringu radiologicznego środowiska wokół EJ. Zaznaczono ważne aspekty takich programów oraz sformułowano opinie dotyczące możliwości adaptacji w Polsce poszczególnych rozwiązań zawartych w programach monitoringu radiacyjnego. Zaproponowano uwzględnienie części rozwiązań stosowanych w innych krajach europejskich (szczegółowa analiza na wyższym szczeblu), okrojenie programu kontroli w stosunku do innych krajów, z zachowaniem funkcji programu kontroli (względy ekonomiczne i fakt powstania tylko jednej elektrowni jądrowej), oparcie się przede wszystkim o system holenderski i belgijski, ponieważ pozostałe kraje mają rozbudowaną sieć pomiarów i poboru próbek (ze względu na liczbę obiektów jądrowych i dobrą sytuację ekonomiczną) oraz uzupełnienie i rozbudowanie planu nadzoru radiologicznego środowiska wokół EJ o brakujące elementy, z uwzględnieniem faktu, że ważne jest kontrolowanie powietrza, które może najszybciej przenosić potencjalne skażenia.

Projekt „EDEN” – testy i ćwiczenia CBRNE determinowane potrzebami uczestników procesu zarządzania kryzysowego

K. Wojtkowski

„End User Driven demo for CBRNe – EDEN” to wielkoskalowy projekt zintegrowany (testy i ćwiczenia CBRN determinowane potrzebami uczestników procesu zarządzania kryzysowego). Był on finansowany w ramach 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej w obszarze Bezpieczeństwa. Polska jest jednym z głównych partnerów w tym 3-letnim projekcie zrzeszającym 36 konsorcjantów z 15 krajów.

Spotkania tematyczne w 2015:

- Ćwiczenia warsztatowe Simulation for Virtual Nuclear Facility, w ramach projektu EDEN „End User Driven demo for CBRNe” (testy i ćwiczenia CBRNe determinowane potrzebami uczestników procesu zarządzania kryzysowego) organizowanych przez Szkołę Główną Służby Pożarniczej, Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk oraz Astri Polska;
- Międzywojewódzkie Ćwiczenia Państwowej Straży Pożarnej Initial Field Exercise 2015 na terenie Mariny Tarnobrzeg oraz Zakładów Siarkopol, w miejscowości Tarnobrzeg w województwie podkarpackim;
- ćwiczenia dowódczo-sztabowe EDEN Table Top Exercise 2015 zorganizowane przez Centrum Badań Kosmicznych PAN, Szkołę Główną Służby Pożarniczej oraz Astri Polska;
- Warsztaty tematyczne EDEN Test Service Period zorganizowane przez Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk w Szkole Głównej Służby Pożarniczej we współpracy z Astri Polska.

1. Międzywojewódzkie Ćwiczenia Państwowej Straży Pożarnej Initial Field Exercise 2015 na terenie Mariny Tarnobrzeg oraz Zakładów Siarkopol, w miejscowości Tarnobrzeg w województwie podkarpackim w dniach 13 – 15.04.2015

Na terenie jednego z obiektów rozwinięte zostało stanowisko dowodzenia, zasadnicze działania natomiast na terenie Zakładów Chemicznych „Siarkopol” w Tarnobrzegu. Na terenie zakładu, wskutek złych warunków atmosferycznych, symulowany został wybuch instalacji gazowej, po czym dotarła także informacja o działaniu sabotażowym z użyciem środków promieniotwórczych. O sytuacji powiadomione zostało Krajowe Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności. Państwowa Straż Pożarna do przeciwdziałania skutkom zdarzenia uruchomiła pododdziały stanowiące Centralny Odwód Operacyjny, dzięki czemu w ramach ćwiczeń EDEN 2015 wykorzystanych zostało blisko 100 strażaków pochodzących głównie z jednostek specjalistycznych z województw podkarpackiego, mazowieckiego, lubelskiego i świętokrzyskiego. Ćwiczeniom towarzyszyło seminarium i warsztaty.

2. Simulation for Virtual Nuclear Facility, 12 – 13.05.2015

Spotkanie polegało na opracowaniu planu postępowania dla poszczególnych sytuacji. Rozpatrywano cztery różne scenariusze. Obejmowały one:

Scenariusz 1:

- 1) Zamach terrorystyczny na terenie obiektu z użyciem małego ładunku wybuchowego;
- 2) Uszkodzenie pojedynczej pętli chłodniczego obiegu pierwotnego (mały ładunek wybuchowy, brak uszkodzenia samego reaktora);
- 3) Wyciek skażonej wody z systemu chłodniczego reaktora;
- 4) Rozprzestrzenienie się zagrożenia jedynie w obrębie pojedynczego bloku elektrowni;
- 5) Skala INES – 2.

Scenariusz 2:

- 1) Zamach terrorystyczny na terenie obiektu z użyciem dużego ładunku kumulacyjnego;
- 2) Uszkodzenie rdzenia reaktora wraz z obiegiem wody. Brak możliwości wypuszczenia prętów kontrolnych;

Scenariusz 3:

- 1) Katastrofa naturalna (wysoka i nagła fala powodziowa z terenów górskich);
- 2) Uszkodzenie wszystkich źródeł zasilania poprzez zalanie. Całkowite uszkodzenie obiegu chłodziwa. Stopień prętów, wybuch wodoru, pożar;
- 3) Chmura radioaktywna. Wyciek skażonej wody z systemu chłodniczego reaktora i porwanie jej z falą powodziową;
- 4) Rozprzestrzenienie się zagrożenia poza elektrownię;
- 5) Skala INES – 5.

Model reaktora w którym doszło do awarii

Najbardziej popularny PWR drugiej generacji bez modyfikacji wynikających z katastrofy w Fukushima
Miejsce uszkodzenia

System zasilania pomp. Staje system chłodzenia wszystkich obiegów

Scenariusz 4:

- 1) Duży wypadek komunikacyjny w transporcie kolejowym;
- 2) Przewóz wypalonego paliwa z reaktora w kotlinie Dunkelstein;
- 3) Najeżdżenie dużego składu pociągu z wypalonym paliwem jądrowym na tył pociągu wiozącego paliwa płynne. Rozlewisko materiałów palnych, pożar, wybuchy BLEVE. Uwolnienie dużych ilości nuklidów radioaktywnych w postaci par i dymów pożarowych;
- 4) Skala INES – 6.

3. Ćwiczenia dowódczo-sztabowe EDEN Table Top Exercise 2015 zorganizowane przez Centrum Badań Kosmicznych PAN, Szkołę Główną Służby Pożarniczej oraz Astri Polska, 13 – 15.05.2015

Model ćwiczeniowy:

- Modelem do ćwiczeń było hipotetyczne państwo Dunkelstein o ściśle określonym położeniu, strukturze geopolitycznej. Znane były również zależności administracyjne i jednostki odpowiedzialne w przypadku ewentualnego reagowania.
- W Dunkelsteinie jest jedna elektrownia jądrowa, gdzie dochodzi do awarii. Symulacja zdarzenia na terenie wirtualnej elektrowni

3) Wyciek skażonej wody z systemu chłodniczego reaktora. Wzrost temperatury rdzenia poza kontrolą. Rozkład pary wodnej. Seria detonacji i pożarów wynika z pojawienia się wodoru.

4) Rozprzestrzenienie się zagrożenia niedaleko poza elektrownię.

jądrowej oraz podczas zdarzenia transportowego z udziałem wypalonego paliwa jądrowego.

- Uczestnicy zostali podzieleni na grupy, gdzie pełnili konkretne działania.
- Celem głównym ćwiczenia TTX EDEN 2015 jest sprawdzenie użyteczności narzędzi wchodzących w skład EDEN Store użytkowanych przez uczestników procesu zarządzania kryzysowego wobec zagrożeń CBRNe.
- Celem ćwiczenia nie jest sprawdzenie planów zarządzania kryzysowego, planów operacyjnych w tym standardowych procedur dla poszczególnych uczestników systemu zarządzania kryzysowego.
- Scenariusz ćwiczenia jest rozgrywany w Księżstwie Dunkelstein stworzonym na potrzeby ćwiczenia.
- Forma studyjna ćwiczenia umożliwia poznanie potrzeb i oczekiwań użytkowników oraz zaprezentowanie obecnie rozwijanych rozwiązań mających zastosowanie w procesie zarządzania kryzysowego. Pozwala ona również na zbudowanie wspólnej świadomości sytuacyjnej uczestników.

Celami szczegółowymi ćwiczenia są:

- przedstawienie zalet wykorzystania narzędzi udostępnionych w EDEN Store jako elementu wsparcia procesu zarządzania i dowodzenia w zdarzeniach wielkoskalowych,
- prezentacja narzędzi i rozwiązań potencjalnym użytkownikom oraz ocena przydatności narzędzi stosowanych w sytuacjach zagrożeń CBRNe,
- przeprowadzenie testu skuteczności przepływu informacji w procesie zarządzania kryzysowego oraz w zakresie identyfikacji ewentualnych przeszkód organizacyjnych podczas zdarzeń CBRNe,
- wzmocnienie współpracy różnorodnych podmiotów i instytucji uczestniczących w procesie zarządzania kryzysowego, w tym

właściwych dla zagrożeń radiologicznych i nuklearnych.

4. EDEN Test Service Period 11.12.2015

1. JRodos - Real-time On-line Decision Support system

- System wspomagania decyzji dla zdarzeń nuklearnych.

Możliwości oprogramowania:

- Wsparcie informacyjne do podejmowania decyzji podczas zdarzeń na skale lokalną / krajową / regionalną / europejską, oraz w innych fazach zarządzania kryzysowego
- Prognoza rozwoju sytuacji
- W przypadku wystąpienia zdarzenia – zbieranie danych, symulacja propagacji skażenia i środków zaradczych,
- monitorowanie sytuacji (wpływ na rejony zamieszkałe i rolnicze),
- optymalizacja działań ratunkowych.

2. Radcal-III

- Symulator dla rozprzestrzeniania zagrożeń CBRN.

Niektóre możliwości oprogramowania:

- obliczanie poziomu radioaktywności w powietrzu oraz w glebie,
- symulowanie wybuchu brudnej bomby,
- biblioteka radioaktywnych, toksycznych i chemicznych materiałów,
- uwzględnienie ukształtowania terenu, naturalnych oraz sztucznych barier oraz warunków atmosferycznych.

3. 3D City - Trójwymiarowa wizualizacja obszarów miejskich

Główne cechy produktu:

- trójwymiarowy model miasta generowany w czasie rzeczywistym,
- wysoka wydajność serwisu przy niskich wymaganiach sprzętowych,
- dowolny format danych wejściowych cad/gis, wykorzystanie wszelkich zasobów mapowych klienta,
- możliwość wyświetlania danych pochodzących ze źródeł zewnętrznych (ortofotomapy),
- infrastruktura drogowa, informacje o obiektach, bazy danych, serwery gis, obraz z kamer miejskich w czasie rzeczywistym i inne),
- dodawanie tekstur pozwalające na zwiększanie szczegółowości wyświetlanych obiektów,

- dynamiczne efekty specjalne (pory dnia, cienie, dym, woda),
- możliwość wdrożenia aplikacji dostępnej na urządzenia mobilne (smartfony, tablety),
- stały rozwój usługi u klienta zapewniany poprzez wsparcie Astri Polska (nowe funkcjonalności, dodatkowe warstwy, implementacja danych zewnętrznych).

4. EVA – „Szkolenia symulacyjne z zakresu koordynacji działań podczas zdarzeń kryzysowych”

Rozwiązanie programowe, które pozwala symulować sytuacje CBRN w oparciu o systemy mapowania (GIS). Symulowane zdarzenia można przedstawić na podstawie prawdziwych danych geograficznych (miasta, regionu, kraju, etc.) oraz stworzonych na potrzebę testów. Również inne dane, odnoszące się do informacji o jednostkach, siłach i środkach oraz wielu innych mogą być prawdziwe, historyczne jak również dowolne. W ten sam sposób jest przedstawiony scenariusz na mapie - to może być realne zagrożenie, historyczne lub stworzone w sztucznych warunkach. Ważną rzeczą jest to, że każdy użytkownik tego rozwiązania można zobaczyć w czasie rzeczywistym, jaki wpływ miałyby jego działania na rozwój sytuacji. Każdy gracz może wykorzystywać niezależnie swoje umiejętności i kompetencje w tej samej grze treningowej. To pomaga szkolić współpracę wielu ekspertów przy rozwiązywaniu skomplikowanych scenariuszy CBRN.

5. Cristal – CORDA's CBRN Incident Simulation Tool for AnaLysis

Głównym celem narzędzia jest symulowanie procesu dekontaminacji po zdarzeniach CBRN. Przykładowe możliwości oprogramowania to określenie:

- Optymalnego wykorzystania zasobów
- Szacowanie czasu potrzebnego do dekontaminacji danej liczby osób i przedmiotów za pomocą określonych zasobów
- Oprogramowanie stosowane na etapie planowania odkażania w następstwie zdarzenia lub w ramach przygotowań do zapewnienia odpowiednich zasobów (ludzkich, sprzętu i materiałów eksploatacyjnych).

Zorganizowanie i przeprowadzenie pomiarów porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych dla jednostek organizacyjnych prowadzących takie pomiary

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

Wprowadzenie

Pomiary porównawcze zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych zostały przeprowadzone na zlecenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) na podstawie umowy nr 23/OR/2015/85 z dnia 08.04.2015 roku, zawartej pomiędzy CLOR i PAA. Podstawą zorganizowania pomiarów porównawczych jest Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 roku §5 pkt 4. Przeprowadzenie pomiarów porównawczych wykonano w dwóch etapach: I etap zrealizowano do 20 lipca 2015 r., natomiast II etap zrealizowano do 20 listopada 2015 r.

Zakres pracy I etapu obejmował:

- Przyjęcie zgłoszeń i utworzenie listy laboratoriów biorących udział w pomiarach porównawczych.
- Pozyskanie materiału na próbki do pomiarów porównawczych.
- Przygotowanie próbek do pomiarów porównawczych, w tym pomiary kontrolne jednorodności materiału próbek, oraz ich dystrybucja do laboratoriów wg ustalonej listy (wykonanie pomiarów kontrolnych przynajmniej dwóch próbek).
- Opracowanie i przedstawienie Prezesowi PAA sprawozdania z wykonania prac, o których mowa w punktach powyżej wraz ze stosowanymi przez laboratoria metodami pomiarowymi i wynikami pomiarów kontrolnych.

Zakres pracy II etapu:

- Zebranie wyników pomiarów od wszystkich uczestników pomiarów porównawczych i nadanie numeru kodowego uczestniczącym

laboratoriom;

- Sporządzenie zestawienia, dokonanie analizy i oceny nadesłanych wyników pomiarów;
- Opracowanie i przedstawienie Prezesowi PAA sprawozdania końcowego obejmującego w szczególności:
 - opis technik przygotowania materiałów wyjściowych, próbek referencyjnych i kontrolnych oraz wyniki pomiarów tych materiałów i próbek;
 - zestawienie wyników pomiarowych uzyskanych z laboratoriów;
 - analizę statystyczną wyników;
 - ocenę dokładności i precyzji pomiarów;
 - wykaz placówek uczestniczących w pomiarach.

Do badań interkalibracyjnych zgłosiło się 30 laboratoriów. Jako materiał porównawczy wybrano beton komórkowy na bazie popiołu paleniskowego pochodzącego z elektrofiltrów Elektrociepłowni Żerań. Do badań zużyto około 150 kg popiołu paleniskowego. Uzyskano różnicę niejednorodności gotowych próbek na poziomie 1,5%.

Na podstawie dołączonej ankiety stwierdzono, że spośród 28 laboratoriów, które nadesłały wyniki:

- 24 laboratoria wykonują badania przy użyciu analizatorów typu AZAR lub MAZAR z sondą NaJ(Tl) 2x2";
- 6 laboratoriów wykonuje badania z wykorzystaniem spektrometru z detektorem HPGe;
- 1 laboratorium stosuje kasetowy spektrometr promieniowania gamma z sondą scyntylicyjną NaJ(Tl).

Do realizacji II etapu pracy:

- wyniki z pomiarów rutynowych otrzymano z 28 laboratoriów (pomiar w czasie standardowym);
- wyniki z pomiarów o wydłużonym czasie otrzymano z 28 laboratoriów;
- ocenie poddawane zostały wyniki z obydwu serii i dotyczyły stężeń izotopów ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th , oraz wskaźników aktywności f_1 i f_2 .

Za wartości odniesienia przyjęto wartości średnie wyznaczone z wyników nadesłanych przez laboratoria. W celu eliminacji błędu grubego posłużono się testem Q-Dixona. I tak:

A. dla standardowego czasu pomiaru:

- stężenie potasu: $759,93 \pm 5,96 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- stężenie radu: $136,41 \pm 1,55 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- stężenie toru: $94,36 \pm 1,07 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- wartość wskaźnika aktywności f_1 : $1,174 \pm 0,008$;
- wartość wskaźnika aktywności f_2 : $136,41 \pm 1,55 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

B. dla wydłużonego czasu pomiaru:

- stężenie potasu: $762,01 \pm 6,05 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- stężenie radu: $136,39 \pm 1,63 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- stężenie toru: $94,05 \pm 1,00 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- wartość wskaźnika aktywności f_1 : $1,173 \pm 0,009$;
- wartość wskaźnika aktywności f_2 : $136,39 \pm 1,63 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

Wyniki

Dla czasu standardowego:

Wartości stężeń potasu wyznaczone przez laboratoria zawierały się w granicach od $690,62 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $885,96 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zdecydowana większość laboratoriów dobrze określiła wartość stężenia potasu oraz całkowitą niepewność pomiaru z wyjątkiem laboratorium nr K22, gdzie wyraźnie nie doceniono wartości całkowitej niepewności pomiaru. Do obliczenia wartości średniej odrzucono wyniki pomiarów laboratoriów K22 (w oparciu o test Dixona).

Wartości stężeń radu zawierały się w granicach od 120 do $152,17 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dla laboratoriów K4 i K17 różnica między wartością zmierzoną a wartością średnią przekracza wartość niepewności pomiaru.

Zmierzone wartości stężeń toru zawierały się w granicach od 64 do $108,26 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Dla 4 laboratoriów różnica między wartością zmierzoną a wartością średnią przekraczała wartość niepewności pomiaru. Dla laboratorium o nr K15

przekroczenie to jest nieznaczne, natomiast dla laboratorium nr K17 różnica ta jest wyraźna. Może to być spowodowane niestabilnością współczynników kalibracyjnych aparatury lub innymi czynnikami, które będą dokładniej analizowane w dalszej części opracowania. Można zauważyć, że systematyczne pomiary wzorca torowego są bardzo dobrym wskaźnikiem stałości parametrów aparatury. Do obliczenia wartości średniej odrzucono wyniki pomiarów laboratoriów K17 (w oparciu o test Dixona).

Głównym celem pomiarów porównawczych była ocena dokładności określenia wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 jak również ocena biegłości laboratoriów w zakresie określenia wartości wskaźników f_1 i f_2 oraz oceny niepewności ich wartości.

Określone przez laboratoria wartości f_1 zawierały się w granicach od 0,97 do 1,30. Wartości niepewności określenia wartości f_1 zawierały się w granicach od 0,03 (K4) do 0,20 (K10). Dużymi wartościami niepewności charakteryzowały się laboratoria nr K10, K11, K21 i K24. Większość laboratoriów poprawnie określiła wartość współczynnika f_1 w granicach niepewności pomiarowej.

Wartości wskaźnika aktywności f_2 , liczbowo równych wartości S_{Ra} zostały przedstawione prezentując wyniki pomiarów stężenia radu.

Dla czasu wydłużonego:

Tą serię pomiarów wykonano w celu maksymalnego zmniejszenia zawartej w niepewności pomiarów części zależnej od rozrzutów statystycznych biegu własnego aparatury i rozrzutów liczb zliczeń uzyskiwanych w przyjętych zakresach pomiarowych. Pozwala to najlepiej ocenić wpływ dodatkowych czynników, często niedocenianych przez osoby wykonujące pomiary próbek, na wartość całkowitej niepewności pomiaru. Jako miarę tych czynników przyjęto różnicę między wartością średnią mierzonej wartości a wartością zmierzoną z odpowiednim uwzględnieniem niepewności pomiaru. Jeżeli wartość średnia mieści się w zakresie: wartość zmierzona \pm całkowita niepewność pomiaru oznacza to, że niepewność pomiaru została oceniona prawidłowo. Jeżeli pojawia się odstęp pomiędzy wartością średnią a zakresem wartości zmierzona \pm całkowita niepewność pomiaru

oznacza to, że albo całkowita niepewność pomiaru została niedoszacowana albo wystąpiły inne czynniki, które miały wpływ na rezultat pomiaru.

Jako miarę różnicy między wartością zmierzona a wartością średnią nazywaną dalej „różnica niepewności” przyjęto:

- dla przypadków gdy wartość zmierzona pomniejszona o całkowitą niepewność pomiaru jest większa od wartości średniej, różnicę niepewności obliczać z zależności: wartość zmierzona minus wartość niepewności minus wartość średnia;
- dla przypadków gdy wartość zmierzona zwiększona o wartość niepewności jest mniejsza od wartości średniej różnicę niepewności obliczać z zależności: wartość średnia minus niepewność minus wartość zmierzona. Różnicę niepewności wyrażono w procentach wartości średniej.

Z rezultatów analizy dla wyznaczanych wartości stężenia potasu ^{40}K wynika, że zawierają się w granicach od 705,76 do 882,74 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, przy wartości średniej 762,01 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartości niepewności wyników zawierają się w granicach od 14,93 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, czyli 1,86% do 104,05 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, czyli 14,68%. Do obliczenia wartości średniej z pomiarów zastosowano test Dixona, który odrzucił pomiary laboratorium K22. Dla wszystkich laboratoriów, różnica między wartością zmierzona a wartością średnią nie przekracza wartości niepewności pomiaru.

Wartości stężeń radu ^{226}Ra (wskaźnika aktywności f_2) zawierają się w granicach od 118 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 151,31 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, przy wartości średniej 136,39 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartości niepewności wyników zawierają się w granicach od 3,10 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (2,14%) do 23,06 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (16,35%). Do obliczenia wartości średniej wykorzystano test Dixona. Dla 4 laboratoriów różnica między wartością zmierzona a wartością średnią przekracza wartość niepewności pomiaru (K4, K11, K17, K19). Wartości względne stężenia radu ^{226}Ra (wskaźnika aktywności f_2) obrazują, że wartości pomiarów wszystkich laboratoriów nie odbiegają znacząco od wartości średniej.

Do obliczenia wartości średniej wartości stężenia toru ^{228}Th wraz z podanymi przez laboratoria niepewnościami pomiarów, odrzucono tylko pomiar laboratorium K17 (w oparciu o test

Dixona). Wartości stężeń toru ^{228}Th zawierają się w granicach od 65 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 105 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, przy wartości średniej 94,05 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Ocenione przez laboratoria wartości niepewności pomiarów dla toru ^{228}Th zawierają się w granicach od 1,66% do 28%, dla 25 laboratoriów wartość niepewności pomiaru nie przekracza 10. Można zauważyć, że zdecydowana większość wyznaczonych stężeń zawiera się w granicach $\pm 15\%$ wartości średniej. Wyjątek stanowi laboratorium o nr K17.

Określone przez laboratoria wartości wskaźnika aktywności f_1 zawierają się w granicach od 0,97 do 1,29, przy wartości średniej 1,17 (po odrzuceniu wyniku K17). Niepewności określenia wartości wskaźnika aktywności f_1 zawierają się w granicach od 1,59 % (K4) do 24,58 % (K21). Dużymi wartościami niepewności charakteryzują się laboratoria nr K10, K11, K21 i K24. Dla laboratorium o nr K17 różnica między wartością f_1 a wartością średnią jest największa.

Wnioski

Kryteria oceny biegłości laboratoriów opierają się w zasadzie na analizie odchylenia wyników z laboratorium w przeliczeniu na przyjęte odchylenie standardowe od wartości referencyjnej (tutaj wartości średniej). Wyniki poddano analizie statystycznej stosując test Z, jak również procedury zalecane przez MAEA. Parametr Z obliczono ze wzoru:

$$Z = \frac{(\text{wynik lab.} - \text{wartość ref.})}{\delta}$$

gdzie: δ – wartość odchylenia standardowego (po odrzuceniu wyników wątpliwych).

Znajomość parametru Z pozwala ocenić dokładność wyników na tle całej ich populacji, przy czym dla oceny biegłości laboratorium przyjęto jak następuje:

$|Z| < 2$ - wynik zadowolający,

$2 < |Z| < 3$ - wynik wątpliwy, ale do przyjęcia,

$|Z| > 3$ - wynik niezadowolający, uzasadniający podjęcie działań naprawczych.

Ocena wyników laboratoriów wykonana za pomocą testów zalecanych przez MAEA pozwala na określenie oceny dokładności i precyzji wyników. Przyjęto poniższe kryteria:

Dokładność wyniku jest zadowolająca jeśli:

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

Precyzja wyniku jest zadowalająca jeśli wartość:

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

jest mniejsza lub równa 16% w przypadku f_1 oraz 25% w przypadku f_2 . U oznacza niepewność pomiaru.

Dla czasu standardowego:

W przypadku wskaźnika aktywności f_1 laboratorium K17 podało wynik, który nie jest zadowalający (test Z), natomiast laboratorium K22 podało wynik, który jest wątpliwy ale do przyjęcia. Dokładność wyników wszystkich laboratoriów jest zadowalająca, natomiast wyniki uzyskane w laboratoriach K10 oraz K21 nie są precyzyjne.

W przypadku wskaźnika aktywności f_2 wszystkie laboratoria podały wynik zadowalający (parametr $|Z| < 2$), z wyjątkiem laboratorium K17, którego wynik jest wątpliwy, ale do przyjęcia. Wszystkie laboratoria podały wartość wskaźnika aktywności f_2 z zadowalającą dokładnością. Kryterium precyzji wyników nie zostało spełnione w przypadku jednego laboratorium (K10).

Dla czasu wydłużonego:

Prawie wszystkie laboratoria osiągnęły zadowalające wyniki w teście Z, za wyjątkiem laboratorium K17, natomiast laboratoria K18 i K22 osiągnęły wynik wątpliwy, ale do przyjęcia. Status dokładności dla wszystkich laboratoriów, za wyjątkiem K4 i K17, jest zadowalający. Precyzja wszystkich wyników wskaźnika aktywności f_1 , za

wyjątkiem wyniku uzyskanego przez laboratorium K21 jest na zadowalającym poziomie.

Przy określaniu wskaźnika aktywności f_2 wszystkie laboratoria osiągnęły wynik zadowalający, za wyjątkiem laboratorium K17, które osiągnęło wynik wątpliwy, ale do przyjęcia. Jeśli chodzi o dokładność wyników wskaźnika aktywności f_2 , to laboratorium K4 nie spełniło podanego powyżej kryterium, czyli podało wynik, który nie może być traktowany jako zadowalający. Kryterium precyzji spełniły wszystkie laboratoria.

Dla laboratoriów posiadających akredytację istotną jest analiza rezultatów wymagana przez Polskie Centrum Akredytacji. Analiza została opisana w pracy Pana Ryszarda Malesy, pt. „Porównania międzylaboratoryjne w akredytowanych laboratoriach wzorcujących – wymagania Polskiego Centrum Akredytacji” (Materiały konferencji naukowo-technicznej PPM'05).

Wzór dla wyliczenia wartości E_n dla laboratorium:

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

gdzie: x_{lab} - wynik uzyskany w laboratorium,

x_{ref} - wynik uzyskany w laboratorium odniesienia (w przypadku niniejszej interkalibracji jako wartość odniesienia przyjęto wartość średnią mierzonej wielkości).

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, A. Kiełbasińska, A. Ząbek, K. Wojtkowski

Rok 2015 był dla Laboratorium Pomiarów Promieniotwórczości Naturalnej (LPPN) drugim rokiem drugiego cyklu akredytacji (numer certyfikatu AB 1108). W związku z aktualizacją procedury badawczej QPB 1 we wrześniu 2015 roku zmienił się zakres akredytacji. Laboratorium wykonało pomiary 66 próbek, takich jak: mieszanka popiołowo-żużlowa, żużel, odpady paleniskowe, piasek, kruszywo granitowe, żużel granulowany, szlam, popiół lotny, kruszywo z żużla z termicznego przekształcania odpadów komunalnych, kruszywo o ciągłym uziarnieniu, żużel konwertorowy, mieszanina żużla, popiołów paleniskowych i pyłów ze spalania mięsa.

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.

Nadzór techniczny nad wyposażeniem obejmował działania zgodne z planem kontroli aparatury na rok 2015. W ramach okresowych sprawdzeń wykonano następujące czynności: codzienna kontrola temperatury i wilgotności w pomieszczeniu z analizatorem MAZAR-95, sprawdzanie analizatora MAZAR-95 za pomocą objętościowych wzorców kalibracyjnych, w ustalonej kolejności – raz na tydzień pomiar jednej z próbek wzorcowych (K056, Ra056, Th056, walec 1600A, CLOR W3P5, popiół wzorcowy Koszyce), sprawdzanie po pomiarze próbki na analizatorze, jaka jest tendencja aktywności właściwych radu, toru i potasu w okresie ostatniego kwartału i sprawdzenie wag elektronicznych. Ponadto wykonano trzykrotnie kalibrację analizatora MAZAR-95. Nadal prowadzone są pomiary próbek na torze spektrometrycznym

z detektorem germanowym (HPGe) w celu porównania z wynikami otrzymanymi dla analizatora MAZAR-95, wdrożenia i ewentualnej akredytacji tej metody.

Termohigrometr został poddany naprawie ze względu na uszkodzony wyświetlacz panelu odczytowego i zasilacz. Następnie urządzenie było wzorcowane w laboratorium akredytowanym.

Wykonano także wzorcowanie w GUM dwóch wzorców masy o masie 1 kg i 2 kg.

Zakupiono detektor germanowy HPGe o wydajności względnej 15% oraz pojemniki typu Marinelli do pomiaru próbek za pomocą analizatora MAZAR-95.

LPPN zorganizowało, przeprowadziło i wzięło udział w pomiarach porównawczych zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych dla instytucji wykonujących takie pomiary (II-III kwartał 2015 roku). Wynik interkalibracji był zadowalający.

W ramach doskonalenia pracownicy Laboratorium wzięli udział w szkoleniach z następujących tematów: zmiany w systemie zarządzania LPPN (dokumenty nadzorowane, zakres akredytacji, formularze); nadzór nad dokumentami i zapisami; działania korygujące i zapobiegawcze; widma energetyczne w analizatorze MAZAR-95; współpraca z klientem; przeprowadzanie audytów wewnętrznych, działania poaudytowe; wymagania dotyczące personelu, autoryzowanie sprawozdań z badań; pomiary stężeń ^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Th w surowcach i materiałach budowlanych metodą spektrometrii gamma – detektor HPGe; planowanie i przeprowadzanie przeglądów zarządzania; zakup wyposażenia i wprowadzanie go do użytkowania; nadzorowanie badań niezgodnych z wymaganiami oraz doskonalenie systemu zarządzania laboratorium wg normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 (szkolenie zewnętrzne).

Ponadto podsumowano sprawdzenia i kalibracje aparatury oraz szkolenia przeprowadzone w roku 2014, zaktualizowano Księgę Jakości, Księgę Metody Badawczej, procedury i instrukcje ogólne i badawcze oraz formularze, a także przeprowadzono cztery szkolenia zewnętrzne z wykonywania pomiarów za pomocą analizatora MAZAR-95.

W maju 2015 roku odbyły się dwa audyty wewnętrzne (techniczny i systemowy), podczas których nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności. Również w maju 2015 roku odbył się 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 10 czerwca 2015 r. odbył się audyt w nadzorze PCA, podczas którego odnotowano trzy niezgodności oraz trzy 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



Metoda szacowania dawek na kończyny od promieniowania β i γ przy zastosowaniu dawkomierzy termoluminescencyjnych

K. Ciupek, K. Wołoszczuk

Wprowadzenie

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, jako jedyne w Polsce, pomyślnie przeszło proces akredytacji wzorcowego stanowiska promieniowania beta. Stanowiskiem tym jest wzorzec wtórny Beta Secondary Standard (BSS2), produkcji QSA Global GmbH, wyposażone w trzy źródła promieniotwórcze:

1. ^{147}Pm o średniej energii promieniowania beta równej 0,06 MeV;
2. ^{85}Kr o średniej energii promieniowania beta równej 0,24 MeV;
3. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ o średniej energii promieniowania beta równej 0,8 MeV.

Ze względu na krótki czas połowicznego zaniku dla ^{147}Pm , zakresem akredytacji objęte są tylko dwa pozostałe źródła. Wartości wzorcowe wyznaczane są zgodnie z serią norm ISO 6980 i odnoszą się do wzorca pierwotnego w Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Niemcy).

Badania wykonane na stosowanych w CLOR wysokoczułych dawkomierzach termoluminescencyjnych LiF: Mg, Cu, P – MCP-N miały na celu wyznaczenie odpowiedzi energetycznej i kątowej w polu promieniowania beta oraz gamma na kończyny. Napromienianie odbyło się na dozymetrach pierścienkowych umieszczonych na fantomie prętowym, dającym najlepsze odwzorowanie szacowanej dawki w narażeniu pracowników stosujących źródła promieniowania jonizującego. Ponadto zbadano wpływ używanych opakowań na odczyty dawek

(cztery konfiguracje: odsłonięta pastylka, pierścionek z okienkiem aluminiowym, pierścionek standardowy, pierścionek standardowy z opaską wzmacniającą stosowany rutynowo). Ekspozycja na promieniowanie gamma odbyła się dla dwóch źródeł: ^{137}Cs (energia 662 keV) oraz ^{60}Co (średnia energia 1250 keV).

Wyniki

Wyniki pomiarów wyznaczano w wielkości indywidualnego równoważnika dawki Hp(0,07) a główne wnioski to:

1. Potwierdzenie liniowości odczytów (zależność dawka-zliczenia).
2. Promieniowanie beta jako mniej przenikliwe niż promieniowanie gamma wykazuje silniejsze zależności kątove co ma istotne znaczenie w dozymetrii kończyn.
3. Wartości współczynników wzorcowania dla czterech konfiguracji różniły się znacząco tylko w przypadku promieniowania ^{85}Kr . Liczba zliczeń dla promieniowania gamma, jak i promieniowania beta pochodzącego od źródła ^{90}Sr nie była uzależniona od stosowanego dozymetru.

Wnioski

Otrzymane wyniki umożliwiają prawidłowe oszacowanie dawek od promieniowania beta i gamma w rutynowej kontroli pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące.

Opracowanie i walidacja krzywej dawka-skutek dla chromosomów dicentrycznych indukowanych *in vitro* w ludzkich limfocytach krwi obwodowej przez terapeutyczną wiązkę protonową cyklotronu Proteus C-253

M. Kowalska

Wprowadzenie

Proteus C-235 jest cyklotronem izochronicznym, którego wielkość i siła magnesów dipolowych umożliwia przyspieszanie protonów do maksymalnej energii 230 MeV [1]. Urządzenie to zaprojektowała i zbudowała belgijska firma *Ion Beam Applications S.A.* w celu miejscowego leczenia złośliwych nowotworów w przypadku, których konwencjonalna radioterapia fotonowa nie może być stosowana ze względu na zbyt głębokie usytuowanie w organizmie, lub bliskie położenie ważnych organów.

Wyższość wiązki protonowej nad fotonową wynika z jej szczególnie korzystnych właściwości fizycznych [1]. Zależnego od energii, ściśle określonego zasięgu. Szybkiego zaniku wiązki na głębokościach w tkance, które przekraczają ten zasięg. Zwiększonej w porównaniu z obszarem wlotowym depozycji energii (dawki) w obszarze tzw. pikę Bragga. Nieznacznemu rozproszeniu w tkance oraz możliwości formowania jednorodnego rozkładu dawki w rejonie występowania nowotworu poprzez wytworzenie tzw. rozszerzonego pikę Bragga (ang. Spread-out Bragg peak, SOBP). To umożliwia precyzyjne dostarczenie wysokiej dawki protonów do obszaru docelowego oraz nieporównywalnie niższej dawki do zdrowych tkanek przed nowotworem. Leczenie nowotworów zlokalizowanych wewnątrz ciała człowieka wymaga wiązek protonów o energiach pomiędzy 230 MeV a 250 MeV, co odpowiada zasięgowi w tkankach od 30 cm do 37 cm.

Do leczenia nowotworów gałki ocznej, która ma średnicę około 30 mm, wystarczą wiązki protonów o energiach od 60 MeV do 70 MeV. Zakres energii wiązek terapeutycznych wytwarzanych przez

cyklotron ProteusC-235 wynosi $70 \div 230$ MeV. Degradacja energii wiązki dokonywana jest w dużej odległości od pacjenta za pomocą systemu selektora energii [1]. System ten kieruje strumień protonów o maksymalnej, stałej energii 230 MeV do dyskryminatora energii, który zawiera dwa przeciwstawne rzędy 3 klinów węglowych do wsuwania w wiązkę. Przysuwając kliny do siebie, zwiększa się grubość warstwy pochłaniającej, a przy jej maksymalnej grubości energia wiązki zostaje zredukowana do 70 MeV.

Cyklotron Proteus C-235, wraz z systemem selektora energii, został zainstalowany w Cyklotronowym Centrum Bronowice (CCB) w 2012 roku. CCB jest częścią Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie i jednym z ośmiu ośrodków terapii protonowej w Europie.

Obecnie CCB IFJ PAN dysponuje stanowiskiem radioterapii protonowej nowotworów oka, dwoma stanowiskami gantry do leczenia nowotworów zlokalizowanych poza narządem wzroku oraz halą eksperymentalną, w której prowadzone są doświadczenia z fizyki jądrowej, fizyki medycznej i radiobiologii. Ośrodek krakowski oferuje też firmom komercyjnym wiązki protonowe do prowadzenia badań naukowych i prac rozwojowych.

Mimo stale rosnącej liczby wyleczonych pacjentów i dobrej znajomości fizycznych właściwości terapeutycznych wiązek protonowych, wiele radiobiologicznych właściwości tych wiązek ciągle pozostaje niezbadanych [2]. W tym kontekście niniejsza praca jest merytorycznie uzasadniona, a jej wyniki dostarczą nowych danych do porównań biologicznego działania megawoltowych protonów na ludzkie limfocyty obwodowe. Są to najbardziej wrażliwe komórkami

organizmu człowieka, a na skutek cyrkulacji pomiędzy krwią i narządami jakaś ich część zawsze znajdzie się na drodze strumienia protonów.

Wyniki

Badanie ilościowej zależności między wielkością dawki protonów a częstością indukcji dicentrycznych aberracji chromosomowych w napromienionych *in vitro* limfocytach krwi obwodowej zostało przeprowadzone na komórkach otrzymanych od dwóch zdrowych kobiet i dwóch mężczyzn. Napromienianie pełnej krwi obwodowej dawców odbywało się na stanowisku do terapii nowotworów oka.

Wprowadzana na to stanowisko pozioma wiązka protonów o energii 70 MeV była formowana poprzez wytworzenie SOBП o zasięgu i modulacji, które odpowiadały wymaganiom głębokościowego rozkładu dawki. Podczas napromieniania plastikowe próbki typu Eppendorff, wypełnione 2 ml krwi, znajdowały się w fantomie z materiału (PMMA) o właściwościach zbliżonych do tkanek miękkich. Fantom był tak usytuowany w izocentrum stanowiska do radioterapii, że środek próbki znajdował się w połowie SOBП. Moc dawki podczas napromieniania miała wartość 0,07 Gy/s.

Podane próbkom dawki protonów wynosiły: 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2 i 4 Gy. Krew nie napromieniona stanowiła próbkę kontrolną, odpowiadającą dawce równej 0,0 Gy. Hodowla limfocytów oraz przygotowanie i analiza preparatów chromosomowych były prowadzone zgodnie z akredytowaną procedurą badawczą QPB.9.

Uzyskane dla każdego dawcy wartości częstości dicentryków w limfocytach napromienionych taką samą dawką protonów były łączone w jeden wspólny wynik. Otrzymana w ten sposób seria 7 par liczb, (Y_i) oraz (D_i), została dopasowana do oczekiwanej krzywej trendu ($Y=C+\alpha D+\beta D^2$) za pomocą metody największej wiarygodności i programu komputerowego CABAS. Do oceny doboru parametrów krzywej dawka-skutek został zastosowany test *Chi-kwadrat*. Polegało to na wyznaczeniu wartości zmiennej testowej χ^2 dla badanego zbioru wyników, a następnie porównaniu jej z wartością krytyczną zmiennej χ^2 dla poziomu istotności $\alpha=0,05$ i 4 stopni swobody (liczba pomiarów pomniejszona o liczbę parametrów użytych do dopasowania).

Wynik dopasowania modelu liniowo-kwadratowego metodą największej wiarygodności przedstawiono na wykresie 1 i w tabeli 1. Jak widać, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o tego typu zależności częstości dicentryków od dawki protonów o energii 70 MeV, gdyż spełniony jest warunek $\chi^2 < \chi^2_{krytyczna}$. Wartość testowa χ^2 nie jest też większa od liczby pomiarów ($n=7$). Dzięki temu spełniony jest kolejny warunek $\chi^2 < 1$. Wyniki testu dają, więc podstawę do twierdzenia, że otrzymane wartości parametrów C , α i β są tymi, które zapewniają najlepsze dopasowanie modelu do danych.

Posługując się opracowaną krzywą dawka-skutek wykonano biologiczną ocenę dawek w 3 próbkach krwi użytych wcześniej w procesie kalibracji. Wartości częstości chromosomów dicentrycznych w tych próbkach są przedstawione w tabeli 2. Statystyczna ocena wyników rekonstrukcji dawki została przeprowadzona za pomocą parametru En , którego definicja zamieszczona jest w pozycji [3] załączonego spisu literatury.

Cechą charakterystyczną dla tego typu badania bieglności jest: 1) wyznaczenie niepewności rozszerzonej uzyskanego wyniku i 2) posiadanie wartości przypisanej oraz jej niepewności rozszerzonej, które gwarantuje laboratorium referencyjne. Uzyskaną oceną osiągniętych wyników można uznać za zadawalającą, gdyż żadna z uzyskanych wartości En nie była większa od jedności (tabela 3). Jakość dopasowania uzyskanej krzywej dawka-skutek jest tym samym również zadawalająca.

Wykorzystanie wyników

Opracowana krzywa dawka-skutek może zostać wykorzystana do rekonstrukcji dawek protonów u personelu stanowiska terapii nowotworów oka. Można ją też stosować w przypadku pacjentów w celu ustalenia wartości dawek, które są wynikiem niezamierzonego podania dawek zdrowym tkankom po bliższej stronie obszaru guza. Ze względu na wzrost ryzyka niepożądanych następstw zdrowotnych u pacjentów – głównie wtórnych nowotworów – taka informacja jest szczególnie istotna w przypadku dzieci oraz osób młodych. Opracowana krzywa będzie też mogła stanowić materiał porównawczy dla podobnej krzywej, której wykonanie planuje zespół radiobiologów z IFJ PAN dla protonów o energii

230 MeV. Uzyskane wartości parametrów α i β krzywej-dawka skutek zostaną też porównane z wartościami uzyskanymi dla referencyjnych fotonów X (250 kV, 10 mA), co pozwoli na ocenę

względnej skuteczności biologicznej (WSB) terapeutycznej wiązki protonów w obszarze poszerzonego piku Bragga.

Tabela 1. Wartości liczbowe parametrów krzywej dawka-s skutek oraz funkcji testowej *chi kwadrat* dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ i 4 stopni swobody.

C \pm SD [dic·kom ⁻¹]	$\alpha \pm$ SD [dic·kom ⁻¹ ·Gy]	$\beta \pm$ SD [dic·kom ⁻¹ ·Gy ²]	χ^2	$\chi^2_{krytyczna}$
0,0010 \pm 0,0007	0,074 \pm 0,011	0,032 \pm 0,005	3,29	9,49

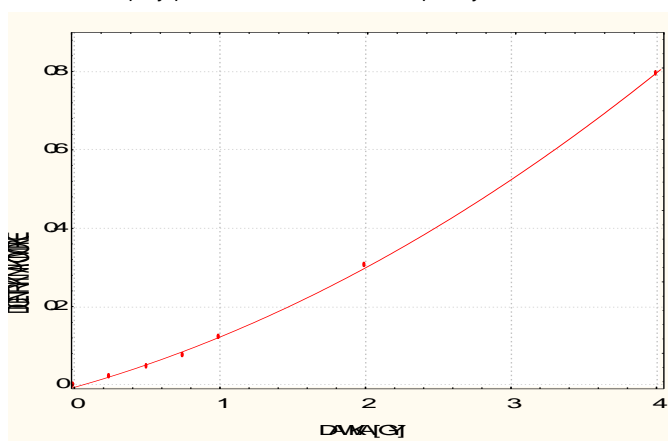
Tabela 2. Częstość chromosomów dicentrycznych w próbkach limfocytów wykorzystanych do biologicznej rekonstrukcji dawki

Kod próbki	Liczba komórek	Liczba dicentryków	95%LCL Liczby dicentryków	95%UCL Liczby dicentryków	Częstość dicentryków
A	274	218	190	249	0,796
B	264	7	3	14	0,026
C	334	96	78	117	0,287

Tabela 3. Statystyczna ocena wyników rekonstrukcji dawek protonów w napromienionych *in vitro* próbkach limfocytów krwi

Kod próbki	x	U_{lab}	X	U_{ref}	$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$
A	3,95	0,33	4	0,12	0,11
B	0,30	0,27	0,25	0,0075	0,20
C	2,05	0,30	2	0,06	0,17

x - wynik rekonstrukcji dawki; X - wartość odniesienia, U_{lab} - niepewność wyniku rekonstrukcji dawki, wyrażona jako większy z dwóch przedziałów niepewności; U_{ref} - niepewność wartości odniesienia. Podane wartości niepewności stanowią niepewności rozszerzone przy poziomie ufności 95% i współczynniku rozszerzenia k=2.



Rysunek 1. Dopasowanie funkcją kwadratową ($Y=C+\alpha D+\beta D^2$) wyników analizy częstości dicentryków w limfocytach krwi obwodowej napromienionych *in vitro* wzorcowymi dawkami protonów o energii 70 MeV w połowie SOBP.

Literatura

- [1] Cyklotron Proteus C-235 – Instytut Fizyki Jądrowej PAN:www.ifj.edu.pl/ccb/proteus 235;
- [2] Proton Radiobiology. Cancers 2015, 7,353-381; doi:10.3390/cancers 7010353;
- [3] Załącznik A do Przewodnika ISO/ICE 43-1:1997.

Wyznaczanie dawki od neutronów na podstawie analizy aktywności ^{24}Na we krwi i ^{32}P we włosach – przegląd literatury

M. Kowalska, I Pacyniak

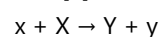
Swobodne neutrony są rodzajem promieniowania jonizującego szeroko stosowanego w wielu obszarach nauki, techniki i medycyny. Najsilniejszym źródłem neutronów są energetyczne i doświadczalno-produkcyjne reaktory jądrowe działające w oparciu o reakcję rozszczepienia jąder uranu (^{235}U , ^{238}U) lub plutonu (^{239}Pu). W zależności od konstrukcji reaktora, uzyskiwany strumień neutronów osiąga gęstość od 10^{12} do 10^{15} cząstek przelatujących przez powierzchnię 1 m^2 w ciągu 1 s. Mimo szczególnego nadzoru i kontroli każdej działalności związanej z użytkowaniem reaktorów jądrowych oraz pracą z materiałami rozszczepialnymi, błąd człowieka lub awaria urządzenia mogą spowodować wypadek powodujący ciężkie urazy radiacyjne u ludzi oraz szkody materialne [1]. Poza awarią reaktora jądrowego przyczyną wypadku ze skutkiem śmiertelnym może być niezamierzone przekroczenie masy krytycznej materiału rozszczepialnego podczas procesu wzbogacania uranu lub produkcji plutonu. Przekroczenie masy krytycznej powoduje natychmiastowy rozwój reakcji łańcuchowej, czyli lawiny reakcji jądrowych typu (n, f), w czasie około 1 miliardowej części sekundy. Ponieważ każdemu rozszczepieniu jądra towarzyszy natychmiastowa emisja od 2 do 3 neutronów, liczba neutronów wyemitowanych w jednostkowym przedziale czasu gwałtownie wzrasta. Podobnie wzrasta ilość wyzwolanej energii, na którą składają się energia kinetyczna fragmentów rozszczepienia oraz energia rozpadów promieniotwórczych tych fragmentów. Wyobrażenie o gęstości strumienia neutronów gwałtownie uwolnionych w czasie reakcji łańcuchowej daje wartość zarejestrowana podczas wypadku w zakładzie przetwórczym uranu, w Sarowie, w Rosji, która wynosiła $4\text{--}5 \times 10^{13} (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ [2].

Niezamierzone i niespodziewane zdarzenia z udziałem reaktorów jądrowych lub materiałów rozszczepialnych wymagają szybkiej oceny dawki pochłoniętej w celu ustalenia kto został narażony, a kto nie. To pozwala uspokoić osoby, które niesłusznie podejrzewają, że zostały napromienione oraz dobrać odpowiednią strategię leczenia dla osób, które otrzymały wysokie dawki neutronów, i w przewidywalnym terminie rozwinię się u nich ostry zespół popromienny.

Historia 36 wypadków przekroczenia masy krytycznej, które wydarzyły się w latach 1945 – 1982 pokazała, że neutronowa aktywacja pierwiastków chemicznych w tkankach ludzkiego ciała może być czułym i specyficznym wskaźnikiem dawki pochłoniętej w przypadku zewnętrznej ekspozycji na neutrony [1].

W praktyce dawkę od neutronów można najdokładniej ocenić, analizując aktywację sodu we krwi oraz siarki we włosach [3, 4, 5]. Oba testy nadają się zarówno do szybkiej dozymetrii w warunkach narażenia dużej liczby osób, jak i późniejszej, bardziej dokładnej oceny dawki. Znajomość wielkości dawki jest potrzebna do analizy ryzyka wystąpienia późnych powikłań oraz skutków stochastycznych u osób narażonych na średnie i małe dawki neutronów.

Termin aktywacja oznacza proces przemiany (transmutacji) trwałego nuklidu w nuklid promieniotwórczy w wyniku różnych rodzajów reakcji jądrowych, inicjowanych za pomocą takich cząstek jądrowych, jak: neutrony, cząstki α , fotony gamma, protony i ciężkie jony [3, 4, 5]. Neutrony są cząstkami elektrycznie neutralnymi i dlatego bardzo łatwo wnikają do jąder pierwiastków chemicznych, wywołując reakcje jądrowe, które przebiegają zgodnie ze schematem [6]:



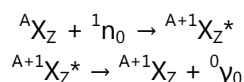
gdzie:

x – pierwotna cząstka inicjująca daną reakcję,

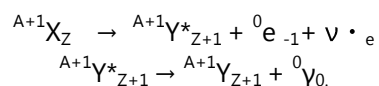
X – jądro pierwotne określane jako jądro tarczy,
 Y – wtórna cząstka jądrowa,
 Y – jądro końcowe (produkt reakcji) w stanie podstawowym lub wzbudzonym.

W zależności od energii neutronów mogą to być reakcje typu (n, f), (n, γ), (n, α), (n, d), (n, p), (n, n), (n, 2n) itp. Absorpcja neutronu przez jądro danego pierwiastka powoduje tworzenie się jądra złożonego w stanie wzbudzonym, które powraca do stanu podstawowego emitując kwant(y) promieniowania gamma [6]. Jądro złożone ma liczbę masową większą o 1 w stosunku do liczby masowej jądra tarczy. Z tego powodu rozpada się ono głównie przez rozpad beta minus (β⁻), który prowadzi do stanu równowagi w jądrach końcowych. Powstałe jądro końcowe jest najczęściej w stanie wzbudzonym i nadwyżkę energii oddaje w postaci wyemitowanych kwantów promieniowania gamma [6]. Jakościowa i ilościowa ocena aktywacji w napromienionych neutronami tkankach ludzkiego ciała dokonywana jest za pomocą spektrometrii promieniowania beta lub gamma [3,4,5].

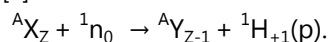
Neutrony termiczne (0,001 eV < E_n < 0,2 eV) i epitermiczne (0,2 eV < E_n < 0,5 MeV) wywołują reakcję wychwytu radiacyjnego, czyli przemianę typu (n, γ), która przebiega zgodnie ze schematem [6]:



W wyniku wychwytu radiacyjnego tworzy się izotop promieniotwórczy o nadmiarze neutronów. Dlatego rozpada się on przez rozpad beta minus, który polega na zachodzącej wewnątrz jądra przemianie neutronu w proton, elektron i neutrino elektronowe. Pozostały po rozpadzie nadmiar energii w jądrze, zostaje po pewnym czasie wyemitowany w postaci kwantu promieniowania gamma. Reakcje te można przedstawić następująco [6]:



Neutrony prędkie (E_n > 0,5 MeV) inicjują reakcje jądrowe typu (n, α), (n, d), (n, p), (n, n), (n, 2n). Reakcję jądrową typu (n, p) można przedstawić w postaci [6]:



Liczbę rozpadów jakim w jednostce czasu ulegają jądra pierwiastków promieniotwórczych definiujemy jako aktywność. Jednostką aktywności

promieniotwórczej jest bekerel (Bq), czyli 1 rozpad na sekundę. Aktywność (A) wzbudzoną w wyniku ekspozycji ludzkiego ciała na neutrony można opisać za pomocą zależności [4,5]:

$$A = N \cdot \Phi \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

gdzie :

N – liczba atomów danego izotopu w materiale tarczowym;

t – czas napromieniania [sekundy, s];

Φ – gęstość strumienia neutronów [n cm⁻² s⁻¹];

σ – przekrój czynny na aktywację (prawdopodobieństwo zajścia reakcji jądrowej wyrażone w cm²; 1 barn=10⁻²⁴ cm²);

λ – stała rozpadu promieniotwórczego, λ = ln2/T;

T – okres połowicznego rozpadu radionuklidu;

(1-e^{-λt}) = S – współczynnik nasycenia reprezentujący ułamek maksymalnej aktywności możliwej do uzyskania po czasie napromieniania t.

W sytuacji awaryjnej wartości stałych fizycznych i jądrowych nie są znane z wystarczającą dokładnością. Dlatego aktywność wyznacza się doświadczalnie, zliczając w określonym czasie pomiarowym impulsy dawane przez cząstki beta lub kwanty gamma emitowane przez nuklidy promieniotwórcze obecne w badanych próbkach krwi, włosów, paznokci lub zębów. Najprostszy i najdokładniejszy sposób wyznaczenia aktywności polega na zastosowaniu pierwiastkowego materiału odniesienia (wzorca), który napromienia się w warunkach zbliżonych do warunków ekspozycji osoby, której próbka biologiczna jest przedmiotem analizy [4,5]. Szukaną aktywność promieniotwórczą w analizowanej próbce (A_p), można wówczas obliczyć z prostej zależności:

$$A_p = A_w \cdot (N_p / N_w)$$

gdzie:

A_w – aktywność wzorca; N_p i N_w – liczba zliczeń zarejestrowanych w ciągu minuty (cpm) z badanej próbki i wzorca.

Zamiast zliczeń przedmiotem pomiaru może być powierzchnie netto charakterystycznego fotopiku w widmie promieniowania gamma, albo wybranego obszaru widma energetycznego promieniowania beta. Stosunek aktywności danego nuklidu promieniotwórczego w analizowanej próbce (A_p), do masy trwałego nuklidu (m) w materiale tarczowym określa się jako stężenie aktywności (**a**):

$$a = A_p / m$$

Stężenie aktywności w próbce jest proporcjonalne do gęstości strumienia neutronów. Można zatem na jego podstawie wydedukować wartość dawki pochłoniętej, stosując do tego następujący wzór:

$$D_n = k \cdot a$$

gdzie: D - pochłonięta dawka neutronów wyrażona w grejach [Gy], a – stężenie aktywności danego radionuklidu w próbce wyrażone w bekerelach na gram [$Bq \cdot g^{-1}$], k - współczynnik konwersji (zamiany) stężenia aktywności na dawkę, który ma wymiar [$Gy \cdot g \cdot Bq^{-1}$]. Wartość liczbowa współczynnika zależy od takich parametrów, jak: gęstości strumienia neutronów termicznych, epitermicznych i prędkich, widma energii neutronów, rodzaju źródła neutronów oraz stosunku dawki od neutronów do dawki promieniowania gamma.

Współczynnik konwersji wyznacza się eksperymentalnie dla danego źródła neutronów, napromieniając wzorce pierwiastkowe różnymi dawkami neutronów. Współczynnik k można również wyznaczyć teoretycznie, symulując przebieg ekspozycji i stosując probabilistyczne metody Monte Carlo. Natomiast masę danego izotopu w badanym materiale biologicznym można oznaczyć za pomocą atomowej spektrometrii absorpcyjnej.

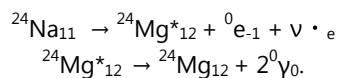
Przedstawiony sposób wyznaczenia dawki jest stosunkowo szybki, dlatego jest on stosowy w do celów szybkiej dozimetrii biologicznej. Bardziej dokładna ocena dawki wymaga uwzględnienia warunków ekspozycji (napromieniowanie całego ciała, czy tylko jego części) oraz danych dotyczących wagi i wzrostu osoby narażonej.

W organizmie człowieka stężenie stabilnego sodu (Na) o liczbie masowej 23, wynosi 1,4 g na kilogram masy ciała. Sód we krwi występuje w postaci chlorku sodu (NaCl), a jego stężenie w osoczu krwi wynosi 1,91 mg/ml. Aktywacja sodu jest wynikiem wychwytu radiacyjnego neutronów termicznych, co w zapisie skróconym można przedstawić jako: $^{23}Na_{11}(n, \gamma)^{24}Na_{11}$. Wytworzony w ten sposób promieniotwórczy izotop sodu o liczbie masowej 24 ma czas połowicznego rozpadu 14,96 h i ulega rozpadowi β^- .

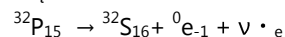
Produktem tego rozpadu jest nowy pierwiastek o liczbie masowej 24 i liczbie atomowej 12. Jest to magnez ($^{24}Mg_{12}$), i jest on izobarem promieniotwórczego sodu ($^{24}Na_{11}$), gdyż ma taką

samą liczbę masową. Natomiast jego liczba atomowa powiększyła się o 1.

Po emisji cząstki beta minus jądro magnezu jest w stanie wzbudzonym. Powrót do stanu podstawowego powoduje emisję dwóch kwantów promieniowania gamma o energiach 1,36 MeV i 2,75 MeV. Przebieg obu reakcji przedstawiają równania:



Aktywacja siarki ($^{32}S_{16}$) we włosach jest wynikiem reakcji $^{32}S_{16}(n, p)^{32}P_{15}$. Produktem tej reakcji jest promieniotwórczy fosfor ($^{32}P_{15}$), który ma czas połowicznego rozpadu 14,28 dni i rozpada się przez rozpad beta minus. Przebieg tej reakcji ilustruje poniższe równanie, które przedstawia transmutację promieniotwórczego potasu w stabilną siarkę:



Stężenie siarki we włosach wynosi $45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ i nie wykazuje dużych zmian osobniczych. Pomiar wzbudzonej aktywności $^{32}P_{15}$ w próbkach włosów wymaga ich rozpuszczenia lub spopielone przed wykonaniem ciepło-scyntylacyjnej spektrometrii beta. Pomiar polega na zmierzeniu częstości zliczeń impulsów dawanych przez cząstki beta w maksimum ich widma energetycznego, które w tym przypadku wynosi 1,71 MeV. Stężenie aktywności $^{32}P_{15}$ w próbkach włosów otrzymanych od osób narażonych na neutrony jest proporcjonalne do strumienia neutronów prędkich, a tym samym do dawki od tych neutronów. Najmniejsza wykrywalna dawka jaką można wykryć za pomocą powyższego testu wynosi 0,05 Gy na 1 mg włosów. Pobierając próbki włosów z tyłu, z przodu oraz z obu boków głowy, lub klatki piersiowej, można stwierdzić czy napromienione było całe ciało, czy tylko jego część.

Gamma spektrometryczny pomiar aktywności $^{24}Na_{11}$ nie wymaga wstępnej obróbki chemicznej próbek krwi. Do pomiarów stosuje się wysokoczułe detektory półprzewodnikowe oraz wzorce pierwiastkowe w postaci wodnego roztworu chlorku sodu (NaCl) o stężeniu 0,008 g/ml. Pomiar polega na identyfikacji fotopiku o energii 1,36 MeV w widmie promieniowania gamma próbki krwi oraz próbki napromienionego neutronami roztworu NaCl, a następnie określeniu powierzchni netto dla tego fotopiku. Do oszacowania dawki pochłoniętej na podstawie pomiaru aktywności ^{24}Na wystarczy

20 ml krwi. Przy pomiarze trwającym do 60 minut, najmniejsza wykrywalna dawka na całe ciało wynosi 0,005 Gy w przypadku narażenia na neutrony termiczne. Dla neutronów o energiach $\geq 0,5$ MeV najmniejsza wykrywalna dawka wynosi 0,01 – 0,02 Gy.

Ponieważ wysokoenergetyczne neutrony wywołują głównie aktywację siarki we włosach, stosunek aktywności promieniotwórczego fosforu we włosach i promieniotwórczego sodu we krwi jest źródłem informacji na temat widma neutronów uczestniczących w danym zdarzeniu radiacyjnym. Pomimo, że dokładność oceny dawki od neutronów zależy w dużym stopniu od znajomości awaryjnego widma neutronów, zastąpienie tego widma kompilacją różnych rodzajów widm neutronów umożliwia otrzymanie wyniku oceny dawki w ciągu kilku godzin od momentu otrzymania próbek od osoby narażonej.

Analiza aktywacji sodu we krwi jest od niedawna stosowana także u pacjentów po terapii borowo-neutronowej (*ang. Boron Neutron Capture Therapy*). BNCT jest nową metodą leczenia niektórych typów nowotworów. Polega ona na selektywnym osadzeniu związku boru (^{10}B) w tkance nowotworowej i napromienieniu obszaru nowotworu strumieniem neutronów o gęstości rzędu $1,1 \times 10^9 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ [7].

W wyniku absorpcji neutronów o energii od 0,5 eV do 10 keV zachodzi reakcja jądrowa $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}_3$, w wyniku której powstają cząstki alfa oraz jądra litu. Ze względu na dużą energię i mały zasięg, niszczą one komórki nowotworowe, oszczędzając zdrowe komórki tkanek sąsiadujących z nowotworem. Strumień neutronów wywołuje jednak aktywację pierwiastków chemicznych w tkankach znajdujących się przed nowotworem, a niektóre produkty aktywacji pozostają w ciele pacjenta jeszcze po zakończeniu radioterapii. Analiza aktywacji sodu we krwi pacjenta daje więc wyobrażenie o wielkości dodatkowej dawki od

promieniowania gamma emitowanego przez utworzone nuklidy promieniotwórcze.

Wdrożenie omówionej metody aktywacyjnej mogłoby rozszerzyć obecną ofertę pomiarową Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Jednak bez umiejętności korzystania z bibliotek różnych widm neutronów, w tym widm neutronów awaryjnych, pomiar aktywności ^{24}Na we krwi i ^{32}P we włosach byłby tylko wskaźnikiem narażenia na neutrony, a nie markerem dawki pochłoniętej.

Finansowanie

Praca była finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] McLaughlin T.P. et al. Review of criticality accidents, 2000 Revisions. Los Alamos National Laboratory (2000).
- [2] International Atomic Energy Agency. The criticality accident in Sarov. IAEA. 2001;
- [3] Hemplemann, L.H., Lisco H., Hoffman J.G., The acute radiation syndrome: A study of nine cases and a review of the problem. *Ann. Int. Med.* 36, 279-510, 1952;
- [4] Oak Ridge National Laboratory. Determination of neutron dose from criticality accidents with bioassays for sodium-24 in blood and phosphorus-32 in hair. ORNL/TM-12208 (1993);
- [5] International Atomic Energy Agency. Dosimetry for criticality accidents: A manual. IAEA -TRS211 (1982);
- [6] Dziunikiwski B. O fizyce i energii jądrowej. Uczelniane wydawnictwo naukowo-dydaktyczne. AGH Kraków (2011);
- [7] International Atomic Energy Agency. Current status of neutron capture therapy. IAEA-TECDOC-1223 (2011).

RENEB: samowystarczalna sieć dozymetrii biologicznej i retrospektywnej dozymetrii fizycznej w Europie

M. Kowalska

1 stycznia 2012 roku, 23 partnerów reprezentujących wyspecjalizowane laboratoria i organizacje z 16 krajów Unii Europejskiej zainicjowało projekt "Urzeczywistnianie Europejskiej Sieci Dozymetrii Biologicznej" (RENEB). Celem tego projektu było utworzenie samowystarczalnej sieci laboratoriów dozymetrii biologicznej, która miałaby w znaczący sposób zwiększać szybkość i fachowość działania pojedynczych laboratoriów krajowych w warunkach masowego narażenia ludzi na działanie promieniowania jonizującego. Poważne wypadki jądrowe lub radiologiczne należą do rzadkości. Mogą jednak wydarzyć się w dowolnym czasie oraz miejscu i spowodować radiacyjne narażenie dużej liczby osób. Historia wypadków radiacyjnych pokazuje, że powodują one natychmiastową potrzebę prawidłowego rozpoznania, kto został narażony, a kto nie. W tym celu należy pobrać próbki od osób potencjalnie narażonych, dokonać ich analizy i przeprowadzić dokładną ocenę dawek promieniowania w celu doboru odpowiedniej strategii leczenia ostrych zespołów radiacyjnych i uszkodzeń skóry. Wykonanie tego zadania często przewyższa możliwości pojedynczych, krajowych laboratoriów. Natomiast współpraca z wyspecjalizowanymi ośrodkami zagranicznymi skraca czas oczekiwania na wyniki oceny dawek, podnosząc efektywność działania służb danego kraju w przeciwdziałaniu i likwidacji skutków zdarzenia radiacyjnego.

Projekt RENEB był finansowany przez Komisję Europejską w ramach siódmego ramowego programu EUROATOMU, a jego zakończenie zostało zaplanowane na koniec roku 2015. 26 listopada 2015, w siedzibie Komisji Europejskiej w Brukseli, miała miejsce uroczystość, na której zostały zaprezentowane decydom i zaproszonym gościom możliwości sieci RENEB oraz wynikające z stąd korzyści dla krajowych i międzynarodowych systemów gotowości i reagowania na zagrożenia radiacyjne. Sieć uzyskała osobowość prawną pod koniec roku 2015

i zaczęła działać pod tym samym skrótem RENEB, ale lekko zmodyfikowaną nazwą "*Funkcjonowanie Europejskiej Sieci Dozymetrii Biologicznej i Fizycznej Dozymetrii Retrospektywnej*".

Struktura sieci RENEB została zbudowana na trzech uzupełniających się filarach: 1) gotowej do użycia bazy operacyjnej 2) bazy dla edukacji, szkolenia oraz zapewniania i utrzymania systemu jakości oraz 3) bazy dla dalszego rozwoju sieci w zakresie nowych technik dozymetrii promieniowania jonizującego oraz pozyskiwania nowych członków sieci. Baza operacyjna sieci liczy obecnie siedem testów dozymetrycznych, z których pięć wykorzystuje ludzkie limfocyty krwi obwodowej, a pozostałe dwa elementy konstrukcyjne smartfonów i telefonów komórkowych. Testy biologiczne oparte są na analizie: 1) chromosomów dicentrycznych, 2) mikrojąder, 3) translokacji wykrywanych metodą malowania chromosomów (FISH), 4) dodatkowych fragmentów przedwcześnie skondensowanych chromosomów (PCC) oraz 5) ognisk histonu (gamma-H2AX), czyli skupisk białek uczestniczących w naprawie uszkodzeń DNA. Dwa pozostałe testy wykorzystują: 6) zjawisko elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) w szklanych ekranach smartfonów oraz 7) zjawisko optycznie symulowanej luminescencji (OSL) w rezystorach telefonów komórkowych. Oba zjawiska są skutkiem fizycznego i fizykochemicznego oddziaływania promieniowania z materią. Z tego powodu dozymetria EPR i OSL nazywana jest retrospektywną dozymetrią fizyczną.

Zastosowane w projekcie RENEB narzędzia dozymetryczne zostały przetestowane i zharmonizowane ze sobą w dwóch międzylaboratoryjnych ćwiczeniach porównawczych. Dzięki temu wszystkie laboratoria partnerskie mogą ze sobą współpracować w przypadku masowego narażenia radiacyjnego. Ćwiczenia odbywały się w okresie od połowy 2012 do połowy 2014 roku. Ogólna strategia ćwiczeń polegała na

napromienieniu próbek krwi, lub kawałków szkła i elektroniki, zakodowaniu i wysłaniu do uczestników w celu analizy i oszacowania dawek. Podczas drugiego ćwiczenia, kilka laboratoriów spoza sieci zostało zaproszonych do wzięcia udziału w rekonstrukcji dawek. Podczas ćwiczeń oceniano biegłość techniczną laboratoriów, a także wyzwania organizacyjno-logistyczne, np. transport próbek przez granicę. Identyfikowano również obszary, które wymagały dodatkowego szkolenia uczestników w zakresie poszczególnych metod rekonstrukcji dawki. Szkolenia te zostały zorganizowane i przeprowadzone. W uzupełnieniu do porównań między-laboratoryjnych z lat 2012-2014, w roku 2015 przeprowadzono ćwiczenie, które było wirtualną symulacją wypadku radiacyjnego. Ćwiczenie trwało 27 tygodni i mogły w nim uczestniczyć także laboratoria nie zrzeszone w projekcie RENEB. W trakcie trwania ćwiczenia jego uczestnicy mieli okazję nauczenia się 1) aktywowania sieci, 2) oceny zdolności sieci do współpracy w momencie jej aktywowania oraz 3) sortowania dużej ilości wyników dozymetrycznych w zależności od wielkości dawki i scenariusz ekspozycji.

Ze względu na dobre zorganizowanie i zharmonizowanie współpracy między laboratoriami, sieć RENEB jest ona dobrze przygotowana do wspólnej analizy dużej ilości próbek oraz wyników oceny dawek promieniowania jonizującego. Ponadto, dzięki wysokim umiejętnościom analizowania zmian popromiennych w komórkach ludzkiego ciała oraz osobistych urządzeniach elektronicznych, sieć

będzie mogła uczestniczyć w dużych projektach badawczych, których celem jest analiza skutków działania niskich dawek promieniowania jonizującego. Wykrycie takich skutków wymaga analizy dużej liczby próbek, która jest bardzo pracochłonna i czasochłonna. Po zakończeniu projektu, sieć będzie przyjmować nowe laboratoria członkowskie, pod warunkiem, że będą one gotowe zapewnić i utrzymać system jakości (CA) oraz wymogi w zakresie zarządzania jakością (QM) zdefiniowane w ramach projektu RENEB.

Centralne Laboratorium od dawna wyrażało chęć przyłączenia się do sieci RENEB. Z tego powodu zarząd projektu zaprosiło go do udziału w drugim międzylaboratoryjnym porównaniu za pomocą testu dicentrycznego oraz ćwiczeniu polegającym na wirtualnej symulacji wypadku radiacyjnego. Oba ćwiczenia zostały ukończone w wyznaczonym czasie, a oszacowane wartości dawek były zbliżone do prawdziwych dawek. Poprawnie zostały także zidentyfikowane kategorie narażenia oraz scenariusze ekspozycji. CLOR został również zaproszony do udziału w prezentacji sieci RENEB w Brukseli.

Literatura

- [1] Realizing the European Network of Biodosimetry. Bulletin No 1. August 2012.
- [2] Realizing the European Network of Biodosimetry. Bulletin No 2. September 2013.
- [3] Realizing the European Network of Biodosimetry. Bulletin No 3. June 2015.

Utrzymanie laboratorium pomiaru zawartości jodu promieniotwórczego w tarczycy dla potrzeb działania służb awaryjnych oraz na wypadek zagrożenia radiacyjnego

G. Krajewska, H. Feder

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) 3x3 cale , o rozdzielczości 7,5% dla energii 661,6 keV.

Działania Laboratorium obejmowały w 2015 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 , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ i ^{131}I oraz testowaniu prawidłowości działania modułów elektronicznych zestawów pomiarowych, a także zadanie wykonania pomiarów zawartości radioizotopów ^{131}I i $^{99\text{m}}\text{Tc}$ w tarczycy, które zostały wykonane u pracowników zakładów medycyny nuklearnej w Polsce prowadzących badania diagnostyczne i terapeutyczne związane z chorobami gruczołu tarczowego

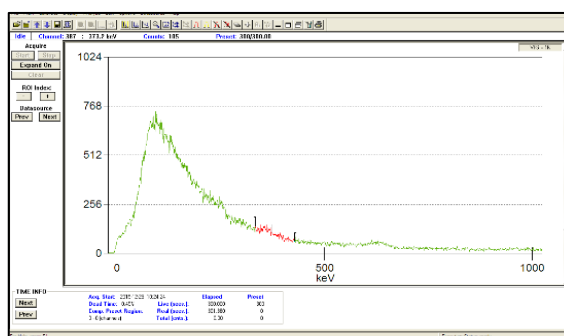
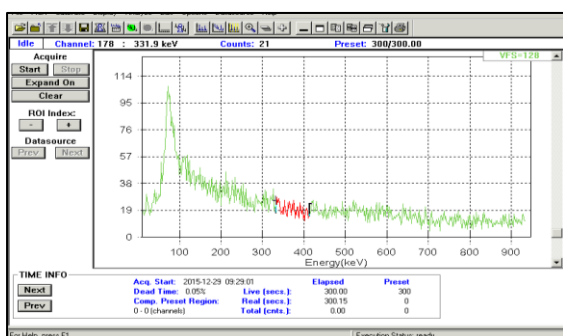
Wyniki

Tłó 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, odpowiednio.

W roku 2015 wykonano pomiary zawartości jodu promieniotwórczego ^{131}I oraz $^{99\text{m}}\text{Tc}$ w tarczycach osób stanowiących personel medyczny w Zakładzie Medycyny Nuklearnej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego (Warszawa) oraz w Zakładzie Medycyny Nuklearnej Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego (Gdańsk). W powyższych placówkach, z użyciem jodu promieniotwórczego, prowadzone są badania diagnostyczne: scyntygraficzne w tarczycy, wychwyt tarczycowy, oznaczanie poziomu hormonów tarczycowych oraz badania terapeutyczne: leczenie schorzeń tarczycy, w tym nowotworów w systemie oddziałowym. 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 Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego (Warszawa) przedstawiono w Tabeli 1 oraz na Rysunku 2, zaś analogiczne wyniki dla pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego (Gdańsk) przedstawiono w Tabeli 2 i na Rysunku 3.

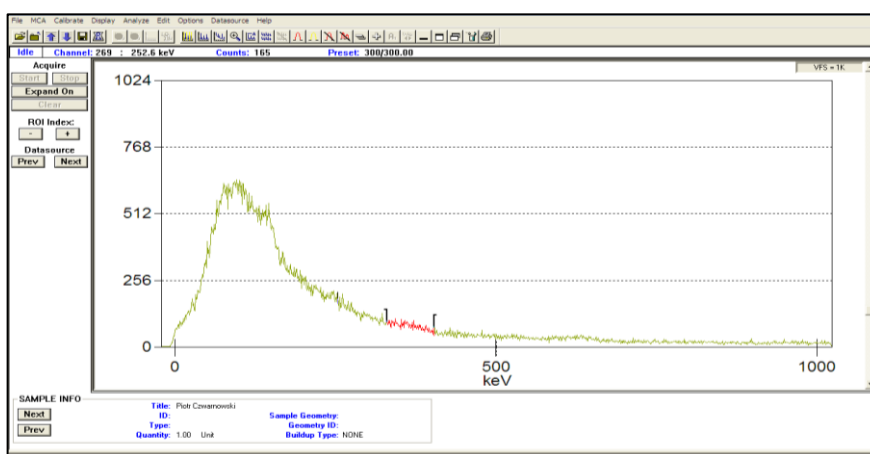


Rysunek 1. Widmo tła w pomieszczeniu Laboratorium zmierzone a) zestawem stacjonarnym (zdjęcie po lewej stronie) b) zestawem przenośnym (zdjęcie po prawej stronie).

Tabela 1. Wyniki pomiarów poziomów aktywności jodu promieniotwórczego u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego (ZMN SPCSK) w Warszawie

Pracownik	Zmierzona w tarczycy aktywność ^{131}I [Bq]	Oszacowana dawka skuteczna od rocznych wchłoneń ^{131}I [mSv]	Procent maksymalnej dawki skutecznej dla narażonych zawodowo (20 mSv)	Zmierzona w tarczycy aktywność $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [Bq]
P.C.	200 ± 40	0.625	3.1	-
J.K.	<68*)	<0.38	<1.90	-
M.S.	<68	<0.38	<1.90	-
B.P.	<68	<0.38	<1.90	-
R.R.	<68	<0.38	<1.90	-
M.F.	<68	<0.38	<1.90	-
J.K.	<68	<0.38	<1.90	-
A.K.	<68	<0.38	<1.90	-
B.K.	<68	<0.38	<1.90	-
M.K.	<68	<0.38	<1.90	-
D.K.	<68	<0.38	<1.90	-
M.Ż.	<68	<0.38	<1.90	252 ± 63
M.W.	<68	<0.38	<1.90	-
M.C.	<68	<0.38	<1.90	-
A.C.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Najmniejsza mierzalna aktywność



Rysunek 2. Widmo promieniowania zmierzone u pracownika P.C. (ZMN SPCSK) (widoczny pik ^{131}I)



Rysunek 3. Widmo promieniowania zmierzone u pracownika A.G. (ZMN UCK) (widoczny pik ^{99m}Tc).

Tabela 2. Wyniki pomiarów poziomów aktywności jodu promieniotwórczego u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego (ZMN UCK) w Gdańsku

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 ^{99m}Tc [Bq]
C.K.	<68*)	<0.38	<1.90	-
K.B.	<68	<0.38	<1.90	-
A.G.	<68	<0.38	<1.90	294± 73
D.G.	<68	<0.38	<1.90	-
J.Ł.	<68	<0.38	<1.90	-
D.W.	<68	<0.38	<1.90	-
M.M.	<68	<0.38	<1.90	-
I.K.	<68	<0.38	<1.90	-
A.M.	<68	<0.38	<1.90	-
J.K.-G.	<68	<0.38	<1.90	-
B.B.	<68	<0.38	<1.90	-
I.W.- D.	<68	<0.38	<1.90	-
M.W.	<68	<0.38	<1.90	-
W.C.	<68	<0.38	<1.90	-
G.R.	<68	<0.38	<1.90	-
M.P.	<68	<0.38	<1.90	-
H.W.	<68	<0.38	<1.90	-
P.L.	<68	<0.38	<1.90	-
J.T.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Najmniejsza mierzalna aktywność

Wnioski

Poziomy aktywności jodu-131 w tarczycy u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej Samodzielnego Publicznego Centralnego Szpitala Klinicznego w Warszawie, w którym przeprowadzono pomiary, były niskie (Tabela 1). Maksymalna dawka wyniosła ok. 0,625 mSv nie przekraczając 3,1% rocznego limitu dla narażonych zawodowo.

Poziomy aktywności jodu I-131 w tarczycy u pracowników Zakładu Medycyny Nuklearnej

Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego, w którym przeprowadzono pomiary, były także niskie (Tabela 2). U pracowników nie zarejestrowano wystąpienia jodu ponad tło promieniowania w pomieszczeniu, najmniejsza mierzalna aktywność wyniosła <68 Bq. U jednego pracownika (A.G.) zarejestrowano izotop technetu, również na niskim poziomie (ok. 290 Bq).

Finansowanie

Praca był finansowana przez Państwową Agencję Atomistyki w ramach Umowy Nr 13/OR/2015.

Informacja dotycząca Projektu MODARIA – MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments

P. Krajewski, G. Krajewska

Wprowadzenie

Projekt MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments o akronimie MODARIA (2012-2015), jest kolejnym, szóstym programem Międzynarodowej Agencji Atomowej ukierunkowanym na polepszenie dokładności i uwiarygodnienie prognoz 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 pojawiła się paląca potrzeba posiadania narzędzi obliczeniowych pozwalających na szybką ocenę dawek od promieniowania jonizującego, otrzymanych przez populacje zamieszkujące obszary, nad którymi przeszła chmura niosąca pierwiastki promieniotwórcze. Tym bardziej, że brak wiarygodnej oceny wielkości dawek skutkowało kontrowersyjnymi i szkodliwymi działaniami ratowniczymi ówczesnych organów rządowych w postaci np. masowych przesiedleń ludności z obszarów o potencjalnym ryzyku skażenia. 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 (MAEA) [21] oraz w Raplocie Komisji Rządowej do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych [18]. 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 czy hałd zawierających tzw. pierwiastki promieniotwórcze

pochodzenia naturalnego tzw. NORM⁵ i TENORM⁶, przykładowo hałdy wyrobisk uranowych, ja również modelowania zachowania się trytu ³H i węgla ¹⁴C. Podejmowana jest również tematyka wynikająca z ostatnich rekomendacji ICRP i niedawno wprowadzonych standardów IAEA, mianowicie system oceny dawek dla fauny i flory czy też zastosowanie metod stochastycznych dla oszacowania niepewności prognozy dawek. O ważności programu MODARIA może świadczyć kilkuset osobowa liczba ekspertów z 40 krajów, pracująca w 8 grupach roboczych po 20 uczestników.

W dalszej części artykułu omówione zostaną typy modeli środowiskowych jakie występowały w dotychczasowych programach MAEA oraz będą podane przykłady ich zastosowania.

Klasyfikacja komputerowych modeli dla oceny narażenia środowiska

Aby móc przewidywać zmiany w środowisku wynikające z działalności człowieka, w wyniku której może nastąpić zanieczyszczenie środowiska substancjami chemicznymi lub radioaktywnymi (np. budowa i uruchomienie EJ, awaryjne lub rutynowe uwolnienie substancji radioaktywnych) tworzy się modele matematyczne opisujące procesy zachodzące w środowisku, które następnie zapisuje się w postaci programu komputerowego. Taki program umożliwia otrzymanie wyniku liczbowego (np. stężenia izotopu w poszczególnych składnikach środowiska i łańcucha pokarmowego, wielkość dawki), który jest niezbędny przy podejmowaniu decyzji dotyczących np. ewakuacji ludności, pozostania w budynkach czy podania stabilnego jodu blokującego tarczycę.

Modele można podzielić ze względu na opisywane przez nie środowisko (np. lądowe, wód

⁵ *Normally Occurring Radioactive Materials*

⁶ *Technically Enhanced Normally Occurring Radioactive Materials*

śródlądowych morskie), co uwarunkowane jest z miejscem uwolnień pierwiastków promieniotwórczych (do atmosfery, do rzeki, do jeziora lub morza). Istotny jest również „obiekt” oceny narażenia. Zgodnie z ostatnimi zaleceniami ICRP⁷ [15, 16] buduje się obecnie specjalne modele dla oceny dawek dla referencyjnych przedstawicieli fauny i flory (Rysunek 1).

Z miejscem uwolnienia wiąże się również wybór odpowiednich modeli matematycznych opisujących środowisko, w którym następuje rozprzestrzenienie skażenia. Na przykład, uwolnienia do atmosfery wymagają zastosowania algorytmów opisujących zjawiska charakterystyczne dla środowiska lądowego (Rysunek 2).

Odrębną klasę stanowią modele stosowane do prognozowania dawek przy uwolnieniu charakteryzującym się gwałtowną, krótkotrwałą dynamiką, jak np. w przypadku awarii obiektu jądrowego, czyli zgodnie z ostatnio przyjętą terminologią [GRS Part 3 (2014)] w sytuacji tzw. *narażenia nadzwyczajnego*. Mówimy wtedy o modelu dynamicznym, a stosowane wówczas do opisu zjawisk algorytmy obliczeniowe stanowią rozwiązania układu równań różniczkowych (zwykle stosuje się metody aproksymacji Rungego-Kutty I, lub II rzędu). Natomiast przy prognozowaniu dawek w przypadku wieloletnich, niewielkich uwolnień, zakłada się ustalenie równowagi stężeń radionuklidów w poszczególnych komponentach środowiska, co pozwala na stosowanie prostych równań liniowych. Mówimy wtedy o modelach równowagowych. Do klasy modeli równowagowych należą również tzw. modele aktywności właściwej (SA Specific Activity Models), stosowane dla tych radionuklidów, których pierwiastek stabilny występuje obficie w komponentach środowiska i znane są z badań eksperymentalnych stosunki stężeń izotopu promieniotwórczego do stężeń stabilnego radionuklidu tego pierwiastka (liczona jest aktywność izotopu na masę pierwiastka). Przykładowo do tego typu modeli zaliczyć można model trytu (stężenie HTO w stosunku do H₂O); model węgla (stężenie węgla ¹⁴C w stosunku do węgla stabilnego C), model chloru (stosunek stężenia ³⁶Cl do stabilnego chloru Cl).

W wielu przypadkach matematyczny opis procesów fizycznych i chemicznych, zachodzących

w tak złożonym, a w ograniczonym stopniu poznanym, medium, jakim są różne ekosystemy, wymaga stosowania uproszczeń i posługiwania się parametrami fenomenologicznymi, otrzymanymi jako średnia z wielu pomiarów środowiskowych. Na przykład przechodzenie określonego radionuklidu z gleby do rośliny określane jest przez tzw. współczynnik transportu⁸ (*transfer factor plant-soil*) będący średnią (arytmetyczną lub geometryczną) wielu pomiarów prowadzonych dla różnych rodzajów gleb oraz upraw danej rośliny. Większość parametrów używanych dla prognozy narażenia można znaleźć w publikacjach MAEA [19, 26, 27], gdzie podawane są zawsze: wartość średniej geometrycznej, wartość średniej arytmetycznej \bar{x} , liczba pomiarów n , wartość minimalna i maksymalna w zbiorze, oraz błąd standardowy średniej arytmetycznej i błąd standardowy średniej geometrycznej GSD⁹. W oczywisty sposób nasuwa się pytanie o wiarygodność prognozy narażenia, zwykle wyrażonej przez dawkę efektywną oraz przedział jej niepewności. W starszych publikacjach MAEA dotyczących tworzenia modeli środowiska zaleca się tzw. „podejście konserwatywne”, co oznacza, że obliczenia prowadzi się przyjmując skrajne wartości parametrów (zwykle 97,5% prognozy górnej zakresu zmian), dzięki czemu mimo zawyżenia prognozy dawek, zapewniony jest niezbędny próg bezpieczeństwa prognoz modelu tzn. gwarancja, że uwzględniono najbardziej niekorzystne scenariusze zjawisk i procesów [19, 20, 23]. Niemniej jednak, przewidywana dawka była określona przez jedną liczbę tzn. dawkę maksymalną, a prognoza narażenia tylko stwierdzała, że rzeczywiste dawki nie będą większe od przewidywanej dawki maksymalnej. Przedstawiony powyżej sposób przeprowadzania obliczeń nosi nazwę podejścia deterministycznego lub modelu deterministycznego (*deterministic model*). Od 2014 roku obowiązuje nowa rekomendacja MAEA [11], która opiera się wprost na publikacji ICRP [13], zastępującej poprzedni standard [10]. Ta nowa rekomendacja zaleca określenie niepewności prognozy¹⁰, co w praktyce

⁸ stosunek stężenia tego radionuklidu w roślinie do stężenia w glebie

⁹ GSD - Geometric Standard Deviation

¹⁰ cytując: *The regulatory body shall establish and enforce requirements for safety assessment.. to determine the expected likelihood and magnitudes of exposures in normal*

⁷ International Commission on Radiological Protection

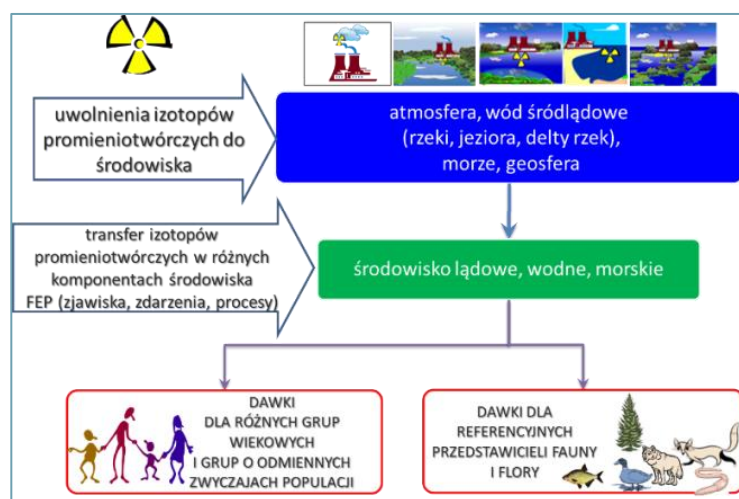
oznacza przyjęcie dla każdego z parametrów wejściowych modelu określonego rozkładu prawdopodobieństwa tzw. (*probability density function, PDF*) oraz przeprowadzenie obliczeń metodą Monte Carlo. W tym wypadku mówimy o modelu probabilistycznym, gdzie prognoza narażenia określona jest przez rozkład prawdopodobieństwa dawek (Rysunek 3). Model probabilistyczny ma tę zaletę, że *explicite* pokazuje z jakim prawdopodobieństwem mogą wystąpić większe dawki liczone na skrajnych wartościach parametrów. Wadą tej metody jest fakt, że dla wielu parametrów znane są tylko wartości średnie i odchylenie standardowe natomiast uboga statystyka pomiarów nie pozwala na dokładne wyznaczenie funkcji PDF, którą znajduje się metodami *heurystycznymi*.

Możliwa też jest klasyfikacja modeli w zależności od liczby i lokalizacji punktów obliczeniowych. Rozwój metod prezentacji przestrzennej GIS¹¹ umożliwił na rozwinięcie modeli przestrzennych prognozujących dawki dla wielopunktowej siatki geograficznej, np. w rastrze 100 m x 100 m oraz analizę przestrzenną wyników, np. wskazanie obszarów wysokiego i bardzo małego narażenia populacji czy środowiska. Metoda ta, dla pełnego wykorzystania, wymaga

użycia tysięcy lokalnych parametrów wejściowych dobrze charakteryzujących każdą komórkę rastra, co z kolei wymaga przeprowadzenia kosztownych badań środowiskowych. Użyteczność tych modeli sprawdza się w przypadku awarii obiektu jądrowego i uwolnień do środowiska dużych aktywności substancji promieniotwórczych stwarzających ryzyko wysokich dawek dla ludności. Z tych też względów, modele punktowe, pozwalające na prognozę dawki w wybranym jednym (lub kilku) punktach względem miejsca uwolnienia (np. lokalizacja komina EJ, wyjście przewodu zrzutów EJ do rzeki lub jeziora), nadal pozostają użytecznym narzędziem szczególnie dla oceny narażenia populacji przy normalnej pracy EJ i weryfikacji limitów operacyjnych.

Historia programów MAEA walidacji modeli radioekologicznych

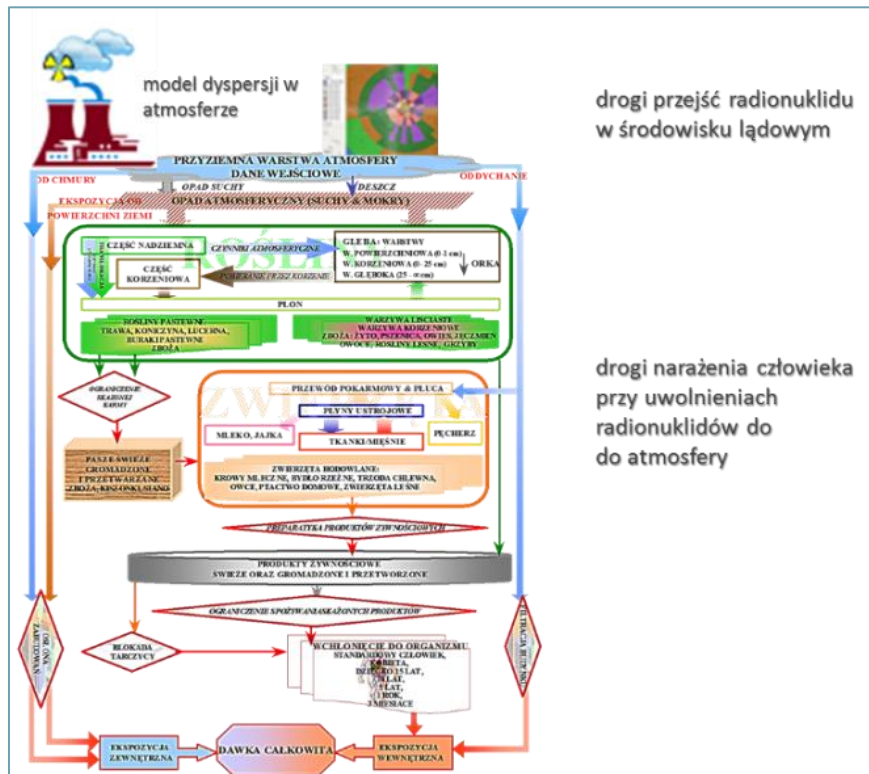
Programy MAEA poświęcone zagadnieniu walidacji modeli radioekologicznych mają już blisko 30-letnią historię. W kolejnych edycjach programów zajmowano się bieżącymi problemami prognozy dawek oraz oceny narażenia środowiska od promieniowania jonizującego. Poniżej, przedstawiono oryginalne nazwy, okres funkcjonowania oraz zakres zagadnień kolejnych programów.



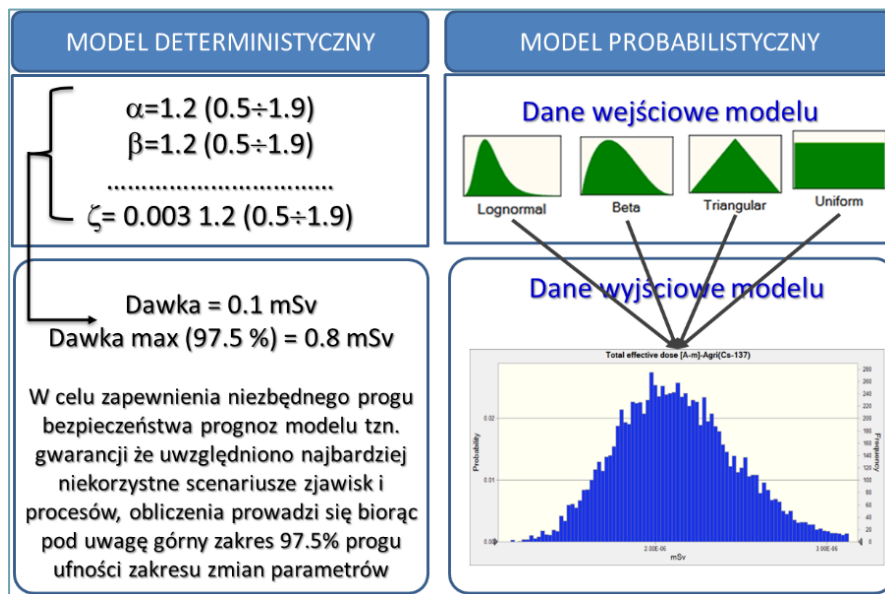
Rysunek 1. Rodzaje modeli ze względu na lokalizację uwolnienia pierwiastków promieniotwórczych do środowiska oraz obiekt oceny narażenia.

operation and, to the extent reasonable and practicable, to make an assessment of potential exposures"

¹¹System Informacji Geograficznej (ang. Geographic Information System, GIS)



Rysunek 2. Przykład struktury modelu opisującego zjawiska zachodzące w środowisku lądowym przy uwolnieniach radionuklidów z komina EJ do atmosfery. Dane wejściowe stężeń radionuklidów w powietrzu oblicza specjalny moduł dyspersji uwolnień z komina EJ w atmosferze.



Rysunek 3. Diagram obrazujący dwa różne podejścia przy prowadzeniu obliczeń modelowych: deterministyczne I probabilistyczne.

1. VAMP: Validation of Model Predictions MAEA (1988 – 1996)
 - 1.1. walidacja modeli na bazie Scenariuszy z Czarnobyla, uwolnienia do atmosfery: Centralne Czechy (Central Bohemia) i Finlandia,
 - 1.2. prognozy dla ^{137}Cs i ^{131}I ,
 - 1.4. opracowywanie nowych danych wsp. transferu radionuklidów w środowisku.
2. BIOMOVS: BIOSpheric Model Validation Study (Swedish Radiation Authority), 1991 – 1996
 - 2.1. krótkotrwałe i wieloletnie uwolnienia atmosferyczne (Scenariusz BREMEN i Fort COLINS),
 - 2.2. prognozy dla ^{131}I i ^{137}Cs ,
 - 2.3. reaktory jądrowe, składowiska odpadów stałych, hałdy odpadów uranowych (uranium mill tailings).
3. BIOMASS: BIOSphere Modelling and ASSEssment (1996 – 2001)
 - 1.1. scenariusze Czarnobylskie (środowisko wód powierzchniowych rzeka Prypieć),
 - 1.2. usuwanie skażeń promieniotwórczych ze środowiska,
 - 1.3. wieloletnie narażenie środowiska od składowisk odpadów promieniotwórczych: określenie Reference Biospheres.
4. EMRAS I: Environmental Modeling for Radiation Safety (2003 – 2007)
 - 1.1. scenariusze rutynowych i nadzwyczajnych sytuacji radiacyjnych (Czarnobyl),
 - 1.2. poradniki dla tworzenia modeli radioekologicznych, podręczniki z uaktualnionymi danymi współczynnikami transportu radionuklidów między poszczególnymi komponentami środowiska,
 - 1.3. testowanie i porównanie modeli dla oceny narażenia fauny i flory.
5. EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety (2009 – 2011)
 - 5.1. referencyjna metodyka dla oceny dawek dla ludności,
 - 5.2. referencyjna metodyka przy rutynowych uwolnieniach z EJ,
 - 5.3. referencyjna metodyka tworzenia modeli dla oceny efektów gospodarki odpadami promieniotwórczymi i rekultywacji obszarów o wysokim poziomie radionuklidów naturalnych (NORM) i dawnych miejsc skażeń,
- 5.4. modele referencyjne dla oceny narażenia od składowisk odpadów promieniotwórczych.
6. Referencyjna metodyka do oceny dawek dla fauny i flory
 - 6.1. modele oceny narażenia fauny i flory (BIOTA),
 - 6.2. współczynniki transportu radionuklidów w ekosystemie dziko żyjących roślin i zwierząt (Podręcznik),
 - 6.3. tworzenie modeli dla oceny skutków dawek radiacyjnych otrzymywanych przez przedstawicieli fauny i flory.
7. Metodyka dla oceny narażenia w nadzwyczajnych zdarzeniach radiacyjnych
 - 7.1. uwolnienia trytu (HTO, OBT) podczas awarii w obiektach jądrowych,
 - 7.2. wrażliwość środowiska na promieniowanie,
 - 7.3. obszary miejskie (modele dla oceny narażenia ludności w wypadku użycia urządzenia rozpraszającego substancje promieniotwórcze na obszarach miejskiej zabudowy).
8. MODARIA MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments
 - 8.1. rekultywacja terenów skażonych,
 - 8.2. strategia rekultywacji oraz techniki wspomaganie decyzji,
 - 8.3. ekspozycje radiacyjne w wypadku skażeń w środowisku zabudowy miejskiej – efektywność podejmowanych środków zaradczych,
 - 8.4. zastosowanie modeli do oceny narażenia radiologicznego środowiska w skutek występowania podwyższonych stężeń radionuklidów naturalnych (NORM) oraz radionuklidów antropogenicznych na dawnych miejscach skażeń.
9. Niepewność i zmienność prognozy dawek
 - 9.1. 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,
 - 9.2. określenie czynników posiadających istotne znaczenie dla niepewności i zmienności wielkości narażenia radiologicznego przy

- rutynowych uwolnieniach substancji promieniotwórczych,
- 9.3. jednolita metodyka ewidencji zmian w środowisku dla długoterminowych ocen bezpieczeństwa składowisk odpadów radioaktywnych,
- 9.4. ujednoczenie metodyki oraz oceny porównawcze modeli służących do oceny narażenia przy awaryjnych uwolnieniach trytu.
10. Ekspozycje na promieniowanie i skutki ekspozycji dla fauny i flory
- 10.1. tworzenie modeli dla fauny i flory: zaawansowane modele transportu i ekspozycji radiacyjnej oraz ich zastosowanie dla różnych scenariuszy narażenia,
- 10.2. modele dla oceny efektów radiacyjnych w populacjach dziko żyjących gatunków.
11. Tworzenie modeli środowiska morskiego
- 11.1. tworzenie modeli dyspersji i transportu w przypadku awaryjnych uwolnień radionuklidów do środowiska morskiego z lądowych obiektów lądowych.

Wyniki

Wyniki prac grupy roboczej 5 – Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej uczestniczyło w pracach grupy 5, które skupiały się na zagadnieniach „*identyfikacji czynników posiadających istotne znaczenie dla niepewności i zmienności wielkości narażenia radiologicznego przy rutynowych uwolnieniach substancji promieniotwórczych*”.

Podstawowe prace grupy dotyczyły prognozy dawek i oceny narażenia populacji (z wyodrębnieniem grup referencyjnych) dla rzeczywistych danych dotyczących rutynowych uwolnień EJ do atmosfery i rzeki Loary z francuskiej elektrowni w Chinon B (PWR) [Bloki B1, B2, B3, B4]; każdy blok – 2785 MW_{tm}, ≈950 MWe] (Rysunek 5). Pełny zbiór danych zawierający m.in. dane meteorologiczne, hydrologiczne, praktyki rolnicze, zwyczaje żywieniowe i behawioralne dostarczył IRSN.

W zadaniu tym brało udział kilka modeli komputerowych stworzonych dla prowadzenia obliczeń wielkości oraz rozkładu prawdopodobieństwa dawki metodami probabilistycznymi¹²:

- model francuski IRSN SYMBIOSE- modułowy z wbudowanym pakietem probabilistycznym MC, umożliwiający również analizę przestrzenną wyników, był traktowany jako model referencyjny ponieważ używany był do obliczeń Scenariusza Chinon, również opracowanego przez IRSN,
 - model słowacki ESTE AI f-my ABMerit, bazujący na platformie GIS, z możliwością powadzenia obliczeń probabilistycznych,
 - model hiszpański CROM rozwijany w CIEMAT, w ramach projektu STAR z wbudowanym pakietem probabilistycznym MC, natomiast nie posiadający sub-modelu HTO, OBT oraz ¹⁴C, <http://cromerica.ciemat.es>,
 - model polski CLRP (routine releases) oparty na platformie EXCEL Microsoft Office 365 z probabilistycznym modułem wspomagającym Crystal Ball Oracle. W/w model ma również opcję prowadzenia przestrzennej analizy GIS i daje możliwość identyfikacji obszarów o maksymalnym skażeniu gruntu w przypadku uwolnień do atmosfery oraz obszarów o maksymalnym stężeniu radionuklidów w strumieniu rzeki. Podstawowe parametry wejściowe modelu oparto na publikacjach [19, 22, 26] Wielkości uwolnień z EJ Chianon przedstawia Tabela 1.
- Można zauważyć, że aktywność trytu HTO uwalniana do rzeki Loary jest ponad około 5 razy większa od tej uwalnianej do powietrza, odpowiednio, przy czym w obu przypadkach dominują radionuklidy:
- tryt HTO ($5,42 \cdot 10^4$ GBq·y⁻¹ do rzeki; $2,12 \cdot 10^3$ GBq·y⁻¹ do powietrza) oraz
 - węgiel ¹⁴C ($4,6 \cdot 10^1$ GBq·y⁻¹ do rzeki; $6,1 \cdot 10^1$ GBq·y⁻¹ do powietrza),
 - ksenony ¹³³Xe, ¹³⁵Xe ($1,15 \cdot 10^3$ GBq·y⁻¹, $1,73 \cdot 10^2$ GBq·y⁻¹ do powietrza).

Udział pozostałych izotopów w uwalnianej aktywności całkowitej jest niewielki, w przypadku uwolnień do powietrza 8%, w przypadku uwolnień

¹² Zobacz rozdział „Klasyfikacja komputerowych modeli dla oceny narażenia środowiska”

do wody pomijalny <1%. Opisane tutaj stosunki izotopowe uwolnień skutkują podobnym udziałem poszczególnych radionuklidów w całkowitej dawce dla ludności, przy czym warto zauważyć, że istotną składową stanowi tylko ekspozycja wewnętrzna, w przypadku uwolnień do rzeki dominującą składową dawki stanowi przejście radionuklidów z rzeki do ujęcia wody pitnej oraz spożywanie odławianych w rzece ryb, w przypadku uwolnień do atmosfery – skażenie powierzchni roślin opadem radioaktywnym (suchym i mokrym), wkład ekspozycji zewnętrznej od immersji w chmurze mimo dużych aktywności uwalnianych gazów szlachetnych jest pomijalny.

Dokładne omówienie zastosowanych algorytmów i szczegółową analizę wyników można znaleźć w raporcie [28].

Wyniki obliczeń deterministycznych

Całkowita dawka w skutek uwolnień radionuklidów do rzeki z EJ Chianon dla osoby dorosłej z grupy referencyjnej $0,95 \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$. Dominującą składową, stanowiącą 95% całkowitej dawki jest dawka od wniknięć drogą pokarmową ($0,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$), przy czym jest to dawka średnia, tzn. liczona na podstawie wartości średnich parametrów wejściowych. Wkład pozostałych składowych tzn. dawki ekspozycji zewnętrznej od zanurzenia w wodzie oraz dawki od ekspozycji zewnętrznej od skażeń gruntu w wyniku podlewania roślin jest około 5%. Udział poszczególnych radionuklidów w dawce od wniknięć drogą pokarmową jest następujący: ^{14}C (74%), tryt HTO & OBT ($25,4\%$)¹³, ^{137}Cs (0,18%), ^{134}Cs (0,21%), ^{60}Co (0,12%). Wkład pozostałych izotopów jest <4%. Odnośnie udziału poszczególnych produktów diety w całkowitej dawce pokarmowej, to głównie zależy on od radionuklidu, ale w przypadku Scenariusza Chianon, również od udziału lokalnie wytwarzanego produktu w całkowitej diecie mieszkańca otoczenia Chianon, ponieważ, jak wykazały specjalne badania ankietowe, np. mleko i produkty mleczne oraz produkty zbożowe nie są wytwarzane lokalnie, lecz pochodzą z innych terenów Francji, w sposób następujący:

- dla ^{14}C – ryby (34%), owoce (28%), kartofle (20%),

- dla HTO – woda pitna (32%), owoce(29%), warzywa liściaste (13%), kartofle (8%), warzywa korzeniowe (5,4%).

Całkowita dawka w skutek uwolnień radionuklidów do atmosfery EJ Chianon dla osoby dorosłej z grupy referencyjnej jest znacząco mniejsza niż dawka przy uwolnieniach do rzeki i wynosi odpowiednio:

- Chinon (most – miejsce wędkowania) – 500 m od ujścia zrzutu do rzeki ($2,4\cdot 10^{-2} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$),
- Chouze (ujęcie wody do podlewania roślin) – 3000 m od ujścia zrzutu do rzeki ($2,2\cdot 10^{-2} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$),
- Montserau (ujęcie wody do picia) – 9000 m od ujścia zrzutu do rzeki ($2,17\cdot 10^{-2} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$).

W przypadku uwolnień do atmosfery skażenie wody pitnej nie jest brane pod uwagę.

Dominującą składową całkowitej dawki jest dawka od wniknięć drogą pokarmową (98%), w której największy udział ma węgiel ^{14}C (89%), a następnie tryt HTO & OBT¹⁴ (10,1%). Wkład pozostałych izotopów jest istotnie mniejszy: cez ^{137}Cs (0,13%), cez ^{134}Cs (0,14%) i kobalt ^{60}Co (0,03%). Wkład pozostałych do całkowitej dawki jest <2%. Udział poszczególnych produktów diety w całkowitej dawce pokarmowej jest następujący:

- dla ^{14}C – owoce (34%), kartofle (28%), jajka (10%), mięso drobiowe (8%) oraz warzywa liściaste (~ 8%),
- dla HTO – owoce(47%), warzywa liściaste (22%), kartofle (18%), warzywa korzeniowe (~ 9%),
- dla ^{137}Cs – warzywa liściaste (97%),
- dla ^{60}Co – warzywa liściaste(98%).

Wyniki obliczeń probabilistycznych

Rysunek 6 pokazuje przykładowy rozkład gęstości prawdopodobieństwa dawek skutecznych od wniknięć drogą pokarmową węgla ^{14}C , radionuklidu dla mieszkańca 9 km strefy wokół elektrowni. Węgiel ^{14}C ma największy wkład do dawki od wchłonięć drogą pokarmową ($6,7\cdot 10^{-1} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$). Rozkłady PDF ustalono dla 98 parametrów wejściowych, typ funkcji rozkładu PDF (logarytmiczno-normalny, trójkątny, prostokątny, normalny) przypisany określone parametrowi, wynikał z charakteru zjawiska opisywanego tą funkcją, np. współczynniki transferu radionuklidu między poszczególnymi komponentami środowiska

¹³ tryt OBT (1.4%)

¹⁴ dla trytu OBT również (1.4%)

dla których znana była średnia geometryczna i odchylenie standardowe, opisywane były rozkładem logarytmiczno-normalnym, parametry opisujące praktyki rolnicze lub zwyczajowe jak, np. ilość wody używanej do podlewania roślin, wielkość konsumpcji produktów spożywczych opisywane były rozkładem trójkątnym, parametry czasowe, jak np. liczba dni upływających między czasem wytworzenia produktu, a konsumpcją – rozkładem prostokątnym¹⁵.

Zakres dawek mieścił się w zakresie (od min $2,3 \cdot 10^{-1}$ do max. $1,8 \mu\text{Sv} \cdot \text{rok}^{-1}$), natomiast 95% dawek było mniejszych niż $\sim 1,0 \mu\text{Sv} \cdot \text{rok}^{-1}$, co stanowi mniej niż dwukrotna wartość średniej dawki $6,7 \cdot 10^{-1} \mu\text{Sv} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Wnioski

Ostatnie rekomendacje Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej, przeniesione zostały do dyrektywy Komisji Europejskiej i od 2018

będą obligatoryjne dla członków UE. Oznacza to, że przedstawiona w niniejszym artykule metodyka oceny niepewności prognozy dawek stanie się wkrótce standardem wymaganym przez np. organy dozoru jądrowego przy ocenie wpływu obiektu jądrowego na środowisko. Metodyka ta ma niewątpliwą zaletę, ponieważ *explicite* pokazuje znikome prawdopodobieństwo wystąpienia większych dawek przy normalnej pracy elektrowni jądrowej. Obciążona jest jednak istotnymi wadami. Wymaga zastosowania zaawansowanego aparatu prognoz probabilistycznych Monte Carlo, jak również dokładnego opisu statystycznego paramentów opisujących zachowanie się radionuklidów w środowisku. Brakuje również autoryzowanych na poziomie międzynarodowym poradników zawierających ujednocicone zbiory funkcji gęstości prawdopodobieństwa PDF istotnych parametrów środowiskowych.

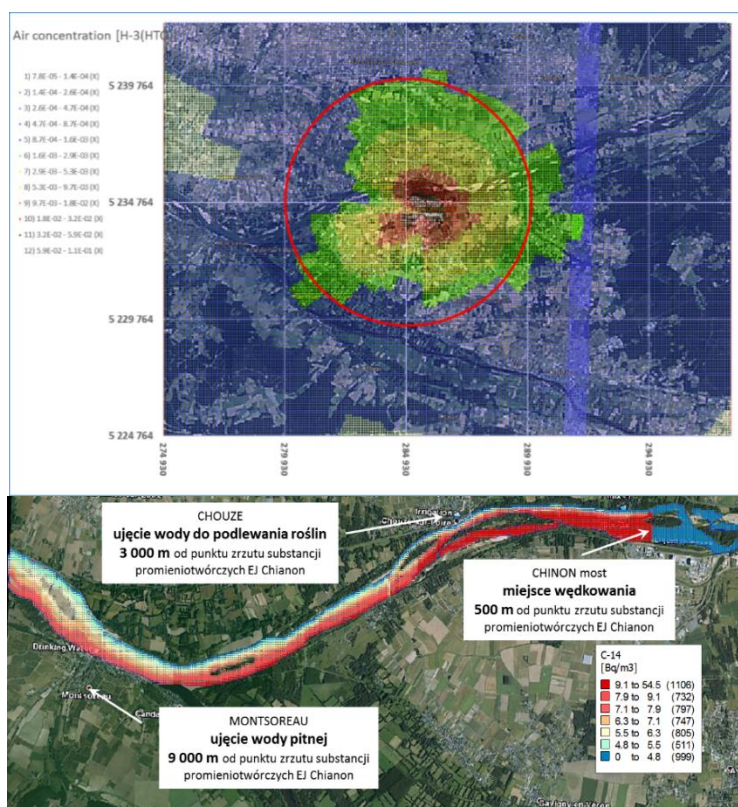


Rysunek 4. Widok z lotu ptaka francuskiej elektrowni jądrowej w Chinon B. Rutynowe uwolnienia do powietrza z bloków 1-2 oraz 3-4, miejsce zrzutu ścieków promieniotwórczych do rzeki Loara.

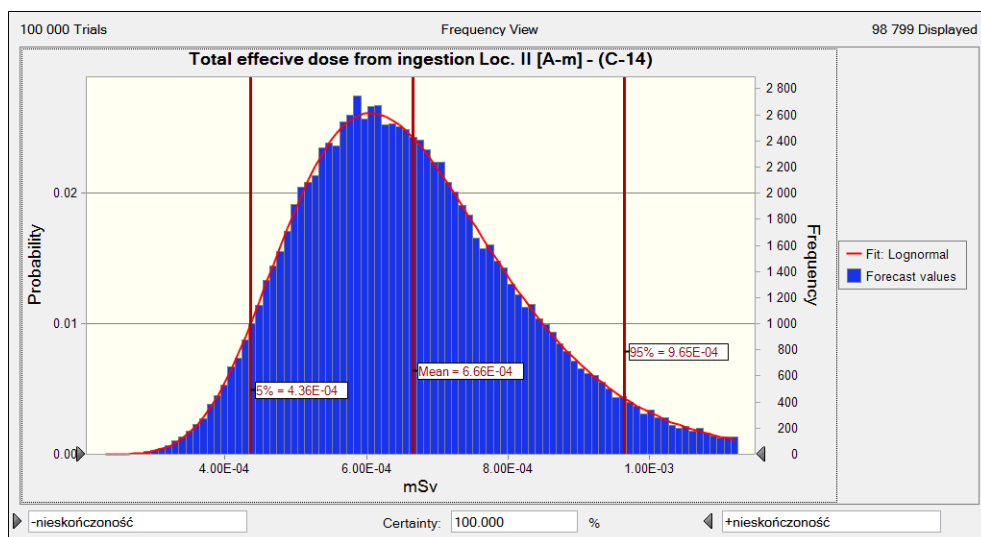
¹⁵ dla węgla ¹⁴C który ma okres połowicznego zaniku 5730 lat czas ten nie miał żadnego znaczenia

Tabela 1. Przyjęte wielkości uwolnień z EJ CHINON

Scenariusz Chinon uwolnienia do atmosfery				Chinon uwolnienia do rzeki Loara	
Radionuklid	Blok 1-2 [GBq·y ⁻¹]	Blok 3-4 [GBq·y ⁻¹]	Total [GBq·y ⁻¹]	Radionuklid	[GBq·y ⁻¹]
³ H(HTO)	1,03·10 ³	1,03·10 ³	2,12·10³	³ H (HTO)	5,42·10⁴
¹⁴ C(mineral)	6,10·10 ¹	6,10·10 ¹	1,22·10²	¹⁴ C (mineral)	4,6·10¹
⁴¹ Ar	6,80·10 ¹	6,80·10 ¹	1,36·10 ²	³¹ Mn	1,00·10 ⁻²
⁸⁵ Kr	1,47·10 ¹	1,47·10 ¹	2,94·10 ¹	⁶³ Ni	2,00·10 ⁻²
^{131m} Xe	7,25·10 ⁻²	7,25·10 ⁻²	1,45·10 ⁻¹	^{110m} Ag	1,58·10 ⁻¹
¹³³ Xe	5,75·10 ²	5,75·10 ²	1,15·10³	^{123m} Te	9,00·10 ⁻³
¹³⁵ Xe	8,65·10 ¹	8,65·10 ¹	1,73·10²	¹²⁴ Sb	1,00·10 ⁻²
				¹²⁵ Sb	2,80·10 ⁻²
¹³¹ I (molecular)	8,60·10 ⁻³	8,60·10 ⁻³	1,72·10 ⁻²	¹³¹ I	1,10·10 ⁻²
¹³³ I (molecular)	5,20·10 ⁻³	5,20·10 ⁻³	1,04·10 ⁻²		
¹³⁴ Cs	1,89·10 ⁻⁴	1,89·10 ⁻⁴	3,78·10 ⁻⁴	¹³⁴ Cs	1,00·10 ⁻²
¹³⁷ Cs	2,27·10 ⁻⁴	2,27·10 ⁻⁴	4,54·10 ⁻⁴	¹³⁷ Cs	1,20·10 ⁻²
⁵⁸ Co	3,48·10 ⁻⁴	3,48·10 ⁻⁴	6,96·10 ⁻⁴	⁵⁸ Co	5,70·10 ⁻²
⁶⁰ Co	2,19·10 ⁻⁴	2,19·10 ⁻⁴	4,38·10 ⁻⁵	⁶⁰ Co	7,20·10 ⁻²



Rysunek 5. Rozkład przestrzenny stężeń w powietrzu i w wodzie w wyniku rutynowych uwolnień EJ Chinon B do atmosfery i do rzeki Loary. Na dolnym rysunku pokazano również lokalizację trzech punktów odniesienia dla oceny dawek: ujęcie wody do podlewania roślin, ujęcie wody pitnej, miejsce połowu ryb.



Rysunek 6. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dawki efektywnej od wniknięć drogą pokarmową węgla ^{14}C mieszkańca 3 km strefy wokół EJ Chinon.

Literatura

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] BIOMOVS (1991), Proceedings of a Symposium on the Validity of Environmental Transfers Models (Stockholm, 1990), Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm Sweden.
- [9] BIOMOVS II (1996), Uncertainty and Validation: Effect of Model Complexity on Uncertainty Estimates. BIOMOVS II Technical Report No. 16, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, Sweden.
- [10] 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, IAEA, Vienna (1996).
- [11] GRS Part 3 (2014), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3. No. GSR Part 3, International Atomic Energy Agency Vienna, 2014.
- [12] Hoffman, F.W. et al. (1983). The Transfer of Co-60, Sr-90, I-131 and Cs-137 through Terrestrial Food Chains, A Comparison of Model Predictions, Swedish Report

-
- STUDSVIK/NW-83/417, Studsvik Energiteknik AB, Sweden.
- [13] ICRP 103 (2007), The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier (2007).
- [14] 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).
- [15] ICRP 114 (2009), Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6).
- [16] ICRP 124 (2014), Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- [17] MODARIA (2012-2015), Modelling and Data for Radiological Impact Assessments, <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#0>.
- [18] Rap. Kom. Rz. (1986), Raport Komisji Rządowej (1986), Komisja Rządowa do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych, 1986, Warszawa.
- [19] SRS 19 (2001), Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001.
- [20] SS 57 (1982), Generic models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases. Safety Series No. 57, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1982.
- [21] SS 75 (1986), International Nuclear Safety Advisory Group, Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 75, 1986, Vienna.
- [22] TECDOC 1616 (2010), Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, AEA-TECDOC-1616, IAEA, Vienna, 2009.
- [23] TECDOC 1678 (2012), Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS), A Summary Report of the Results of the Emras Programme (2003–2007), IAEA-TECDOC-1678, International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2012, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_Web.pdf.
- [24] 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, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_795_prn.pdf.
- [25] 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 (1996), http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_904_prn.pdf.
- [26] TRS 472 (2010), Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Technical Reports Series No. 472, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2010.
- [27] TRS 479 (2014), Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife, Technical Reports Series No. 479, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2014.
- [28] 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>.

Indywidualna dozymetria neutronowa oparta o folie CR-39 – optymalizacja metody pod kątem zastosowania przy izotopowych źródłach neutronów

K. Szewczak

Wprowadzenie

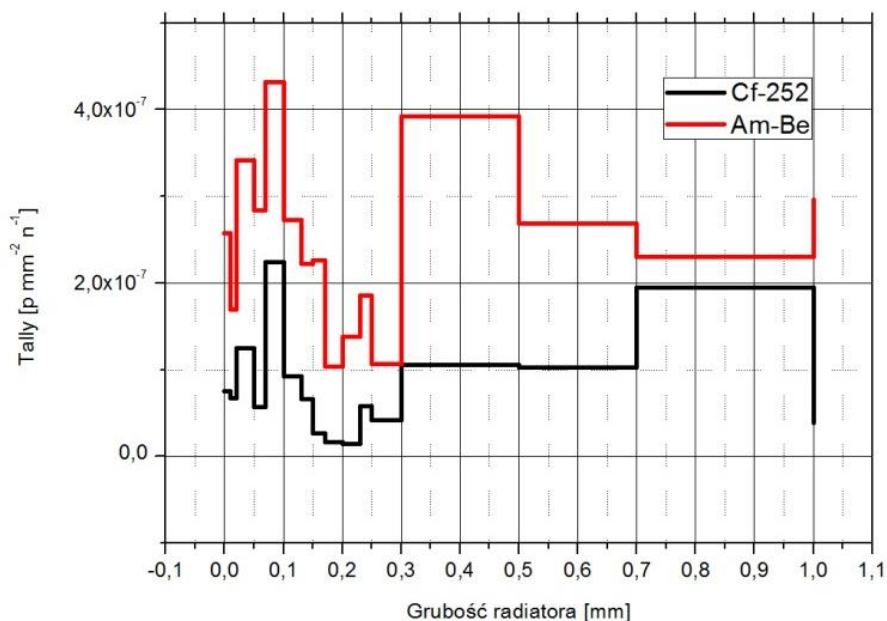
Źródła neutronowe są powszechnie stosowane zarówno w przemyśle, nauce oraz medycynie. Ze względu na sposób produkcji, źródła neutronowe można podzielić na trzy rodzaje: źródła izotopowe, akceleratorowe oraz reaktory jądrowe. Obecnie zarówno w przemyśle jak i nauce najczęściej wykorzystywanymi źródłami są źródła izotopowe oraz akceleratorowe. Sytuacja związana ze wzrostem aplikacji źródeł neutronowych wymaga wdrożenia oraz rozwoju metod dozymetrii indywidualnej oraz środowiskowej mających zastosowanie przy tego rodzaju promieniowaniu. Metody te powinny być optymalizowane pod kątem rodzajów źródeł w otoczeniu których będą używane co ma wpływ na zmniejszenie w znacznym stopniu niepewności wykonywanych pomiarów dozymetrycznych.

Badania nad metodą indywidualnej dozymetrii neutronowej opartej na detektorach śladowych typu CR-39 została zapoczątkowana w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w 2013 roku. Wówczas podjęto działania mające na celu adaptację dostępnej infrastruktury przeznaczonej do badań stężenia radonu w powietrzu za pomocą detektorów CR-39 do pomiarów neutronowych. Rezultatem było przeprowadzenie pierwszych pomiarów strumienia neutronów pochodzących ze źródła Am-Be. W badaniach wykorzystano konfigurację dawkomierza wyposażonego w radiator polietylenowy o grubości 1 mm.

W proponowanej metodzie kluczowy wpływ na otrzymywane wyniki posiadają trzy czynniki: widmo energetyczne rejestrowanych neutronów, konfiguracja dawkomierza (grubość oraz materiał stosowanego radiatora) oraz warunki trawienia detektora CR-39. Ostatni czynnik tj. warunki trawienia zostały dobrze poznane oraz dostosowane podczas długoletniego

wykorzystywania detektorów CR-39 w pomiarach radonowych, nie stanowiły więc one elementu badania obecnego w prezentowanym zadaniu. Celem badań podjętych w 2015 roku było zoptymalizowanie grubości radiatora w zależności od widma energetycznego rejestrowanych neutronów. Wydajność rejestracji w metodzie jest bezpośrednio związana z przekrojem czynnym na produkcję protonów odrzutu w radiatorze, który jest funkcją energii padających neutronów. Zależność ta jest dobrze scharakteryzowana i stabelaryzowana między innymi w bazie JANIS [1].

Podjęte badania obejmowały widma energetyczne neutronów emitowanych ze źródeł izotopowych: $^{241}\text{Am-Be}$ oraz ^{252}Cf przyjmując znormalizowane widma energetyczne emitowanych neutronów [2]. Ponieważ badania obejmowały część eksperymentalną oraz część obliczeniową wykorzystującą symulację metodą Monte Carlo, cała praca podzielona została na dwa etapy. W pierwszym etapie przeprowadzono ekspozycję detektorów CR-39 wyposażonych w radiator o grubości 1 mm wykonany z polietylenu o ultra wysokiej masie molowej (PE UHMW 1000) wykorzystując dobrze scharakteryzowaną wiązkę neutronów pochodzących ze źródła $^{241}\text{Am-Be}$ będącego na wyposażeniu Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych CLOR. Po procesie trawienia, detektory zostały poddane analizie pod kątem ilości zarejestrowanych śladów. Drugim etapem było przeprowadzenie symulacji metodą Monte Carlo, wykorzystując kod MCNP5 [3], odzwierciedlającej rzeczywistą konfigurację przeprowadzonej ekspozycji. Opracowany został plik wejściowy z zadeklarowaną geometrią oraz rodzajem źródła użytego w eksperymencie. Geometria obejmowała pomieszczenie eksperymentalne (ściany, podłoga sufit), irradiator z zamontowanym źródłem neutronowym oraz



Rysunek 1. Zależność ilości protonów padających na powierzchnię detektora CR-39 w funkcji grubości zastosowanego radiatora polietylenowego w przypadku pomiaru neutronów ze źródła $^{241}\text{Am-Be}$ oraz ^{252}Cf .

detektor CR-39 z radiatorem o składzie i gęstości identycznej jak użyty w eksperymencie. Porównanie wyników z eksperymentu oraz z symulacji miało na celu walidację zadeklarowanej geometrii, co pozwoliło następnie na przeniesienie symulacji na inne grubości radiatora oraz inne źródła neutronowe.

Wyniki

Czas ekspozycji detektorów CR-39 wyniósł 1800 s. Zgodnie z danymi z certyfikatu, źródło neutronowe ($^{241}\text{Am-Be}$) zainstalowane w CLOR emituje $1,1 \times 10^6 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$. W wyniku analizy detektorów CR-39, eksponowanych w wiązce neutronowej, otrzymano wartość $2,23 \text{ ślady}\cdot\text{mm}^{-2}$. Z drugiej strony, tj. w wyniku symulacji Monte Carlo otrzymano informację iż w analogicznych warunkach geometrycznych ekspozycji na powierzchnię detektora pada $1,30 \text{ protonów}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{n}_z^{-1}$ ¹⁶. Przeliczając tę wartość przy założeniach czasu ekspozycji jak przy eksperymencie oraz wartości emisji źródła otrzymujemy wartość $2,57 \text{ protonów}\cdot\text{mm}^{-2}$.

¹⁶ Symulacja była przygotowana w taki sposób aby jej wynikiem była ilość protonów na jednostkową powierzchnię na każdy neutron wyemitowany ze źródła padających na powierzchnię detektora CR-39 przylegającą do radiatora polietylenowego.

Zakładając, iż każdy proton padający na powierzchnię detektora CR-39 spowoduje uszkodzenie odzwierciedlane następnie w postaci śladów, ostatnią wartość możemy zapisać w notacji $2,57 \text{ ślady}\cdot\text{mm}^{-2}$. Porównując wartości otrzymane z eksperymentu oraz symulacji należy zauważyć ich wysoką zgodność. Fakt ten stanowi podstawę do przyjęcia iż stworzona geometria jest zaprojektowana poprawnie i można przy jej użyciu przeprowadzić analizę z innymi grubościami radiatorów oraz ze źródłem ^{252}Cf .

W związku z powyższym przeprowadzono symulację dla różnych grubości radiatorów od 0 do 1 mm, przy czym pierwszą grubością radiatora było 0,01 mm. Symulację przeprowadzono dla źródła $^{241}\text{Am-Be}$ oraz ^{252}Cf . Wyniki tych symulacji przedstawione zostały na Rysunku 1.

Wnioski

Przeprowadzone badania pokazują iż odpowiedni dobór grubości radiatora w zależności od widma energetycznego neutronów mierzonych metodą opartą na detektorach śladowych CR-39 ma istotny wpływ na otrzymywane wyniki. W przypadku źródeł $^{241}\text{Am-Be}$ oraz ^{252}Cf przy zastosowaniu radiatora o grubości 0,4 mm wydajność produkcji śladów w detektorze spada 4-krotnie. Należy również zaznaczyć,

iż przeprowadzone badania odnoszą się do znormalizowanych widm neutronowych. W rzeczywistości widma energetyczne mogą znacznie różnić się od tych przedstawionych w pracy, nawet w przypadku stosowania źródła tego samego rodzaju. Powodowane jest to przede wszystkim, mającymi istotne znaczenie, procesami rozpraszania neutronów przez elementy znajdujące się w ich bezpośrednim otoczeniu. Dodatkowo dysponując odpowiednio zadeklarowanym kodem opisującym emisję neutronów, przedstawiona metoda może zostać zastosowana do innego rodzaju źródeł neutronowych tj. generatory neutronów.

Literatura

- [1] JANIS – OECD Nuclear Energy Agency, <https://www.oecd-neo.org/janis/>
- [2] International Standard, ISO 8529-1:2001(E), Reference neutron radiation: Part 1 Characteristics and methods of production
- [3] F. B. Brown et al., MCNP – A general Monte Carlo N-particle transport code, version 5, Los Alamos National Laboratory, Oak Ridge, TN, 2003

Charakterystyka systemów do wykonywania map radiologicznych skażeń promieniotwórczych powierzchni ziemi z wykorzystaniem aparatury zamontowanej na statkach powietrznych

K. Szewczak

Wprowadzenie

W trakcie zdarzeń radiacyjnych mających charakter wielkoskalowy, takich jak awaria reaktora jądrowego, zagubienie źródła czy niekontrolowane uwolnienia substancji radioaktywnych, konieczne jest wykonanie skanowania dużych obszarów w jak najkrótszym czasie. Układy oparte na powietrznych systemach mapowania radiologicznego (PSMR) należą do najszybszych metod wykonywania map radiologicznych dużych obszarów w krótkim czasie – wydajność metody sięga $10^8 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$. Pomiaru wykonane tą techniką mogą służyć następnie do określenia punktów neuralgicznych wymagających dokładnych pomiarów *in-situ* z wykorzystaniem ekip naziemnych. Pod pojęciem „powietrzne systemy mapowania radiologicznego” należy rozumieć ogólne określenie różnych rodzajów przyrządów umieszczonych na pokładzie statków powietrznych. Obecnie jako detektory stosuje się wyłącznie scyntylatory lub detektory półprzewodnikowe. Jako nośniki tych układów najczęściej wykorzystuje się śmigłowce. Jednak nie tylko, istnieją również układy przeznaczone do zamontowania na samolotach oraz sterowanych radiowo dronach. Metody pomiarów z powietrza są obecnie dobrze rozwinięte na świecie. W Stanach Zjednoczonych metody te były szeroko stosowane w mapowaniu geologicznym. W Europie w krajach takich jak Francja, Niemcy, Szwajcaria, Dania czy Szwecja [1] systemy takie funkcjonują od kilkudziesięciu lat. Służą zarówno określaniu poziomu naturalnego poziomu promieniowania gamma, jak również stanowią element szybkiego reagowania w przypadku skażenia dużych powierzchni. Cyklicznie organizowane są również ćwiczenia międzynarodowe w zakresie sporządzania map radiologicznych z wykorzystaniem tego typu systemów, zaś kraje

posiadające energetykę jądrową dążą do konsolidacji swoich PSMR w celu umożliwienia ich skoordynowanego działania w przypadku skażenia obejmującego kilka krajów [2]. Warto również zaznaczyć, iż tego typu system był również zaprojektowany i użyty w Polsce w latach 70-tych. Przy jego użyciu wykonane zostały pierwsze wielkoobszarowe pomiary naturalnego tła promieniowania gamma w okolicach planowanej wówczas budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej w Żarnowcu. System ten został opracowany w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej i wykorzystywał układ pomiarowy zamontowany na samolocie An-2 [3].

Wnioski

Przeprowadzenie prezentowanej analizy umożliwiło wyciągnięcie następujących wniosków oraz założeń:

1. Powietrzne Systemy Mapowania Radiologicznego są z powodzeniem stosowane od przeszło 40 lat zarówno w Europie jak i na świecie. Metody mapowania przy użyciu statków powietrznych jest dobrze opracowana i istnieje wiele opracowań umożliwiających implementację tej metody w warunkach polskich.
2. Metody oparte o PSMR mogą być wykorzystywane zarówno do mapowania naturalnych radioizotopów, do oceny poziomu naturalnego tła promieniowania gamma jak i w sytuacjach awaryjnych do jakościowego określania stopnia skażenia powierzchni gruntu.
3. Możliwe jest zastosowanie w PSMR różnych statków powietrznych w zależności od potrzeb odnośnie wielkości obszaru przeznaczonego do analizy, potrzebnej dokładności oraz

nakładów finansowych na przeprowadzenie danej analizy.

4. Najpowszechniej stosowanymi środkami transportu są obecnie helikoptery, jednak dzięki rozwojowi technologii budowy sterowanych drogą radiową dronów, coraz częściej w krajach posiadających energetykę jądrową wprowadza się systemy oparte o tego typu statki powietrzne.
5. Dzięki dużej ilości materiałów na temat budowy, kalibracji oraz walidacji PSMR możliwe jest wdrożenie tego typu systemu w warunkach polskich w relatywnie krótkim czasie oraz przy nakładach finansowych na poziomie 2,0 – 2,5 mln zł.
6. Obecnie prowadzone badania ukierunkowane są na możliwość wdrożenia w PSMR innych detektorów niż scyntylatory NaI(Tl) oraz półprzewodnikowych HPGe. Na szczególną uwagę zasługują detektory LaBr.

Literatura

- [1] D. C. Sanderson, J. M. Ferguson, The European capability for environmental airborne gamma ray spectrometry. *Radiation Protection Dosimetry*, 73 (1-4), 213-218, 1997.
- [2] Benno Bucher et. al. International Intercomparison Exercise of Airborne Gammametric Systems of Germany, France and Switzerland in the Framework of the Swiss Exercise ARM07, PSI Bericht Nr. 09-07, June 2009, ISSN 1019-0643.
- [3] B. Gwiazdowski, J. Pieńsko, J. Jagielak, M. Biernacka, K. Mamont-Cieśla, J. Henchke Badania środowiskowe ziemskiego tła promieniowania gamma w rejonie przewidywanej lokalizacji pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. *Postępy Fizyki Medycznej*, 1975, X, 1-2.
- [4] Tatsuo Torii, Yukihisa Sanada, Radiation measurement by unmanned aircraft after Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Remotely Piloted Aircraft Systems Symposium ICAO Headquarters, Montréal, Canada 23 – 25 March 2015.*

Ocena narażenia na promieniowanie w otoczeniu akceleratorów do prześwietleń pojazdów na przejściach granicznych w Polsce

K. Szewczak, K. Wołoszczuk

Wprowadzenie

Skanery umożliwiające prześwietlanie pojazdów osobowych, ciężarowych oraz składów kolejowych wykorzystywane są na przejściach granicznych w Polsce od kilkunastu lat. Obecnie funkcjonuje w Polsce kilkadziesiąt tego typu układów. W zależności od rodzaju akceleratora oraz energii generowanego promieniowania X (od 1 do 9 MeV) skanery wykorzystywane są do prześwietleń pojazdów osobowych, ciężarowych lub składów kolejowych. Z punktu widzenia metody operacji można wyróżnić skanery stacjonarne oraz ruchome. W przypadku skanerów stacjonarnych nieruchomy zostaje zestaw akcelerator-detektor zaś w wiązce promieniowania przemieszcza się skanowany obiekt. W tym przypadku skanowanie rozpoczyna za kabiną kierowcy (w przypadku samochodów ciężarowych lub po zakończeniu się lokomotywy (w przypadku składu kolejowego). W przypadku skanerów ruchomych obiekt skanowany pozostaje nieruchomy zaś przemieszcza się zestaw akcelerator-detektor. Tego typu konstrukcja umożliwia skanowanie zarówno pojazdów ciężarowych jak i osobowych, ze względu na nieobecność kierowcy w trakcie skanowania. Na tej technice oparte są również najczęściej skanery mobilne.

W przypadku skanerów wykorzystujących promieniowanie X o energii na poziomie 9 MeV, należy spodziewać się w otoczeniu urządzenia również neutronów. Ich obecność wynika z wystarczająco wysokiej energii do zachodzenia reakcji foto-neutronowych (γ, n), które posiadają próg energetyczny, w zależności od pierwiastka tarczy na poziomie od kilku MeV. Dla przykładu dolny próg energetyczny dla reakcji (γ, n) dla izotopu ^{208}Pb (stanowiącego przeważający izotop w ołowiu – 52,4%) wynosi 7,37 MeV.

Przeprowadzone pomiary ukierunkowane były więc dwutorowo. Pierwszym celem badań było więc określenie stopnia narażenia osób obsługujących tego typu urządzenia jak również zbadanie konsekwencji przypadkowego prześwietlenia osoby w skanowanym obiekcie. Po drugie założono przeprowadzenie ekspertyzy natężenia pola neutronowego w otoczeniu układów skanujący pracujących przy energiach promieniowania X równych i wyższych niż 6 MeV.

Ocena narażenia radiologicznego od promieniowania fotonowego w otoczeniu skanerów granicznych przeprowadzona została dwoma metodami pomiarowymi – metodą aktywną oraz pasywną. Wartości pomiarów w obu przypadkach wyrażone zostały ostatecznie w wielkości przestrzennego równoważnika dawki $H^*(10)$. W ramach metody aktywnej głównym instrumentem była wysokoczuła komora jonizacyjna RSS-131. W metodzie pasywnej wykorzystywane były wysokoczułe detektory termoluminescencyjne (TLD) typu MCP-N. Dodatkowo w przypadku skanerów wykorzystujących fotony o energii 9 MeV przeprowadzone zostały pomiary neutronowe w wiązce skanującej, wykorzystując przyrząd aktywny Berthold z sondą LB6411.

Wyniki

Maksymalna zarejestrowana moc dawki ekspozycyjnej w otoczeniu skanera wynosiła $1,1 \text{ mR}\cdot\text{h}^{-1}$ na jedno skanowanie. Średni czas skanowania wynosił 120 sekund. Oznacza to że podczas jednego skanowania pracownik może otrzymać dawkę na poziomie 0,04 mR co odpowiada $0,38 \mu\text{Sv}$. Została ona zarejestrowana na przejściu w Medyce, w otoczeniu skanera kolejowego.

W przypadku niekontrolowanej ekspozycji osoby pozostającej w skanowanym pojeździe. Największe zagrożenie występuje również na przejściu granicznym w Medyce gdzie wartość mocy dawki ekspozycyjnej w wiązce sięga $20 \text{ R}\cdot\text{h}^{-1}$. Zakładając czas skanowania takiej osoby na 4 s, otrzyma ona dawkę na poziomie 20 mR, co odpowiada wartości przestrzennego równoważnika dawki około 0,17 mSv.

W przypadku skanera kolejowego w Medyce występuje również realne zagrożenie pochodzące od neutronów. Zakładając przebywanie osoby w dozwolonej strefie podczas jednego skanowania, może ona otrzymać dawkę na poziomie $20 \mu\text{Sv}$ podczas jednego skanowania.

Wnioski

Przeprowadzone badania pokazują że narażenie personelu zaangażowanego w przeprowadzanie

skanowań pojazdów przy użyciu wysokoenergetycznych skanerów drogowych oraz kolejowych jest minimalne. Dzięki bardzo dobrej kolimacji wiązki promieniowania X składowa promieniowania rozproszonego w otoczeniu układów tego typu jest bardzo niska. Istotnym faktem z przeprowadzonych badań jest informacja o występowaniu składowej neutronowej w przypadku skanera wyposażonego w akcelerator 9 MeV. Ważną konkluzją jest również fakt iż w przypadku niekontrolowanego prześwietlenia osoby w skanowanym pojeździe nie skutkuje otrzymaniem przez taką osobę dawki powyżej dopuszczalnego limitu dla ogółu ludności tj. 1 mSv.

Projekt ARCADIA Assessment of Regional Capabilities for new reactors Development through an Integrated Approach

K. Wołoszczuk, P. Krajewski

Projekt ARCADIA rozpoczął się 1 listopada 2013 roku. Uczestniczy w nim 26 instytutów z 14 państw europejskich, w tym trzy z Polski (Rysunek 1). Założeniem projektu jest zwiększenie udziału nowych państw członkowskich (New Member States- NMS) w projektach Euratomu, zawiązanie współpracy między NMS (New Member States) oraz wzmocnienie współpracy pomiędzy starymi państwami członkowskimi (Old Member States – OMS).

Główne cele projektu dotyczą zwiększenia potencjału naukowego NMS w technologii LFR (lead-cooled fast reactor) oraz poprawę bezpieczeństwa reaktorów generacji III i III+, których budowa planowana jest m.in. na Litwie, w Polsce, Czechach i Słowacji.

Natomiast głównym zadaniem ARCADII jest wsparcie działań prowadzących do zbudowania w Rumunii reaktora ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator), budowę którego przedstawia Rysunek 2. Jest to reaktor na neutrony prędkie, chłodzony ciekłym ołowiem, o mocy 300 MW Budowę reaktora podzielona na trzy fazy – przygotowawczą, której koniec przewidziano w 2015 roku, konstrukcyjną, która ma trwać do 2026 roku. Ostatni etap – rozruch, planowany jest na 2016 rok.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej uczestniczy w trzech z siedmiu zadań projektu ARCARIA. Należą do nich:

1. Skills & infrastructure

- przegląd istniejących kompetencji (wiedza, ekspertyzy, ze szczególnym naciskiem

na reaktory badawcze) i infrastruktury (w tym umiejętności społecznych i zarządzania);

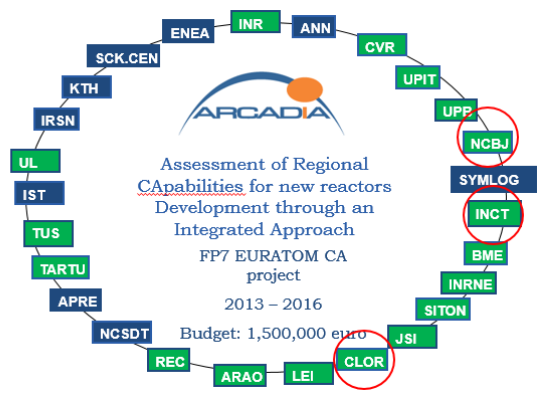
- identyfikacja braków w ww. dziedzinach;
- propozycja rozwiązań w celu wypełnienia tych braków poprzez m.in.:
 - przegląd istniejących programów nauczania;
 - propozycja nowych programów nauczania;

2. Licensing framework:

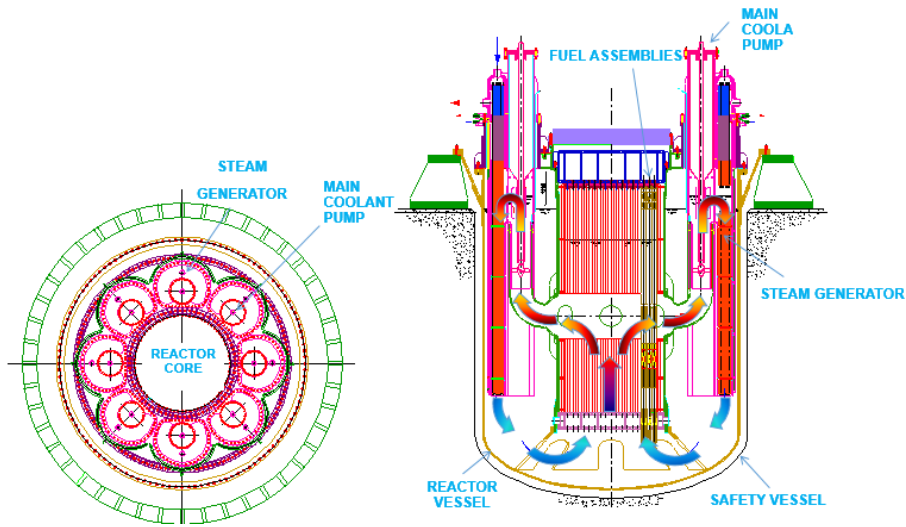
- analiza krajowych, regionalnych i europejskich ram prawnych dla nowych typów reaktorów pod kątem przepisów dot. lokalizacji i budowy;
- wypracować narzędzia komunikacji z organem regulacyjnym, władzami lokalnymi i krajowymi, z ludnością, bazując na doświadczeniach „międzynarodowych”;
- kroki jakie należy podjąć i odpowiednie wymagania dotyczące budowy ALFRED-a w Rumunii (z perspektywy krajowej i regionalnej);
- zainicjowanie dialogu z lokalną społecznością;
- komunikacja od najwcześniejszego etapu;

3. Cooperation & dissemination

- udział/organizacja konferencji;
- Newsletters (already # 1 and #2);
- prowadzenie strony internetowej www.projectarcadia.eu;



Rysunek 1. Członkowie projektu ARCADIA.



Rysunek 2. ALFRED- budowa.

Opracowanie metody dozymetrii indywidualnego równoważnika dawki $H_p(3)$ z wykorzystaniem detektorów termoluminescencyjnych

K. Wołoszczuk, G. Krajewska, A. Wyszowska

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.

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. W związku z powyższym, ICRP opublikowało Raport Nr 103 zalecenia dotyczące zmiany dawek granicznych dla soczewki oka na niższe, to z kolei zostało powtórzone w nowej Dyrektywie 013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r. W konsekwencji redukcji tego limitu koniecznym stało się monitorowanie równoważnika dawki na soczewki oczu, za pomocą wielkości operacyjnej $H_p(3)$, rutynowo nie mierzonej do tej pory.

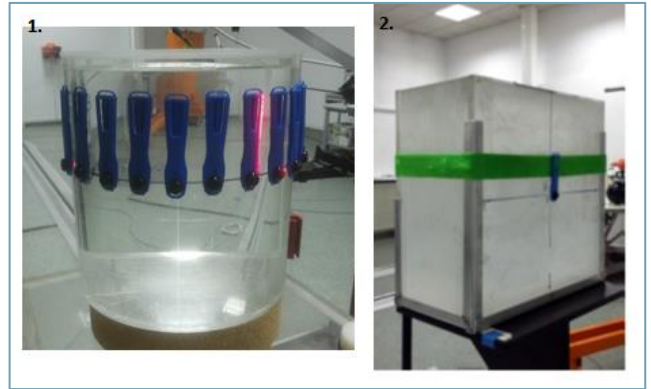
Źródłem najwyższych dawek na soczewkę oka, na które narażony jest personel medyczny pozostają procedury w radiologii i kardiologii interwencyjnej. Są to wszelkie procedury lecznicze i diagnostyczne wykonywane przy użyciu obrazowania fluoroskopowego. Personel wykonujący zabiegi pozostaje w pobliżu źródła promieniowania X oraz w wysokim zakresie promieniowania rozproszonego, przez kilka godzin dziennie podczas zabiegów.

Indywidualny równoważnik dawki $H_p(3)$, jest równoważnikiem dawki w tkance miękkiej na głębokości 3 mm poniżej określonego punktu na ciele. Wielkość ta jest zalecana przez ICRP jako odpowiednia do szacowania dawki dla soczewki oka. Uwzględnia ona zjawiska związane

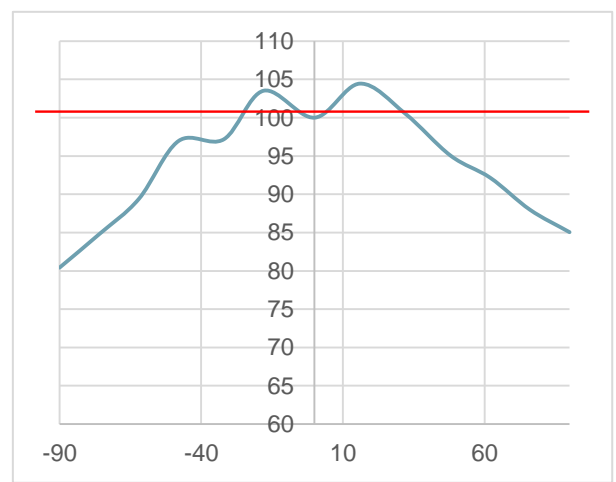
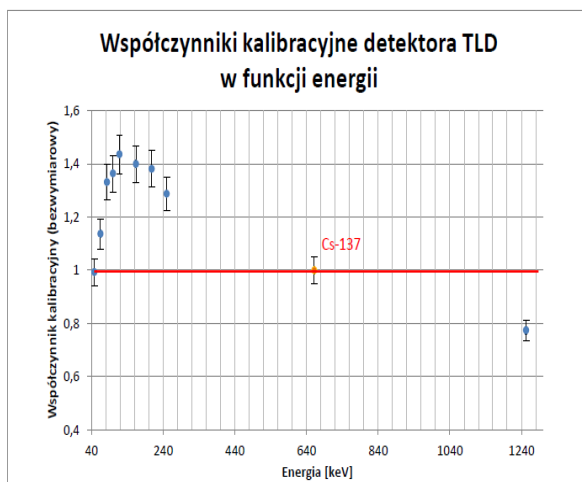
z rozproszeniami wstecznymi. Jednostką indywidualnego równoważnika dawki jest Sv.

W odpowiedzi na doniesienie i publikacje mówiące o konieczności pomiarów dawek $H_p(3)$, 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. W ramach tego projektu zaprojektowany został dawkomierz EYE-DTM, składa się z plastikowej obudowy z kapsułką z poliamidu, w której znajduje się pastylka TLD (Rysunek 1).

Do opracowania metody dozymetrii indywidualnego równoważnika dawki $H_p(3)$ niezbędne było wyznaczenie współczynników kalibracyjnych. W Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych wykonano charakterystykę kątową i energetyczną pastylek TLD umieszczonych w detektorach EYE-DTM. Do wyznaczenia współczynników kalibracyjnych detektora dla celów monitorowania $H_p(3)$ wykorzystano dwa typy fantomów – do charakterystyki kątowej fantom, który jest dobrym przybliżeniem głowy – cylindryczny z PMMA (o wymiarach 20 cm wysokości, 20 cm średnicy i ściankach grubości 0,5 cm), wypełniony wodą. Stosowany może być również popularny w dozymetrii fantom PMMA 30 cm x 30 cm x 15 cm (z wyjątkiem pomiarów dla kątów większych niż 75°, dla których preferowany jest fantom cylindryczny), którego użyto do wyznaczenia charakterystyki energetycznej (Rysunek 1b.). Charakterystykę kątową wykonano na stanowisku kalibracyjnym RTG w widmie N-80. Charakterystykę energetyczną wykonano na stanowisku kalibracyjnym Gamma i RTG. Wyniki przedstawiono na Rysunku 2.



Rysunek 1. a) Dawkomierz EYE-D™ (rysunek po lewej stronie), b) 1 - cylindryczny fantom głowy, 2- fantom płytowy PMMA.



Rysunek 2. Charakterystyka energetyczna (rysunek po lewej stronie) i kątowa dawkomierza EYE-D™ (rysunek po prawej stronie).

Wdrażanie metodyki pomiarów środowiskowych promieniowania gamma podłoża przy zastosowaniu komory jonizacyjnej RSS-131

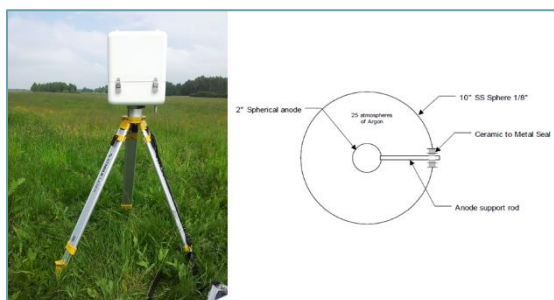
K. Wołoszczuk, K. Ciupek, K. Szewczak

Wprowadzenie

Założeniem wykonywania pomiarów promieniowania gamma przy zastosowaniu przenośnej aparatury jest potrzeba przeprowadzenia szybkiej oceny stanu radiologicznego badanego terenu. Takie podejście pozwala na zarówno wstępne oszacowanie narażenia ludności/pracowników a także na szybkiej identyfikacji obszarów, na których występują znaczące wartości mocy dawki promieniowania gamma.

RSS-131 jest wysokociśnieniową komorą jonizacyjną o szerokim zakresie pomiarowym mieszczącym się w zakresie od 0 do 100 R/h. Komora została zaprojektowana tak, aby zapewnić najlepszą równowagę pomiędzy czułością, charakterystyką energetyczną, stabilnością, zakresem pomiarowym i dokładnością.

Czujnik składa się z 10-calowej nierdzewnej zewnętrznej kuli, w której znajduje się argon pod ciśnieniem 25 atmosfer. Rysunek 1 ilustruje detektor z zewnętrzną 10-calową katodą i wewnętrzną 2-calową anodą.

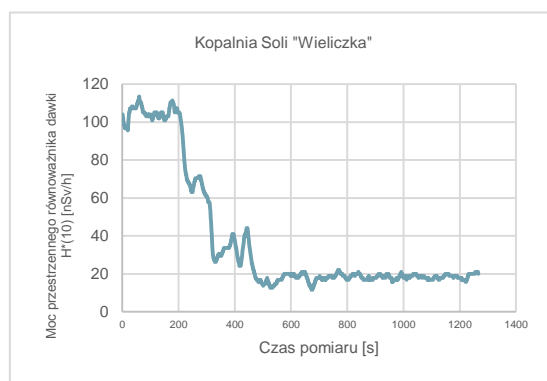


Rysunek 1. Komora RSS-131.

Podczas pracy wysokie napięcie (400 V) przyłożone jest do katody, anoda pozostaje uziemiona. Fotony gamma przechodząc przez detektor wchodzi w interakcję z argonem, generując jony argonu.

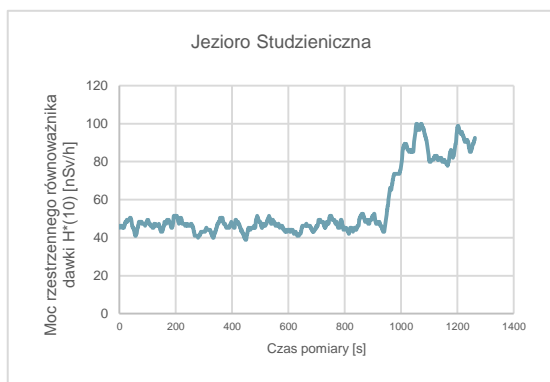
Wyniki

W ramach realizacji zadania wykonane zostały pomiary w Kopalni Soli „Wieliczka” w celu pomiarów promieniowania naturalnego z wyłączeniem promieniowania kosmicznego (Rysunek 2). Średnia z pomiarów wyniosła $20 \pm 1 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$.



Rysunek 2. Pomiary w Kopalni Soli „Wieliczka”.

W celu pomiarów promieniowania kosmicznego, z odcięciem promieniowania ziemskiego wykonano pomiary na jeziorze Studzienieczna. Średnia z pomiarów wyniosła $46 \pm 2 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ (Rysunek 3).



Rysunek 3. Pomiary Jezioro Studzieniczna.

W czerwcu 2015 roku wzięto udział w pomiarach porównawczych mocy dawki od naturalnych źródeł promieniowania gamma, organizowanych przez niemieckie laboratorium BfS (The Federal Office for Radiation Protection). Pomiary przeprowadzono na trzech, specjalnie przygotowanych polach, na każdym znajdowała się inne podłoże. Uzyskane wyniki w trzech punktach pomiarowych przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów porównawczych.

	Pole 1	Pole 2	Pole 3
BfS	71	193	765
RSS-131	84,8	207	801

Wnioski

W ostatnim etapie prac opracowano aplikację umożliwiającą zdalną komunikację pomiędzy komorą a urządzeniem rejestrującym, co pozwoliło na stały podgląd danych a także ich natychmiastową obróbkę w celu oszacowania stanu radiologicznego badanego terenu (Rysunek 4). Dane dzięki przystawce Wi-Fi przesyłane są do laptopa/tabletu, a następnie po wstępnej obróbce zapisywane w formie pliku Excela.



Rysunek 4. Urządzenie do bezprzewodowego przesyłu danych.

Wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych dla potrzeb ochrony radiologicznej w 2015 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,
- stanowisk 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 alfafpromieniotwórcze- ameryk-241,
- stanowisko kalibracyjne beta- jedyne w Polsce, umożliwia wzorcowanie przyrządów w wiązce promieniowania beta od źródeł stront-90 lub krypton-85,

- stanowisko kalibracyjne neutronowe wyposażone w źródło ameryk-241/beryl,
- stanowisko kalibracyjne radonowe- wyposażone w komorę radonową o objętości 12 m³, dwa źródła radu-226.

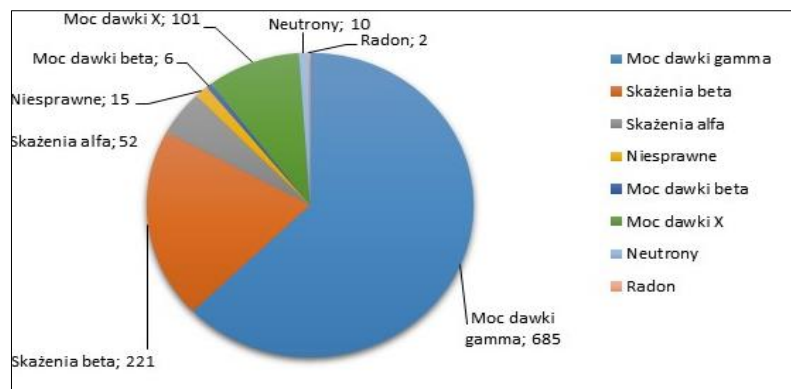
Dzięki tak szerokiej ofercie pomiarowej istnieje możliwość doboru zakresu wzorcowania bardzo dobrze dopasowanego do potrzeb i wymagań klientów.

W 2015 roku do laboratorium wpłynęło 810 zleceń wzorcowania, wykonano:

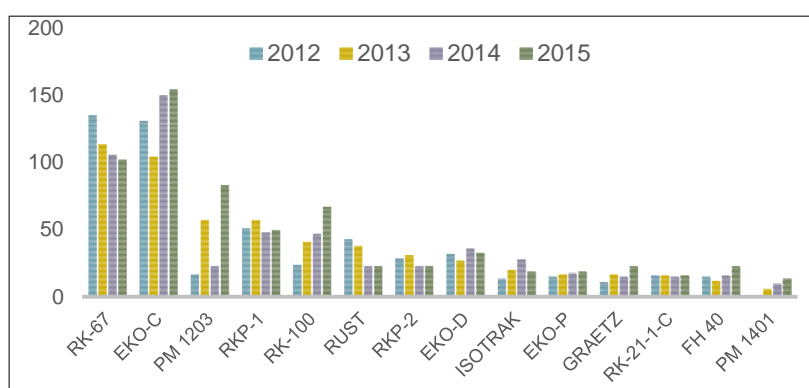
- 15 protokołów niezdatności,
- 221 wzorcowań przyrządów z licznikami wewnętrznymi i sondami do pomiarów skażeń powierzchniowych promieniowania beta,
- przeprowadzono 52 wzorcowania przyrządów z licznikami wewnętrznymi i sondami do pomiarów skażeń powierzchniowych promieniowania alfa,
- 586 wzorcowań przyrządów dozymetrycznych na moc dawki promieniowania gamma,
- 101 wzorcowań przyrządów dozymetrycznych dla promieniowania X,
- 2 wzorcowania na stanowisku radonowym,
- 10 wzorcowań na stanowisku neutronowym,
- 6 wzorcowań na stanowisku kalibracyjnym beta.

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

Najczęściej wzorcowanymi w 2015 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 1. Wzorcowania wykonane w 2015 r. w LWPDiR.



Rysunek 2. Najczęściej wzorcowane przyrządy w LWPDiR.

Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych. Część techniczna

K. Wołoszczuk, R. Czekala

Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych (LWPDiR) 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 eksponowanie 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.

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.



Rysunek 1. Wzorce odniesienia LWPDiR.

Kontrola jakości pomiarów w roku 2015 obejmowała 31 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.

18 i 19 czerwca 2015 roku w ramach procesu nadzoru Polskiego Centrum Akredytacji nad laboratorium, został przeprowadzony w LWPDiR audyt w nadzorze wykonany przez audytorów zewnętrznych- wiodącego i technicznego. Celem audytu było:

- ocena utrzymania i doskonalenia kompetencji akredytowanego podmiotu w obszarze wykonywania wzorcowań objętych Zakresem

akredytacji Nr AP 057 w odniesieniu do aktualnych wymagań akredytacyjnych;

- ocena działań podjętych przez akredytowany podmiot w wyniku ustaleń z poprzedniej oceny PCA oraz ocena ich skuteczności;
- ocena wywiązywania się akredytowanego podmiotu ze zobowiązań wynikających z Kontraktu Nr AP 057 (stosowanie symbolu akredytacji PCA i znaku ILAC MRA, informowanie o zmianach, powoływanie się na akredytację);
- przedłużenie akredytacji zgodnie z wnioskiem złożonym w PCA w dniu 16.04.2015 r., zarejestrowanym pod nr. N-563-2015.

W czasie oceny PCA spisana została jedna niezgodność i cztery spostrzeżenia. Z całościową bardzo pozytywną oceną działalności przedłużono akredytację na kolejny czteroletni cykl.

Sprawozdanie z seminarium Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych i Radonowych

A. Kudynowska

W dniu 16.02.2016r. odbyło się seminarium sprawozdawcze pt. "Zapewnienie i utrzymanie systemu jakości w Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych 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 2014/2015 (omówienie realizacji) oraz na okres 2015/2016 (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 15.03.2015r. odeszła M. Andrzejewska a na jej miejsce przyjęto Pana Łukasza Modzelewskiego. Opiekunem st. Radonowego była Pani Wołoszczuk za Panią Zuzannę Jarosz, która przebywała na urlopie macierzyńskim.

Zapisy dotyczące personelu potwierdzają kompetencje, przypisaną odpowiedzialność i uprawnienia.

W ramach 3 zagadnienia poinformowano, iż w dniu 18-19.06.2015 r. odbył się audit w nadzorze nr A-786/2015r. Dotychczasowy zakres akredytacji AP 057 LWPDiR nie uległ zmianie. Aktualnie obowiązujący zakres akredytacji, to wydanie nr 14 z dnia 08 września 2015r. Dziedziny akredytacji: promieniowanie jonizujące i radioaktywność (18.01, 18.02, 18.03).

Co się tyczy dokumentacji LWPDiR (Zag. nr 4), to przekazano następującą treść: "Dokumentacja LWPDiR jest na bieżąco nadzorowana i doskonalona. W 2015r. wprowadzono 16 wydanie Księgi Jakości (z 12.01.15r.), wydano 3 nowe procedury ogólne oraz dokonano szeregu zmian w procedurach ogólnych, technicznych i formularzach.

W 2015r. było utrzymywanych 18 procedur ogólnych, 6 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 w dniu 01.06.2015r. zgodnie z procedurą QPO10, przez Dyrektora CLOR dr. Pawła Krajewskiego, według Planu przeglądu zarządzania. Tematyką obejmował wszystkie elementy systemu zarządzania podane w wymaganiach normy.

Szczegółowo rozpatrzono (zag. nr 6) „Cele i zadania na okres 2014/2015” – Tabela 1.

Tabela 1. Cele i zadania na okres 2014/2015.

Cel	Zadanie	Osoba odpowiedzialna
Doskonalenie systemu zarządzania	Szkolenie personelu z zakresu norm ISO	Alicja Kudynowska
Edukacja personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych	Katarzyna Wołoszczuk
Uruchomienie neutronowego stanowiska kalibracyjnego	Kalibracja wzorca odniesienia, udział w porównaniach międzylaboratoryjnych, rozszerzenie akredytacji	Kamil Szewczak
Działalność informacyjna	Opracowanie anglojęzycznej wersji strony internetowej LWPDiR	Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Opracowanie kosztorysu i wykonanie recalibracji lub zakup nowych źródeł powierzchniowych	Krzysztof Ciupek
Modernizacja laboratorium	Przygotowanie stanowiska do trawienia detektorów śladowych CR-39 (pokój 115: wymiana mebli, sprawdzenie wyciągu, malowanie pokoju, itp.)	Kamil Szewczak
Doskonalenie systemu zarządzania	Opracowanie budżetu niepewności na stanowisku radonowym, modernizacja instrukcji QIP 3Rn	Zuzanna Jarosz, Katarzyna Wołoszczuk
Modernizacja laboratorium	Przeprowadzenie eksperymentów mających na celu udoskonalenie metody ustalania zadanych wartości stabilnego stężenia radonu w komorze klimatyczno-radonowej, modernizacja procedury wzorcowania QPP 1WRn	Zuzanna Jarosz
Modernizacja laboratorium	Wymiana źródła ^{60}Co na stanowisku SKG	Katarzyna Wołoszczuk

Tabela 2. Cele i zadania na okres 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	Wymiana źródła ^{60}Co na stanowisku SKG	Katarzyna Wołoszczuk

Omówiono 10 wyznaczonych celów, ze szczególnym uwzględnieniem przyczyny tych, których nie udało się zrealizować w ustalonym terminie.

Poinformowano, że ponowny termin ich zrealizowania ustalono na I okres 2016r.

Przypomniano, że na niniejszym przeglądzie zostały przygotowane cele i zadania na następny okres (2015/2016) co zaprezentowano na slajdach.

Następnie omówionym zagadnieniem były informacje zwrotne od klientów.

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

W okresie czerwiec 2014 – maj 2015 Laboratorium uzyskało od klientów 39 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.

- Czynnikiem najbardziej wpływającym na zadowolenie Klientów są: doradztwo, fachowość, miła atmosfera oraz obsługa podczas załatwiania spraw, rzetelność, profesjonalizm, dobre wsparcie merytoryczne, szybki czas realizacji.

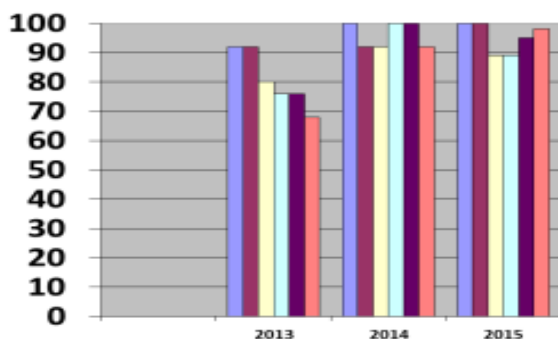
- Czynnikiem decydującymi o wyborze LWPDiR są: terminowość załatwiania spraw, bardzo dobra współpraca, solidna i fachowa obsługa, doświadczenie, jakość, doradztwo merytoryczne, renoma firmy.

Najwyższą notę LWPDiR otrzymało na za:

- jakość wykonywanych usług – 100% ankietowanych oceniło na 5 (w skali 1 – 5),
 - wiedzę merytoryczną pracowników – 100%,
 - kompetencje i profesjonalizm pracowników – 100%,
 - terminowość załatwiania spraw – 97%
- Nie było skarg i reklamacji.

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

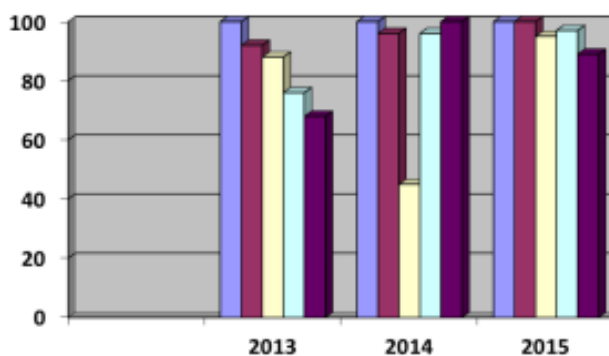
POZIOM OBSŁUGI KLIENTA



■ WIEDZA MER. PRACOWNIKÓW
 ■ PROF. I KOMPETENCJE
 ■ ŁATWOŚĆ KONTAKTU I DOSTĘPNOŚĆ
 ■ CZAS REAKCJI NA ZAPYTANIE

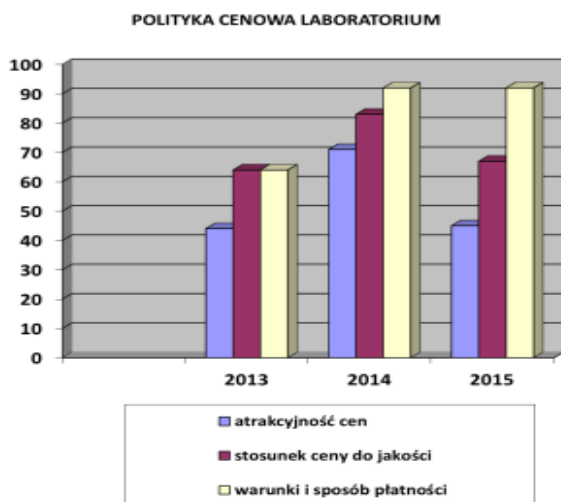
Rysunek 1. Poziom obsługi klienta.

PROCES REALIZACJI USŁUG



■ jakość wykonywanych usług
 ■ wywiązywanie się z warunków umowy
 ■ elastyczność w zakresie warunków współp.
 ■ terminowość usług
 ■ czas realizacji

Rysunek 2. Proces realizacji usług.



Rysunek 3. Polityka cenowa laboratorium

Zgodnie z planem zaprezentowano realizację szkoleń w 2015 r., formułując następujące zapisy: Potrzeby szkoleniowe zostały zidentyfikowane na podstawie prognoz i ustaleń z przeglądu zarządzania.

Sporządzono plan szkoleń na 2015r. jak również wdrożono formularz dla szkoleń pozaplanowych. Zaplanowano i zrealizowano 12 szkoleń, w tym 3 zewnętrzne. Udokumentowano 7 szkoleń pozaplanowych, w tym 3 szkolenia zewnętrzne. Szkolenia wewnętrzne dotyczyły głównie nowo zatrudnionego pracownika.

Przedstawiono wyniki auditów wewnętrznych i zewnętrznych:

- Audyt wewnętrzny Nr 1/2015 z dnia 18.05.2015 – auditor: Małgorzata Adamowicz – nie stwierdzono niezgodności i nie odnotowano spostrzeżeń.
- Audyt wewnętrzny Nr 2/2015 z dnia 19.05.2015 – auditor: Małgorzata Adamowicz – nie

stwierdzono niezgodności i nie odnotowano spostrzeżeń.

- Audyt w A-786/2015 z dnia 18-19.06.2015 – zespół oceniający: Marek Pytkowski (auditor wiodący), Bogusław Michalik (ekspert techniczny).
- W raporcie audytora wiodącego nie odnotowano niezgodności ani spostrzeżeń.
- W raporcie audytora technicznego udokumentowano 1 niezgodność oraz 4 spostrzeżenia. Podjęte działania zostaną omówione na seminarium z zakresu technicznego.

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

W dniu 18-19.06.2015 odbyła się ocena PCA, w ramach której zespół oceniający nie wskazał elementów wymagających zwrócenia szczególnej uwagi podczas następnego oceny. Wykazane zostały silne i słabe strony laboratorium.

Silne strony:

- Kompetencje i zaangażowanie pracowników skutkujący ciągłym rozwojem zdolności do wzorcowania i poszerzania zakresu akredytacji.
- Podnoszenie kwalifikacji personelu.

Słabe strony:

- Duża rotacja pracowników Laboratorium, w odniesieniu do wzorcowania na stanowisku radonowym.
- Brak możliwości automatycznej migracji danych z urządzeń pomiarowych do arkuszy obliczeniowych.

Nie wniesiono żadnych pytań do referowanego tematu.

Sprawozdanie z seminarium Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych

A. Kudynowska, H. Will, H. Feder

W dniu 16.02.2016r. 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 2014/2015 (omówienie realizacji) oraz plan na okres 2015/2016.
7. Wyniki Auditów wewnętrznych i zewnętrznych.
8. Informacje zwrotne od Klientów.
9. Realizacja szkoleń.
10. Ocena przez organizacje 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 trzech stanowisk: stanowisko kontroli dawek metodą TLD – st. nr 1, stanowisko monitoringu jodu – st. nr 2, stanowisko cytogenetycznej rekonstrukcji dawek – st. nr 3.

Odnośząc się do personelu PDIŚ stwierdzono, że w odniesieniu do roku poprzedniego, w 2015 r. nie dokonano zmian personalnych w Laboratorium, jeśli chodzi o personel kierowniczy. 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. Z laboratorium odszedł (31.05.2015) Pan Dariusz Aksamit – opiekun st. Nr 1 – funkcję przejął Pan Szewczak. Personel wykonujący badania

to Panie: Hanna Will, Hanna Feder, Agata Wyszowska i Pani Iwona Pacyniak.

Zapisy dotyczące personelu potwierdzają kompetencje, przypisaną odpowiedzialność i uprawnienia. Co się tyczy zakresu akredytacji to przekazano, iż dotychczasowy zakres akredytacji AB 450 nie uległ zmianie. Zakres podlega pod kod identyfikacyjny 0/3;0/9 obejmujący badania radiochemiczne i promieniowania – objekty i materiały biologiczne przeznaczone do badań, próbki środowiskowe. Badane objekty i metody badawcze to:

- Dawkomierz w polu promieniowania jonizującego – Metoda TLD.
- Tarczyca człowieka – Metoda spektrometrii gamma.
- Limfocyty krwi obwodowej człowieka – metoda cytogenetycznej dozymetrii biologicznej.

Dokumentacja PDIŚ jest na bieżąco nadzorowana i doskonalona. Wprowadzono 08 wydanie Księgi Jakości z dnia 02.04.2015r. Utrzymywano:

- 17 procedur ogólnych (4 nowe wydania),
- 4 procedury badawcze (1 nowe wyd.),
- 18 instrukcji badawczych (5 nowych wyd.)

Dokonano zmian w pozostałych procedurach ogólnych, technicznych oraz formularzach.

Szerzej omówionym zagadnieniem było zagadnienie nr 5, *„Przegląd zarządzania”*, który został przeprowadzony w dniu 01.06.2015 r. zgodnie z procedurą QPO10 przez Dyrektora CLOR, Pana dr. 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 2014/2015”*, tj. 7 wyznaczonych celów, ze szczególnym uwzględnieniem przyczyny niezrealizowanych celów dla tych, których nie udało się zrealizować w ustalonym terminie, co widać na załączonej Tabeli 1.

Tabela 1. Cele i zadania na okres 2014/2015.

Cel	Zadanie	Odpowiedzialny (data, podpis)	Termin	Środki	Wykonanie
Poprawa jakości pracy na stanowisku Nr 1 – doskonalenie	Modernizacja obsługi systemu bazy TLD – prace we własnym zakresie	Dariusz Aksamit	Sukcesywnie do II kw. 2015 r.	własne	Przesunięto na 2016 r.
Doskonalenie systemu zarządzania	Szkolenie personelu z zakresu norm ISO	Alicja Kudynowska	Sukcesywnie do II kw. 2015 r.	własne	Wykonano
Edukacja personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych	Grażyna Krajewska	Sukcesywnie do II kw. 2015 r.	własne – dotacje	Wykonano
Zwiększenie ilości nowych klientów	Rozszerzenie promocji	Kamil Szewczak	Do końca III kw. 2015 r.	własne	Wykonano
Modernizacja stanowiska Nr 2	Zakup źródła kalibracyjnego typu MOCK (I-131)	Grażyna Krajewska	II kw. 2015 r.	dotacje	Wykonano
Rozszerzenie zakresu akredytacji	Opracowanie metodyki oceny narażenia w miejscu pracy oraz środowisku naturalnym z wykorzystaniem metod aktywnych	Kamil Szewczak	Do II kw. 2015 r.	dotacja z MNiSzW	Zrezygowano po analizie ekonomicznej
Rozszerzenie zakresu akredytacji	Opracowanie metodyki oceny dawki na soczewkę oka	Grażyna Krajewska	Do II kw. 2015 r.	dotacja z MNiSzW	Przeniesiono na 2016 r.

Tabela 2. Cele i zadania na okres 2015/2016 - propozycja.

Cel	Zadanie	Odpowiedzialny	Termin	Środki
Doskonalenie systemu poprzez edukację personelu	Udział personelu w konferencjach, seminariach, szkoleniach zewnętrznych i wewnętrznych	Alicja Kudynowska Grażyna Krajewska	Sukcesywnie do II kw. 2016 r.	własne – dotacje
Unowocześnienie aparatury w PDIŚ	Zakup RADOS-a	Kamil Szewczak	Do II kw. 2016 r.	
Rozszerzenie zakresu akredytacji	Opracowanie i wdrożenie metodyki oceny dawki na soczewkę oka	Grażyna Krajewska	Do II kw. 2016 r.	Dotacje
Modernizacja pomieszczenia stanowiska Nr 3	Pomalowanie pomieszczenia laboratorium	Grażyna Krajewska	Do II kw. 2016 r.	
Poprawa jakości pracy na stanowisku Nr 1 – doskonalenie	Modernizacja obsługi systemu bazy TLD – prace we własnym zakresie	Kamil Szewczak	Sukcesywnie do II kw. 2016 r.	własne – dotacje

Przypomniano, że na niniejszym przeglądzie zostały przygotowane cele i zadania na następny okres (2015/2016) co zaprezentowano na slajdach (Tabela nr 2).

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

- Audyt wewnętrzny Nr 1/2015 (systemowy) z dnia 04.05.2015 – auditor: Katarzyna Wołoszczuk – nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności.
- Audyt wewnętrzny Nr 2/2015 (techniczny) z dnia 28.05.2015- auditor: Magdalena Piekarcz –

stwierdzono 1 niezgodność oraz 1 spostrzeżenie.

Laboratorium zrealizowało działania korygujące w odniesieniu do stwierdzonej niezgodności, dokumentując to w KPIMDzK jak również przeprowadziło analizę i ocenę ryzyka w stosunku do udokumentowanego spostrzeżenia, co zostanie omówione na seminarium z zakresu technicznego.

Audyt w nadzorze AB 851/2015 z dnia 15.06.2015 – zespół oceniający: Beata Białas (auditor wiodący), Janusz Skubalski (ekspert techniczny).

W raporcie audytora wiodącego nie odnotowano spostrzeżeń ani niezgodności.

Audytor techniczny odnotował 4 niezgodności, z których 1 była bezpodstawa i PCA od niej odstąpiło. W stosunku do pozostałych 3 niezgodności podjęto odpowiednie korekcyjne i działania korygujące, których treść zostanie przedstawiona przez Kierownika ds. technicznych na seminarium z części technicznej

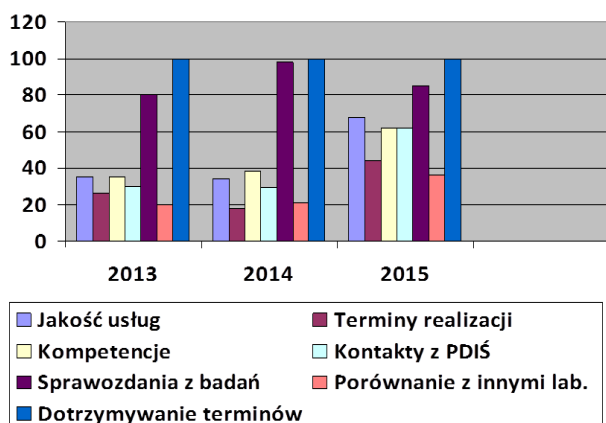
Następnie omówionym zagadnieniem były informacje zwrotne od klientów.

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

W okresie lipiec 2014 – czerwiec 2015 Laboratorium uzyskało od klientów 39 ankiet i przeprowadziło ich analizę, z której wynikają następujące wnioski:

- Średnia ocena laboratorium jest dość wysoka: 65% ankietowanych ocenia nas na bardzo dobrze, 34% - dobrze i tylko 1% dało ocenę zadowalającą.
- Najwyższą notę PDIŚ otrzymało za dotrzymywanie terminów realizacji umów i jakość sprawozdań z badań.

OCENA PDIŚ NA PRZESTRZENI 3 LAT (na podst. ankiet)



Rysunek 1. Ocena PDIŚ na przestrzeni 3 lat.

W niniejszym okresie został skrócony czas oczekiwania na wykonywanie usług wraz z wydaniem sprawozdań z badań

Z ankiet wynika, że:

- 49% to stali klienci,
- 23% zgłosiło się dzięki bardzo dobrej rekomendacji stałych klientów,
- 13 % dowiedziało się o naszej działalności na kursach IOR organizowanych przez CLOR,
- 15% ze stron internetowych.

Powyższe zestawienie liczb świadczy o dużym przywiązaniu klienta do PDIŚ, czyli o zadowoleniu z naszych usług.

Nie było skarg i reklamacji.

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

PDIŚ realizowało również potrzeby szkoleniowe, które zostały zidentyfikowane na podstawie prognoz i ustaleń z przeglądu zarządzania. Sporządzono plan szkoleń na 2014 r. jak również opracowano formularz dla szkoleń pozaplanowych. Zaplanowano 10 szkoleń, w tym 2 zewnętrzne. Odbyły się również 2 szkolenia pozaplanowe.

Na koniec I części seminarium zapoznano uczestników z oceną Laboratorium przez Organizacje zewnętrzne – PCA.

W dniu 04.07.2014 r. odbyła się ocena PCA, w ramach której, zostały wskazane w niezgodnościach elementy wymagające poprawy. Zespół oceniający nie wskazał elementów wymagających zwrócenia szczególnej uwagi podczas następnej oceny. Nie wykazano żadnych słabych jak i silnych stron laboratorium.

Zapewnienie i utrzymanie systemu zapewnienia jakości w Pracowni Dawek Indywidualnych i Środowiskowych (PDiŚ) dla potrzeb ochrony radiologicznej – część techniczna

K. Szewczak, H. Will, H. Feder

W 2015 roku Pracownia wzięła udział w jednych porównaniach międzylaboratoryjnych organizowanych przez EURADOS. Porównania dotyczyły pomiarów przestrzennego równoważnika dawki w środowisku naturalnym. Uzyskano pozytywny wynik porównań. Personel Pracowni liczył ośmiu pracowników. W ramach Pracowni funkcjonują trzy stanowiska pomiarowe: TLD, pomiaru jodu w tarczycy oraz dozymetrii

biologicznej. Badania prowadzone są na podstawie pięciu akredytowanych procedur pomiarowych. Ze względu na awarie czytnika TLD typ RE-1 zakupiony został nowy czytnik typ RE2000 wyposażony w automatyczny podajnik 10 kaset zbiorczych. Infrastruktura na pozostałych stanowiskach nie została rozszerzona.

DZIAŁ SZKOLENIA I INFORMACJI

Realizacja prac Działu Szkolenia i Informacji CLOR w 2015 r. – zadania Komitetu Technicznego 246 ds. ochrony radiologicznej

K. Ciupek, I. Pacyniak

Dział Szkolenia i Informacji w CLOR w zakresie swoich zadań ma:

- prowadzenie szkoleń ochrony radiologicznej,
- opracowywanie programów szkolenia i przygotowywanie materiałów dydaktycznych,
- prowadzenie działalności wydawniczej oraz upowszechnianie dorobku naukowego pracowników CLOR,
- nadzór nad archiwum CLOR,
- nadzór nad biblioteką CLOR,
- koordynacja działań CLOR w zakresie opracowywania i opiniowania norm i przepisów krajowych i międzynarodowych,
- prowadzenie sekretariatu KT ds. Ochrony radiologicznej.

W roku 2015 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 osób posiadających takie uprawnienia. Innym rodzajem kursów organizowanych w CLOR są dwudniowe szkolenia „stanowiskowe” dla operatorów akceleratorów oraz urządzeń do brachyterapii ze źródłami promieniotwórczymi. Sumarycznie wydano 75 zaświadczeń dla kandydatów na zdobycie wyżej wymienionych uprawnień.

CLOR uczestniczy w pracach normalizacyjnych w dwóch Komitetach technicznych:

- 246 ds. ochrony radiologicznej, którego Przewodniczącym jest Dyrektor CLOR, dr Paweł Krajewski, a prowadzeniem sekretariatu zajmuje się mgr inż. Krzysztof Ciupek,
- 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 nowelizacji. Ze względów finansowych nie przeprowadzono tłumaczenia całych treści norm a jedynie tytułów i zakresów nowo wprowadzanych dokumentów.

W roku 2015, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej uczestniczyło w szeregu imprez informacyjno-edukacyjnych, w tym, m.in. w 90. Rocznicy wmurowania aktu erekcyjnego pod budowę Instytutu Radowego w Warszawie oraz 19. Pikniku Naukowym.

Działalność mająca na celu popularyzowanie wiedzy polegała również na organizowaniu spotkań dzieci i młodzieży z naszymi pracownikami, podczas których prowadzone były wykłady jak i pokazywane były laboratoria oraz aparatura używana w aktualnie prowadzonych w CLOR badaniach.

Foreword

This Report presents attainments of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in 2015 year and describes particular examples in form of short descriptions, tables and figures. It is supplement to other Institute data i.e.: expert reports and other technical publications also available on our website¹⁷.

CLOR's research activities in 2015 year, as in previous years, were mainly targeted to the radiological protection issues addressed in the Nuclear Program in Poland (2014-2030) accepted on 28th January 2014 by Council of Ministry act (decision No 15/2014). The Polish Nuclear Program (abr. PPEJ) has been established to provide more safety energy balance throughout diversification of energy sources and provide for Polish electricity power harmless, stable and low costs source without emission of greenhouse gases, the source friendly for environment as it was stated in the 4-th target of Polish Energy Policy Program up to 2030 year.

It is worth to remark that the obligation to implement the new Council Directive 2013/59/Euratom "laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation (OJ L13, 17.01.2014, p. 1 -73)", has term up to 6 February 2018, in other words, to transpose this comprehensive Directive into national legislation, full set of regulation must be sent to EU Commission before October 2017. Council Directive 2013/59/Euratom offers the very high level of protection of workers, in particular medical staff, emergency workers and workers in workplaces with natural radiation sources (indoor radon; activities processing naturally occurring radioactive material (NORM)); better protection of the public, in particular from radon in dwellings, from exposure from NORM activities and building materials and from deliberate exposure for non-medical purposes; better protection of patients, in particular with regard to the avoidance of incidents and accidents in radiodiagnosis and radiotherapy and also strengthened requirements on emergency preparedness and response, especially with a view to the lessons learned from the Fukushima accident. These requirements will have mandatory status for Nuclear Safety and Radiological Protection (NSRP) system in Poland.

Despite of considerable efforts of National Atomic Energy Agency (NAEA) in the period of 2009 – 2015, to prepare legal framework for implementation Polish Nuclear Program, nevertheless regarding scientific staff development and infrastructure supporting NSRP system it still needs strengthening to fit standards constraint of European Commission as well as IAEA new recommendations¹⁸. It seems, that so called Technical Support Organizations (TSO) in Poland, in comparison to other Member States, remain as a weak point of the NSRP system. Particularly, it is distressed that an experts potential over the country, shows high dispersion in form of small groups of specialists working in many institutions with different research facilities e.g.: reactor, cyclotron or high activity sources or institutions established "at hoc" for specific needs of the state e.g.: industry (mining), medical science (therapy, diagnostic) or military defense.

Particularly, coordinated by NAEA, country monitoring network designed as a tool for assessment of radiation hazard of people and environment, is based on various institutions functioning in different organizational and funding systems g i.e.: Research Institutes, Technical Faculties of Universities at least State Sanitary Stations. Effectiveness of the network depends on current, often variable, measuring ability of these units. Any strengthening, modernization or extension particular components of the network is determined by "resourcefulness" and changeable economic conditions of these units therefore an integration of the network is practically impossible. Moreover, high age average of the personnel, low salaries and consequently lack or outflow of young qualify scientific staff is matter of concern.

Most significant for integration and straightening of research centers linked with nuclear energy sector was the project "The development of methods to ensure nuclear safety and radiological protection for current

¹⁷ <http://www.clor.waw.pl/clor/clor.htm>

¹⁸ More detailed discussion this issue one could find in the paper: P. Krajewski, G. Krajewska, *The National Centre for Research and Development (NCBiR) project entitled "Technologies for safety nuclear energy" Task 6: The development of methods to ensure nuclear safety and radiological protection for current and prospective requirements of nuclear power*, PTJ, VOL. 58 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2015.

and prospective requirements of nuclear power” conducted in a frame of strategic program of The National Centre for Research and Development (NCBiR) entitled *“Technologies for safety nuclear energy”*.

This project has been successfully performed¹⁹ by Scientific Network of four foremost Institutes, that also had played important role in implementation of the first polish Nuclear Power program in the eighties. These institutions constitute core public research and assessments organizations that contribute significantly to the state-of-the-art in nuclear safety and radiological protection. These are namely: Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR), Institute of Nuclear Chemistry and Technology (ICHTJ), National Centre of Nuclear Research (NCBJ) and The Henryk Niewodniczański Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences.

Besides the general coordination of the entire program and participation in several work packages, CLOR mainly contributed to the program with design and implementation of new prototype mobile device for sampling and measurements of various forms of radioiodine. This is the first this type device in Poland, irreplaceable for advanced monitoring of radioactive iodine released from NPP stacks. It complements a notable CLOR activity, as it is known as producer of patent-right ultrasensitive stations for monitoring airborne radioactive contaminants. This activity is still in progress, for instance: in 2013 the last prototype of mobile station NASS-1000 has got patent license P.3 87609 *“Station for collection of large volume contaminated air samples”*. In total, in a frame of the project, sixteen case studies related to the new radiation protection system were elaborated and several piloting solutions were applied for a patent license. Also a number of rationalization for previously developed prototyped were completed, for example: the extended possibility of TLD reader to differ static and dynamic exposures was elaborated by IFJ PAN, Kraków. The project enables also to mobilize young scientific teams that finalized eight master degree proceedings, seven doctoral dissertations and significant number of publications in high impact factor journals.

Referring to the Chapter 12: Technical Resources and Research Facilities of the Polish Nuclear Power; Polish Nuclear Power Program²⁰ where is stated *“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 team performing Task 6, does hope for continuation of the program in the subsequent years.

In 2015, the Steering Committee of The National Centre for Research and Development was also positively evaluated the Task 3 of the mentioned above program entitled *“Meeting the Polish nuclear power engineering’s demand for fuel – fundamental aspects”* (research network leader – University of Warsaw); CLOR participated in the project as member of the consortium and performed studies on environment impact assessment in area of elevated concentrations of uranium U-238 and radium Ra-226.

In conclusion on overall project output, one might notes that according to the IAEA guidelines and experience of other countries successfully developing nuclear power, it is essential that a scientific and research infrastructure be in place to ensure support for the nuclear regulatory and the government administration in the process of granting permits for construction, commissioning, operation, and decommissioning of NPPs as well as in the course of their construction, operation, and decommissioning. The high competence and extended credibility of technical support organizations in the country, will result in positive impact on public acceptance for implementation nuclear power in Poland.

CLOR activities toward establishing country experts’ support system (TSO) have had achieved some progress, when on 3rd April 2012 was signed the Agreement with National Atomic Energy Agency (NAEA).

Within this framework, CLOR is designated to perform various tasks for NAEA, inter alia:

- routine monitoring of radioactive contamination in atmospheric aerosols in Poland for maintaining early warning network of NAEA,

¹⁹ The Steering Committee of The National Centre for Research and Development has positively evaluated results of Task 6

²⁰<http://www.paa.gov.pl/sites/default/files/PPEJ%20eng.2014.pdf>

- routine evaluation of radiation impact in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan and around of the "MARIA" reactor in Świerk,
- determination of radiological parameters of drinking water in large cities as well as measurements of activity concentration in daily meals and in food products,
- monitoring of radioactive contamination of the Baltic Southern Sea coordinated by Helsinki Commission
- conducting proficiency tests within framework of radiation monitoring units of the country.

Unfortunately, this Agreement has retained rules of yearly contract tenders to obtain funding for above tasks, what does not make ease to carry out planned development of TSOs ensuring support for the nuclear regulatory and inspection bodies. By extension, it is necessary to consider another model of optimized funding which would be guarantee the foreseeable and stable conditions for collaboration NAEA with TSOs.

With respect of other activities in 2015, CLOR conducted numerous projects on radiobiological dosimetry, especially proceeded study on interaction of ionizing radiation with human beings organisms, in particular:

- measurements of anthropogenic radionuclides in blood, hair and nails samples to determine of absorbed dose from neutron irradiation in a case of mass hazard situations,
- evaluation and validation dose-effect curve for "in vitro" induction of die-centric chromosomes with therapeutic beam of protons from Proteus C-235 cyclotron,
- Participation in the Project RENEB (Realizing the European Network of Biodosimetry) for maintaining retrospective dose reconstruction methodology and fulfillment the General Safety Standards, General Safety Requirements Part 3.

The year 2015 characterised by extended activities of CLOR representatives in international bodies and closest collaboration with significant scientific centers, inter alia:

- On 12 March 2015, president of French Atomic Commission (CEA) signed intention agreement with leading polish atomic centers i.e. National Center of Nuclear Researches, Institute of Nuclear Chemistry and Technology and Central Laboratory for Radiological Protection.
- On 5-th May 2015, CLOR representative dr Paweł Krajewski has got nomination for five years period as an member of the Group of Experts referred to in Article 31 of the Euratom Treaty.
- On 12 June 2015 CLOR has become a member of International Union of Radioecology "Aliance", which gathering the biggest European institutes.
- On 8 July 2015, has been signed 4 years Agreement on Cooperation on Noble Gas Monitoring in Poland with Bundesamt für Strahlenschutz, Freiburg branch; and Central Laboratory for Radiological Protection. The Agreement targeted on scientific assistance for measurements of the activity concentration of radioactive Kr-85 and Radioxenon (Xe-133) in the air samples collected in vicinity of Polish Nuclear Reactor "MARIA".
- CLOR specialists participated in various tasks of the Committee on Radiation Protection and Public Health, i.e.: Working Party on Nuclear Emergency Matters, Expert Group on the Implications of ICRP Recommendations, Expert Group on Occupational Exposure.

Moreover, in 2015, CLOR carried on the long-term collaboration with acknowledged international organizations as follow:

- In a frame of CLOR's Quality Assurance Program according to norm PN-EN ISO/IEC 17025:2005, accredited CLOR's Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analyses (AB 1215) routinely took part in IAEA's ALMERA proficiency tests mainly: determination of U-238, U-234, Ra-226, Po-210 i Am-241 in different environmental matrixes as well as food and foder products;
- CLOR performed intensive activities in a frame of IAEA projects on environmental modelling to simulate radionuclide transfer in the environment and, thereby, to assess exposure levels of the public and in the environment in order to ensure an appropriate level of protection from the effects of ionizing radiation, associated with radionuclide releases and from existing radionuclides in the environment. The last MODARIA project (Environmental Modeling for Radiation Safety) (2012-2015) emphasize on improvement of environmental transfer models for reducing associated uncertainties or developing new approaches to strengthen the evaluation of the radiological impact to man, as well as to flora and fauna, arising from radionuclides in the environment. The MODARIA Programme also supported and facilitated

the implementation of the revised BSS and like previous IAEA environmental modelling programmes, MODARIA provided an international focal point in this field and helps Member States to develop and maintain knowledge and competence in the areas of radioecology and environmental assessment.

- In the final stage of realization was 7-th Frame UC project "Assessment of Regional Capabilities for new reActors Development through an Integrated Approach", ARCADIA, (2013-2016).
- In collaboration with the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute (IMGW-PIB) branch in Gdynia, CLOR conducted investigations on radioactive radionuclides contents in sediments and biota of Baltic see; these were perform in a frame of Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM) also known as Helsinki Commission. HELCOM works on protection of the marine environment of the Baltic Sea.

The 2015 year marked also the significant increase of CLOR statutory service activities, this was possible because of constantly educated and trained staff as well as an unique test equipment and methods. CLOR's statutory service covered several areas as follow:

- Since early seventies Laboratory Radiochemical and Spectrometric Analysis (LRSA), (accredited in 2010 AB 1215) has been performed the monitoring of concentrations anthropogenic radionuclides in food products, it ensure validated measurements and competent certificate accepted by other states. It preserves polish food trade to fulfill sanitary criteria (Directive EC 93/47/EURATOM and CODEX ALIMENTARIUS WHO) as well as protect polish food market against marketing contaminated products from abroad. In 2015, the LRSA implemented new methods for determination of carbon C-14 and organic bound tritium OBT in different environmental matrix, as monitoring of this compounds is needed in vicinity of NPP.
- Laboratory for standardization of dosimetry devices (AP 057) is only one in the country which offers calibration in almost all ranges of ionization rays including X-rays, gamma-rays, neutron beams as well as beta rays and surface contamination of alpha and beta particles. This unit, together with occupational exposures control laboratory (AN 450) contributes to the program of maintenance high radiation protection standards in nuclear medicine institutions and industry facilities using radiation sources (Directive EC 93/47/EURATOM).
- Besides expert consultancy, CLOR performs broad popularization and training activities, since date of origin Institute has conducted Radiation Protection Officers training courses (about 200 students per year), later educational activities has been extended to special courses for Border Gard, Office of Antiterrorist Operations, Civil Defense staff and The Main School of Fire Service.

Besides works related to the Polish program of Nuclear Power, from CLOR view of progress strategy, there are other activities that need to be developed, primary because of growing number of nuclear installations in vicinity of polish borders and increasing number of users of radioactive sources especially in the medical sector where rapid development of new therapy and diagnostic techniques has occurred. Also, new international recommendations result in raise standards of working conditions and environment protection.

Although, previously neglected in eighties of XX century, it is necessary to come back to research focused on prevention in a case malicious act or else military attack with nuclear or radioactive material. In general summary, it is worth to emphases the exceptional contribution of all CLOR team to the high professional level and operational abilities as well as good financial result in 2015 year. So, here I would like to express my gratitude to all of them for their reliability and faithfulness to the TSOs' core values: high level of competence, independent and objective judgment, commitment and accessibility with non-professional stakeholders.

Dyrektor
Centralnego Laboratorium
Ochrony Radiologicznej



Dr Paweł Krajewski



DEPARTMENT OF RADIATION

HYGIENE



Determination of radiological parameters of drinking water in large cities and evaluation of doses received by its consumption for people of different age categories.

A. Fulara, A. Adamczyk

Introduction

The investigations of tap water radioactivity in 2015 were performed in nine large cities of Poland. We studied water originating from Bialystok, Bydgoszcz, Chelm, Gliwice, Grudziadz, Kielce, Lodz, Radom and Zamosc.

The origin of most water samples was from surface water, infiltration water and deep water. In each sampling point a quantity of 20 liters of water was taken. ^{137}Cs and ^{90}Sr were determined in the same 15 l sample. In the rest 5 liters sample, the tritium activity and total alfa and beta radioactivity were determined.

Collected and analyzes were performed in the waters coming from 18 water treatment plants.

Results

The results of ^{137}Cs and ^{90}Sr determinations in drinking water collected in nine cities indicate, that both ^{137}Cs and ^{90}Sr concentrations were at low level, for ^{137}Cs ranging from values $0.43 \pm 0.09 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (water treatment plant Pietrasze in Bialystok) to $2,69 \pm 0,34 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (water treatment plant Labedy in Gliwice). The average concentration of Cs-137 calculated for the examined water samples was $1.53 \pm 0.69 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$.

In case of ^{90}Sr that range was from values below detection limit ($0,36 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$) (water treatment plant Jurowce in Bialystok) to $6.92 \pm 1.43 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (water treatment plant Tomaszow-Lodz in Lodz). The average concentration of radioactive ^{90}Sr in drinking water tested was $2.72 \pm 1.82 \text{ mBq}\cdot\text{l}^{-1}$.

The tritium concentration in drinking water not exceeded the detection limit ($0.5 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$).

The total beta radioactivity in investigated water samples was very low and ranged from $0.04 \pm 0.01 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ to $0.21 \pm 0.03 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$. The average total beta radioactivity in investigated water samples was $0.10 \pm 0.05 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

The total radioactivity exceeded the detection limit of α ($0.015 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$) in the case of water taken from the Water Treatment Plant Czyzkowko in Bialystok, Trubakow and Bariera in Chelm and Labedy in Gliwice. According to– the Ministry of Health regulations issued on 29 of march 2007, concerning the quality of drinking water designed for public consumption, tritium concentration in drinking water must not exceed $100 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and total permissible dose is $0.1 \text{ mSv}/\text{year}$. The dose is not exceeded if the total alfa radioactivity does not exceed $0.1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and total beta radioactivity does not exceed $1 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

The analyzes show that the tap water tested meet the requirements specified in the Ministry of Health of 29 March 2007.

The total indicative dose from yearly ingested ^{137}Cs with drinking water for nine investigated cities are in range from $0.006 \mu\text{Sv}\cdot\text{year}^{-1}$ for children aged 1 – 10 years, to $0.015 \mu\text{Sv}\cdot\text{year}^{-1}$ for adults. While from yearly ingested ^{90}Sr these doses are from $0.055 \mu\text{Sv}\cdot\text{year}^{-1}$ for adults, to $0.156 \mu\text{Sv}\cdot\text{year}^{-1}$ for children younger than 1 year old.

Conclusions

The results of these work indicate that calculated doses are neglected low and the water supply of water in all cities studied meet the requirements specified in the Regulation of the Minister of Health on 29 March 2007.

Adaptation of the method for determination of organically bound tritium (OBT) in biological samples

A. Fulara

Introduction

Tritium is the heaviest and the only radioactive isotope of hydrogen. In an environment occurs mainly in the form of HTO but released into the environment can turn into organic matter and with it enter the human body. In Poland, not much laboratories engaged in this topic. The objective of the work was to adapt the method for determination of organically bound tritium (OBT) in biological samples: plant materials, food, urine, etc.

Results

In 2015 he was made a review of the available literature. The collected material was used to expand the knowledge and assumptions to introduce a method for determination of organically bound tritium in biological samples.

Tritium in biological samples is available in three forms:

- free water (molecules HTO) associated with the material;
- bound to oxygen atoms and nitrogen compounds in the material is a form of replacement equilibrating with tritiated water concentration in the intracellular environment;
- associated with the carbon atoms in the material permanently bond.

For the measurement OBT are use a liquid scintillation counter. For the measurement of water is used obtained from the combustion of organic matter (on dry basis). According to the latest approaches, organically bound tritium is measured by the sum of removable and non-removable parts without distinction.

In the combustion the most frequently used device that use oxidation or pyrolysis. Often use a bomb Parr.

Aqueous samples usually collected manually in a perfectly sealed glass containers. Samples of

plants, should be obtained directly into the vessel in which they are further processed. If you need temporary storage, it is recommended that samples of plants were frozen in sealed containers.

Pretreatment of the sample consists of drying, grinding and packing in double polyethylene bags. Samples of dried in a dryer with forced air circulation at a moderate temperature (40°C) to avoid the partial destruction of organic matter.

To correct designation OBT must meet the following conditions:

- carefully selected combustion apparatus which can accommodate at least 30 g of the dried sample and therefore provide at least 10 g of water, which is the optimal amount of LSC.
- the use of a fast and efficient technique to remove water from the sample, which did not affect the structure of an organic sample. So we can conclude that the final activity of tritium after combustion comes from a non-removable part of the OBT C-H.
- use of an effective protection of the sample from exposure to the laboratory atmosphere, especially after the final drying and before combustion, as the dried material at this stage is very hygroscopic and receives water from the air laboratory. Particular attention should be paid when transferring the sample to the combustion system.

Conclusions

The collected material will be used in 2016 for which it is planned to adapt the current measurement system to the requirements of the method for determination of organically bound tritium (OBT). The plans for the next year is also involved in international intercalibration to determine the correctness of the chosen methodology. Implementation of the method of measurement of tritium-related organically enable knowledge levels of tritium contained in biological

samples (important because of the plans to build the first Polish nuclear power plant) and will expand the offer of a measurement of the Central Laboratory for Radiological Protection.

Implementation of the method of measurement of organic bound tritium enable knowledge levels of tritium contained in biological samples (important because of the plans to build the first

Polish nuclear power plant) and will expand the offer of a measurement of the Central Laboratory for Radiological Protection.

Funding

The work made for the Ministry of Science and Higher Education.

Preparation of assumptions for the implementation of methods for the determination of ^{14}C in environmental samples

A. Fulara, M. Piekarz

Introduction

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

EU Commission (2000/473/Euratom) It recommends the determination of ^{14}C in samples daily diet in order to assess the exposure of the population. Also, network monitoring around nuclear facilities in many countries, including lead mark ^{14}C in water and other environmental components. In Poland currently does not carry the markings ^{14}C for monitoring national.

For 2015 is planned review of the available literature concerning the determination of ^{14}C and a selection of the most sensitive method for the determination of this isotope in environmental samples.

Results

The collected material literature was used to expand the knowledge and assumptions to introduce a method for the determination of carbon-14 in environmental samples.

^{14}C is a radioactive isotope of maximum energy 156 keV. During the decay does not emit gamma radiation, so there is no possibility of using spectrometry techniques of radiation. It is necessary to use a little more "subtle" measurement technique. In general, the possible techniques for measuring ^{14}C are a few of the most important of which is the liquid scintillation technique, the use of gas proportional counters or accelerator mass spectrometry.

The most modern solution is mass spectrometry, which enables the use of the smallest sample (even a few milligrams of gas), but it requires a very sophisticated mass spectrometer with an accelerator and a special sample preparation. The procedure of the samples depends on their type. Air samples are passed through a scrubber containing sodium hydroxide. Another method of intake air based on the adsorption $^{14}\text{CO}_2$ by molecular sieves. $^{14}\text{CO}_2$ is released from the molecular sieves by heating (400 ° C), and a nitrogen purge, then adsorbed by the Carbo-Sorb E (Packard Co.) and mixed with scintillation cocktail (Permafluor E+, PerkinElmer). Molecular sieves are a very good alternative to sodium hydroxide, also are not so corrosive.

All organic samples (eg. rice, vegetables, fruits), are collected in plastic bags, washed with 1% hydrochloric acid and dried in an oven with forced air circulation. Samples of milk, fish and meat are frozen at -50°C , pulverized using a mixer and granulated. The samples are then combusted at high pressure air in the atmosphere of oxygen to CO_2 and water. The resulting CO_2 is passed through a gas regulator scrubber containing a solution of 150 ml of 3M NaOH. The collected CO_2 is precipitated in the form of CaCO_3 by using the CaCl_2 . To the of sediment was added nitric acid and the resulting CO_2 is collected in a scintillation cell and subjected to measurement of LSC.

Conclusions

The collected material will be used in 2016 for which it is planned to continue the implementation of the method for determination of carbon-14 in environmental samples. Expected consultation/training centers specializing in this subject, and if a possibility to participate in intercalibration to check the correctness of the

methodology applied. The plan also includes the purchase of ISO 13162: 2011 Water Quality – Determination of carbon-14 activity – Liquid scintillation counting method.

Funding

The work made for the Ministry of Science and Higher Education.

Monitoring of radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in 2013-2015

M. Kardaś, A. Fulara, B. Rubel, M. Suplińska, A. Adamczyk, M. Kosiorek

Introduction

In the frame of monitoring of radioactive contamination of surface waters and bottom sediments in year 2012, samples of water and bottom sediment were collected twice a year (in spring and autumn) in 18 sampling points. These sampling points were located along the Vistula river (7 sampling points), and along the Odra river (5 sampling points). Six sampling points were located in the selected Polish lakes.

The samples of river water were taken from the main stream, and the lake water samples from platforms. Volume of each water sample was 20 liters. Samples of bottom sediments (total mass about 1 kg) consisted of sub-samples collected from three points distant from each other by 30 – 50 m.

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



Figure. 1. Location of collecting water and bottom sediments.

For an overall assessment of the radiological situation in the Polish inland waters the averages values of activity concentrations of analyzed radionuclides are compared. The unambiguous evaluation and comparison of particular data

obtained in spring and autumn, causes some difficulties. They result mainly from the different atmospheric conditions under which the sampling was carried out.

Results

The average activity concentrations of ^{137}Cs in the water basin of the Vistula, Odra River and inland lakes were on an even level and ranged from 2.45 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (Vistula river basin) to 2.75 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ (Odra river basin). Also, average activity concentrations of ^{90}Sr were aligned and ranged from 3.29 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for river basin of the Vistula – to 3.73 $\text{mBq}\cdot\text{l}^{-1}$ for river basin of the Odra.

The average activity concentrations of ^{137}Cs in bottom sediments were varied: the lowest in the basin of the Odra 3.65 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, and the highest in the lakes of 8.14 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

In the case of $^{239,240}\text{Pu}$ lowest value of average activity concentrations of sediments seen in river basin of the Odra – 20.56 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$, and the highest for lakes – 42.03 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

The annual average concentrations of analysed radionuclides and the data obtained for single determinations for water and sediment samples do not differ from data obtained in previous years.

Conclusions

Monitoring of radioactive contamination of surface waters and sediments leads to the conclusion that ^{137}Cs and ^{90}Sr contamination of surface waters is low. Also, the concentration of radioactive ^{137}Cs and $^{239+240}\text{Pu}$ in bottom sediments of rivers and lakes remains on low level.

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

Funding

The work done on request of the National Fund for Environmental Protection.

Comparative measurements regarding ^{137}Cs and ^{90}Sr isotope determination by basic units performing radioactive contamination measurements within the framework of radiation monitoring of the country 2015

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

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

Liquid milk to determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr with spike of ^{137}Cs and ^{90}Sr were used as a control material (required activity concentration of ^{137}Cs : $8 \div 12 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and ^{90}Sr : $3 \div 8 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$).

Calibration of gamma spectrometers (Canberra spectrometer with HPGe detectors and Genie 2000 software) was checked using multi-isotopic calibration sources. The accuracy of calibration was earlier verified in the framework of international program „Radiotoxicology Intercomparisons 2015” managed by PROCORAD, France and ALMERA, 2015.

To prepare the samples of control materials, the amount of 108 liter of liquid milk from dairy Łowicz was purchased. The activity concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in spiked liquid milk were determined. Also homogeneity of samples was checked.

The results showed that reference material is homogenous and the activity concentration of ^{137}Cs was $10.60 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0.64 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ and ^{90}Sr $4.94 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0.52 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ in milk samples and is consistent with requirements.

In the final stage 30 samples of liquid milk to determination ^{137}Cs and 5 samples to determination ^{90}Sr were prepared. Each parcel of reference materials was accompanied with blank forms to be filled out with data regarding the

laboratory location, staff doing the analysis, method(s) of measurement and apparatus type.

Results of measurements of activity concentration of ^{137}Cs in the control samples were received from 27 units. The only spectrometric method was used by 24 units, only radiochemical determination was performed by 3 units, and 7 units used both methods to determine activity concentration of ^{137}Cs in liquid milk samples. The results were in range from $7.3 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ to $12.03 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$.

The submitted measurement results were recorded, compared to reference values and statistical analysis was performed. A number of results in the range of $\pm 20\%$ and $\pm 15\%$ of reference values (depends on method) was equal 30 (88% of a total number of received). The accuracy and precision of results provided by the units was assessed based on IAEA criteria. The results were accepted if they meet both criteria and 26 results satisfy this requirement. Also parameter "Z" was determined. Its absolute value $Z \leq 2$ was observed for 30 results which means that the result does not significantly differ from the reference value.

Results of measurements of activity concentration of ^{90}Sr in the control samples were received from 3 units. Only one result was accepted. This result has met with criteria of accuracy and precision.

Funding

Contract National Atomic Agency No. 19/OR/2015/109, issue on March, 31th, 2015.

Risk assessment for population of Szczecin and Białystok based on analyses of meals in 2015

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

Introduction

Radioactivity in foodstuffs is an important indicator of the transfer of radionuclides from the environment to man. We can express the radioactivity content of foodstuffs per unit weight or to estimate the ingestion activity per day per person.

This paper presents results of dose assessment based on ingestion of prepared complete meals from Szczecin and Białystok. Dose assessment had been done due to intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr .

Samples of complete meals were collected twice in 2015 through 5 days in May and 5 days in September from school canteen from Szczecin (north-west Poland) and through 5 days in May in Białystok (east Poland). The meals were analysed separately for days and towns.

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

Strontium 90 was determined from beta radiation of ^{90}Y , after equilibrium $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ was reached [1]. The same measurement system as for ^{137}Cs was used.

Results

Range of average content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diets collected in canteen in Szczecin and Białystok is presented in table 1.

Table 1. Mean and range content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diet in 2015.

Radionuclide	Szczecin content in daily diet [$\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$]		Białystok content in daily diet [$\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$]
	May	September	May
^{137}Cs	0.33 ± 0.04 (0.31 ÷ 0.38)	0.46 ± 0.06 (0.31 ÷ 0.55)	0.38 ± 0.05 (0.29 ÷ 0.46)
^{90}Sr	0.07 ± 0.01 (0.05 ÷ 0.09)	0.16 ± 0.02 (0.13 ÷ 0.20)	0.07 ± 0.01 (0.05 ÷ 0.09)

The differences in ^{137}Cs in daily meals are attributed to the variation in the ^{137}Cs activity in food products. The average content of ^{137}Cs in diet from different towns was on the similar level. The variation of ^{137}Cs was mostly caused by mass of meals and products used to prepare meals. Content of ^{137}Cs in meals in Szczecin in September is higher than in May. Meals in September were less liquid more concentrated with large amount of multigrain bread.

The concentration of ^{90}Sr in meals in may in both towns was on the same level 0.05-0.09 $\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$.

Small differences was mainly due to mass of daily diet. Twice higher content of ^{90}Sr in September was due to multigrain bread and concentrated meals.

The average content of ^{137}Cs in daily diet in Finland in 2014 was in range 0.11 ÷ 0.26 $\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ in Helsinki, 0.13 ÷ 1.1 $\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ in Rovaniemi and in Tampere 0.19 ÷ 1.3 $\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$. Content of ^{90}Sr in weekly meals in this towns was in range 0.40 ÷ 0.49 $\text{Bq}\cdot\text{week}^{-1}$ [2].

Based on concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in daily diet annual intake and effective dose were assessed. Results are presented in Table 2.

Table 2. Annual intake and effective dose due to consumption meals.

	Annual intake from daily diet [Bq]		Effective dose [μ Sv]	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Szczecin	146	43	1.9	1.2
Białystok	138	26	1.8	0.7

The study has shown that the annual intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr by the population of Poland is on a fairly low level. There are no significant variations in intakes in different region of Poland. The annual intake of ^{137}Cs and ^{90}Sr with food is mainly dependent on the mass of a daily diet, amount of consumed milk, its products, fish (some kinds) and beef. The effective dose received by population in different towns in Poland from ^{137}Cs varied from 1.4 μ Sv to 2.4 μ Sv and from ^{90}Sr was in range 0.6 ÷ 1.2 μ Sv. In 2014 the effective dose from ^{137}Cs and ^{90}Sr received due to consumption was on level 2.7 μ Sv in Ireland [3].

Conclusions

Based on the data obtained it can be concluded that the annual effective dose related to ^{137}Cs and ^{90}Sr received via food ingestion by polish population is on a very low level. This is less than 1% of the permissible dose of 1 mSv.

Literature

- [1] Grabowski, D., Rubel, B., Świątochowska, J., Kurowski, W., Muszyński, Jankowska, S., Petrykowska, M., Metodyki radiochemicznego oznaczania izotopów cezu i Sr-90 w produktach żywnościowych i wodzie, Raport CLOR nr 13/2004, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa, 2004
- [2] Surveillance of Environmental Radiation in Finland. Annual Report 2014. Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK-B190/SYYSKUU 2015.
- [3] C.O'Connor et al. Radiation Doses Received by the Irish Population, 2014. Radiological protection Institute of Ireland, RP II/02, June 2014.

Funding

Contract National Atomic Agency no 25/OR/2015/114 issue on 28.04.2015.

Measurements of radioactive contaminations in samples of water, sediments and fish in the framework of the monitoring of radioactive contamination of the Baltic Sea

M. Suplińska¹, T. Zalewska², A. Adamczyk¹

¹ CLOR, Warszawa ² IMGW-BIP Maritime Branch- Gdynia

Introduction

Research includes determination of radioactive contaminations in the three components of marine environment: water, bottom sediments and biota (fish). Studies are coordinated by Helsinki Commission and carried out by all Baltic States. The data on radioactive contamination are submitted to the Data Bank of Helsinki Commission.

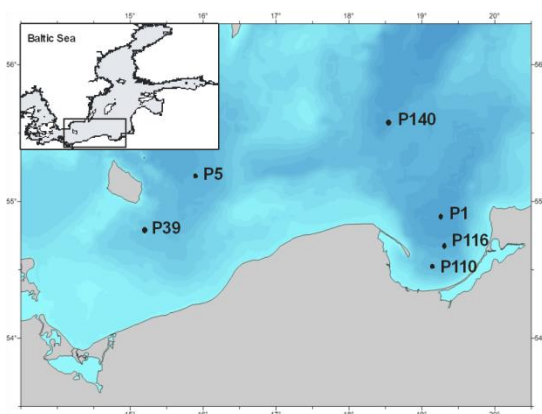


Figure 1. Bottom sediment and water sampling stations.

Determinations of ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra in water were performed in surface and near bottom layers from given sampling stations (Figure 1). In the bottom sediments determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed in six stratified core samples (72 subsamples), determination of ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ were done in two chosen sampling stations (24 subsamples). Strontium-90 were performed in the pooled samples for each sampling station (6 samples). In fish, ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra determination were performed in cod, herring, sprat and plaice (22 samples).

Determinations of ^{137}Cs and ^{40}K were performed by gamma spectrometry, however in the case of ^{137}Cs determinations in the water, the

radiochemical method ended by gamma spectrometric measurements was used. Plutonium isotopes were determined by radiochemical method and alpha spectrometry, ^{226}Ra – by emanation method and ^{90}Sr was performed using radiochemical method and the measurement of ^{90}Y activity concentration after establishing the radioactive equilibration of $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$.

Results

Water

In 2015 the average activity concentration of ^{137}Cs in surface layer of six sampling stations from southern Baltic Sea was $21.3 \pm 2.2 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, (in the range $17.8 \div 24.5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). The lowest was found in Gulf of Gdansk at P110, on the profile Vistula River estuary, where was observed diluting effect of river water. In all locations concentration of ^{137}Cs in surface waters were lower than last year, which is in accordance with the long-term trend. The average activity concentration of ^{137}Cs in near bottom layer - $17.6 \pm 2.8 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ was lower than that observed at the surface layer, and the smallest value – $14.3 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ was determined in the Bornholm Deep (P5), accompanied by the highest salinity. This characteristic is directly related to the impact of highly saline water from the North Sea that have definitely lower concentrations of ^{137}Cs [2]. The activity concentrations of ^{40}K in surface waters were in range $2152 \div 2730 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. In near bottom waters ^{40}K concentrations were higher and increased with salinity, covering the range $3636 \div 5814 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. The activity concentration of ^{226}Ra in surface waters were aligned, and ranged $3.21 \div 3.63 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. The bottom waters had greater variations in the concentrations of ^{226}Ra , and the range was $3.44 \div 5.30 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Bottom sediments

Highest ^{137}Cs activity concentrations were observed in the upper sediment layers, the same as in previous years and differences in the concentrations related to the location are also observed [3,4]. Concentrations of ^{137}Cs in the layers from 0 to 5 cm in Gulf of Gdansk (P110 and P116) ranged from $123 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $212 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$, while in Bornholm Basin (P5, P39) they ranged from $41.8 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $66.1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$. Concentrations of ^{137}Cs decrease along the sediment profiles to single Bq. The vertical distributions of ^{137}Cs activity concentrations in bottom sediments from three selected locations are shown in Figure 2.

Determination of plutonium in bottom sediments are carried out every three years. In 2015, plutonium determinations were performed in Gotland Basin (P140) and Bornholm Deep (P5). Activity concentrations of plutonium in these regions were evidently lower than in the Basin of Gdansk, determined in last year [5]. Concentrations of $^{239,240}\text{Pu}$ in P140 in the layers from 0 to 7 cm increased from $1.09 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $1.82 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ (Figure 2). After reaching a maximum the concentration in successive layers decreased to $0.07 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ in the deepest layer. The activity concentration of ^{238}Pu ranged from $0.019 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ to $0.075 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ being at the detection limit at the

depth below 13 cm. In Bornholm Deep (P5) $^{239,240}\text{Pu}$ concentrations were even lower, and the maximum found in 4 – 5cm layer was equal to $0.84 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$. Concentrations of ^{238}Pu were in range $0.008 \div 0.025 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$. The average rate of ^{238}Pu to $^{239,240}\text{Pu}$ in both locations was 0.031 ± 0.010 being similar to that determined for the fallout from nuclear weapons tests.

Activity concentrations of ^{90}Sr in bottom sediments (performed in samples for 0 – 19 cm layer) were aligned being in range from $2.87 \div 3.44 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$. Small differences in concentrations of ^{90}Sr between locations due to the fact that its main source was the fallout after a nuclear weapons tests (81%). Contamination from this source in the northern hemisphere were fairly evenly [6].

Activity concentrations of ^{40}K were in range $672 \div 1016 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{dw}}$ and depend mainly on the amount of organic matter and granulometric composition of sediment.

Fish

Determinations of ^{137}Cs , ^{40}K and ^{226}Ra performed in cod, herring, sprat and plaice. were carried out in the fish fillets with the exception of sprat which analyzed whole fish without a head (Table 1).

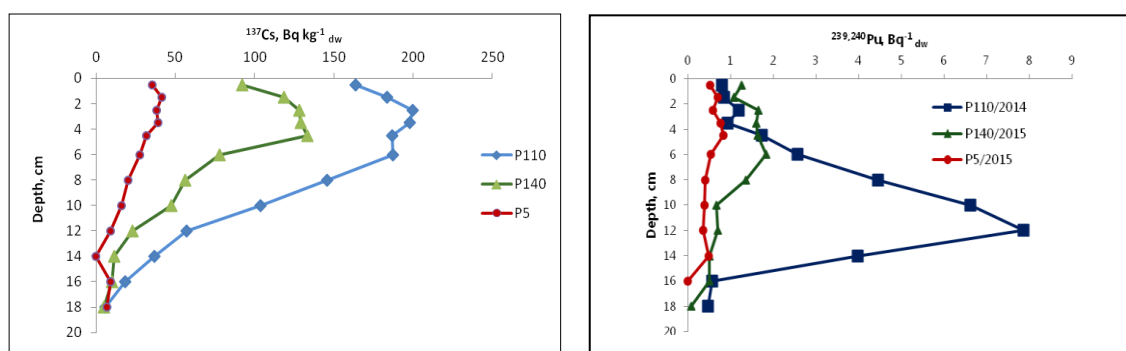


Figure 2. Vertical distribution of ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in bottom sediments from three locations from Southern Baltic Sea.

Table 1. The average concentrations of ^{137}Cs and ^{226}Ra in Baltic Sea fish flesh in 2015.

Fish species (total number)	Weight of sample	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra
			[$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$]	
Sprat (279)	510 - 600	3.09 ± 0.20	111.1 ± 6.2	0.067 ± 0.003
Herring (109)	500 - 550	2.97 ± 0.27	117.4 ± 8.7	0.027 ± 0.003
Cod (30)	500 - 670	3.85 ± 0.50	115.8 ± 3.1	0.093 ± 0.008
Plaice(33)	500 - 505	3.20 ± 0.80	91.9 ± 11.0	0.052 ± 0.003

The same like in previous years [7], the highest average activity concentration of ^{137}Cs was found in cod – $3,85 \pm 0.50 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$, and the lowest in herring – $2,97 \pm 0.27 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$. Activity concentrations of ^{226}Ra were more varied, the highest was specified in cod – $91 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$ and the lowest in herring – $27 \text{ mBq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$.

The average ^{137}Cs concentration calculated for the four species in 2015 was $3.28 \pm 0.40 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{ww}}$. Activity concentration of ^{137}Cs in the Baltic sea fish has decreased in years (Figure 3), but it is still almost two times higher than before the Chernobyl accident [8].

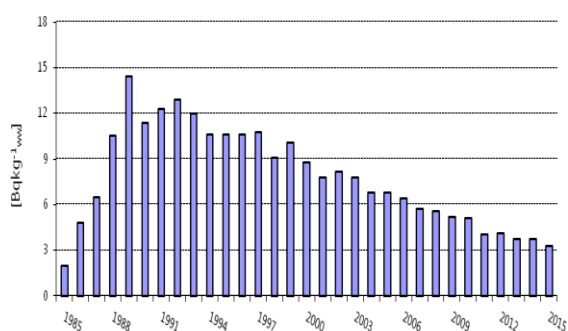


Figure 3. The average activity concentration of ^{137}Cs in Baltic Sea fish in years 1985-2015.

Conclusions

According to the long-term trend at all locations ^{137}Cs concentration in surface water were lower than those observed in the previous year. The lowest concentrations were observed in P110 (Gulf of Gdansk), station located on the profile of Vistula River estuary where observed the dilution effect of river waters. The concentration of ^{137}Cs in near bottom waters were lower than those observed on the surface. This characteristic is directly related to the impact of highly saline water from the North Sea, less contaminated with ^{137}Cs than Baltic Sea waters.

Distribution of ^{137}Cs and plutonium isotopes in sediments confirm that in the South Baltic were not observed new contamination of anthropogenic radionuclides. The main sources of contamination are still: fallout after the Chernobyl accident (^{137}Cs) and nuclear weapons test the most intense in the years 1961 – 1962 (isotope of plutonium).

Contamination of sediments in the Southern Baltic caused by anthropogenic radionuclides is

uneven, which is connected with uneven contamination due to the Chernobyl reactor accident, different sedimentation rates and various properties of sediments in different areas. The concentration of radioactive ^{137}Cs and plutonium isotopes were higher in the Gdansk Basin than in the Bornholm Basin. The spatial distribution of ^{90}Sr in the South Baltic is more homogeneous.

Contamination in fish due to ^{137}Cs was reduced about 4 times comparing with 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 the kind of nutrition.

Funding

Performed under an agreement PAA no. 9/OR/2014/152

Literature

- [1] Zalewska T., Apanel A., Saniewski M. ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Polish economic zone (seawater and fish), in 2014 MORS EG 5- 2015 3-5 Oulu, Finland, 19-21 May 2015;
- [2] IAE-TECDOC-1426. (2005) Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. Pp. 122 – 138, IAEA;
- [3] Suplińska M, Pietrzak-Flis Z., (2008), Sedimentation rates and dating in bottom sediments in the Southern Baltic Sea region. *Nukleonika* 53, pp. 105 – 111;
- [4] Suplińska. M., Adamczyk A.,(2013). Distribution of selected radionuclides in bottom sediments of the Southern Baltic Sea, 2011-2012., XVI Congress of Polish Radiation Research Society, Białowieża, 23-26.09.2013;
- [5] Suplińska M., Rubel B., Adamczyk A. Monitoring of radioactive contamination of bottom sediments and fish in the Southern Baltic Sea in 2014, MORS EG 5-2015 3-2 Oulu, Finland, 19-21 May 2015;
- [6] Lüning M. et al. (2009) Sources of radioactive substances in the Baltic Sea, HELCOM 2009. *Baltic Sea Environ. Proc* 117: 9-54;
- [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 ^{137}Cs in marine fish from Southern Baltic Sea in 1990-1995, *Nukleonika*, 42 (3), pp. 665 – 674.

Maintaining the management system in Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis

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

„Maintaining the management system in Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis” was carried out in the Radiation Hygiene Department of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in 2015, the following subjects were realized:

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

In the Laboratory took place an external audit carried out by experts from Polish Centre for Accreditation on February 20, 2015. The auditors not found incompatibilities during the audit. In the report of the evaluation was written down one observation. The Laboratory has taken preventive actions in relation to observation. Auditors also identified strong points and areas for Laboratory management system improvement. Observations and comments have been carefully analyzed.

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

Due to the improvement of the management system, observations of PCA auditors and own insights from the document review in 2015 were prepared and implemented new editions of general procedure: QPO 2 “Documentation of test results” (Edition 4 dated 23.11.2015) and introduced the updates in Quality Paper and general procedure QPO 4 “Cooperation with the customer”. Developed new forms: QD 2.5 and QD 2.6 Research Reports – English version, QD 2.7 Letter – English version, QD 4.5 Order, QD 4.6 Offer.

According to the “Training Plan 2015” and resulting from changes in management system documentation in the Laboratory took place 4 internal trainings. The Laboratory staff also participated in 4 external trainings and 3 international meetings.

Following the PCA recommendation on participation in proficiency testing and

interlaboratory comparisons (DA-05) the Laboratory participated in 2015 in two international proficiency testing organized by:

- International Atomic Energy Agency: The IAEA-TEL-2015-04; worldwide open proficiency test on the determination of radionuclides: ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{22}Na , ^{65}Zn and ^{40}K in samples of water and soil and $^{239+240}\text{Pu}$ in samples of soil – according to the procedures: QPB 1, QPB 4;
- PROCORAD 2015 Radiotoxicological Intercomparisons, France, whose subject was the determination of the activity concentration of ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{22}Na and ^{40}K in urine samples – according to the procedure: QPB 1;

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

According to a “Program of audits for the year 2015” two internal audits were conducted in the Laboratory of Radiochemical and Spectrometric Analysis. Internal audit No. 1/2015 concerning general requirements of management system and internal audit No. 2/2015 checking the technical area of management system. Internal audits were carried out very carefully. Auditor has not found incompatibilities during the audit. Audits have shown that the Laboratory management system is implemented and continuously improved.

4. Technical supervision and repair of Laboratory research equipment:

In accredited producers standard solution of ^{85}Sr and Mix gamma (59.5÷1836 keV) were purchased.

In accredited Calibration Laboratories the following calibrations were done: weight AXIS B2000I, liquid glass thermometer, digital thermometer with a sensor, patterns of the masses: 1 g, 10 g, calibration weights: 100 g, 200 g and the thermohygrometer. Periodically checking of Laboratory research equipment and auxiliary equipment were done.



DOSIMETRY DEPARTMENT



Assessment of effective dose for residents of Poland from inhalation of atmospheric aerosols – network of ASS-500 stations

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

Introduction

The work was conducted on the basis of agreements signed with the National Atomic Energy Agency.

For the assessment of the effective dose from the absorption of radionuclide by inhalation, we used the following formula:

$$D = \sum_i D_i$$

Where:

D – is the calculated effective dose resulting from isotopes absorbed through the respiratory system,

D_i – is the effective dose from a single (i-th) isotope. In this paper, we consider only the dose received from the following isotopes: natural - beryllium ^7Be , potassium ^{40}K , lead ^{210}Pb , radium ^{226}Ra and actinium ^{228}Ac and from all artificial isotopes, whose concentrations were set at levels above the LLD (cesium ^{137}Cs and iodine ^{131}I we always take into account).

NOTE – if the concentration of a radionuclide not exceed the limit of detection (LLD), then to calculate the effective dose we accept the value of LLD. In this way, of course, the calculated effective doses are inflated in comparison to the actual doses received by the Polish population.

Effective dose resulting from the absorption of single radionuclide by inhalation (D_i) for people in the age group g is calculated using the following formula:

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

Where:

D_i – is an effective dose from a single isotope,

$A_{w,i}$ – a specific activity (radioactivity concentration) of i-th isotope in ambient air (measured by the station ASS-500 in her localization),

$e(g)_i$ – the value of the aggravating effective dose for the i-th isotope for a person of the age group g ,

$V(g)_{\text{odd}}$ – the efficiency (speed) of the breathing for person of the age group g ,

T – is the time for which the calculated effective dose (ie, week, month, quarter or year).

Calculations for the units:

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

Aggravating effective dose $e(g)$ for members of the public from penetrating radionuclide activity 1 Bq by inhalation (*Council of Ministers of 18 January 2005 on ionizing radiation dose limits (Dz.U. No. 20/2005, pos. 168)*) is presented in Table 1.

Table 1. The values of the aggravating effective dose for absorption of radionuclides by respiratory system for selected radionuclides (for different age groups) [1].

Isotope	Half-time	The value of $e(g)$ in $[Sv \cdot Bq^{-1}]$ for age group g :					
		≤ 1 year	$1 \div 2$ years	$2 \div 7$ years	$7 \div 12$ years	$12 \div 17$ years	> 17 years
^{137}Cs	30.0 years	$8.8 \cdot 10^{-9}$	$5.4 \cdot 10^{-9}$	$3.6 \cdot 10^{-9}$	$3.7 \cdot 10^{-9}$	$4.4 \cdot 10^{-9}$	$4.6 \cdot 10^{-9}$
^{131}I	8.04 days	$7.2 \cdot 10^{-8}$	$7.2 \cdot 10^{-8}$	$3.7 \cdot 10^{-8}$	$1.9 \cdot 10^{-8}$	$1.1 \cdot 10^{-8}$	$7.4 \cdot 10^{-9}$
7Be	53.3 days	$2.5 \cdot 10^{-10}$	$2.1 \cdot 10^{-10}$	$1.2 \cdot 10^{-10}$	$8.3 \cdot 10^{-11}$	$6.2 \cdot 10^{-11}$	$5.0 \cdot 10^{-11}$
^{40}K	$1.28 \cdot 10^9$ years	$2.4 \cdot 10^{-8}$	$1.7 \cdot 10^{-8}$	$7.5 \cdot 10^{-9}$	$4.5 \cdot 10^{-9}$	$2.5 \cdot 10^{-9}$	$2.1 \cdot 10^{-9}$
^{210}Pb	22.3 years	$4.7 \cdot 10^{-6}$	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$1.5 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$9.0 \cdot 10^{-7}$
^{226}Ra	$1.60 \cdot 10^3$ years	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$	$7.0 \cdot 10^{-6}$	$4.9 \cdot 10^{-6}$	$4.5 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-6}$
^{228}Ac	6.13 hours	$1.8 \cdot 10^{-7}$	$1.61 \cdot 10^{-7}$	$9.7 \cdot 10^{-8}$	$5.7 \cdot 10^{-8}$	$2.9 \cdot 10^{-8}$	$2.5 \cdot 10^{-8}$

Inhalation coefficients for children of all ages and adults are defined in the "Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3) 1994". Table 2 presents them.

Table 2. Speed breathing for children of different ages and adults [2].

Age group	≤ 1 year	$1 \div 2$ years	$2 \div 7$ years	$7 \div 12$ years	$12 \div 17$ years	> 17 years
Speed of breathing $[m^3 \cdot day^{-1}]$	5.2	6.5	12.2	17.2	21.4	22.2

The results of the measurements are based on measurements of the concentrations of radionuclides in the air filters exposed on the network ASS-500 station. Below are presented the localisation ASS-500 station in Poland:

- Warszawa – Central Laboratory for Radiological Protection, Dosimetry Department,
- Białystok – Medical University of Białystok, Department of Biophysics,
- Gdynia – Institute of Meteorology and Water Management - National Research Institute, the Maritime Branch in Gdynia,
- Katowice – Central Mining Institute, Silesian Centre for Environmental,
- Kraków – The Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Department of Nuclear Physical Chemistry, Laboratory of Radioactivity Analyses,
- Lublin – Maria Curie-Skłodowska University, Department of Chemistry, Department of Radiochemistry and Colloid Chemistry,

- Łódź – Technical University of Lodz, Department of Chemistry, Institute of Applied of Radiation Chemistry,
- Sanok – Provincial Sanitary-Epidemiological Station in Rzeszów, Laboratory of Radiation in Sanok,
- Szczecin – West Pomeranian University of Technology, Institute of Chemical Engineering and Environmental Protection Processes,
- Toruń – Nicolaus Copernicus University, Institute of Physics,
- Wrocław – Wrocław University of Technology, the Radiological Protection Supervisor,
- Zielona Góra – University of Zielona Góra, Institute of Environmental Engineering, Department of Conservation and Land Reclamation.

The results of measurement of the concentration of various radionuclides in atmospheric aerosols taken from ground level air are shown in Table 3. In the table is also given place and time of maximum concentration for each radionuclide.

Based on the concentrations of radionuclides measured in the ASS-500 station network in Poland, have been determined effective doses they have received the inhabitants of our country, breathing air containing radionuclides with measured concentrations. Table 4 lists the calculated values of the doses received by residents

(of all ages) in the different cities where the ASS-500 stations are located.

Effective doses received by inhalation varied in the range of 1.259 mSv per year for children aged 7 – 12 residing in Gdynia to the value of 6.173 mSv for young people aged 12 – 17 years. The maximum effective dose was calculated for the residents of Krakow.

Table 3. Average annual (for the whole Poland) concentrations of radioactive radionuclides in ground-level air.

Radionuclide	The concentration in the air, $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	Range	Location and timing of maximum concentration
^{137}Cs	0.91 ± 0.08	$<0.08 - 28.47$	Łódź, 24.08 – 31.08
^{131}I	0.54 ± 0.02	$<0.02 - <5.99$	Łódź, 26.10 – 02.11
^7Be	3084 ± 63	$531 - 11082$	Katowice, 10.08 – 17.08
^{40}K	15.2 ± 0.4	$1.8 - 80.4$	Białystok, 12.10 – 19.10
^{210}Pb	436 ± 11	$74 - 1997$	Zielona Góra, 02.11 – 09.11
^{226}Ra	6.2 ± 0.3	$<1.2 - <56.6$	Kraków, 02.11 – 09.11
^{228}Ra	1.2 ± 0.1	$<0.2 - <10.6$	Kraków, 02.11 – 09.11

Table 4. The values of the annual effective dose for different age groups from absorbing radioactive radionuclides inhalation at the location of the station.

Localization of ASS-500 station	Age groups					
	≤ 1 year	1÷2 years	2÷7 years	7÷12 years	12÷17 years	>17 years
Warszawa	3.931	3.053	2.994	3.886	4.487	3.239
Białystok	4.123	3.195	3.122	4.072	4.702	3.388
Gdynia	1.645	1.280	1.259	1.628	1.880	1.359
Katowice	4.288	3.321	3.241	4.233	4.888	3.520
Kraków	5.366	4.241	4.261	5.353	6.173	4.511
Lublin	4.869	3.783	3.711	4.815	5.559	4.013
Łódź	3.257	2.530	2.480	3.220	3.718	2.683
Sanok	4.864	3.767	3.678	4.802	5.546	3.994
Szczecin	3.140	2.439	2.391	3.105	3.585	2.587
Toruń	4.086	3.171	3.104	4.038	4.663	3.363
Wrocław	4.087	3.180	3.125	4.044	4.669	3.374
Zielona Góra	4.874	3.782	3.703	4.817	5.562	4.012

Literature

[1] Ordinance of Council of Ministers of 18 January 2005 on ionizing radiation dose limits (Dz.U. No. 20/2005, pos. 168).

[2] Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3), 1994

Monitoring of ^{137}Cs concentration in soil, 2014 – 2015

K. Isajenko, B. Piotrowska

The investigations of radioactive contaminations of soil are performed in the frame of Polish National Environmental Monitoring System since 1988. They are financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management. The soil samples for measurements are taken every two years in the network of meteorological stations of the Institute of Meteorology and Water Management – the sampling points are shown in Figure 1.

The results of the measurements of soil samples from all points are stored in the database and are used to create a radiological maps of Poland. Maps are created using MapInfo Professional 8.5 PL system.

This system visualizes of the measurement results of the individual sampling points in the form of circle cartodiagrams with surfaces proportional to the size of concentrations of radioactivity and in the form of raster maps, in which the concentrations measured in points extrapolated to the whole country.

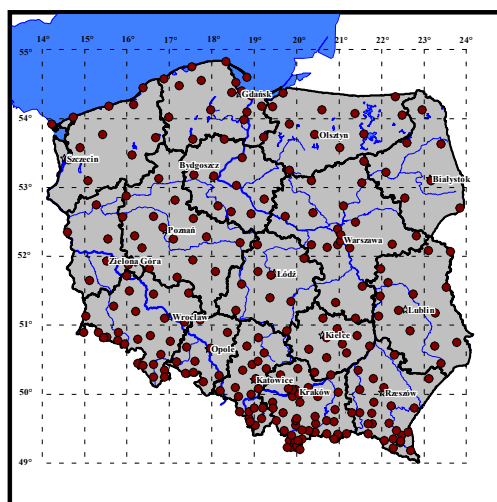


Figure 1. Points collecting soil in Poland (October 2014).

In 2015, soil samples taken from the surface layer of 0 – 10 cm at 254 points (+ samples from the layer 0 – 25 cm at 10 points), were prepared for

the measurement (drying, crushing, weighing and placing in Marinelli beakers), and then measured.

In the 254 points soil samples were measured concentrations of cesium ^{137}Cs (conversion followed by deposition of the isotope on the surface of the soil) and natural radionuclides radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac and potassium ^{40}K by analysis using high resolution gamma spectrometry. The measurements of radionuclide concentrations in soil samples were made using spectrometers with HPGe detectors, located in low-background lead shielding houses. The time of each measurement was 80000 s.

The average value of the surface concentration (deposition) of ^{137}Cs in Poland for the samples taken in 2014 is $1.33 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ with a range from $0.05 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (sampling point: Zgorzelec – province: Lower Silesia) to $8.62 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (Łądek Zdrój – province: Lower Silesia).

The mean values of concentrations of natural radionuclides in soil in Poland 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 ranging 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 the Polish – it is related to the geological structure of our country. For example, in a sample taken in Szklarska Poreba (province: Lower Silesia) concentrations of these radionuclides are respectively: $128.0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for ^{226}Ra , $91.4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for ^{228}Ac and $1065.0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for ^{40}K .

Literature

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

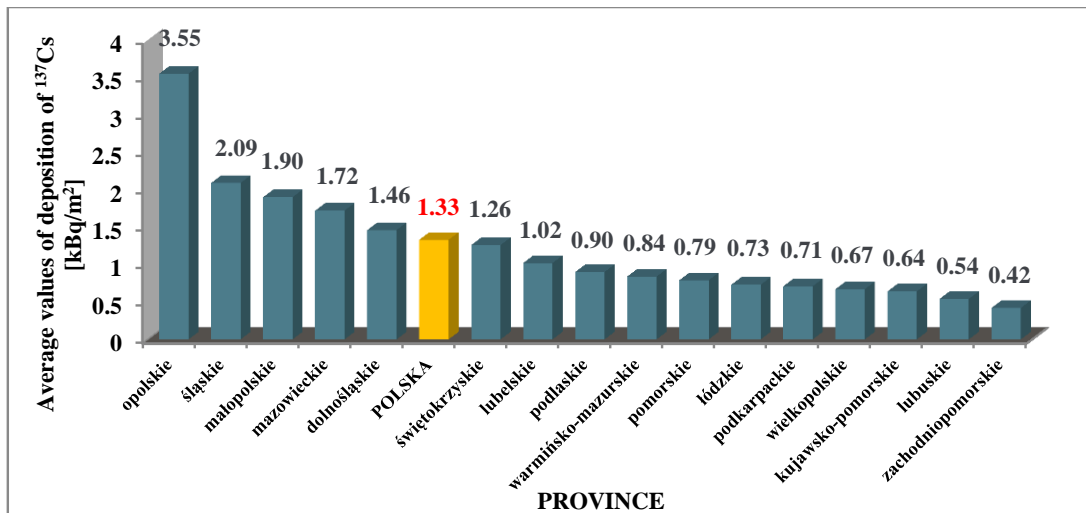


Figure 2. The histogram of average values deposition of ^{137}Cs in different provinces and in Poland for soil selected in October 2014.

Measurements of release of radioactive substances to air in the area of nuclear facilities in Świerk

K. Isajenko, B. Piotrowska, O. Stawarz

Introduction

The work was carried out in accordance with an agreement with the National Atomic Energy Agency. In this work we collected atmospheric aerosols (4 times), iodine in the form of gas (4 times) and the noble gases (1 time) around the National Centre for Nuclear Research. Aerosols and iodine were measured in the Department of Dosimetry Central Laboratory for Radiological Protection (CLRP), a sample of noble gases was measured at the Institute of BfS in Freiburg (Germany).

According to the agreement, in the samples was to determine the concentration of radioactive radionuclides following:

- in samples of atmospheric aerosols: potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra , actinium ^{228}Ac , beryllium ^7Be , cesiums ^{137}Cs and ^{134}Cs , iodine ^{131}I and cobalt ^{60}Co ;
- in samples of iodine gas: concentration of the following isotopes of iodine: ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I and ^{135}I ;
- in sample of noble gases: concentration of the krypton isotope ^{85}Kr .

In all measurements had to be determine for each radionuclide its radioactive concentration, uncertainty of the determination of the concentration and the value of the lower limit of detection LLD (LLD value should be determined always).

In addition, for each sampling was to determine weather conditions data (such as wind direction and force, pressure, temperature, humidity, precipitation, cloud cover) and technical conditions (like time of collection, the size of the sample taken, the type of filter for which it was collected sample, flowrate of air).

All sampling were trying to provide during cycles reactor "MARIA" on increased power (ie.

a molybdenum cycle), unless the cycle was planned. Unfortunately, as can be seen from the results presented, we have not always managed to perform power in time (PAA give us information about the work schedule of the reactor).

In the measurements of artificial radioactive isotopes in atmospheric aerosols, we were able to determine in the July the iodine ^{131}I at $4.00 \pm 1.28 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Several times we measured the mercury ^{203}Hg at a few $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Measured mercury can be derived from POLATOM, as it is radionuclide used for the manufacture of calibration sources (due to the fact that it is the monoenergetic isotope). Also measured niobium ^{95}Nb , which can come from the reactor.

When measuring gaseous iodine CLRP is able to measure only the isotope ^{131}I (measured in June and in July), other isotopes are below the LLD for the measurement method, which are quite high (for iodine ^{132}I at $500 - 620 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, for iodine ^{133}I at $650 - 1250 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, and for iodine ^{135}I until the level of several tens $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$). So it will be possible only determine the very high concentrations of these isotopes (if any). Two times we determined high concentrations of iodine ^{131}I in the form of a gaseous fraction. It was at June (almost $2 \text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$) and at July (nearly $3.5 \text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$).

In the noble gases collected in September, subcontractor BfS Freiburg (Germany) determined the concentration of krypton ^{85}Kr on the level $1.6 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ($\pm 3.2\%$) with the LLD equal to $0.046 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. According to information we received from the Germans, this value is at normal background levels in Central Europe (approx. $1.5 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). But in order to properly determine the concentration of krypton ^{85}Kr is required weekly collecting of air or shorter (but not less than 5 days) with a larger flowrate (increased to the value of $0.060 - 0.075 \text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$).

These studies should be continued, as they allow to obtain actually information about isotopes in the gas and aerosol form, which are present in the environment surrounding the reactor Maria. These are the first conducted in Poland

measurements of noble gases - the first marker of contamination caused the failure. This is a basic element of environmental monitoring in many countries.

Table 1. Examples of result of measurements of atmospheric aerosols.

No.	Date of collection (Measurement start) Measurement time	Isotope	Radioactive concentration [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Uncertainty [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	LLD [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]
1.	30.06.2015 02.07.2015 at 09:18) 80 000 seconds	^{134}Cs	<2.20		2.20
		^{137}Cs	<1.68		1.68
		^{131}I	<2.46		2.46
		^{60}Co	<2.27		2.27
		^{40}K	<19.4		19.4
		^{226}Ra	<31.2		31.2
		^{228}Ac	4.6	3.2	4.1
		^7Be	2475	60	13
		^{203}Hg	7.93	0.80	1.27
2.	14.07.2015 15.07.2015 at 10:18) 80 000 seconds	^{134}Cs	<3.46		3.46
		^{137}Cs	<2.53		2.53
		^{131}I	4.00	1,28	2.14
		^{60}Co	<3.55		3.55
		^{40}K	<91.9		91.9
		^{226}Ra	<57.5		57.5
		^{228}Ac	<9.20		9.20
		^7Be	1976	60	23
		^{95}Nb	6.38	1.68	2.09

Table 2. Examples of result of measurements of iodine gas.

No.	Date of collection (Measurement start) Measurement time	Isotope of iodine	Radioactive concentration [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Uncertainty [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]	LLD [$\mu\text{Bg}\cdot\text{m}^{-3}$]
1.	30.06.2015 01.07.2015 at 11:19) 80 000 seconds	^{131}I	1945.55	197.88	250
		^{132}I	<602		602
		^{133}I	<1230		1230
		^{135}I	<57.6 mBq·m ⁻³		57.6 mBq·m ⁻³
2.	14.07.2015 15.07.2015 g. 10:13) 80 000 seconds	^{131}I	3471.86	243.89	297
		^{132}I	<590		590
		^{133}I	<1180		1180
		^{135}I	<55.8 mBq·m ⁻³		55.8 mBq·m ⁻³

Analysis and Evaluation of the Radioactivity of Raw and Building Materials Used in Poland in years 1980-2015

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

Introduction

To the evaluation of raw and building materials in terms of the presence of radioactivity concentration shall apply the criteria published in the Ordinance of the Council of Ministers of 2 January 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 to apply different raw materials and building materials in 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 an coefficient of exposure to whole body gamma radiation,
- the qualification coefficients (f_2), Ra-226 Radium-specifies the content of the test material is an coefficient of the exposure of the epithelium of the lungs to radiation emitted by the decay products of radon Alpha collected together with air by the human respiratory system.

In 2015 the Laboratory for Measurements Natural Radioactivity completed studies and developed opinions on application of building and raw materials for the 66 samples were from different regions of the country. They were e.g mixture ash-slag (36 samples), boiler slag (8 samples) and mixtures of dust-slag (12 samples) and another 10 samples.

From 1980 to the end of 2015 to a polish national database of raw and building materials has been entered for 45180 samples. In the same year

entered to the database results for 870 samples, including:

- the results of raw materials of natural origin: 86,
- the results of the building materials industrial origin: 636,
- the results of building materials: 148.

In 2015 the year was registered more excess of the limit values are defined the qualification coefficients of $f_1 = 1.2$ or $f_2 = 240 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for housing and utilities, compared to the previous year. Overshoot recorded for 31.9%, ashes and 71.9% gas desulphurisation products.

The Figures 1-5 show the changes in the average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for several selected raw and building materials (Figure 1 – ashes, Figure 2 – ash-slag boiler, Figure 3 – cement, Figure 4 – concrete, Figure 5 – ceramics building) in the years 1980 – 2015.

By analyzing the average values of the qualification coefficients of f_1 and f_2 of the entire database is specified for housing construction and public service in the years 1980-2015 it should be stated that:

- several years has remained constant, the trend of average values measured the qualification coefficients of f_1 and f_2 for raw and building materials,
- in 2015 year 100% raw materials of natural origin would apply in building residential (as in previous years).
- in the case of raw materials of industrial origin in 2015 weak the qualification coefficients in terms of the admissibility of their application in building housing were characterized by ash,
- from the ended building materials produced in 2015 year 100 % materials have been authorized for use in building housing.

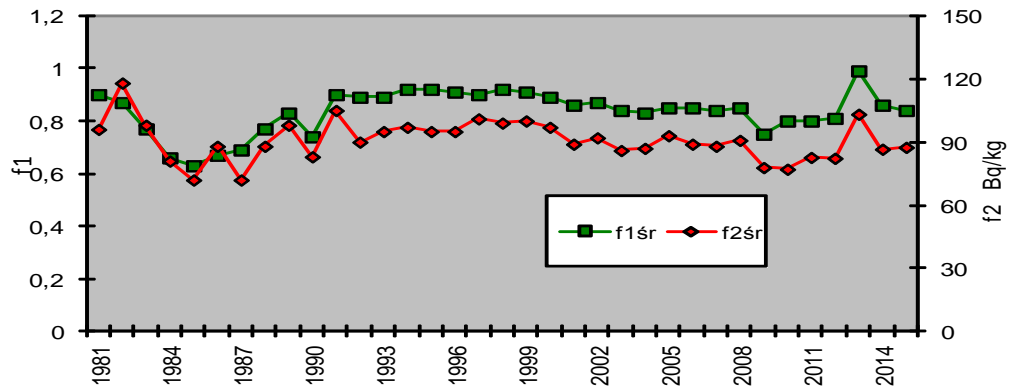
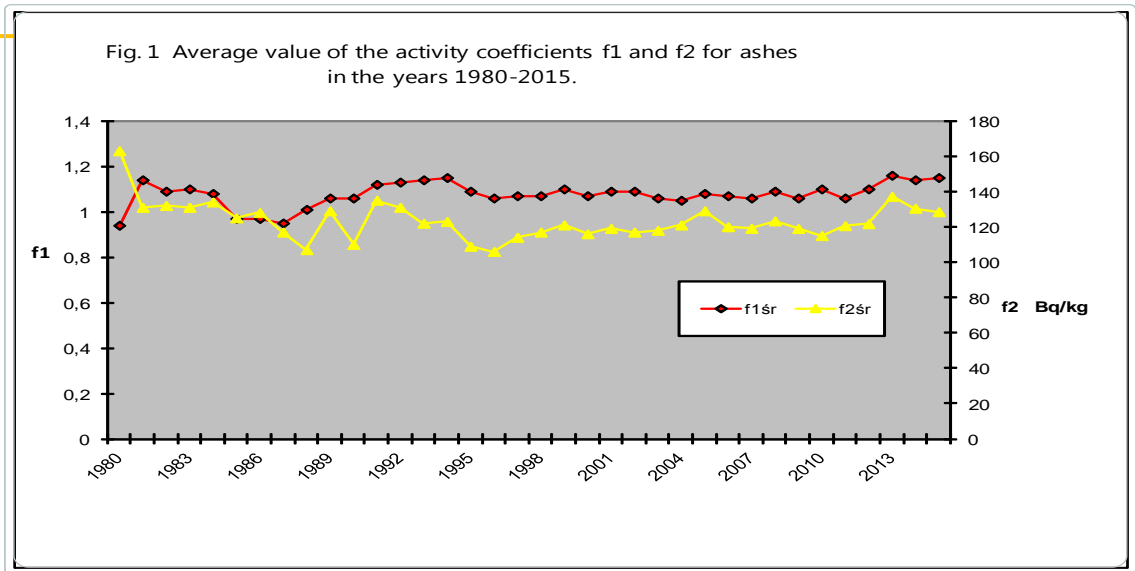


Figure 2. Average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for ash-slag boiler in the years 1980 – 2015.

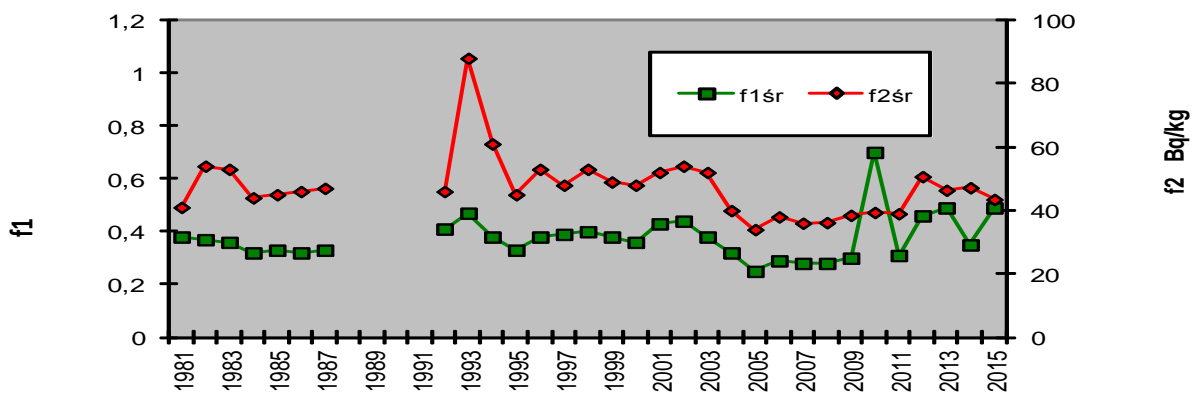


Figure 3. Average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for cement in the years 1980 – 2015.

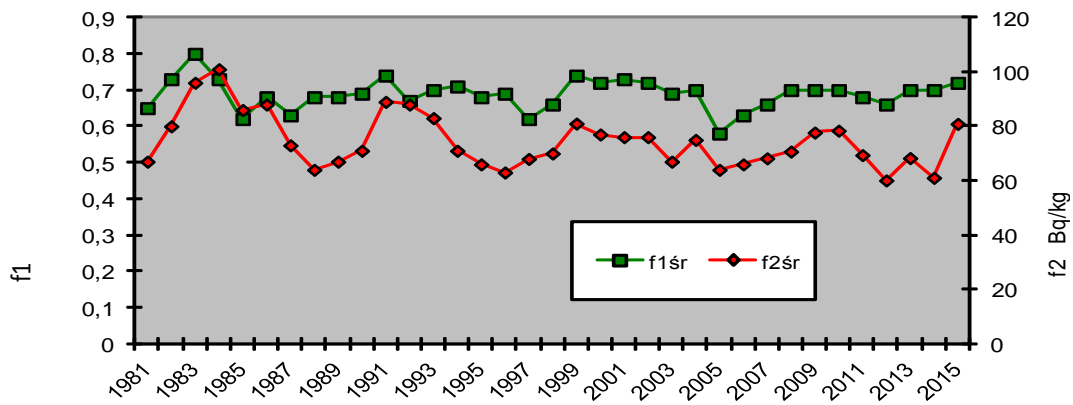


Figure 4. Average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for concrete in the years 1980 – 2015.

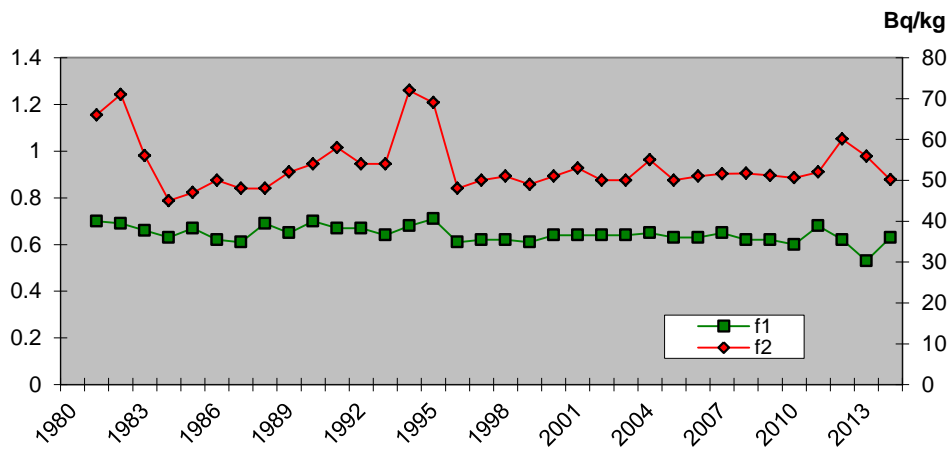


Figure 5. Average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for ceramics building in the years 1980-2015.

The estimate of the situation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan and around Institute in Świerk

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

Introduction

The estimate of the situation of the radiation in the vicinity of the National Radioactive waste landfills (KSOP) Różan in 2015 y. focused on:

- realization of research activity of gamma spring waters taken once a year in the three measuring points which allow the detection of artificial isotopes gamma radioactive content,
 - $>0.1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$, measuring the total content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) and tritium (^3H) $>0.4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
 - realization of research: the total activity beta ground water collected by piezometers in eight points twice a year-when exceeding $1.0 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ is a measurement of content of potassium (^{40}K) and determining the content of tritium (^3H) $>0.4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$,
 - realization of measurements by the dose rate in the five points and the collection of the soil twice a year and the realization of the study of gamma radiation samples of the soil with the define isotopes gamma radioactive: artificial $>0.7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (dry mass) and natural $>2.5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (dry mass),
- The estimate of the situation of radiation in around Institute in Świerk in 2015 y. focused on:
- research activity of gamma to enable detection of artificial isotopes gamma radioactive water from the River Świder content $> 0.1 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ (collection of two points two times per year) and measuring the total content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) and tritium (^3H) $>0.4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$,
 - research activity of gamma water from sewage treatment plant in Otwock from one point twice a year and the measurement of the total content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) $>0.4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- studies of gamma radiation to detect artificial isotopes in well water taken from two points twice a year for content $> 0.1 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ and measurements of the total content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) and content of tritium (^3H) in each sample $>0.4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ as well as the measurement of a strontium content (^{90}Sr) $>0.4 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ in two samples of collection (for two points),
 - realization of measurements by the dose rate in the five points, and a collection of grass and soil test of gamma radiation with gamma radioactive isotopes:
 - artificial: $> 1 \text{ Bq}/\text{kg}$ is for grass (dry mass); $>0.7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ for a soil (dry mass);
 - natural: $> 20 \text{ Bq}/\text{kg}$ is for grass (dry mass); $>2.5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (dry mass).

Surroundings National Landfill of radioactive waste (KSOP) in Różan

Spring water

Study environment the National Radioactive waste landfills (KSOP) in Różan, in the analysis of spectrometry of ionizing radiation in samples of spring water with three points (Z-1, Z-2, Z-3):

- not registered gamma radioactive isotope artificial concentration $>0.1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- maximum content of tritium was recorded in a sample of water from point Z-3: $2.0\pm 0.3 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- maximum content of caesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) was registered in spring water from point Z 3: $6.62\pm 0.71 \text{ mBq}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Groundwater

Analysis of the beta ray in samples of ground water from around KSOP in Różan showed:

- maximum content of tritium in the sample marked P-2: $13.5\pm 2,1 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ -collection of

spring, and P-2: $129.1 \pm 19.4 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$ – collection of autumn;

- the largest total radioactivity beta ray $0.17 \pm 0.03 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$ (sample P-1 collection of spring) and $0.13 \pm 0.02 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$ (sample P-6 collecting of autumn).

Soil

Spectrometric study of gamma radiation samples of soil from the surroundings KSOP in Różan have shown with artificial isotopes-the presence of caesium (^{137}Cs); with more content in May sample marked D-1 and in September sample marked D-2. Concentration detected activity amounted to ^{137}Cs : $51.3 \pm 0.9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $32.4 \pm 0.6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively.

Grass

In the analysis of spectrometry of gamma radiation in samples of grass in the KSOP Różan have shown with artificial isotopes-the presence of caesium (^{137}Cs). Concentrations of activity of the isotope have been between $<0.20 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry mass (in May sample marked D-5) to $26.3 \pm 0.6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry mass (in May sample marked D-2).

Aerosols air

In the analysis of the spectra of gamma radiation aerosols collected on filters of air per day collecting samples in the field of energy between (40-2000) keV has been recorded artificial isotope concentration $> \text{a few } \mu\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

Concentrations of activity of the isotopes identified in both samples (Ro-1531 and Ro-1544): beryllium (^7Be) and lead (^{210}Pb) correspond to average the values of concentrations of these isotopes recorded in samples of aerosols from the ASS-500 placed throughout the country and working continuously.

Exposition dose rate

Exposition dose rate of radiation in the environment in the KSOP Różan is between 66.10 nGy/h in point D-5 (measurement in September) to 80.54 nGy/h in point D-1 (measurement in September).

The average exposition dose rate for surroundings KSOP in Różan is:

- $73.96 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ for measurements in May;
- $73.01 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ for measurements in September.

Surroundings Institute in Świerk

Water

Study environment by Institute in Świerk, after analysis of the spectrometry of gamma radiation in samples of water from the River Swider (WS-1 and WS-2 samples) and the water from well (G-106 and G-108) was not found the presence of radioactive isotopes gamma artificial content $>0.1 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$.

In samples of water from the Canal outlet of sewage treatment plant in Otwock (RSD) been registered gamma radiation from the isotope of iodine (^{131}I) in the collection of the autumn, the maximum activity on the day of collection of water from the Canal outlet of sewage treatment plant in Otwock at: $0.454 \pm 0.007 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$ (September collection);

Measurement of content for tritium (^3H) in samples of well water and water from the River Swider method of enrichment of tritium electrolytic method and measurement of the activity of beta ray be means of spectrometry LSC showed the presence of tritium at low level. The maximum value of the concentrations of tritium in water taken from the surrounding area Institute in Świerk amounted:

- in the collecting of the summer – in well water G-106 : $3.7 \pm 0.6 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$;
- in the collecting of the autumn – from the Canal outlet of sewage treatment plant in Otwock WOS: $1.4 \pm 0.2 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$;

Measurement of content for caesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) in samples of water by method of selective sorption of caesium on a fluid quinoline ammonium (AMP) and measuring the activity of β -ray preparation has shown that in all samples the caesium activity level is low. The largest average content of caesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) was registered in water from river Swider WS-1.

The maximum value of the activity concentration of caesium ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) in samples of water were, respectively:

- in collecting of summer - in water river WS-1: $10.58 \pm 1.10 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$;
- in collecting of autumn – in well water G-108 : $6.00 \pm 0.64 \text{ Bq} \cdot \text{dm}^{-3}$;

In determinations ^{90}Sr in two bulk samples of well water from the Spring and autumn collection. G-106, G-108 and WS-1 and WS-2 recorded the presence of strontium (^{90}Sr), with more content in sample G-108 of values: $18.82 \pm 3.88 \text{ mBq} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Soil

After the analysis of the spectrometry of gamma radiation in soil samples from the around institute in Świerk found:

- the presence of caesium (^{137}Cs) in all samples;
- maximum activity of caesium (^{137}Cs): $10.3 \pm 0.1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (point MD-02);
- minimum activity of caesium (^{137}Cs): $0.33 \pm 0.03 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (sample MD-04).

Grass

In the analysis of spectrometry of gamma radiation in samples of grass from surrounding institute in Świerk found in four samples the presence of caesium (^{137}Cs) in the range from <0.14

$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (sample MD-04) to $9.86 \pm 0.36 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (sample MD-01).

Exposition dose rate

Exposition dose rate in around institute Świerk is in range from 44.9 nGy/h in point MD-05 to the value $56.4 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ point MD-02.

Conclusions

Tests over several years show that both the work of the Centre in Świerk and the presence of the National Radioactive Waste Repository in Różan not pose a risk in terms of radiological for the residents of both locations.

Analysis of radiological environmental monitoring programs of selected European countries in the context of nuclear energy

O. Stawarz, K. Isajenko

The aim of this work was to analyze radiological environmental programs of selected European countries in the nuclear energy context. This topic has been elaborated under the agreement between the President of the National Atomic Energy Agency and CLOR, No. 37/OR/2015/224 of 3 September 2015.

The work included the following issues:

1. Presentation of the characteristics and the overall assumptions of radiation monitoring around nuclear power plants as an example of organizational solutions in selected European countries which have the nuclear program (France, Spain, Switzerland, Belgium and the Netherlands) with regard to the applied in each country standards and international guidelines, the solutions used in the radiation monitoring (passive, active, on-line and off-line, stationary and mobile monitoring, laboratories and measuring equipment), types of analyzed radionuclides, environmental and food samples and the division of powers between the operator of a nuclear power plant and external institutions responsible for assessing the state of the environment in the country.
2. Formulation of opinion on the possibility of adaptation of individual solutions from mentioned countries in Polish program of radiological monitoring around the nuclear power plant.

Programs of radiological monitoring of environment around nuclear power plants

The aim of the programs of radiological environmental monitoring in vicinity of nuclear power plants is to estimate the radiation exposure on people and influence of the object on environment, fast detection of atypical rise of radioactivity, ensuring preliminary measurements in case of radioactive substances release and checking

the compliance of licensees with legal requirements.

In designing the program of radiological monitoring of the environment around the NPP is determined, among others steps, such as assessment of natural background radiation before the construction of the power plant, the conditions in vicinity of an object, determine the population ages, routes of exposure and potentially critical radionuclides and the establishment of a monitoring network for measuring the dose rate and the collection and analysis of environmental samples.

Each of the countries discussed below applies in relation to radiological protection, nuclear safety and radiological environmental monitoring their own laws, regulations, or decrees, as well as European directives and guidelines of the International Atomic Energy Agency and the Euratom Treaty.

France

The Nuclear Safety Authority (ASN) is responsible for nuclear safety and radiation protection in France. There are 19 nuclear power plants with 58 working reactors (PWR type).

The French Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN) is involved in radiological monitoring of environment and uses:

- a) independent systems for continuous monitoring in situ (remote monitoring networks - real-time transmission):
 - Téléray network – 390 monitors for measurements of ambient gamma dose rate in the air, placed at the whole country area, density of network is increased within a radius of 10 to 30 km from NPP,
 - Hydrotéléray network – monitoring of main watercourses, downstream from nuclear objects to the national borders,

- continuous sampling networks, like monitoring of atmospheric aerosols radioactivity (analysis of samples in laboratory)
- b) processing and measuring (in laboratory) samples collected in different environmental compartments, in vicinity or far from nuclear objects.

Licensees of nuclear facilities are responsible for monitoring of the environment around the objects according to individual requirements defining activities and their frequency, regardless of the additional findings made by the licensees for their own monitoring. The operators are responsible for ensuring monitoring of releases (water or gaseous) removed from the objects inside and outside nuclear facilities.

Within the framework of the radiological monitoring around NPP measurements are made for the following components of the environment:

- air – station for sampling of aerosols on filter, station for sampling gases on adsorbent, dose rate detectors (1-5 km from NPP and on the fence) – alpha and gamma spectrometry, gross alpha and gross beta, iodine gaseous, ^3H , ^{40}K , ^{14}C concentration,
- precipitation – gross beta, ^3H , gamma spectrometry,
- ground water – gross alpha and gross beta, ^3H , ^{40}K ,
- drinking water - gross alpha and gross beta, ^3H , ^{40}K ,
- soil – gamma spectrometry, ^{14}C ,
- grass – gamma spectrometry, ^3H , ^{14}C , alpha activity,
- agricultural cultivation – alpha and gamma spectrometry, ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr ,
- milk – gamma spectrometry, ^3H , ^{14}C , ^{40}K , ^{90}Sr .

Monitoring related to assessment of influence of discharges from NPP on the environment includes the following measurements:

- water – upstream from discharge point and streams around NPP – alpha and beta activity, ^3H , ^{40}K ,
- sediments, fauna, flora (downstream and upstream from discharge point) – gamma spectrometry, ^3H , ^{14}C ,
- sea water – alpha and gamma spectrometry, beta activity, ^3H , ^{40}K , ^{90}Sr ,

- seaweed, snails, fishes, shellfish, molluscs and clams – alpha and gamma spectrometry, ^{14}C ,
- sediments (sea) – alpha and gamma spectrometry, ^{90}Sr ,
- sediments (streams in vicinity of NPP) – gamma spectrometry, ^3H .

Moreover: gamma spectrometry in cereal, leafy and root vegetables, wine and cider and ^3H concentration in fruits.

Spain

Spanish Nuclear Safety Council (CSN) is the institution responsible for nuclear safety and radiation protection. Spain has 5 nuclear power plants with 7 working reactors (PWR and BWR type).

System of environmental monitoring networks around NPPs is integrated by:

- monitoring of associated equipment network – radiological environmental monitoring program binding for the nuclear objects operators (PVRA) and independent CSN control programs,
- national radiological environmental monitoring network REVIRA – created and managed by CSN.

REVIRA consists of:

- a) networks of measuring stations – REM:
 - monitoring program of water environment (inland and coastal water),
 - monitoring program of atmosphere and terrestrial environment,
- b) networks of automatic stations for continuous monitoring – REA – real time measurements of gamma dose rate, Geiger-Muller detectors.

Moreover there are monitoring networks in Autonomous Communities and alert RAR network managed by the Directorate of Civil Defense and Emergencies of the Ministry of Internal Affairs.

Monitoring is conducted through two types of network:

- dense network – measuring stations covers the whole area, to allow determination of radioactivity medium level in region,
- spaced network (highly sensitive) – subset of the dense network, including in each region for every type of samples at least one sampling for each station; very sensitive measurements are carried out in these points.

In the monitoring of atmosphere and terrestrial environment (both types of network) there are

performed measurements in following components of environment:

- atmospheric aerosols – alpha and beta activity, gamma spectrometry, ^7Be , ^{90}Sr , ^{137}Cs ,
- air – gross beta, ^{131}I ,
- soil – alpha and beta activity, gamma spectrometry, ^{90}Sr ,
- drinking water – gross alpha and gross beta, residual beta, gamma spectrometry, ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , natural isotopes (every 2 years),
- milk – gamma spectrometry, ^{90}Sr , ^{137}Cs ,
- mixed diet (for one person, during 5 days, once a quarter) – gamma spectrometry, ^{14}C , ^{90}Sr , ^{137}Cs .

Monitoring of water environment covers main river watersheds and coastal waters of Spain. There are over 80 sampling points, including 2 stations of spaced network. Collection and analysis of river water samples is held continuously, monthly or quarterly. Sea water is collecting from 15 stations (2 stations in spaced network program) - 10 miles from the shore or in port. Collection and analysis of sea water samples is held quarterly. The following measurements: gross alpha and gross beta, residual beta, ^3H determination and gamma spectrometry are carried out in water samples within the dense network. In frame of highly sensitive network ^{137}Cs concentration is determined.

Moreover there are carried out measurements of ^{90}Sr concentration and gamma spectrometry in samples of precipitation, sediments and indicator organisms. ^3H concentration, gross beta, residual beta and gamma emitters are determined in surface and ground waters. Gamma spectrometry and ^{90}Sr and ^{131}I determination is done for milk and cereal. Samples of meat, eggs, fish, shellfish and honey are also measured by gamma spectrometry.

Network of Automatic Stations REA allows for on-line monitoring of radioactivity in the air at the whole country area (46 stations). Stations consists of automatic radiological station and automatic INM weather station, they also have a software for measurements of gamma dose rate, alpha and beta activity, ^{131}I and ^{222}Rn concentration. There is a continuous monitoring of measurements and alarms, emergency operating mode and automatic creation of files that are sent to the European platform for exchange of data from the networks of automatic monitoring (EURDEP).

Switzerland

Federal Office of Public Health (BAG) is responsible for nuclear supervision in Switzerland. BAG subordinate unit, responsible for the radiological monitoring of nuclear power plants, research reactors and the National Central Interim Storage of Radioactive Waste ZWILAG, is the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI). Switzerland has 4 nuclear power plants with 5 working reactors.

Automatic Dose Rate Monitoring Network in the Vicinity of Nuclear Facilities (MADUK supervised by ENSI) consists of 4 subsidiary networks, located within a radius of 6 km of each NPP. Dose rate is measured in 57 points by GM counters.

ENSI reports contain the following information:

- medium and total annual value of dose received by NPP employees,
- concentration of noble gases, iodine, aerosols and ^{14}C in the exhaust air,
- ^3H concentration and total activity of other nuclides in liquid waste,
- total annual dose (taken from BAG report),
- annual concentrations of different alpha and beta radionuclides in liquid and gaseous waste (taken from BAG report),
- values of doses in the vicinity of NPPs – results from MADUK network,
- maps with the results of dose rate radiometric measurements (made from the airplane).

National Emergency Operations Centre (NEOC) has the Automatic Dose Alarm and Monitoring Network (NADAM - 66 stations), devices for air radiometry (common action with Swiss Aircraft) and mobile devices. NEOC cooperates with laboratories (measurements of samples) and in case of emergency mobilizes Atomic Warning Points AWP (108 points – police and fire stations, border control points) which are equipped with mobile devices.

BAG Section of Environmental Radioactivity (URA) has the following networks:

- RADAIR – on-line stations for continuous measurements of aerosols, located mostly along national borders, equipped with devices for alpha and beta radiation measuring; network consists of:
 - FHT59S aerosol monitor (11 stations),
 - FHT 1700 monitor for ^{131}I gaseous detection (additionally in 4 stations),

- FHT59N spectroscopic monitor (1 station with a "drop filter" for spectroscopic monitoring, measurements on germanium detector),

LUSAN - network of many aerosol and air sampling stations, which are a part of BAG monitoring.

- URA has the following measuring devices (with low limit of detection) for air monitoring:
- High Volume Sampler (HV) – 6 localizations, air sampling on filter; gamma spectrometry measurements of aerosols on filters in laboratory
- „Höhenflug“ filters (HFF) in airplanes of Swiss Air Force - 2 filters placed in airplanes, gamma spectrometric measurements of samples in laboratory
- „Höhenflug“ filters (HFF) in aerosol sampling devices (FWP) – 8 stations, continuous sampling of aerosol airborne dust, filters analyzing by gamma spectrometry.

Aeroradiometric Group measures dose rate and activity concentration of radionuclides using the equipment on the board of helicopter belonging do Swiss Air Force. This group conducts the monitoring of nuclear power plants, measures dose rate and ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th and ^{238}U activity concentration.

Moreover for radiological monitoring in Switzerland may be used: measuring vehicles and monitoring teams (NPPs, URA BAG), federal and cantonal laboratories, two mobile laboratories, aeroradiometry, the manual monitors for dose rate measurements and equipment for samples collecting (army).

Radiological monitoring of the country covers the measurements in the following components:

- air (dose rate – results from networks of stations; ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs – HVS stations; ^3H , ^{14}C , ^{37}Ar , ^{85}Kr , ^{131}I and aerosol concentration – exhaust air from NPP; ^7Be , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I gaseous – results of airplane measurements; ambient equivalent dose $H^*(10)$ – vicinity of NPP),
- aerosols (total activity, natural alpha radionuclides – RADAIR network),,
- precipitation (total activity, gamma emitters, ^3H),
- soil (^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am),
- grass (^7Be , ^{40}K , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr),

- leaves from trees (^{14}C – vicinity of NPP and other nuclear objects),
- soil, air, water, sediments, water plants and fish – vicinity of NPP, estimation of discharge influence for environment (^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , $^{241}\text{Am}/^{239,240}\text{Pu}$ i $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$),
- river water (^3H , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs),
- suspensions (^3H , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{177}Lu , ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{240}Pu),
- liquid discharge (^3H , alpha and beta radionuclides),
- gaseous discharge (alpha and beta radionuclides),
- human body (^{137}Cs and ^{40}K – in selected cities),
- deciduous teeth and vertebra (^{90}Sr , ^{210}Po , ^{226}Ra – in selected cities),
- drinking water (^3H , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{222}Rn , radium and uranium isotopes, ^{210}Pb , ^{210}Po – campaign in 2014),
- milk and fruits (^3H , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I),
- cereal, vegetables, mushroom (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I),
- venison (^{137}Cs)
- root vegetables, herbs, rhubarb, seaweed, local and imported food (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I , uranium isotopes).

Belgium

Federal Agency for Nuclear Control (FANC) and National Organization for Radioactive Waste and Enriched Fissile (ONDRAF/NIRAS) are responsible for nuclear safety and radiological protection of the country.

There are 2 working nuclear power plants in Belgium.

One of the FANC tasks is conducting of the radiological monitoring system, which covers the whole country area. The monitoring program is based on two main parts:

- TELERAD system - continuous measurements of radioactivity level in air and water,
- collection and analysis of soil, aerosols, milk, drinking water, meat and vegetables samples. TELERAD network consists of:
- 128 automatic stations for ambient gamma dose rate measurements – whole country area (GM counters),
- 64 automatic stations close to the fences of nuclear objects – gamma spectrometry, NaI detector, ambient dose rate and radionuclides activity measurements,

- 8 stations for radiation measurements in water – 6 of Retrofit type and 2 of BCI type,
- 7 stations for aerosols in the air measurements (total alpha and beta activity, additionally monitor of iodine).

Belgian Nuclear Research Centre SCK-CEN (technical support for FANC) conducts measurements on very low level of radioactivity. Laboratory measures food and environmental samples.

The tasks of the operators of nuclear installations should be continuous monitoring and analysis of discharges by means of measuring devices placed at each outlet of liquid effluents and on the chimney of exhaust gases, the immediate transfer of measurement results to a monitoring central, sampling of discharges and analysis in the laboratory and the implementation of the environmental monitoring program.

In the frame of monitoring the following measurements are conducted:

- ^3H , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{124}Sb , ^{131}I and ^{137}Cs concentration determination in liquid discharges,
- ^3H , ^{131}I , nobles gases, alpha and beta emitters determination in exhaust gases.

In order to control the liquid discharges are collected the following samples from the points up and down the river at several distances from the discharge point: water, sediments, algae, water plants, fish, shellfish.

In order to monitor radionuclides released into the atmosphere are collected the following samples: air (atmospheric aerosols), rain water, soil, grass and milk.

The program of radiological monitoring of environment in vicinity of nuclear power plants includes measurements in the following components:

- air (deposition: gamma spectrometry, alpha and beta activity, ^3H , ^{90}Sr ; aerosols – gamma spectrometry),
- soil (gamma spectrometry),
- drinking water (alpha and beta spectrometry, ^3H , ^{40}K),
- river water (gamma spectrometry, alpha and beta activity, ^3H , ^{40}K),
- river sediments and shrimps (gamma spectrometry),
- milk (gamma spectrometry, ^{90}Sr),

- meat, fish, vegetables (gamma spectrometry: ^{40}K , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs),
- mushroom, fruits, flour, cereals and other food from the shops (gamma spectrometry: ^{40}K , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs ; ^{14}C),
- sea fauna and flora (^3H , ^{90}Sr , ^{99}Tc),
- water and gaseous discharges (gamma and beta spectrometry, ^3H).

The Netherlands

The Minister of Infrastructure and Environment realises The Act on Nuclear Energy. The Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ANVS) is responsible for nuclear safety and radiological protection in the Netherlands. There is one working nuclear power plant in Holland (Borssele).

The programs of radiological monitoring of environment are based on:

- network of automatic stations with on-line data transmission to central base,
- network of collecting and analyzing of environmental samples.

National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) conducts expanded environmental monitoring on behalf of ANVS. RIVM monitors radionuclides concentration in dust (atmospheric aerosols) and in precipitation. Institute gathers the data from laboratories collecting samples of soil, drinking water, grass, milk, food, water and sediments. RIVM also measures radioactive discharges from nuclear objects.

National Radioactivity Monitoring Network (NMR) consists of:

- gamma dose rate monitors – on-line continuous work (dense and spaced network),
- mobile measuring stations,
- on-line stations for measurements of total alpha and beta activity in the air (spaced network),
- iodine monitor – measurements of iodine-gaseous in the air,
- high resolution spectrometric monitor – measurements of specific radionuclides activity in aerosols,
- high volume sampler (air sampling station) – analysis of the filters in RIVM Laboratory for Radiation Research (LSO).

Dense network consists of 153 points for measurements of ambient dose rate by Bitt RS03/X monitors (proportional counter). Spaced network

has 14 points (Berthold BAI 9128 monitors) for measurements of total alpha and beta activity in atmospheric aerosols, beta-radionuclides concentration sampled on filter and ambient gamma dose rate.

Monitoring is also conducted around the fence of nuclear power plant by probes with GM counters (MONET network). Once a year there are measurements of contamination on the roofs and flat surfaces of buildings at the area of NPP.

There is collecting and automatic displaying of measurement data (from NMR and MONET networks) in the data center. Base is connected on-line with the stations. There is possibility to choose the data on the basis of time and monitoring station and export the data in different formats. The results are transmitted to European Radiological Data Exchange Platform in JRC.

The monitoring of environment in the vicinity of NPP is conducted by The Nuclear Research & Consultancy Group, commissioned by licensee, in the following samples:

- air (dose rate in 16 points),
- atmospheric aerosols (5 points, alpha and beta activity, natural radionuclides, ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs),
- grass (5 points, ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs),
- soil (4 points, ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs),
- water (4 points, total and residual beta activity, ^3H , ^{40}K),
- suspensions (4 points, total beta activity),
- seaweed, sediments (4 points, ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs).

In the frame of monitoring of environment at the whole country area there are done the following measurements:

- atmospheric aerosols (total alpha and beta activity, ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb),
- deposition (total annual alpha and beta activity; ^3H , ^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{210}Po),
- river water (6 sampling points for estimation of NPP discharges; total alpha activity, residual beta activity, ^3H , ^{90}Sr , ^{226}Ra),
- suspensions (estimation of NPP discharges; ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{131}I , ^{60}Co),
- sea water (8 sampling points for estimation of NPP discharges; total alpha activity, residual beta activity, ^3H , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{210}Pb),
- grass (42 points, ^{60}Co , ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{40}K).

In order to control the food from all over the country the following samples are measured:

- cow's and goat's milk (^{40}K , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{131}I , gamma spectrometry, ^{90}Sr ; part of detectors is located in the dairies),
- drinking water (over 180 stations; total alpha and beta activity, ^3H , ^{40}K),
- fodder (over 500 sampling points; ^{134}Cs , ^{137}Cs),
- honey, poultry, venison (^{137}Cs),
- cereal, fruits, meat, salads, vegetables, oil, butter, tea, fish, mineral water and others (over 1000 samples; ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs).

Ability to adapt in Poland individual solutions included in the programs of radiation monitoring around nuclear power plants in other countries

Radiological monitoring of the environment in Poland is conducted in a cut range by various institutions. They are measured: air, surface and drinking water, sediments, food, fodder, soil, precipitation and radioactive iodine in the thyroid (laboratory in state of emergency preparedness).

The existing surveillance system in Poland is not formed enough to ensure the safety of population and the environment around the nuclear power plant, and in particular to provide protection in case of emergency.

Creating a monitoring program should be based mainly on solutions from Belgium and the Netherlands (basic steps to develop a surveillance program, including background measurement before building of NPP, types of samples, frequency, identified radionuclides, estimating the influence of discharge, the dose rate measurement, a list of laboratories and equipment, data transmission and supervision on the whole program). In a crisis situation it would be possible to use any part of the solutions from Switzerland.

Proposals for the expansion and improvement of the program of radiological monitoring of the environment around the nuclear power plant in Poland: modernization of early warning network, development of networks of ASS-500 stations and the other for collection and measurement of samples of aerosols from the air, additional equipment of ASS-500 stations in devices allowing measurements of gamma dose rate in the air, creation of on-line system based on the global standards (LaBr₃ detectors), building a network of stations for measuring the concentration of noble gases in the air and contamination of precipitation, development network of stations to measure iodine

gas in the air, equipping base units with modern equipment for spectrometric measurements of environmental and food samples, increasing the number of mobile spectrometric laboratories, consideration of the possibility of using the aircraft for contamination measurements, supervision over the network by one specialist laboratory responsible for collecting data from all over the country, preparation and forwarding them to the President of the National Atomic Energy Agency and improving the system of transfer of information to CEZAR.

The programs of radiological monitoring of the environment around the NPP were analyzed on examples of France, Spain, Switzerland, Belgium and the Netherlands. Important aspects of these programs have been noted and opinions on the possibility of adaptation in Poland the individual

solutions included in the programs of radiation monitoring have been formulated.

The following suggestions have been proposed: taking into account part of the solutions used in other European countries (detailed analysis at a higher level), cutting the monitoring program in relation to other countries, with keeping all its functions (economic considerations and the fact of building only one nuclear power plant), primarily relying on the Dutch and Belgian system, because other countries have very big networks of measurement and sampling (due to the number of nuclear facilities and the good economic situation), complement and expansion of the program of radiological monitoring of environment around NPP about missing items, with taking into account the fact, that it is important to control the air, which may carry a potential contamination in a very quick way.

Project "EDEN" – tests and exercises CBRNE determined by needs of participants of crisis management

K. Wojtkowski

"End User Driven demo for CBRNe - EDEN" is a large-scale integrated project (tests and exercises CBRN determined by the needs of participants in the process of crisis management). It was funded under 7th Framework Programme of the European Union in the area of security. Poland is one of the main partners in this 3 year project brings together 36 consortium partners from 15 countries.

Meeting Topics In 2015:

- Training workshop for Virtual Nuclear Simulation Facility, the project EDEN "End User Driven demo for CBRNe" (tests and exercises CBRNe determined by the needs of participants in the process of crisis management) organized by the Main School of Fire Service, the Space Research Centre of the Polish Academy of Sciences and Astri Poland
- Inter-State Fire Brigade Exercises Initial Field Exercise 2015 in the area of Marina Tarnobrzeg and Plant Siarkopol in Tarnobrzeg
- Exercise Command and ordnance EDEN Table Top Exercise in 2015 organized by the Space Research Centre, the Main School of Fire Service and Astri Poland
- workshops EDEN Service Test Period organized by the Space Research Centre of the Polish Academy of Sciences in the Main School of Fire Service in cooperation with Astri Poland

1) Inter-State Fire Brigade Exercises Initial Field Exercise 2015 in the area of Marina Tarnobrzeg and Plant Siarkopol in Tarnobrzeg 13-15.04.2016

At the site of one of the objects was developed command post, core activities while at the Chemical Plant "Siarkopol" in Tarnobrzeg. On the site, due to bad weather, it was a simulated explosion of the gas system and also reached the information about the operation tamper with the

use of radioactive agents. The situation has been communicated to the National Rescue Coordination Centre and Civil Protection. State Fire Service to counteract the effects of an event launched a rearguard units of which are Central Operations, making the exercises used EDEN 2015 was nearly 100 firefighters coming mainly from specialized units. The exercises accompanied by a seminar and workshops.

2) Simulation for Virtual Nuclear Facility 12-13.05.2015

The meeting was to develop management plans for each situation. Four different scenarios were considered. These included:

Scenario 1:

- 1) The terrorist attack on the property with a small explosive charge.
- 2) Damage to the single-loop cooling of the primary circuit (small explosive charge, no damage to the reactor).
- 3) The leak of contaminated water from the reactor cooling system.
- 4) The spread of the risks only within a single power plant unit.
- 5) The INES scale – 2

Scenario 2:

- 1) The terrorist attack on the property with a large hollow charge.
- 2) Failure of the core of the reactor with water circulation. No possibility admission control rods.
- 3) The leak of contaminated water from the reactor cooling system. The increase in core temperature out of control. Distribution of water vapor. A series of explosions and fires resulted from the emergence of H₂.
- 4) The spread of threats far beyond the power station.

Scenario 3:

- 1) natural disaster (high and sudden flood wave from mountainous areas).
- 2) failure of all power sources by flooding. The total damage to the coolant circuit. The melting rods, H₂ explosion, fire.
- 3) The radioactive cloud. Leakage of contaminated water from the reactor cooling system and kidnapping her with the flood wave.
- 4) The spread of threats beyond the power station.
- 5) The INES scale – 5

The model of the reactor where the accident occurred. The most popular second-generation PWR without modification resulting from the disaster in Fukushima. Place damage Power System pumps. It becomes all circuits cooling system.

Scenario 4:

- 1) Large traffic accident in railway transport.
- 2) Transportation of spent fuel from the reactor in the valley Dunkelstein.
- 3) Placing the large train set with spent nuclear fuel on the back of the train taking liquid fuels. Spillage of combustibles, fire, BLEVE explosions. The release of large amounts of radioactive nuclides in the form of vapor and smoke fire.
- 4) Scale INES – 6

3) Exercise Command and ordnance EDEN Table Top Exercise in 2015 organized by the Space Research Centre, the Main School of Fire Service and Astri Poland 13-15.05.2015

MODEL training:

- The model of the exercises was Dunkelstein hypothetical country with a strictly defined position geopolitical structure. They were also known depending on Administrative and bodies responsible in case of a possible response.
- In Dunkelsteinie there is one nuclear power plant, where an accident occurs. Simulation event in a virtual nuclear power plant and during events involving the transport of spent nuclear fuel.
- The participants were divided into groups, where righteous action.
- The main objective of the exercise TTX EDEN 2015 check utility tools included in the EDEN Store used by participants in the process of crisis management to CBRN threats.
- The aim of the exercise is not to check the crisis management plans, operational plans including

standard procedures for the various participants in the crisis management system.

- Exercise scenario is played in the Principality Dunkelstein created for the exercise.
- Form of study Exercise allows you to get to know the needs and expectations of users and to present the currently developed solutions are applicable in the process of crisis management. It also allows you to build a common situational awareness of the participants.

The specific objectives of the exercise are:

- presenting the advantages of the use of tools in the EDEN Store as part of support for the management and command in the event of large-scale,
- presentation tools and solutions to potential users and to evaluate the usefulness of the tools used in emergency situations CBRNe,
- Test the effectiveness of the flow of information in the process of crisis management and in identifying potential organizational barriers during the event CBRNe,
- strengthening the cooperation of various actors and institutions involved in the crisis management, including relevant for radiological and nuclear threats.

4) EDEN SERVICE Test Service Period 11/12/2015

1. JRodos - Real-time On-line Decision Support system

- Decision Support System for nuclear events. Software capabilities:
- Information support for decision-making during events at the local / national / regional / European, and other phases of crisis management
- Weather developments
- When an event occurs - data collection, simulation of the propagation of contamination and remedies
- Monitoring the situation (impact on populated areas and agricultural)
- Optimization of rescue operations.

2. Radcal III

- Simulator for the proliferation of CBRN threats.

Some software capabilities:

calculation of the level of radioactivity in the air and in the soil,

- simulate the explosion of a dirty bomb,
- Library radioactive, toxic and chemical materials,

- take into account the terrain, natural and artificial barriers and weather conditions
3. 3D City - Three-dimensional visualization of urban areas
- Key features:
- a three-dimensional model of the city generated in real time,
 - High-performance service at low hardware requirements,
 - any format input data cad / gis, use of all resources
 - mapping client
 - the ability to display data from external sources (orthophoto)
 - road infrastructure, the information about objects, databases, servers gis, image
 - cameras in real-time urban and other)
 - Adding textures allow for increasing the detail of the displayed objects,
 - dynamic special effects (time of day, shadows, smoke, water),
 - the opportunity to implement application available on mobile devices (smartphones, tablets)
 - continuous development of customer service provided through support Astri Poland (new functionality, additional layers, implementing the external data).
4. EVA - "Training Simulation in the field of coordination during emergency events". A software

solution that allows you to simulate CBRN situations based on mapping systems (GIS). Simulated events can be presented on the basis of real geographic data (city, region, country, etc.) and created the need for testing. Also, other data related to information about individuals, forces and resources, and many others may be true, historical as well as any. In the same way a scenario is depicted on the map - this could be a real threat, historical or created artificial conditions. The important thing is that every user of this solution you can see in real time what effect his action would have on the development of the situation. Each player can use whatever skills and competence in the same game training. This helps train the cooperation of many experts in solving complex CBRN scenarios.

5. Cristal - CORDA's CBRN Incident Simulation Tool for Analysis. The main purpose of the tool is to simulate the process of decontamination after a CBRN event.

- Examples of software capabilities this term:
- Optimal use of resources
- Estimating the time required for decontamination of a number of people and objects by using specific resources
- The software used at the planning stage decontamination following event or in preparation to ensure that adequate resources (human, equipment and supplies).

Organizing and conducting comparative measurements content natural radioactive isotopes in raw materials building for institutions providing such measurements

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

Introduction

Comparative measurements of the content of natural radionuclides in raw materials and construction materials were carried out at the request of the President of the National Atomic Energy Agency (PAA) under contract No. 23 / OR / 2015/85 dated 08.04.2015, concluded between CLOR and PAA. The basis for organizing comparative measurements is the Council of Ministers dated 2 January 2007, § 5 item 4. Conducting comparative measurements carried out in two stages. The first stage completed by 20 July 2015, the second stage was carried out at 20 November 2015.

The scope of work of the first stage included:

- adoption applications and create a list of laboratories involved in comparative measurements.
- obtaining a sample material for comparative measurements.
- preparation of samples for comparative measurements, including control measurements homogeneity of the material samples, as well as their distribution to the laboratories by a fixed list (the implementation of control measures at least two samples).
- develop and present to the President of the Polish Atomic Agency, report on the performance of the work, referred the methodologies used by laboratories measuring and control measurement results.

The scope of the second stage work:

- meeting of the measurement results of all participants comparative measurements and give the code number of participating laboratories
- the preparation of the statement to analyze and evaluate the submitted measurements;

- develop and present a final report to the President of the Polish Atomic Agency including in particular:
 - description of the techniques for the preparation of starting materials, reference samples and controls and measurements of these materials and samples;
 - summary of the measurement results obtained from laboratories;
 - statistical analysis of the results;
 - assessment of the accuracy and precision of measurements;
 - a list of establishments participating in the measurements.

To interlaboratory measurements reported 30 laboratories. As reference material was used ash. The ash coming from heating plant Żerań. It was used 150 kg. Obtained difference heterogeneity of finished samples at 1.5%.

- On the basis of the attached survey, it found that of the 28 laboratories that sent in the results: 24 laboratories perform tests using analyzers AZAR type or MAZAR with probe NaI (TI) 2x2;
- 6 laboratories performed testing using a spectrometer with HPGe detector;
- 1 laboratory uses gamma radiation spectrometer cassette with the probe scintillation NaI (TI).

To implement the second stage of labor:

- results of routine measurements obtained from 28 laboratories (standard time measurement);
- results of measurements of extended obtained from 28 laboratories;
- evaluates the results of the two series and related concentrations of potassium isotopes ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th thorium and activity indicators f_1 and f_2 .

For reference values assumed average values determined from the results submitted by laboratories. In order to eliminate the thick error was used Q-Dixon test.

A. for standard measurement time:

- potassium levels: $759.93 \pm 5.96 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$
- concentration of radium: $136.41 \pm 1.55 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- concentration of the thorium: $94.36 \pm 1.07 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- activity index value f_1 : 1.174 ± 0.008 ;
- activity index value f_2 : $136.41 \pm 1.55 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

B. for an extended measurement time:

- potassium levels: $762.01 \pm 6.05 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- concentration of radium: $136.39 \pm 1.63 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- concentration thorium: $94.05 \pm 1.00 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- activity index value f_1 : 1.173 ± 0.009 ;
- Activity index value f_2 : $136.39 \pm 1.63 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$;

Results

For standard time:

Potassium concentrations are determined by laboratories contained within from $690.62 \text{ Bq}/\text{kg}$ to $885.96 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. The vast majority of laboratories, well-defined value in potassium and total measurement uncertainty with the exception of laboratory K22. The average value was discarded laboratory measurements K22 (based on the Dixon test).

Values of radium contained in the range from 120 to $152.17 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. For laboratory K4 and K17 difference between the measured value and the average value exceeds the measurement uncertainty.

The measured concentrations of the thorium contained in the range of 64 to $108.26 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. For the 4 laboratories difference between the measured value and the average value exceeded the value of measurement uncertainty. For laboratory K15 transgression is minor, and for laboratory K17 difference is clear. This may be due to the instability of the calibration factors of apparatus or other factors that will be analyzed in more detail further below. It can be seen that regular measurements of the track pattern is a very good indicator of the stability parameters of the apparatus. The average value was discarded laboratory measurements K17 (based on the Dixon test).

The main purpose of comparison measurements was to assess the accuracy of the

values of f_1 and f_2 activity and to assess proficiency of laboratories for determining the values of f_1 and f_2 and uncertainty assessment of their value.

Certain laboratories f_1 values contained in the range of 0.97 to 1.30. The values of the uncertainty determine of f_1 included in the range of from 0.03 (K4), 0.20 (K10). High values of uncertainty characterized by laboratories K10, K11, K21 and K24. Most laboratories correctly identified the value of f_1 within the measurement uncertainty.

Activity index values f_2 , numerically equal to the value of S_{Ra} are shown presenting the results of measurements of the concentration of radium.

For an extended time:

This series of measurements carried out in order to reduce concluded the uncertainty of measurement depends on the part of the statistical scatter, of running their own equipment and dispersions number of counts obtained in the adopted measuring ranges. This allows you to best assess the impact of additional factors, often underrated by persons performing measurements of samples on the value of the total measurement uncertainty. As far as these factors taken the difference between the average value of the measured values and the measured value with due regard to measurement uncertainty. If the average is in the range: measured value \pm total uncertainty of measurement, this means that the uncertainty of measurement is evaluated properly. If there is a gap between the average and range of the measured value \pm total measurement uncertainty, this means that either the total measurement uncertainty has been underestimated or there were other factors that influenced the result of the measurement.

As a measure of the difference between the measured and the mean value hereinafter referred to as the "difference of uncertainty" on:

- for cases where the measured value minus the total uncertainty of measurement is greater than the average value, the difference uncertainty calculated from the relationship: measured value minus the uncertainty value minus the standard;
- for cases where the measured value increased by the amount of uncertainty is less than the average difference of uncertainty calculated from the relationship: the mean value minus the uncertainty minus the measured value. The difference

uncertainty expressed as a percentage of the mean value.

From the results of analysis for the serum potassium appointed ^{40}K shows they contain in the range of 705.76 to 882.74 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, with a mean value 762.01 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. The values of the uncertainty results are in the range of 14.93 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, or 1.86% to 104.05 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, or 14.68%. To calculate the average of the measurements used Dixon's, which rejected the K22 laboratory measurements. For all laboratories, the difference between the measured value and the average value does not exceed the measurement uncertainty. Values of ^{226}Ra (f_2 activity index) contain in the range of 118 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ to 151.31 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, with a mean value 136.39 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. The values of the uncertainty results are in the range of 3.10 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (2.14%) to 23.06 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (16.35%). To calculate the average test was used Dixon. For the 4 laboratories difference between the measured value and the average value exceeds the measurement uncertainty (K4, K11, K17, K19). The values of the relative concentrations of ^{226}Ra (Activity index f_2) illustrate, that the measured values of all laboratories do not differ significantly from the average.

To calculate the average value of the concentration of the track ^{228}Th match provided by laboratory measurement uncertainties were discarded laboratory measurement only K17 (based by Dixon's). Values of the track ^{228}Th are in the range of 65 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ to 105 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, with the average value 94.05 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Rated by laboratories value of measurement uncertainty for thorium ^{228}Th contain in the range of 1.66% to 28%, to 25 laboratories value measurement uncertainty does not exceed 10%. It may be noted that the vast majority of the concentrations determined shall be within $\pm 15\%$ of the average. The exception is the laboratory K17.

Certain laboratories Activity index values f_1 contained in the range of 0.97 to 1.29 with a mean value of 1.17 (after discarding the result K17). Uncertainties determine the activity index f_1 are in the range from 1.59% (K4) to 24.58% (K21). High values of uncertainty characterized by laboratories K10, K11, K21 and K24. For laboratory K17 difference between the f_1 and the average value is the highest.

Evaluation of results

Criteria for assessing the proficiency of laboratories are based in principle on the analysis

of deviations results lab based on the accepted standard deviation of the reference value (here, the mean). Statistical analysis was performed using the assay Z, as well as the procedures recommended by the IAEA.

With knowledge of the parameter allows to evaluate the accuracy of the results to the whole population thereof, and for laboratory proficiency assessment it was adopted as follows:

$|Z| \leq 2$ - a satisfactory result.

$2 < |Z| < 3$ - result tenuous but acceptable.

$|Z| \geq 3$ - an unsatisfactory result, warranting corrective action.

Evaluation of results of laboratory tests performed by recommended by the IAEA allows to determine assessing the accuracy and precision of results. Adopted the following criteria:

The precision of the result is satisfactory if the value is less than or equal to 16% in f_1 and 25% in case of f_2 .

For standard time:

If the activity indicator f_1 laboratory K17 reported the result is not satisfactory (Z test), while K22 laboratory reported the result of which is dubious but acceptable. The accuracy of the results of all laboratories is satisfactory, but the results obtained in the laboratory K10 and K21 are not accurate.

In the case of f_2 Activity index all laboratories reported a satisfactory result (parameter $|Z| < 2$), with the exception of laboratory K17, the result of which is doubtful, but acceptable. All laboratories reported value of the participation rate f_2 with satisfactory accuracy. The criterion of accuracy was not fulfilled in the case of one lab (K10).

For an extended time:

Almost all laboratories have achieved satisfactory results in the assay, with the exception of laboratory K17, and K18 and K22 laboratories have reached the result doubtful, but acceptable. Status of accuracy for all laboratories, except for K4 and K17, is satisfactory. The precision of all results Activity index f_1 , except for the result obtained by the laboratory K21 is at a satisfactory level.

When determining Activity index f_2 all laboratories have achieved a satisfactory result, with the exception of laboratory K17, which reached the result of questionable, but acceptable. As for the accuracy of the results Activity index f_2 , the laboratory K4 did not meet the criterion specified above, which reported a result that can

not be regarded as satisfactory. Precision criterion fulfilled all laboratories. For laboratories accredited it is important to analyze the results required by the Polish Centre for Accreditation. The analysis was described in the work of the Richard Malesa, *"Interlaboratory comparisons calibration in accredited laboratories - requirements of the Polish Centre for Accreditation"* (Materials Science and Technology Conference PPM'05).

If $|E_n| > 1$ for any result, the overall assessment is negative result of the comparison. For measurements during standard, 2 laboratories have

received a negative evaluation of the results of interlaboratory comparison. These laboratories numbered: K4 and K17. For the measurement of time extended, 6 laboratories received a negative evaluation of the results of interlaboratory comparison. According to the obtained results the participation rate f_1 received a negative evaluation laboratories: K4, K17, K18 and K22. In the case of determining the activity rate f_2 , received a negative assessment of laboratories numbered code: K11, K17 and K19.

Maintenance of accreditation in Measurements of Natural Radioactivity Laboratory in scope of ^{226}Ra , ^{228}Th and ^{40}K radioactive concentration determination in raw and building materials

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

The year 2015 was the second year of the second cycle of accreditation (number of certificate: AB 1108) for Measurements of Natural Radioactivity Laboratory. In September 2015 the scope of accreditation has been changed due to the update of the Measurement Procedure QPB 1. Laboratory was done the measurements of 66 samples like: mix of ash and slag, slag, furnace waste, sand, crushed granite, granulated slag, sludge, fly ash, aggregate slag from incineration of municipal waste, aggregate grain size with uniform grain size, converter slag, mixture of slag, bottom ash and dust from combustion of coal dust.

In the framework of maintenance of accreditation for the determination of ^{226}Ra , ^{228}Th and ^{40}K radioactive concentration were carried out: technical supervision of laboratory equipment, training, internal audits, audit under the supervision of Polish Centre for Accreditation, review management and other activities related to the improvement of the management system.

Technical supervision of the equipment covered activities in line with the inspection plan for 2015. Under the periodic checks to be performed as follows: daily control of temperature and humidity in the room with the MAZAR-95 analyzer, checking of the MAZAR-95 analyzer by volume calibration standards, in order –once a week – one of the standard samples (K056, Ra056, Th056, cylinder 1600A, CLOR W3P5, standard “Koszyce” ash) measurement, checking after the measurement on the analyzer what is the trend of radium, thorium and potassium specific activities in the last quarter and verification of the electronic scales.

In addition, MAZAR-95 analyzer was calibrated three times. Measurements of samples on the spectrometric track with germanium detector (HPGe) are still ongoing in order to compare with

the results obtained for MAZAR-95 analyzer, implementation and possible accreditation of this method.

Thermohygrometer has been repaired due to defective display of readout panel and power supply. Subsequently, the device was calibrated in the accredited laboratory.

Two weight standards (1 kg and 2 kg) were calibrated in GUM.

The germanium detector (HPGe with relative efficiency of 15%) and “Marinelli” beakers for measurements on MAZAR-95 analyzer have been purchased.

Laboratory organized, conducted and participated in the comparative measurements of the content of natural radionuclides in raw and building materials for institutions performing such measurements (II – III quarter of 2015). Intercalibration result was satisfactory.

Staff of the Laboratory took part in the following training: changes in the management system (supervised documents, the scope of accreditation, forms); control of documents and records, corrective and preventive actions; energy spectrum in MAZAR-95 analyzer; cooperation with the customer; conducting of the internal audits, actions after audits; requirements for personnel, authorization of the reports; measurements of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{228}Th concentration in raw and building materials using gamma spectrometry (HPGe detector); planning and conducting of the management reviews; purchase of equipment and putting it to use; control of nonconforming testing and improving of laboratory management system according to norm PN-EN ISO/IEC 17025:2005 (external training).

Moreover staff of the Laboratory summarized checking and calibration of the equipment

and training carried out in 2014, updated Quality Manual, Research Method Manual, procedures, instructions and forms, and also conducted training of the measurements using MAZAR-95 analyzer (for four Laboratories).

In May 2015 two internal audits took place. There was no need to do corrective or preventive actions. Also in May 2015 the management review was conducted. During it technical problems and the functioning of the management system, the

purposes from the previous review and tasks to be carried to the next management review were discussed.

On 10th of June 2015 audit under the supervision of Polish Centre for Accreditation took place. Auditors noted three nonconformities and three observations. Corrective actions were done. Accreditation of Measurements of Natural Radioactivity Laboratory was sustained.



DEPARTMENT OF MONITORING AND CALIBRATION

Dose estimation method for extremity thermoluminescent dosimeters in beta and gamma field radiation

K. Ciupek, K. Wołoszczuk

Introduction

Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR), as the only one in Poland, has successfully passed the accreditation process of the Beta Secondary Standard. The BSS2 produced by QSA Global GmbH is equipped with three sources of radiation:

1. ^{147}Pm with the mean beta particle energy of 0,06MeV,
2. ^{85}Kr with the mean beta particle energy of 0,24MeV,
3. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ with the mean beta particle energy of 0,8MeV.

Due to the short half-life for ^{147}Pm , the scope of accreditation are covered by only two other sources. The reference values are determined in accordance with the ISO 6980 series and refer to the primary standard placed in the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Germany).

Measurements were carried out in CLOR with the use of highly sensitive thermoluminescence dosimeters LiF: Mg, Cu, P - MCP-N. Energy and angular response in the beta and gamma radiation on a limb were performed. Irradiation was held on finger dosimeters placed on the rod phantom giving the best representation of the estimated dose exposure of workers using ionizing sources. In addition, the effect of used dosimeters packaging

(four configurations: exposed tablet, a ring with aluminum window, a standard ring, a ring with an additional band used routinely). Exposure to gamma radiation was held for two sources: ^{137}Cs (energy 662 keV) and ^{60}Co (average energy of 1250 keV).

Results

The results of measurements determined for the quantity of the personal dose equivalent $\text{Hp}(0.07)$ obtained with following main conclusions:

2. Confirmation of reading linearity (dose-count rates).
3. Beta radiation (less penetrating than gamma radiation) has a stronger angular dependence which is important in the extremity dosimetry.
4. The values of the calibration factors for the four configurations differ significantly only in case of radiation ^{85}Kr . Count rate for gamma and beta radiation coming from the source of ^{90}Sr was not dependent on the used dosimeters.

Conclusions

Obtained results allowed correct estimation of the doses from beta and gamma radiation for the occupational exposed workers.

Determination and validation of the *in vitro* dose-response calibration curve for the induction of dicentric in human peripheral blood lymphocytes by therapeutic proton beam of the cyclotron Proteus C-253

M. Kowalska

The Proteus C-235 is an isochronous cyclotron with a compact conventional magnet that is able to accelerate protons to a maximum energy of 230 MeV. Integral parts of this installation are an energy degrader and selector, which allow the beam energy to be downgraded continuously to 70 MeV. This advanced device was designed and produced by IBA (Ion Beam Applications S.A., Belgium) specifically for targeted treatment of a range of cancers in children and adults. In 2012 the Proteus C-235 cyclotron was installed in the Bronowice Cyclotron Centre (CCB) being a part of the Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences in Krakow (IFJ PAN). The installation of cyclotron producing a high quality proton beam with the energy between 70 MeV and 230 MeV has made possible the application of high-energy protons in purposes of cancer radiotherapy and research in the areas of medical physics and radiobiology. The therapeutic use of energized protons is motivated by their very specific and useful properties, compared to X-rays. Protons deposit the majority of their energy (dose) only at a specific depth (the Bragg peak) within the tissue, and then stop. Because, it is real to calculate precisely the position of the Bragg peak as a function of the beam's initial energy, the maximum dose can be delivered directly to the tumour, with minimal or no exit dose. Therefore, proton beams can treat many cancer types without increasing the risk of side effects and secondary tumours in radiotherapy patients. The 230 MeV proton beam have a range of some 30 cm in water and can reach all tumour locations in a patient body. A beam of protons with the energy downgraded to 70 MeV can be used to irradiate tumours located in any place inside the patient's eyeball. To achieve the prescribed dose in a volume as large as the eyeball (~30 mm), several proton beams of different modulated energies

have to be combined, resulting in the production of the spread-out Bragg peak (SOBP).

Despite the very well-known physical properties of therapeutic proton beams and their increased use in radiation therapy, we know only a little on the biological effects of this radiation type. From this point of view, it is important to investigate a biological response induced in normal cells by therapeutic proton beams with energies of tens to hundreds MeV. In order to study the cellular and molecular damage following *in vitro* exposure to proton radiation, human peripheral blood lymphocytes (HPBL) are a particularly valuable cellular model. Because the lymphocytes are able to leave the peripheral blood, pass through different organs of the body, and again enter the blood circulation, radiation-induced chromosome aberrations in HPBL may reflect cellular damage to surrounding normal tissues during clinical radiotherapy.

The presented work reports the determination of *in vitro* dose-response relationship for the induction of dicentric chromosome aberrations in HPBL by the proton beam for radiotherapy of eyeball cancers. In order to establish the dose-response relationship, whole peripheral blood was collected from healthy donors (2 female and 2 male), who had no known history of occupational or medical exposures. For proton irradiation of the blood samples, the 70 MeV protons extracted from the cyclotron Proteus C-235 were delivered to the eye treatment room by a beam-line system, and the SOBP was formed by energy stacking to create the uniform distribution of the required dose to the sample. Six samples in the amount of 1.5 ml were irradiated with proton doses of 0.25; 0.50; 0.75; 1; 2 and 4 Gy at an average dose rate of $0.075 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$. During irradiation the Eppendorf vials with the blood were placed inside a solid phantom located

in the mid of SOB, and in the centre of the flat proton beam. The phantom was made from a polymethacrylate (PMMA) that is a material with properties similar to the soft tissue of the human body. The proton irradiation was carried out at room temperature. A non-irradiated blood was used as the control sample at a dose of 0.0 Gy. The lymphocyte dicentric assay was performed according to accredited laboratory procedure QPB 9. The data for the frequency of dicentrics in control and irradiated lymphocytes of each donor were pooled and fitted to a linear-quadratic model: $Y = c + \alpha D + \beta D^2$, where Y is the dicentric frequency, D is the proton dose for HPBL, c is the control value for dicentrics, α is the linear coefficient and β is the dose-squared coefficient. The dose-response fitting was done by maximum likelihood method and the goodness-of-fit was tested by a Chi-square (χ^2) test, using the CABAS computer software. The test indicated that the dose-response data points were well represented by the linear-quadratic model, because a sample value of χ^2 was lower than a critical value of $\chi^2_{critical}$, determined for a 0,05 significance level. Both values of χ^2 were calculated

for 4 degrees of freedoms (i.e. 7 data points minus 3 parameters used for fitting the dose-response curve by a quadratic function). Resulting values of the dose-response coefficients which best fit the data points were as follow: $c = 0.0010 \pm 0,0007$ dic-cell⁻¹, $a = 0,074 \pm 0,011$ dic-cell⁻¹-Gy and $b = 0,032 \pm 0,005$ dic-cell⁻¹-Gy². In order to assess the proficiency on the biological dose estimation with the use of the established dose-response curve, the number of E_n was determined as described in Appendix A to the Guide ISO / IEC 43-1: 1997. The E_n number was based on a known assigned value of the absorbed dose and its uncertainty, guaranteed by CCB IFJ PAN. The "true values" used in this proficiency test were 4.0 ± 0.12 , 0.25 ± 0.008 and 2.0 ± 0.06 Gy, respectively. Values of results obtained according to the laboratory procedure QPB.9 were as follow: 3.95 ± 0.33 , 0.30 ± 0.27 and 2.05 ± 0.30 Gy. The respective values of the E_n number were as follows: 0.20, 0.17 and 0.11. The obtained result can be assigned as acceptable, because not any value of the E_n number was greater than 1.

Determination of neutron dose with bioassays for radioactive ^{24}Na in blood and ^{32}P in hair – a literature review

M. Kowalska, I. Pacyniak,

The main human exposures to the neutrons released from the nuclear fission reactions are related to occupation and medical irradiation of patients (i.e. Boron Neutron Capture Therapy). Occupational neutron overexposures are not frequent but irradiation can be severe and heterogeneous [1]. One of the lessons learned from previous accidents or incidents involving fissile nuclear material or reactors in nuclear plants are the immediate need to correctly classify people who are or feel affected by ionizing radiation. This has to be done on an individual level to identify those people who need medical care due to the level of radiation exposure and to reassure those, who wrongly suspect that they were irradiated. After the first triage more precise information on the absorbed dose and the dose homogeneity at the victim's body will be needed to predict the development of acute radiation syndrome or the risk for late effects of ionising radiation exposure. In this context, neutron activation techniques have been identified as the most accurate tools for the initial triage and the later follow up of individual neutron exposures in nuclear emergency management [2-4].

Neutrons are uncharged particles that can interact with stable elements of biological tissues. Such nuclear reactions as: (n, γ) , (n, α) , (n, d) , (n, p) , (n, n) , $(n, 2n)$ often result in the formation of unstable, radioactive nuclei that can exhibit half-lives from small fractions of a second to many years [5]. So, the measurement of induced radioactivity in blood, hair or fingernails permits very rapid determination of the absorbed dose from accidental, occupational or medical neutron exposures. Bioassays for radio-sodium (^{24}Na) in blood and the radio-phosphorus (^{32}P) in hair can provide useful information on the severity of the neutron exposure, the dose distribution at the body, as well as the neutron energy spectrum.

Procedures and protocols for above assays have been established at Oak Ridge National Laboratory and have been applied in all criticality accidents and reactor accidents until 2011 [3].

The human body normally contains about 1.4 g of stable sodium (^{23}Na) per kg of body weight, whereas the average concentration of ^{23}Na in blood is 1,91 mg per ml of blood [3,4]. Stable sodium distributed in body tissues is activated to radioactive sodium through the neutron capture reaction $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$ that is initiated predominantly by thermal neutrons with energies from 0.001eV to 0.02 eV. ^{24}Na has a half-life of 14.8 hr and decays emitting a beta minus particle and two gamma rays having energies of 1.37MeV and 2.75-MeV [3]. Measurement of blood ^{24}Na can be carried out by direct gamma-ray spectrometry with a high purity germanium detector, whereas atomic absorption spectrometry can measure ^{23}Na concentration in blood samples. The activity of ^{24}Na is proportional to the total number of absorbed neutrons and the concentration of ^{23}Na in blood sample [3,4]. Therefore, the neutron dose to the whole body can be deduced from the measured specific activity of ^{24}Na , which refers to the activity of ^{24}Na produced per 1g of stable sodium ($\text{Bq/g}_{^{23}\text{Na}}$) in the blood. To assess blood ^{24}Na , peripheral blood is collected from an exposed individual on the day after an overexposure. For a blood volume of 20 ml, the detection limit of the total neutron dose is 0.01-0.02 Gy for fast neutrons and below 0.005 Gy for thermal neutrons based on a 60 min counting time [3].

Radioactive phosphorus is induced in hair by the reaction $^{32}\text{S}(n, p)^{32}\text{P}$ that occurs due to fast neutrons with energies greater than 0.5 MeV [3]. ^{32}P is a pure beta emitter with a maximum energy of 1.7 MeV and a half-life of 14.3 d. The activity of ^{32}P in hair samples is measured by a liquid scintillation counter, following a simple treatment

by chemical dissolution or high-temperature ashing [3]. Stable sulphur (^{32}S) is naturally present in human hair at a concentration of 45 mg per g of hair with little variations from individual to individual. While stable phosphorus is completely absent in hair. Using the activity of ^{32}P in hair, the detection limit for fast neutrons is about 0,05 Gy of total neutron dose for 1 mg of hair [3,4]. Analysis of hair samples taken from the front, left, right, and back areas of the body and the head can also provide important information on dose distribution and the victim's orientation at the accident time based on the relative specific activity of each sample. Blood activation is a function of neutron energy. And hair activation is predominantly determined by high-energy neutrons. Therefore, the ratio of the measured activities of ^{32}P in hair and ^{23}Na in blood can provide information about the neutron energy spectrum [3]. One limitation of presented techniques is that in the event of partial body exposure, the ratio of activated nuclides in hair and blood can underestimate the localised dose to the exposed part of the body. However, the use of compiled neutron spectra in conjunction with blood and hair activity measurements can permit an estimation of an individual's neutron dose to be made within a few hours, if the accident spectrum can be approximated by a compiled neutron spectrum [3,4].

Currently neutron activation is investigated in the blood of cancer patients following Boron Neutron Capture Therapy. The BNCT is based on the nuclear reaction $^{10}\text{B} (n, \alpha)^7\text{Li}$, which occur when stable boron (^{10}B) is irradiated with the high flux of thermal neutrons at the nuclear reactor [6]. Resulting alpha particles (^4He) and recoiling lithium nuclei (^7Li) have a combined range in tissue of 12-13 μm . Since, their range is comparable with a size of human cells, the destructive effects of these high LET particles are limited to boron containing

cells. For the successful treatment of a patient, a sufficient amount of ^{10}B must be selectively delivered to all tumour cells ($\sim 10^9$ atoms/cell), and enough thermal neutrons must be absorbed in the tumour region to cause lethal damage of the tumour cells [6]. However, the thermal neutrons interact not only with ^{10}B in the tumour tissue, but also with stable elements of the adjacent normal tissue, resulting in the formation of radionuclides that will be present after treatment. From this point of view, measurement of ^{24}Na in the blood of patients following BNCT provide fundamental knowledge about the levels of gamma radiation exposure in patients, clinical staff members and non-radiation workers.

Literature

- [1] McLaughlin T.P. et all. Review of criticality accidents, 2000 Revisions. Los Alamos National Laboratory (2000);
- [2] Hemplemann, L.H., Lisco H., Hoffman J.G., The acute radiation syndrome: A study of nine cases and a review of the problem. *Ann. Int. Med.* 36, 279-510,1952;
- [3] Oak Ridge National Laboratory. Determination of neutron dose from criticality accidents with bioassays for sodium-24 in blood and phosphorus-32 in hair. ORTL/TM-12208 (1993);
- [4] International Atomic Energy Agency. Dosimetry for criticality accidents: A manual. IAEA -TRS211 (1982);
- [5] .Dziunikiwski B. O fizyce i energii jądrowej. Uczelniane wydawnictwo naukowo-dydaktyczne. AGH Kraków (2011);
- [6] International Atomic Energy Agency. Current status of neutron capture therapy. IAEA-TECDOC-1223 (2011).

RENEB: a self-sustainable Network of Biological Dosimetry and Physical Retrospective Dosimetry in Europe

M. Kowalska

Introduction

On the 1st of January 2012, 23 partners representing experienced laboratories and organizations from 16 European Union countries initiated a project entitled “Realizing the European Network of Biodosimetry” (RENEB). The aim of the RENEB project was to set up and run in Europe a sustainable network of laboratories experienced in biological dosimetry. Such a network will significantly enhance the capacity of single national laboratories in individual dose assessment in case of large-scale radiation emergency. Although, severe nuclear or radiological accidents are rare, they may occur anytime and anywhere and can affect a large number of people. As shown in the past, such events cause immediate need to correctly classify people who are or feel affected by ionising radiation. This has to be done on an individual, non-biased level, to identify those people who need medical care due to their injuries and the level of radiation exposures, and to reassure those “worried well” who wrongly suspect that they have been irradiated. Therefore, in the case of major radiation emergency, the network of partner laboratories can improve the speed of analysis and the efficiency in managing a large number of samples.

The RENEB project was continued until the end of 2015 under the financial support of the European Commission. On the 26th of November 2015, a Demonstration Workshop entitled “Nuclear and Radiological Accidents: Establishment and European Network of Biodosimetry” took place at the European Commission in Brussels. The aim of this dissemination event was to present the benefits and capabilities of the RENEB network for national and international Emergency Preparedness and Response Systems. At the end of 2015 a biodosimetry network with the legal structure was

established under the same acronym but slightly adapted name “*RENEB – Running the European Network of Biological Dosimetry and Physical Retrospective Dosimetry*”.

The network was build on three complementary pillars: 1) an operational basis in ready to use mode, 2) a basis for education, training and quality assurance, and 3) a basis for further network development regarding new dosimetric techniques and members. Seven dosimetric assays were standardized and harmonized to be used as the operational basis of RENEB: five using human peripheral blood lymphocytes and two using personal smartphones and mobile phones. The former five assays were based on detection radiation-induced: 1) dicentric chromosomes, 2) micronuclei 3) translocations detected by chromosome painting (FISH), 4) excess fragments of prematurely condensed chromosomes (PCC) and 5) gamma-H2AX foci that are clusters of DNA repair proteins. The two latter assays included electron paramagnetic resonance (EPR) on mineral glass from smartphone touch screen and optically simulated luminescence (OSL) on resistors from electronic board of mobile phones.

All RENEB tools were tested and harmonized in two large inter-comparison exercises, so that in case a large nuclear or radiological emergency, the RENEB laboratories can effectively collaborate to estimate doses and to triage a large number of people. The inter-comparison exercises were organized during the time period between summer 2012 and summer 2014. The general strategy behind the exercise was to irradiate blood samples and smartphone components, code them and sent to participating RENEB laboratories for analysis and dose estimation. In the second of those exercises, several non-RENEB laboratories have been invited to participate in this exercise. During the exercises,

technical proficiency of the laboratories was tested in addition to organizational and logistic challenges, for instance transport of samples through boundary. Areas where training is required were also identified and different training exercises were organized and performed.

In addition to the inter-comparisons, a virtual accident simulation exercise was performed over 27 weeks of 2015. During the exercise RENEb partners and non-RENEb laboratories had the chance to activate the network and to assess the capacity of the network at the given moment as well as to classify a large number of victims into dose and scenario categories, based on the distribution of doses reported by each assay.

Due to well-organized and harmonized cooperation between the laboratories, the established network can become a part of radiation emergency management in Europe. Moreover, the high capacity for analyzing radiation induced changes in cells of the human body and personal electronic devices makes this network suitable for large-scale analyses of low dose effects of ionizing radiation, where high number of samples must be scored in order to detect the effect. After completion of the project the RENEb network will

be open to new member laboratories, providing that the laboratories are ready to fulfill the Quality Assurance (QA) and Quality Management requirements (QM) defined under the RENEb project.

Since, Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) had expressed its intention to join the RENEb network in the future, the RENEb Consortium invited it to take part in the second inter-comparison exercise applying the dicentric assay and in the RENEb accident stimulation exercise. The both exercises were successfully performed in time. The estimated doses were close to the true doses and the non-exposed sample and the partial body sample were correctly identified. CLOR was also invited to participate in the Demonstration Workshop in Brussels.

Literature

- [1] Realizing the European Network of Biodosimetry. Bulletin No 1. August 2012;
- [2] Realizing the European Network of Biodosimetry. Bulletin No 2. September 2013;
- [3] Realizing the European Network of Biodosimetry. Bulletin No 3. June 2015.

Maintaining a laboratory for measurement of the radioactive iodine in the thyroid gland for the operation of the emergency services and the emergency situation

G. Krajewska, H. Feder

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 2015, 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 ^{131}I 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 shows the spectrum of the background radiation measured set of stationary and portable.

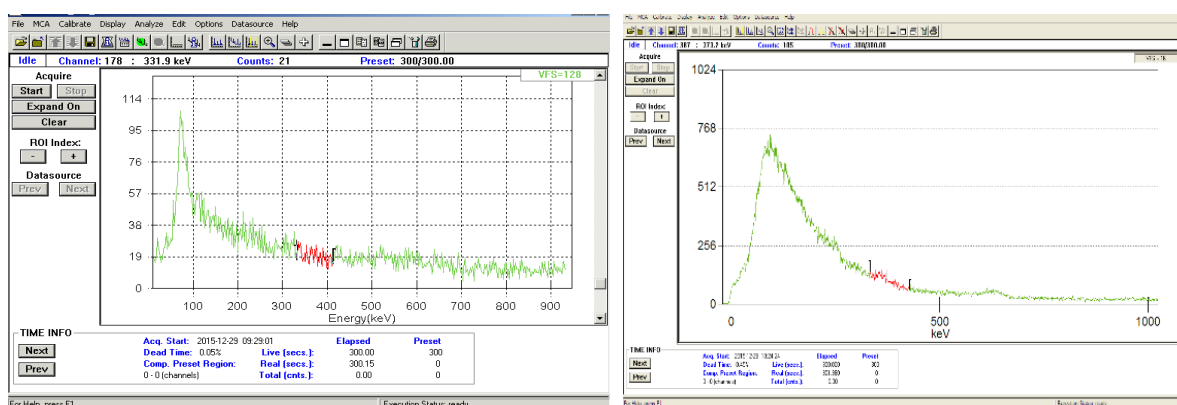


Figure 1.. The background spectrum in laboratory measured a) with stationary unit (left picture), b). with mobile unit.

In 2015 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

Independent Public Central Clinical Hospital (Warsaw) and the Department of Nuclear Medicine, University Clinical Center (Gdansk). 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 ^{131}I and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in the thyroid and the estimated doses of

absorptions of ^{131}I with employees of the Department of Nuclear Medicine of the Independent Public Central Clinical Hospital (Warsaw) are shown in Table 1 and in Figure 2, and the corresponding results for the employees of the Department of Nuclear Medicine of the University Clinical Centre (Gdańsk) shown in Table 2 and Figure 3.

Table 1. The results of measurements of the activity levels of radioactive iodine and technetium in employees of the Department of Nuclear Medicine of the Independent Public Central Clinical Hospital (ZMN SPCSK) in Warsaw.

Employee	Measured in thyroid activity of ^{131}I [Bq]	The estimated annual effective dose from the absorptions of ^{131}I [mSv]	Percentage of maximum effective dose for occupationally exposed (20 mSv)	Measured in thyroid activity of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [Bq]
P.C.	200 ± 40	0.625	3.1	-
J.K.	<68*)	<0.38	<1.90	-
M.S.	<68	<0.38	<1.90	-
B.P.	<68	<0.38	<1.90	-
R.R.	<68	<0.38	<1.90	-
M.F.	<68	<0.38	<1.90	-
J.K.	<68	<0.38	<1.90	-
A.K.	<68	<0.38	<1.90	-
B.K.	<68	<0.38	<1.90	-
M.K.	<68	<0.38	<1.90	-
D.K.	<68	<0.38	<1.90	-
M.Ż.	<68	<0.38	<1.90	252 ± 63
M.W.	<68	<0.38	<1.90	-
M.C.	<68	<0.38	<1.90	-
A.C.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Minimum measurable activity

Table 2. The results of measurements of the activity levels of radioactive iodine and technetium in employees of the Department of Nuclear Medicine, University Clinical Center (ZMN UCK) in Gdansk

Employee	Measured in thyroid activity of ^{131}I [Bq]	The estimated annual effective dose from the absorptions of ^{131}I [mSv]	Percentage of maximum effective dose for occupationally exposed (20 mSv)	Measured in thyroid activity of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [Bq]
C.K.	<68*)	<0.38	<1.90	-
K.B.	<68	<0.38	<1.90	-
A.G.	<68	<0.38	<1.90	294 ± 73
D.G.	<68	<0.38	<1.90	-
J.Ł.	<68	<0.38	<1.90	-
D.W.	<68	<0.38	<1.90	-
M.M.	<68	<0.38	<1.90	-
I.K.	<68	<0.38	<1.90	-
A.M.	<68	<0.38	<1.90	-
J.K.-G.	<68	<0.38	<1.90	-
B.B.	<68	<0.38	<1.90	-
I.W.- D.	<68	<0.38	<1.90	-
M.W.	<68	<0.38	<1.90	-
W.C.	<68	<0.38	<1.90	-
G.R.	<68	<0.38	<1.90	-
M.P.	<68	<0.38	<1.90	-
H.W.	<68	<0.38	<1.90	-
P.L.	<68	<0.38	<1.90	-
J.T.	<68	<0.38	<1.90	-

*) Minimum measurable activity

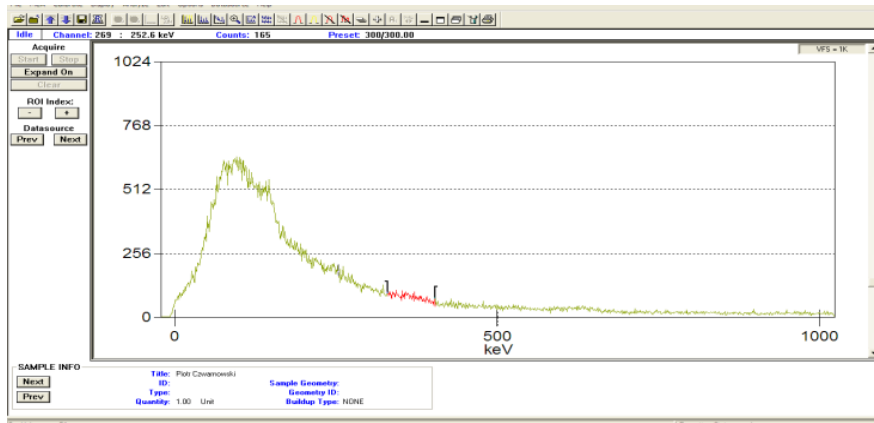


Figure 3. The spectrum of radiation measured in the employee P.C. (ZMN SPCSK) (visible peak of ^{131}I).

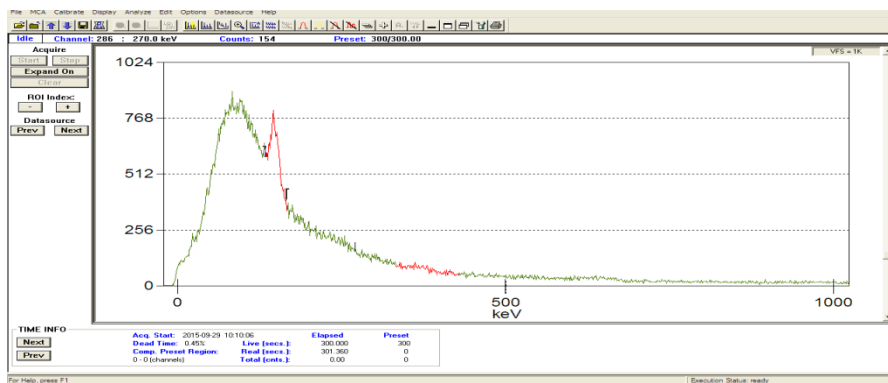


Figure 4. The spectrum of radiation measured in the employee A.G. (ZMN UCK) (visible peak of $^{99\text{m}}\text{Tc}$).

Activity levels of iodine-131 in the thyroid of employees of the Department of Nuclear Medicine of the Independent Public Central Clinical Hospital in Warsaw, 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}I in the thyroid of the Department of Nuclear Medicine, University Clinical Center, in which the measurements were also low

(Table 2). Not registered an iodine than the background radiation in the room, the minimum measurable activity was <68 Bq. In one employee (A.G.) recorded technetium isotope, also at a low level (c.a. .290 Bq).

Funding

The work was funded by the National Atomic Energy Agency under the Contract No. 13/OR/2015

Information on MODARIA project MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments

P. Krajewski, G. Krajewska

Introduction

The project MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments MODARIA (2012-2015), it is sixth consecutive program International Atomic Energy Agency, targeted on improvement of accuracy and validation of environmental models. Almost 30 years story of these programs started just after Chernobyl Accident (26 April 1986), when urgent need to assess doses inhabitants of contaminated areas, where radioactive plumes passed through, required relevant models and calculation tools. Indeed, it was reported that due to using unperfected methodology, the overestimation of population doses occurred that resulted in controversial and making harm decisions of safety authorities on massive relocations from contaminated areas. The issues of development and validation new (real time) computer codes adopted to emergency situations in a case of large scale releases of radioactive substances to environment that could be used as decision supporting tools, were published in the IAEA report [21] and also (on the country level) in the Report of Governmental Commission on Assessments of Nuclear Radiation and Countermeasures [18].

For the subsequent IAEA programs, the scope of validation tasks has been substantially extended inter alia: for models of routine releases in the normal operation of NPPs, an assessment of environmental impact from waste disposal facilities, uranium tailing or else NORM²¹ i TENORM²² topics. The modeling of behavior very important and less common elements as z tritium ³H and carbon ¹⁴C. According to latest recommendation of ICRP and recently implemented IAEA standards, namely framework for assessing radiation hazard for biota,

or implementing stochastic methods for uncertainty assessments doses prognosis.

The importance of IAEA MODARIA project for radiological protection community over the world, is confirmed by several hundred number of high skilled experts from 40 countries, working in 8 working groups by 20 participants.

In the next chapters of the article, the several types of environmental models that have been appeared in the IAEA program also models' examples and their applicability will be presented.

Classification of computer codes for environmental impact assessments

To predict environmental changes due to human activity that releases harmful chemical or radioactive substances (routine releases from EJ), mathematical models describing behavior of various elements in environment are developed, than the models' formulas are scripted as computer code. The code output are usually quantities that are necessary for decision making process (evacuation, sheltering, administration of stable iodine to block thyroid) these quantities used to be for instance: an isotope concentration in particular environmental medias (soil, surface water, air) or diet components (milk, vegetables, meat) as well doses (external and internal exposures).

There are different types of models classification (Figure 1):

- according to the ecosystems the model dealing with e.g.: terrestrial (*agricultural practices*), surface waters (inland), sea waters that depends on locations of releases,
- according to the assessments target e.g.: reference man or (*according to new ICRP²³ recommendations* [15, 16] reference organisms.

Depending on releases environment, the different mathematical models will be applied, for

²¹ *Normally Occurring Radioactive Materials*

²² *Technically Enhanced Normally Occurring Radioactive Materials*

²³ International Commission on Radiological Protection

instance: atmospheric releases required formulas that described phenomena specific for terrestrial environment (Figure 2).

The distinct category are the models for doses prognosis in a case of acute release with sharp, short term dynamics release, as it is a case of radiological accident. That is when we have to consider a type of dynamic models and apply the algorithms that are solutions of differential equations set (usually we approximate solution with Runge-Kutty first-order or second-order methods).

However, in a case of long-term routine releases, steady-state conditions are assumed that implicates stable in time radionuclides concentrations in particular environmental components, that enables to apply simple linear equations, thus we consider a type of equilibrium models.

There is special class of the models in the equilibrium models type, so called SA Specific Activity Models, usually used for the abundant elements when ratio of radioactive isotope to stable item is well know from experimental measurements, for instance: tritium model (concentration of HTO to H₂O); carbon model (concentration of ¹⁴C to stable ¹²C); chloride model (concentration of ³⁶Cl to stable ³⁵Cl).

Generally, environmental models are only tool to perform prognosis of doses although have significant limitations and are unperfected. It happens, because the mathematical description of very complex physical and chemical phenomena in the components of various ecosystems has to be simplified and is related to the set of phenomenological parameters taken from environmental measurements. These parameters usually represent averages over the values obtained in different not fully controlled conditions. As example one can indicates the soil to plant concentration ratio which represent arithmetical or geometrical means with wide range of uncertainty.

Some model guidance as well as most of the model parameters one can find in the last IAEA publications: [19, 26, 27]. The parameters are often reported in terms of arithmetical means, geometrical means, number of measurements, minimum and maximum value and geometrical standard deviation (GSD). Clearly, a question about

reliability and uncertainty of model prognosis arises.

In previous IAEA publications, conservative approach was recommended, it means that prognosis is derived base on the highest available parameters' values in order to ensure safety threshold of predicted doses, in other words, applying the most adverse scenario yielded to highest possible doses [19, 20, 23]. As a result, the model calculations give a single number representing maximal dose and ensure that all possible doses lie below predicted maximal dose. This approach is also called deterministic or conservative approach with deterministic model.

Since 2014 a new IAEA recommendations have been introduced as new Basic Safety Standard [11] and replaced the older [10]. The basic rules of the new Basic Safety Standard have been taken from publication of [13] and it is required to perform to uncertainty analysis of predicted doses namely *"The regulatory body shall establish and enforce requirements for safety assessment.. to determine the expected likelihood and magnitudes of exposures in normal operation and, to the extent reasonable and practicable, to make an assessment of potential exposures"*

It means , "in practice", a designing for each input model parameters well defined probability density function PDF and performing prediction with Monte Carlo techniques. In this case we consider probabilistic model, where prognosis of doses is described by probability distribution (Figure 3). The probabilistic model derives such advantage that *explicate* shows probability of maximal doses and also enables operator or regulator to establish a safety threshold of acceptable risk. The disadvantage of probabilistic approach is lack of information on the shape of PDF functions of environmental parameters, indeed, because of poor statistics only averages and standard deviation could be fund. In many cases the PDF shape could be found with heuristics method, often by personal judgment.

The models could be also classified depending on number and spatial distribution of targets points.

During the last two decades the substantial progress of GIS method became apparent and it also has had influence on development spatial models to predict doses in multipoint geographical

net e.g. : in 100m×100 m cells raster as well as special analysis of results e.g.: identification of high risk areas (for population or environment). However, to fully use this method, the data of thousands of local input parameters are required, to accurately characterize each of raster cell. It yields high costs of environmental research also prolong the time of environmental studies. Nevertheless, spatial models are applied successfully for risk assessment in vicinity of nuclear facilities as NPP or disposals of radioactive waste, especially where due to hydro-meteorological conditions one could expect very inhomogeneous pattern of radioactive contamination and high variety of population risk in particular locations.

For this reasons, point models, where predictions of doses are limited to several crucial targets at different distances from the source of releases e.g.: NPP stack or river outlet still remain useful tool particularly for rough estimation of population doses due to routine releases of NPP as well as to verify operational limits.

A history of IAEA programs on validation of radioecological models

IAEA radioecological model validation programs, have had almost 30 years history. In subsequent programs editions most efforts have been focused on current problems of doses predictions and assesment environmental impact from ionizing radiation. Below, original program name, time period and range of topics are listed.

1. VAMP: Validation of Model Predictions MAEA (1988 – 1996)
 - 1.1. Models validation base on Charnobyl scenario, atmospheric releases, scenario Central Bohemia and Finland,
 - 1.2. prognosis of ¹³⁷Cs and ¹³¹I concentrations in various media (deposition, milk, meat, plants, total doses to population),
 - 1.3. new data evaluation i.e.: radionuclides transfer in environment: soil to plant, fodder to milk and meat.
2. BIOMOVS: BIOspheric Model Validation Study (Swedish Radiation Authority), 1991 – 1996
 - 2.1. Short, acute and long term releases to atmosphere (scenario BREMEN and Fort COLINS),
 - 2.2. Prognosis for ¹³¹I i ¹³⁷Cs concentrations in various media (deposition, milk, meat, plants, total doses to population),
 - 2.3. Releases from nuclear facilities, solid waste disposal, uranium mill tailings.
3. BIOMASS: BIOsphere Modelling and Assessment (1996 – 2001)
 - 3.1. Chernobyl scenarios (Surface water environment Prypieć river),
 - 3.2. Remediation of radium legacy site (Olen scenario),
 - 3.3. Long term environmental impact from deep waste disposal (Reference Biospheres).
4. EMRAS I: Environmental Modeling for Radiation Safety (2003 – 2007)
 - 4.1. Scenarios of routine and emergency releases (Charnobyl),
 - 4.2. Tritium modeling,
 - 4.3. Guidances for models makers, hand-books of radionuclide transfer parameter for terrestrial, aquatic, and natural environment,
 - 4.4. Testing and comparison models for doses and hazard assessment for biota.
5. EMRAS II: Environmental Modeling for Radiation Safety (2009 – 2011)
 - 5.1. Reference Approaches for Human Dose Assessment:
 - 5.1.1. Reference Methodologies for "Controlling Discharges" of Routine Releases,
 - 5.1.2. Reference Approaches to Modelling for Management and Remediation at "NORM and Legacy Sites",
 - 5.1.3. Reference Models for "Waste Disposal",
 - 5.2. Reference Approaches for Biota Dose Assessment:
 - 5.2.1. Biota Modelling,
 - 5.2.2. „Wildlife Transfer Coefficient" Handbook,
 - 5.2.3. Biota "Dose Effects Modelling",
 - 5.3. Approaches for Assessing Emergency Situations:
 - 5.3.1. "Tritium" Accidents,
 - 5.3.2. Environmental Sensitivity,
 - 5.3.3. "Urban" Areas.
6. MODARIA MOdelling and DAta for Radiological Impact Assessments
 - 6.1. Remediation of Contaminated Areas:

- 6.1.1. Remediation strategies and decision aiding techniques,
 - 6.1.2. Exposures in contaminated urban environments and effect of remedial measures,
 - 6.1.3. Application of models for assessing radiological impacts arising from NORM and radioactively contaminated legacy sites to support the management of remediation.
- 6.2. Uncertainties and Variability:
- 6.2.1. Analysis of radioecological data in IAEA Technical Reports Series publications to identify key radionuclides and associated parameter values for human and wildlife exposure assessment.
 - 6.2.2. Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides.
- 6.2.3. Common framework for addressing environmental change in long term safety assessments of radioactive waste disposal facilities.
- 6.2.4. Harmonization and intercomparison of models for accidental tritium releases.
7. Exposures and Effects on Biota
- 7.1. Biota modelling: Further development of transfer and exposure models and application to scenarios,
 - 7.2. Models for assessing radiation effects on populations of wildlife species. Marine Modelling
 - 7.3. Modelling of marine dispersion and transfer of radionuclides accidentally released from land-based facilities.

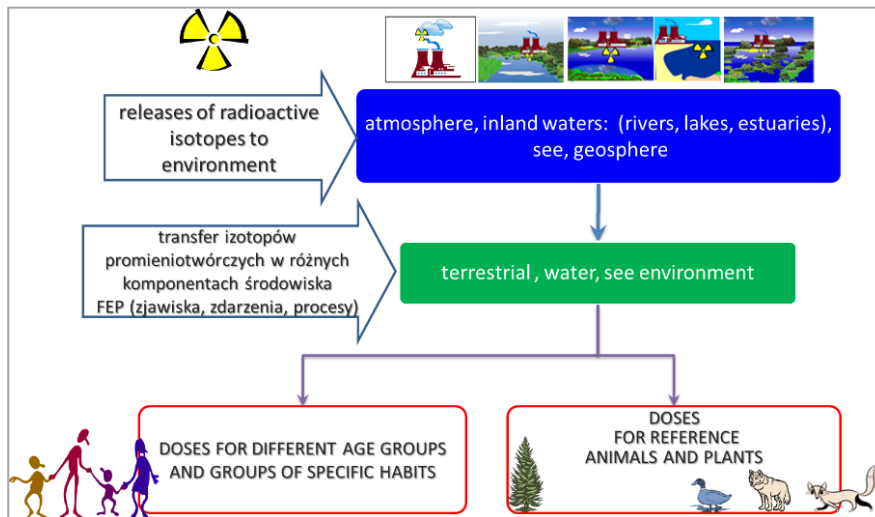


Figure 1. Types of models with regard to release location or targets.

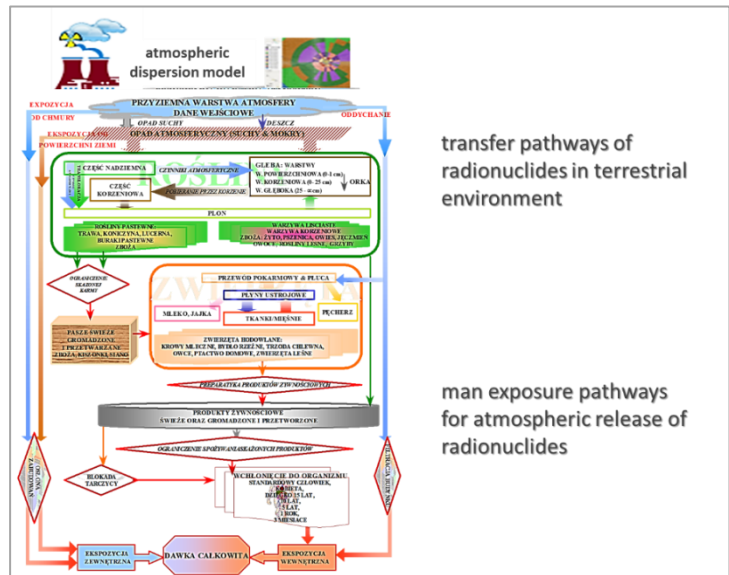


Figure 2. An example of the model structure describing phenomena specific for terrestrial environment in a case of atmospheric releases from the stack of NPP. Input data of radionuclides concentrations in air are calculated by special module of atmospheric dispersion.

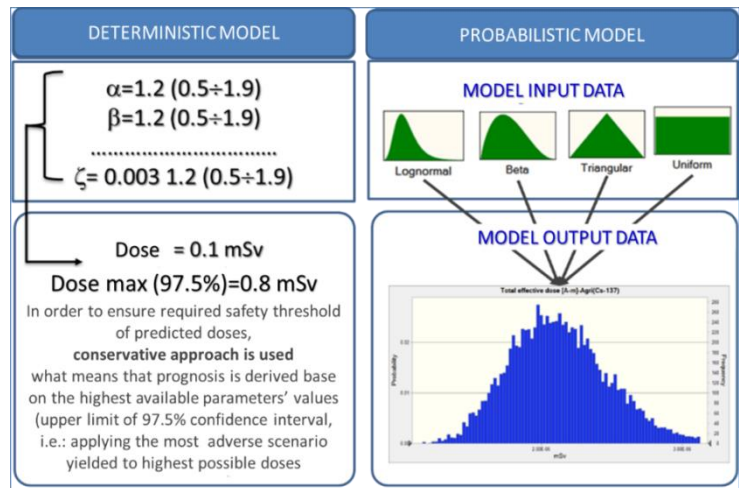


Figure 3. Diagram shows two different approaches for models calculations: deterministic and probabilistic.

Results

Working Group 5 results – Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides

Central Laboratory took part in the Working Group 5 activities that focused on issue of uncertainties and variabilities in the results of assessment of doses in planned situations for controlling the impact of routine releases from radioactive and nuclear installations to the environment.

The basic activity of the group concerned of doses and population hazard assessment (including reference group) for real releases data to atmosphere and Loara river from French NPP Chinon B (PWR) [Blocs B1, B2, B3, B4]; each blok - 2785 MW_{tmr}, \cong 950 MWe] (Figure 4). Full set of data for doses assessment was prepared by IRSN – Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety in France and comprised: meteorological data, hydrological data, agricultural data, consumption and behavior habits.

In the dose assessment task participated several computer models designed to perform dose calculation by probabilistic methods (see chapter 0):

- French model IRSN SYMBIOSE- modular software with build-in probabilistic package MC, also model enabled to perform spatial analysis of results. This model was considered as reference model because it was used for Chinon Scenario calculation provided by IRSN
- Slovak model ESTE AI of ABMerit company, GIS platform based with possibility to perform probabilistic calculation.
- Spain model CROM, developed in CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) in a frame of STAR project with build-in probabilistic package MC, however without sub-model of tritium HTO, OBT and carbon ¹⁴C, <http://cromerica.ciemat.es>.
- Polish model CLRP (routine releases), based on EXCEL Microsoft Office 365 platform supported by Crystal Ball Oracle probabilistic module with MC package. The model is componentized with GIS feature that enables to perform spatial analysis of ground and surface water (river)

contamination. The main model parameters were taken from publications [19, 22, 26].

Released activities from Chinon NPP are presented in Table 1. It can be noticed that the total activity discharged to Loara River is 10 folds higher than total activity released to atmosphere, respectively (5.425×10^4 GBq.y⁻¹; 4.219×10^3 GBq.y⁻¹), whereas for both releases the same radionuclides dominate:

- tritium HTO (5.42×10^4 GBq.y⁻¹ to river; 2.12×10^3 GBq.y⁻¹ to atmosphere) and
- carbon ¹⁴C (4.6×10^1 GBq.y⁻¹ to river; 6.1×10^1 GBq.y⁻¹ to atmosphere),
- ksenon ¹³³Xe, ¹³⁵Xe (1.15×10^3 GBq.y⁻¹, 1.73×10^2 GBq.y⁻¹ only to atmosphere)

The contribution of other radionuclides to the total released activity is small, for atmospheric release 8%, for river discharges neglectable <1%. Reported above isotopic contribution to the total released activity will result the similar contribution to the total population dose, although contribution of external exposure from cloud immersion, despite of high activity of released noble gases, is neglectable. Detailed description of the models performance, used algorithms and results one could find in the publication [28].

Results of deterministic calculations

The total dose due to radionuclides discharges to Loara river for adult member of reference group is 0.95 μ Sv.y⁻¹. It was assumed that this values represent average dose instead of maximum dose, as average values of input parameters were used. The highest contribution to the total dose gives the ingestion dose (0.9 μ Sv.y⁻¹ ; 95% of total dose). The other exposure pathways as external exposure from immersion in water and ground shine (ground contaminated by irrigation with contaminated river water) contribute to the total dose less than 5 %. The particular isotopes contribute to the ingestion dose as follow: ¹⁴C (74%), , tritium HTO & OBT(25.4%)²⁴, , ¹³⁷Cs(0.18%), ¹³⁴Cs(0.21%), ⁶⁰Co (0.12%), contribution remained isotopes < 2%. Concerning contribution of particular diet components to the ingestion dose, it depends mainly on radionuclide but also on diet and agricultural practices in Chinon region, because, as indicate study of Chinon region population, milk and milk product and cereals products are not

²⁴ tritium OBT (2.1%)

produced locally but they are delivered from other French regions, therefore the contribution pattern is as follow:

^{14}C – fish (34%), fruits (28%), potatoes (20%)

HTO – drinking water (32%), fruits (29%), leafy vegetables (13%), potatoes (8%), root veg. (5.4%)

The total dose due to atmospheric releases for adult as member of reference group is significantly lower than from river discharges and is estimated as follow:

- Chinon (bridge, fishing point) – 500 m from the outlet ($2.4 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$)
- Chouze (water catchment for plant irrigation) – 3000 m from the outlet ($2.2 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$)
- Montserau (drinking water catchment) – 9000 m from the outlet ($2.17 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$).

In this case the river's water contamination is excluded from analysis of exposure pathways.

As one could expect, the major exposition pathway is wet and dry deposition on the plants leaves and crops, so ingestion dose is dominating contributor to the total dose (98%), with isotopic contribution as follow: carbon ^{14}C (89%) than tritium HTO&OBT²⁵ (10.1%), cesium ^{137}Cs (0.13%) and cesium ^{134}Cs (0.14%) ,cobalt ^{60}Co (0.03%), others isotopes < 2%. Contribution of particular diet products to the ingestion dose is following:

^{14}C – fruits (34%), potatoes (28%), eggs (10%), poultry (~ 8%) and leafy vegetables (~ 8%)

HTO – fruits(47%), leafy vegetables (22%), potatoes (18%), root vegetables (~ 9%)

^{137}Cs -leafy vegetables(97%),

^{60}Co -leafy vegetables(98%).

Results of probabilistic calculation (example)

Figure 6 illustrates example of probability density distribution of effective doses due to ingestion of carbon ^{14}C - discharged to river, for inhabitant leaving in 9 km zone in vicinity of NPP Chinon. Carbon ^{14}C has the highest contribution to ingestion dose ($6.7 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$). The PDF

distributions were determined for 98 input parameters, PDF function types i.e.: (long normal, triangular, uniform or normal) were selected depending on phenomena nature and general rules for PDF selection e.g.: transfer coefficients between particular environmental components with known geometric mean and geometric standard deviation are described by log normal distributions, parameters referred to the practices (agricultural, habits, consumption rate) are best described by triangular distribution, time delays or time spent variables e.g.: number of days between production and consumption or time spent outdoor are described by uniform distribution.

Doses values fit in the range (from 2.3×10^{-1} to max $1.8 \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$), whereas 95% doses was less than $\sim 1.0 \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$, then less than twice of average dose $6.7 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Conclusions

Last recommendations of International Commission on Radiological Protection, have been transposed to Directive of European Commission and in 2018 will be obligatory for European Union members. It means that presented in this article, uncertainty doses assessment methodology became standard for evaluating environmental impact of nuclear facility, required by regulatory body. This methodology brings certain advantage, as it shows *explicite* unlikelihood of high doses at normal operation of NPP. On the other hand it expresses some weakness, required advanced methods of probabilistic prognosis Monte Carlo as well as accurate statistical description of parameters characterizing behavior of elements in environment. Moreover, there is a lack of recommended handbooks and guidance that would comprise validated set of PDFs for substantial environmental parameters.

25 tritium OBT (1.6%)

Table 1. Adopted released values from NPP CHINON.

Radionuklide	Scenario Chinon atmospheric releases			Scenario Chinon discharges to Loara river	
	Block 1-2 [GBq.y ⁻¹]	Block 3-4 [GBq.y ⁻¹]	Total [GBq.y ⁻¹]	Radionuklide	[GBq.y ⁻¹]
³ H(HTO)	1.03·10 ³	1.03·10 ³	2.12·10³	³ H(HTO)	5.42·10⁴
¹⁴ C(mineral)	6.10·10 ¹	6.10·10 ¹	1.22·10²	¹⁴ C(mineral)	4.6·10¹
⁴¹ Ar	6.80·10 ¹	6.80·10 ¹	1.36·10 ²	³¹ Mn	1.00·10 ⁻²
⁸⁵ Kr	1.47·10 ¹	1.47·10 ¹	2.94·10 ¹	⁶³ Ni	2.00·10 ⁻²
^{131m} Xe	7.25·10 ⁻²	7.25·10 ⁻²	1.45·10 ⁻¹	^{110m} Ag	1.58·10 ⁻¹
¹³³ Xe	5.75·10 ²	5.75·10 ²	1.15·10³	^{123m} Te	9.00·10 ⁻³
¹³⁵ Xe	8.65·10 ¹	8.65·10 ¹	1.73·10²	¹²⁴ Sb	1.00·10 ⁻²
¹³¹ I (molecular)	8.60·10 ⁻³	8.60·10 ⁻³	1.72·10 ⁻²	¹²⁵ Sb	2.80·10 ⁻²
¹³³ I (molecular)	5.20·10 ⁻³	5.20·10 ⁻³	1.04·10 ⁻²	¹³¹ I	1.10·10 ⁻²
¹³⁴ Cs	1.89·10 ⁻⁴	1.89·10 ⁻⁴	3.78·10 ⁻⁴	¹³⁴ Cs	1.00·10 ⁻²
¹³⁷ Cs	2.27·10 ⁻⁴	2.27·10 ⁻⁴	4.54·10 ⁻⁴	¹³⁷ Cs	1.20·10 ⁻²
⁵⁸ Co	3.48·10 ⁻⁴	3.48·10 ⁻⁴	6.96·10 ⁻⁴	⁵⁸ Co	5.70·10 ⁻²
⁶⁰ Co	2.19·10 ⁻⁴	2.19·10 ⁻⁴	4.38·10 ⁻⁵	⁶⁰ Co	7.20·10 ⁻²

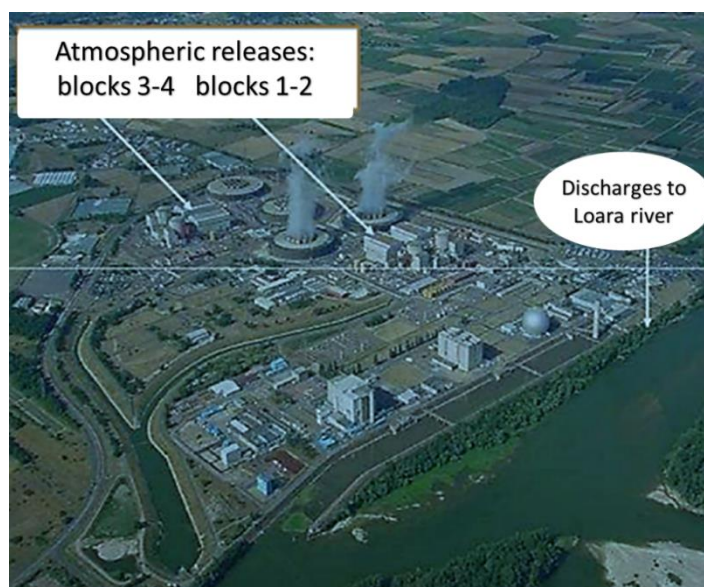


Figure 4. Birds-eye view of French NPP Chinon B. Routine atmospheric releases from blocks 1-2 and 3-4, location of discharges outlet to Loara river.

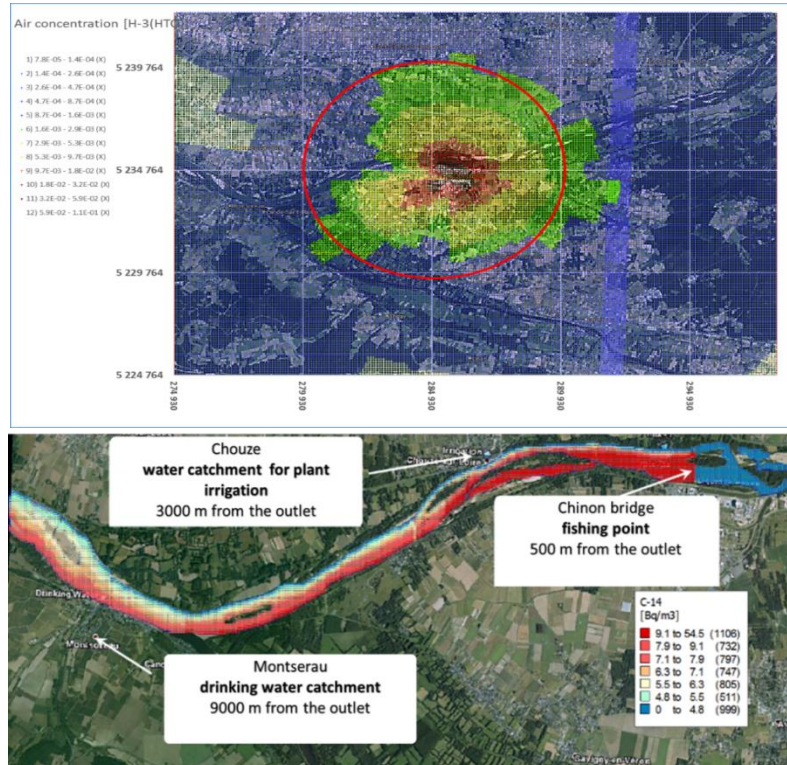


Figure 5. Spatial distribution of HTO concentration in air (fig. above) and carbon C-14 along stream of Loara river (figure below) due to routine releases from NPP Chinon B to atmosphere and river. Figure below shows three reference locations of dose assessment .

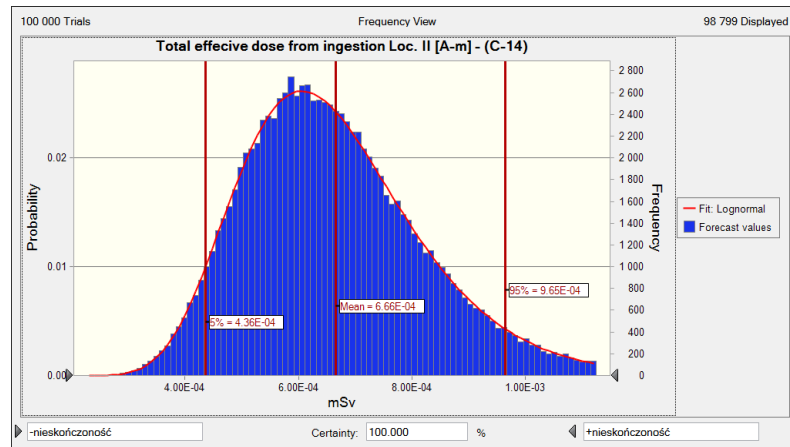


Figure 6. Probability Density Functions of effective dose due to intakes of carbon ¹⁴C for inhabitant of 9 km zone of Chinon NPP.

Literature

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] BIOMOVS (1991), Proceedings of a Symposium on the Validity of Environmental Transfers Models (Stockholm, 1990), Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm Sweden.
- [9] BIOMOVS II (1996), Uncertainty and Validation: Effect of Model Complexity on Uncertainty Estimates. BIOMOVS II Technical Report No. 16, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, Sweden.
- [10] 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, IAEA, Vienna (1996).
- [11] GRS Part 3 (2014), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3. No. GSR Part 3, International Atomic Energy Agency Vienna, 2014.
- [12] Hoffman, F.W. et al. (1983). The Transfer of Co-60, Sr-90, I-131 and Cs-137 through Terrestrial Food Chains, A Comparison of Model Predictions, Swedish Report STUDEVIK/NW-83/417, Studsvik Energiteknik AB, Sweden.
- [13] ICRP 103 (2007), The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier (2007).
- [14] 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).
- [15] ICRP 114 (2009), Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6).
- [16] ICRP 124 (2014), Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- [17] MODARIA (2012-2015), Modelling and Data for Radiological Impact Assessments, <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria/default.asp?l=116#0>.
- [18] Rap. Kom. Rz. (1986), Raport Komisji Rządowej (1986), Komisja Rządowa do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych, 1986, Warszawa.
- [19] SRS 19 (2001), Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001.
- [20] SS 57 (1982), Generic models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases. Safety Series No. 57, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1982.
- [21] SS 75 (1986), International Nuclear Safety Advisory Group, Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 75, 1986, Vienna.
- [22] TECDOC 1616 (2010), Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments, AEA-TECDOC-1616, IAEA, Vienna, 2009.
- [23] TECDOC 1678 (2012), Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS), A Summary Report of the Results of the Emras Programme (2003–2007), IAEA-TECDOC-1678, International Atomic Energy Agency, VIENNA,

-
- 2012, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1678_Web.pdf.
- [24] 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, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_795_prn.pdf.
- [25] 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 (1996), http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_904_prn.pdf.
- [26] TRS 472 (2010), Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Technical Reports Series No. 472, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2010.
- [27] TRS 479 (2014), Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife, Technical Reports Series No. 479, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2014.
- [28] 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>.

Individual neutron dosimeters based on CR-39 detectors – method optimization for isotopic neutron sources applicability

K. Szewczak

Introduction

The neutron sources are commonly used in industry, science and medicine. From the neutron producing methods the neutron sources could be divided on three group: isotopic sources, accelerator based sources and nuclear reactors. Today the most popular sources used at industry and science were the isotopic and accelerator based sources. The increase of neutron sources application needs the research and implementation of the dosimetric methods for individual and environmental monitoring for neutrons fields. The method should to be optimized to be adequate for type of neutron source where it will be used. The optimization have the sufficient influence for the uncertainty of performed dosimetric measurements.

Research on implementation of personal neutron dosimetry based on track detectors CR-39 was launched at the Central Laboratory for Radiological Protection in 2013. Then, activities have been taken to adapt the infrastructure available for radon measurements with the CR-39 detectors for neutron dosimetry application. The result was to perform the first measurements of the neutron flux coming from the source Am-Be. The study used the configuration of dosimeter equipped with a polyethylene radiator having a thickness of 1 mm.

In the proposed method, a key influence on the results obtained have three factors: the neutron energy spectrum having been recorded, the neutron dosimeter configuration (thickness and material used as a radiator) and the etching conditions. The last factor ie. the etching conditions are well known and adapted during long-term of detectors CR- 39 examination for radon

measurements. The aim of the research undertaken in 2015 was to optimize the thickness of the radiator depending on the neutron energy spectrum that will be measured. The registration efficiency of proposed neutron dosimeter is directly related to the cross section for the production of recoil protons into the radiator, which is a function of the energy of the incident neutrons. This relationship is characterized and tabulated on JANIS [1] database.

The study was focused on two energy spectrum of neutrons emitted from the types of isotope sources: $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ and ^{252}Cf assuming normalized spectral energy neutron emission [2]. Because the study included the experimental part and a part of computing Monte Carlo simulation method, all the work has been divided into two stages. In the first step was carried out exposure of CR-39 detectors covered by a radiator with a thickness of 1 mm made of polyethylene, using a well characterized neutron beam from a ^{241}Am -Be source operating in the CLOR. After etching process detectors were analyzed in terms of the number of registered tracks. The second step was to conduct a simulation using Monte Carlo method, using code MCNP5 [3] reflecting the actual configuration of performed exposures. The simulation was developed with the input file including geometry and the type of source used in the experiment. Geometry included experimental room (walls, ceiling, floor), irradiator with mounted neutron source and detector CR-39 with a radiator on the composition and density the same as that used in the experiment. Comparison of the results of the experiment and the simulation was to validate the declared geometry, which allowed then to transfer to other simulation with different radiator thickness declared and other type of neutron source.

Results

The exposure time for detectors was set for 1800 s. According to the certificate neutron source ($^{241}\text{Am}/\text{Be}$) installed in CLOR emits $1.1 \times 10^6 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$. The analysed detectors exposed to neutron beam yielded a value of $2.23 \text{ tracks}\cdot\text{mm}^{-2}$. On the other hand, i.e. as a result of Monte Carlo simulations it was reported that in similar geometric conditions on the exposure surface of the detector passing $1.30 \text{ proton}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{n}^{-1}$. Calculating the value of the underlying assumptions of exposure time as during physical experiment and the value of the source emission we get a value of $2.57 \text{ proton}\cdot\text{mm}^{-2}$. Assuming that each proton incident on the surface

of the detector CR-39 will damage reflected then in the form of track the last value can be written in the notation of $2.57 \text{ tracks}\cdot\text{mm}^{-2}$. When comparing the values obtained from the experiment and the simulation should be noted for their high compatibility. This fact is the basis for the adoption of that created geometry is designed correctly and is useable for an analysis of other thicknesses of radiator and for the source of ^{252}Cf declaration.

Accordingly a simulation was performed for different thicknesses of the radiators from 0 to 1 mm, wherein the thickness of the first radiator was 0.01 mm. The simulation was performed for the source $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ and ^{252}Cf . The results of these simulations are shown in Figure 1.

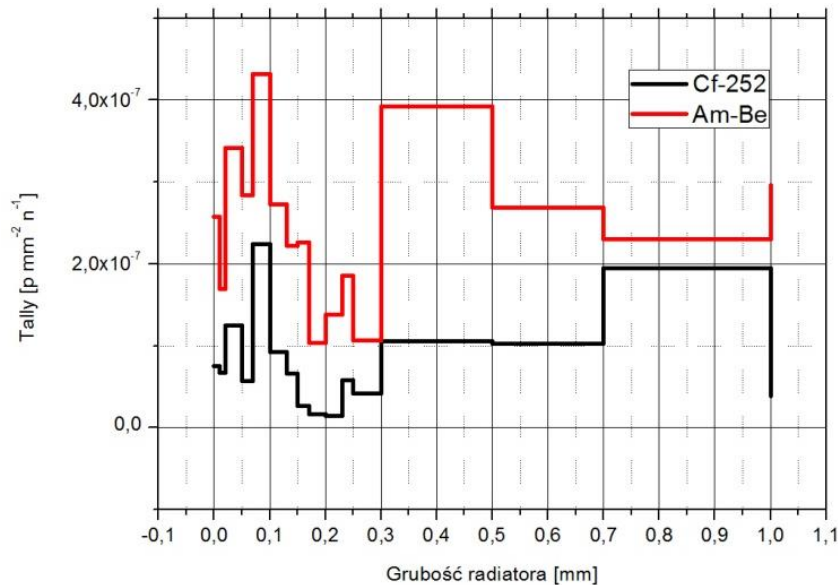


Figure 1. Influence of registered neutron energy spectra on the number of tracks generated on the CR-39 detector surface.

Conclusions

The study shows that proper selection of the thickness of the radiator depending on the energy spectrum of the neutrons measured detectors has a significant impact on the results obtained. In the case of the sources $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ and ^{252}Cf using the radiator having a thickness of 0.4 mm productivity of tracks in the detector drops four times. It should also be noted that the studies refer to standardized neutron spectra. In fact the energy spectrum may differ from those presented in the work even when using the same type of source. This is caused primarily of major relevance of neutron scattering

on the items in their immediate vicinity. The method can be applied to other types of neutron sources, i.e. the neutron generators.

Literature

- [1] JANIS – OECD Nuclear Energy Agency, <https://www.oecd-nea.org/janis/>
- [2] International Standard, ISO 8529-1:2001(E), Reference neutron radiation: Part 1 Characteristics and methods of production.
- [4] F. B. Brown et al., MCNP – A general Monte Carlo N-particle transport code, version 5, Los Alamos National Laboratory, Oak Ridge, TN, 2003.

Characteristic of radiological mapping systems placed on flying machines

K. Szewczak

Introduction

During radiological accidents having the character of large-scale such as failure of a nuclear reactor, the radioactive source confusion or uncontrolled release of radioactive substances, it is necessary to scan large areas in the shortest time. Systems for radiological mapping based on flying machines are among the fastest methods for mapping the large areas in a short time - performance methods estimated on 108 m² h⁻¹. The measurements made with this technique can then be used to determine the critical points that require accurate measurement of in-situ using ground crews. The term "radiological aerial mapping systems" should be understood as a general term for various types of instruments placed on board the aircraft. Currently detectors are used only scintillators or semiconductor detectors. As vehicle of these systems most often used helicopters. However, not only, there are also systems designed for installation on aircraft and radio-controlled drones. Methods for measurements from air are now well developed in the world. In the United States these methods have been widely used in geological mapping. In Europe at countries such as France, Germany, Switzerland, Denmark and Sweden [1] such systems exist for decades. They serve both determining the level of natural gamma radiation level, as well as a rapid response in the event of contamination of large areas. Periodically are also organized international exercises in the field of radiological mapping using this type of system, while countries with established nuclear power are seeking to consolidate their systems to enable their co-ordinated action in the event of contamination involving several countries [2]. It is also worth noting that this type of system was also designed and used in Poland in the 70's. The first measurements of large-scale natural background gamma radiation in the vicinity of the planned construction of the first Polish nuclear

power plant in Żarnowiec. This system was developed at the Central Laboratory for Radiological Protection and used a measuring system mounted on the aircraft An-2 [3].

Conclusions

Conducting the presented analysis the following conclusions and assumptions should be pointed:

1. Air Radiological Mapping Systems (ARMS) are used successfully for over 40 years both in Europe and in the world. Mapping method using the aircraft is well developed and there are many studies to enable implementation of this method in Polish conditions.
2. Methods based on ARMS may be used to map both natural radioisotopes to assess the level of natural background gamma radiation and emergency for the qualitative determination of the degree of contamination of the ground surface.
3. It is possible to apply different ARMS aircraft according to the needs regarding the size of the area to be analyzed, the necessary accuracy and financial resources to carry out this analysis.
4. The most common means of helicopters, however, thanks to the development of drones they are involved more often.
5. Current research are focused on the possibility of implementing the ARMS based on other detectors as scintillators NaI(Tl) and HPGe semiconductor.

Literature

- [1] D. C. Sanderson, J. M. Ferguson, The European capability for environmental airborne gamma ray spectrometry. *Radiation Protection Dosimetry*, 73 (1-4), 213-218, 1997
- [2] Benno Bucher et. al. International Intercomparison Exercise of Airborne Gammametric Systems of Germany, France and Switzerland in the Framework of

-
- the Swiss Exercise ARM07, PSI Bericht Nr. 09-07, June 2009, ISSN 1019-0643
- [3] B. Gwiazdowski, J. Pieńsko, J. Jagielak, M. Biernacka, K. Mamont-Cieśla, J. Henchke
Badania środowiskowe ziemskiego tła promieniowania gamma w rejonie przewidywanej lokalizacji pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. Postępy Fizyki Medycznej, 1975, X, 1-2
- [4] Tatsuo Torii, Yukihisa Sanada, Radiation measurement by unmanned aircraft after Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Remotely Piloted Aircraft Systems Symposium ICAO Headquarters, Montréal, Canada 23 – 25 March 2015

The occupational exposure assessment for operators of vehicle scanners operating on Polish border

K. Szewczak, K. Wołoszczuk

Introduction

Scanners allow the screening of passenger cars, trucks and trains stations are used at border crossings in Poland for several years. It currently operates in Poland dozens of these types of systems. Depending on the type of accelerator and energy of generated X-rays (from 1 to 9 MeV) scanners are used for examination of cars, trucks or trains. From the point of view of the method of operation the systems can be divided into stationary and mobile scanners. In the case of stationary scanners the set of accelerator-detector stay at place and a scanned object move through the beam. In this case the scanning starts behind the cab (in the case of trucks or at the end of the locomotive (in the case of railway transport). In the case of moving system the object being scanned remains stationary while moving set of accelerator-detector. This design allows you to scan all vehicles including the cabin, due to the absence of the driver during the scan.

In the case of scanners using X-rays with an energy of 9 MeV to be expected in the environment also neutrons. Their presence being the result of a sufficiently high energy of reaction of photo-neutron (γ, n) which have energy threshold, depending on the shield element at the level of a few MeV. For examples of the lower energy threshold for the reactions (γ, n) for the isotope ^{208}Pb (constituting prevalent isotope of lead – 52.4%) is 7.37 MeV.

The measurements were oriented so in two ways. The first objective of the study was therefore to determine the degree of exposure of people operating this type of device as well as to examine the consequences of accidental exposure of person in the scanned object. Second was established to carry out the intensity of neutron field surrounded scanning systems operating at X-ray energies equal to or higher than 6 MeV.

Occupational exposure assessment for photon radiation in the scanners environment was carried out using two measuring methods - the active and passive one. The measurement values are expressed in both cases as ambient dose equivalent $H^*(10)$. As part of the active method was a highly sensitive ionization chamber RSS-131. In the passive method were used comprises highly thermoluminescent detectors (TLD) type MCP-N. Additionally, in the case of scanners using photons with an energy of 9 MeV neutron measurements were carried out in the beam scanning using the active device Berthold LB6411.

Results

The maximum registered ambient dose equivalent rate in the scanner environment was $1.1 \text{ mR}\cdot\text{h}^{-1}$ for one scan. The average scan time was 120 seconds. This means that during a scan the employee may receive a dose of 0.04 mR which corresponds to 0.38 mSv. In the case of uncontrolled exposure of persons remaining in the scanned vehicle the greatest dose in the beam reaches $20 \text{ R}\cdot\text{h}^{-1}$. Assuming the scan time such a person on the 4 s, it will receive a dose of 20 mR which corresponds to the dose equivalent of about 0.17 mSv. In the case of one scanner station it is also a real threat coming from neutrons. Assuming people being permitted zone during one scan may receive a dose of 20 mSv in a single scan.

Conclusions

The study shows that the exposure of personnel involved in carrying out scans of vehicles using high-scanners road and rail is minimal. Thanks to a very good beam collimation of the X-ray component of the scattered radiation in the environment of such systems is very low. An important fact from the research is the information about the existence of the neutron component in

the case of a scanner equipped with an accelerator 9 MeV. An important conclusion is the fact that in case of uncontrolled exposure of a person in the

scanned vehicle the dose not result above the permissible limit for the total population ie. 1 mSv.

The ARCADIA Project Assessment of Regional Capabilities for new reactors Development through an Integrated Approach

K. Wołoszczuk, P. Krajewski

The ARCADIA project has been conceived so as to provide a twofold support to the further development of nuclear research programs in the NMS, targeting two major areas included in the Strategic Research and Innovation Agenda of SNETP: ESNII, through the support of the ALFRED project towards its realization in Romania, and NUGENIA, approaching remaining safety aspects of Gen III/III+ that could be built in Lithuania, Poland, Czech Republic and Slovenia.

On one hand, it focuses on the identification of the primary needs for the ALFRED project, mainly

to what concerns E&T, supporting Infrastructures and Regulatory aspects (and integrating – for the R&D needs – the outcomes of other research projects in a common frame of National and Regional needs); on the other hand, it investigates the existing National and Regional supporting structures – with a particular attention to the ones in Romania and in all the participating New Member States – for defining a map of competences potentially eligible to satisfy the previously identified needs.

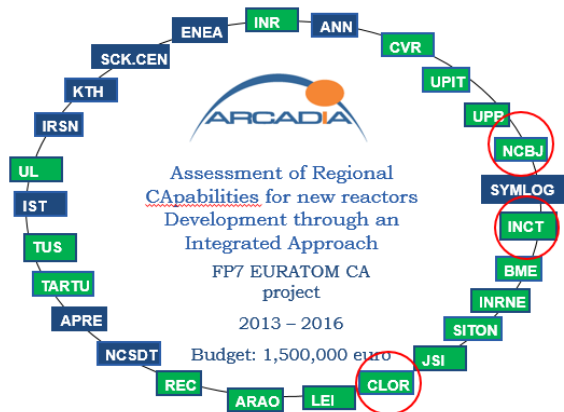


Figure 1. ARCADIA's participants.

The entire work dedicated to ALFRED (Figure 2) project will be performed within the frame of strategic orientations to be compiled for the ALFRED project, and with the scientific, technical and regulatory advising of the constituent provisional ALFRED consortium on one side, and of the Romanian Regulatory Body on the other side. Finally, Networking, Cooperation and Dissemination activities will provide the connection

with the international scientific community, with the European institutional organizations and with the general public, for ensuring the soundness and palatability of both Gen III/III+ and ALFRED projects in general.

ARCADIA is a project funded by European Commission under the Euratom Programme with 26 partners (Figure 1). Project is coordinated by INR Romania.

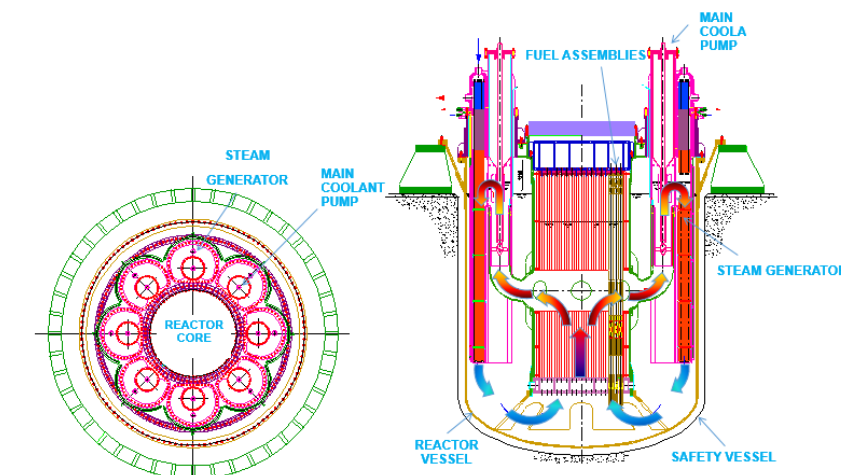


Figure 2. ALFRED – construction.

Central Laboratory for Radiological Protection participate in three from seven different work packages of ARCADIA:

1. Skills & infrastructure
 - Needs for Competences & Infrastructures for ALFRED Implementation
 - Gaps in Competences & Infrastructures for ALFRED Reactor
 - Approaches for Competences Building in Support of ALFRED Construction
2. Licensing framework:
 - Definition of the required Licensing steps
 - Compliance of ALFRED SDC (Safety Design Criteria) with National and International regulations and recommendations
 - Definition of the required Siting steps, Environmental and Public Aspects
3. Cooperation & dissemination
 - Networking with European Projects
 - Collaboration with European Platforms and organizations
 - Dissemination of Activities.

Development of a method for monitoring the equivalent dose to the lens $H_p(3)$ using thermoluminescent detectors

K. Wołoszczuk, G. Krajewska, A. Wyszowska

The eye lens is one of the most radiosensitive tissues – detectable change in the lens can be observed at doses of at least an order of magnitude smaller than the changes observed in other tissues of the eye. Initially, these changes will not cause eye damage, but their intensity tends to increase gradually with the passage of time and dose.

Previous dose limit for eye lens was about 2-5 Gy. Recent results from new epidemiological data regarding the sensitivity of the lens of the eye, indicate the occurrence of radiation cataract after crossing the dose of 0.5 Gy. Accordingly, the ICRP in a 103 Report recommended new dose limits. The recommended occupational radiation dose limit to the eye lens has been greatly reduced, from

150mSv·year⁻¹ to 20mSv·year⁻¹. This recommendations in turn was repeated in the new Directive 013/59/EURATOM. Consequently, the reduction of this limit, it became necessary to monitor the dose equivalent eye lens.

In response to the report and publications talking about the need for measurements of $H_p(3)$, began working on the development of methods of eye lens dosimetry, consisting in looking for a suitable dosimeter, phantom and calibration procedures. The first work in this direction have been taken within the framework of the European project ORAMED. The project projection was dosimeter EYE-DTM consists of a plastic housing with a capsule made of polyamide with TL dosimeter (Figure 1a).

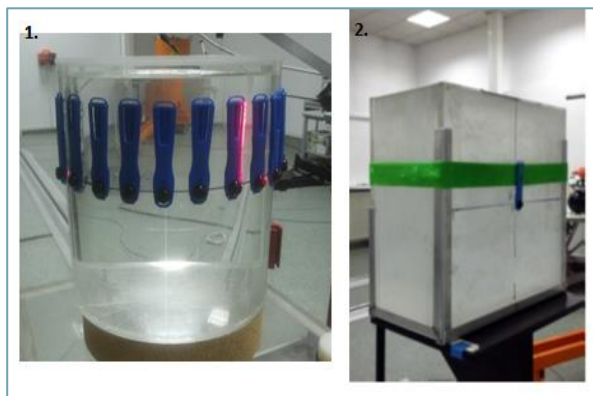


Figure 1. a) Dosemeter EYE-D™ (left picture), b) 1- cylindrical phantom, 2- slab phantom PMMA

To develop new method in CLOR was, inter alia, necessary to calculate calibration coefficients. The Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments made angular and energy characteristics of the TLD detectors placed in EYE-D™. To determine the calibration coefficients for monitoring $H_p(3)$ used two types of phantoms. First which is a good head approximation - cylindrical phantom PMMA (about 20 cm high, 20 cm in

diameter and wall thickness of 0.5 cm) filled with water. Second phantom was, also popular in the dosimetry, slab phantom PMMA 30 cm x 30 cm x 15 cm which was used to determine the energy response (Figure 1b).

The angular and energy response was carried out on the X-ray calibration stand (radiation quality N-80) and gamma calibration stand (¹³⁷Cs – 662 keV and ⁶⁰Co – 1250 keV).

Implementation methodology for measuring environmental gamma using ionization chamber RSS-131

K. Wołoszczuk, K. Ciupek, K. Szewczak

Introduction

Assumption of measuring gamma radiation using a portable apparatus is a need to conduct a rapid assessment of the radiological studied area. This approach allows both the initial estimate population/occupational exposure as well as the identification of the areas where observed values of gamma dose rate are significant.

The RSS-131ER is a self-contained gamma monitor for measuring gamma exposure rates of 0 to 100 R·hr⁻¹. The High Pressure Ion Chamber (HPIC) was designed with the objective of achieving the best balance between sensitivity, energy response, stability, measurement range, and accuracy.

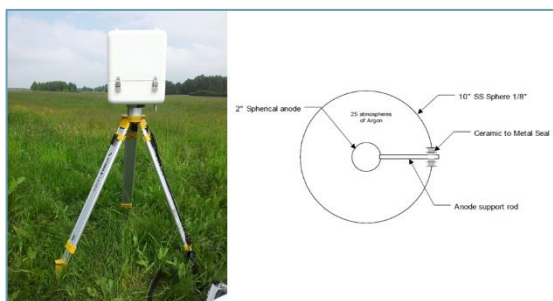


Figure 1. RSS-131 ionization chamber.

The detector consists of a 10-inch stainless steel outer sphere that contains approximately 25 atmospheres of argon. The figure below illustrates the basic detector, with outer 10" cathode and inner 2" anode. In operation a high voltage bias of -400 volts is applied to the outer shell, while keeping the anode at ground potential. When gamma photons pass through the detector they interact with the steel wall as well as the argon gas to generate ionized argon gas molecules.

Results

Measurements in the Salt Mine "Wieliczka" had been made to measure the natural radiation

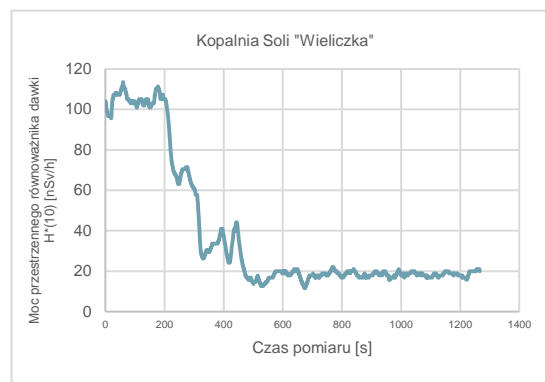


Figure 2. Measurements in „Wieliczka” Salt Mine.

with the exception of cosmic rays (Figure 2). The average of the measurements was 20±1 nSv·h⁻¹.

To measure the value of cosmic radiation with cutoff of terrestrial radiation the measurements on the Studzieniczna lake had been made. The average of the measurements was 46±2 nSv·h⁻¹ (Figure 3).

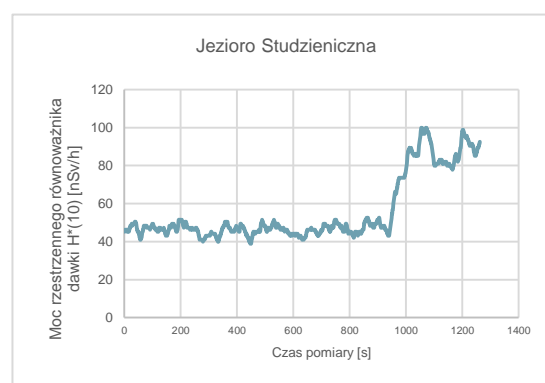


Figure 3. Measurements on Studzieniczna lake.

In June 2015 CLOR participate in intercomparisons organized by the German laboratory BfS (The Federal Office for Radiation Protection). The scope of the intercomparison was the measurements of dose rate from natural sources of gamma radiation. Measurements were performed on three specially prepared fields. The obtained results are presented in the Table 1.

The last phase of the project was to develop an application enabling remote communication between the chamber and the computer, which allowed for a constant overview of the data (Figure 4). Data due to snap Wi-Fi are transmitted to a laptop/tablet, then saved as an Excel file.

Table 1. Intercomparison results.

	Field 1	Field 2	Field 3
BfS	71	193	765
RSS-131	84,8	207	801



Figure 4. Application enabling remote communication

Calibration dosimeters for radiation protection purpose in 2015

K. Wołoszczuk, A. Wiśniewski, Ł. Modzelewski

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 2015 Laboratory received 810 contracts for calibration of more than 50 types of instruments:

- 586 calibration certificates for gamma dose rate,
- 273 calibration certificates for surface contamination monitors,
- 101 calibration certificates for X-ray dose rate,
- 2 calibration certificates in radon calibration stand,
- 10 calibration certificates in neutron calibration stand,
- 6 calibration certificate in for beta calibration stand,
- 15 unserviceable protocols.

Most often calibrated (Fig.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.

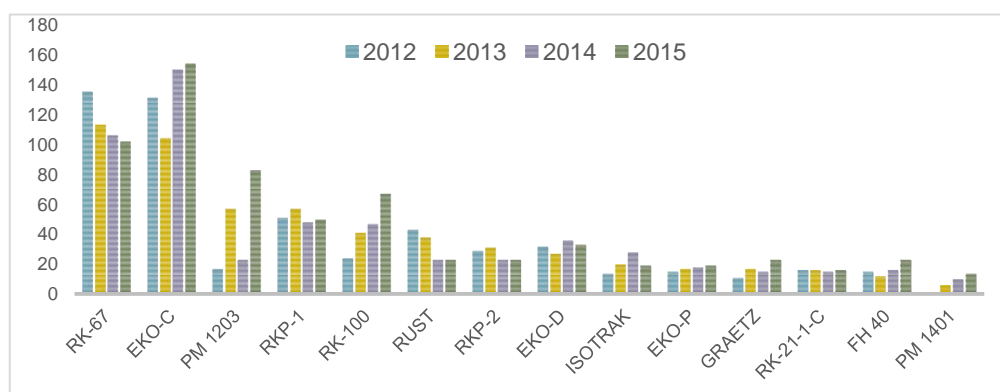


Figure 1. Most often calibrated types of dosimeters in LWPDiR.

Assurance and support of the quality system in Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments

K. Wołoszczuk, R. Czekała

Laboratory for Calibration of Dosimetric and Radon Instruments (LWPDiR) 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]
- equivalent equilibrium radon concentration EEC

- radon concentration, $[Bq \cdot m^{-3}]$
- equivalent equilibrium radon concentration EEC, including its unattached fraction f_p $[\mu J \cdot m^{-3}]$

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 (^{137}Cs , ^{60}Co and ^{241}Am),
- beta radiation ($^{90}Sr/^{90}Y$, ^{85}Kr)
- X-ray (narrow series- N-40 ÷ N-250)

18.02 Surface emission.

- alfa- radiation source- ^{241}Am ,
- beta- radiation sources - ^{90}Sr , ^{14}C , ^{36}Cl

18.03 Radon measurements.

- radon concentration in air.

Report of the seminar of the Laboratory of Calibrating of Dosimetric Devices and Radon

A. Kudynowska

On 16.02.2016, 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 2014/2015 (Discussion of implementation) and the plan for the year 2015/2016.
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 performing calibration: from day 15.03.2015 Mrs. Małgorzata Andrzejewska gone and in its place adopted Mr Łukasz Modzelewski. Supervisor position radon was Mrs Wołoszczuk by Mrs Zuzanna Jarosz, who was on maternity leave.

The records concerning the staff are confirming competence, the attributed responsibility and entitlements.

Within 3 issues it informed that on 18-19.06.2015 year. The audit took place in the supervision No. A-786/2015. The existing scope of accreditation AP 057 LWPDiR has not changed. The current scope of accreditation, this edition No. 14 of 8 September 2015. Areas of accreditation: ionizing radiation and radioactivity (18.01, 18.02, 18.03).

As regards documentation LWPDiR, it passed the following text: "Documentation LWPDiR is constantly supervised and perfected. In 2015 was introduced 16 edition of the Quality Manual (with 12.01.15), Issued 3 new general procedures and made a number of changes in the general procedures, technical and forms.

In 2015, 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 01.06.2015, 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 themanagement system requirements specified in the standard.

They examined in detail "*Goals and objectives for the year 2014/2015*" - the table below.

Table 1. Goals and objectives for the year 2014/2015.

Objective	Request	Responsible person
Improvement of the management system	Training of staff in the field of ISO standards	Alicja Kudynowska
Education staff	The participation of staff in conferences, seminars and external training	Katarzyna Wołoszczuk
Starting neutron calibration position	Calibration reference standard, participation in interlaboratory comparisons, the extension of accreditation	Kamil Szewczak
Activities information	Calibration reference standard, participation in interlaboratory comparisons, the extension of accreditation	Katarzyna Wołoszczuk
Modernisation lab	Develop cost estimates and performance recalibration or purchase of new surface sources	Krzysztof Ciupek
Modernisation lab	Preparation of the digestion trace detectors CR-39 (room 115: replacement of furniture, check the lift, painting a room, etc.).	Kamil Szewczak

Table 2. Goals and objectives for the year 2015/2016.

Objective	Request	Responsible person
Modernisation lab	Purchase and installation of neutron generator	Kamil Szewczak
Modernisation lab	The implementation of the database LWPDiR	Katarzyna Wołoszczuk
Improving the management system through education staff	The participation of staff in conferences, seminars, training, internal and external	Alicja Kudynowska Katarzyna Wołoszczuk
Modernisation lab	Modernization of the positioning devices to SKG	Katarzyna Wołoszczuk
Modernisation lab	Purchase of new sources of surface	Katarzyna Wołoszczuk
Modernisation lab	Replacing the source of Co-60 position SKG	Katarzyna Wołoszczuk

Then the issue was discussed feedback from customers. It discusses the 10 targets, 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 first quarter 2016. They recalled that at the present review have been prepared objectives and tasks for the next term (2015/2016) which was presented on the slides.

Laboratory receives feedback from customers in the form SURVEY customer satisfaction.

In the interval from June 2014 - May 2015 Laboratory received from customers 39 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.
- The factors most influencing customer satisfaction are: counseling, professionalism, friendly atmosphere and service while doing

things, integrity, professionalism, good professional support, fast delivery.

- The decisive factors for choosing LWPDiR are timely processing of cases, very good cooperation, reliable and professional service, experience, quality, technical advice, the reputation of the company.

LWPDiR the highest score received on the:

- quality of service - 100% of the respondents rated at 5 (on a scale of 1 - 5)
- substantive knowledge workers - 100% the competence and professionalism of the staff - 100%
- timely processing of cases - 97%

There were no complaints.

For better visualization of customer satisfaction over the last 3 years, which refers presented 3 charts:

- the level of customer service,
- the process of service deliver,
- the pricing policy of the laboratory.

Presented graphs reflect the information provided.

According to the plan presented conducting training sessions in 2015. 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 2015 as well as the implemented form for training as ad hoc. They planned and carried out 12 training courses, including 3 outside. 7 unscheduled documented training, including 3 external training. Internal training mainly concerned the newly hired employee.

We present the results of internal and external audits:

- Internal Audit No. 1/2015 dated 18/5/2015 - auditor: Mrs. Małgorzata Adamowicz - no

discrepancies were found and there were no sightings.

- Internal Audit No. 2/2015 dated 19/5/2015 - auditor: Mrs. Małgorzata Adamowicz - no discrepancies were found and there were no sightings.
- Audit surveillance (A-786/2015) dated 18-19.06.2015 - the assessment team: Mr. Marek Pytkowski (team leader), Mr. Boguslaw Michalik (technical expert).
- At report, lead auditor, there were no inconsistencies or observations. The report documents the auditor technical incompatibility 1 and 4 observations.
- At the end of the meeting participants familiarized with the assessment of the Laboratory by external organizations - PCA.

On 18-19.06.2015 was held PCA evaluation in which a team of evaluators pointed items requiring special attention during the next assessment. They were recognized strengths and weaknesses laboratory.

Strengths:

- The competence and commitment of employees resulting in the continuous development of the ability to calibrate and broadening the scope of accreditation.
- Raising qualifications.

Weaknesses:

- High staff turnover Laboratory, for the calibration of the position of radon.
- No automatic migration of data from the measuring devices to the calculation sheets.

No comments no questions to represent the theme.

Setting forth thanked everyone for their attention and provided the voice of the next person.

Report from the college of the Studio of Individual Doses and Environmental

A. Kudynowska, H. Will, H. Feder

On 16.02.2016, 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 3 positions: position control doses using TLD - No. 1, position monitoring iodine - No. 2, the position of cytogenetic dose reconstruction - No. 3.

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

With lab left (31/05/2015) Dariusz Aksamit-guardian position No. 1 - the function taken over by Mr. Szewczak. Personnel performing the study are Sir: Will Hanna, Hanna Feder, Agata Wyszowska and Mrs. Iwona Pacyniak.

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.

Documentation PDIŚ is constantly supervised and perfected. Introduced 08 edition of the Quality of 04.02.2015 year.

Maintained:

- 17 general procedures (including 4 new issue)
- 4 test procedures (including 1 new edition)
- 18 research instructions (including 5 new releases).

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 06.01.2015, 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 2014/2015", ie. 7 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 (2015/2016).

They presented and discussed the results of internal and external audits, namely: Internal Audit No. 1/2015 (system) of 04.05.2015 - assessor: Mrs. Katarzyna Wołoszczuk - there were no observations or discrepancies. Internal Audit No. 2/2015 (technical) of

28.05.2015- auditor: Mrs. Magdalena Piekarz - found 1 mismatch and one observation.

Laboratory has implemented corrective actions in relation to the non-compliance is documented in the "*Charter of corrective and preventive actions*" as well as conducted an analysis and risk assessment in relation to the documented findings, which will be discussed at a seminar in the field of technology.

Surveillance visit AB 851/2015 dated 15.06.2015 - assessment team: Mrs. Beata Białas (team leader), Mr. Janusz Skubalski (technical expert).

At report, lead auditor, there were no observations or discrepancies.

Auditor Technical recorded 4 non-compliance, of which 1 was unfounded and PCA of the departed.

At relation to the other 3 non-compliance, the corresponding corrections and corrective action, the contents of which will be presented by the Manager. Technical seminar with the technical part.

Then the issue was discussed feedback from customers.

Laboratory receives feedback from customers in the form SURVEY customer satisfaction.

In the time interval between July 2014 - June 2015, the Laboratory received from customers 39 surveys and carried out their analysis, from which the following conclusions:

- Estimate the laboratory is quite high: 65% of respondents evaluated us very well, 34% - good and only 1% gave a satisfactory assessment.
- The highest note PDIŚ received for deadlines execution of contracts and the quality test reports.

It has been shortened the waiting time for carrying out the service with the release of study reports.

With surveys show that:

- 49% are regular customers,
- 23% reported thanks to the very good recommendations of regular customers,
- 13% learned about our business courses organized by the IOR CLOR,
- 15% of the websites.

The above list of numbers signifies the commitment to customer PDIŚ, ie satisfaction with our services.

There were no complaints. To better illustrate customer satisfaction which refers presented a graph summarizing the results of the surveys over the last three years.

PDIŚ realized the training needs that have been identified on the basis of forecasts and the findings of the management review.

Done training plan for 2014, and developed a form of training for unscheduled.

Conducted 10 training courses planned (including 2 external) and 2 unscheduled training.

At the end of the first part of the seminar familiarized the participants with the assessment of the Laboratory by external organizations - PCA.

It is reported that during the surveillance audit on 15.06.2015, the evaluation team did not indicate items requiring special attention during the next assessment. They did not show any weaknesses and strengths of the laboratory.

Maintenance management system – Technical activity PDIŚ

K. Szewczak, H. Feder, H. Will

In 2015 the Laboratory participated at one intercomaparison organized by EURADOS. The intercomparison concerning the measurements of ambient dose equivalent at natural environment. The results were positive. Eight persons have been employed. Three research stands were operating: TLD, stand for radioiodine at thyroid measurements

and biological dosimetry stand. In the framework of Laboratory five accredited procedures have been implemented. One TLD reader type RE2000 have been supplied in 2015. The reader is equipped with automatic holder for 10 cassettes. There were no other changes in the infrastructure.

DEPARTMENT OF TRAINING AND INFORMATION

Section of Training and Information in CLOR in 2015 – tasks of the Technical Committee No. 246 for radiological protection

K. Ciupek, I. Pacyniak

Section of Training and Information in CLOR tasks are:

- Providing training in a field of radiation protection,
- developing training programs and training materials,
- publishing activities and the dissemination of scientific CLOR's achievements,
- supervision of the CLOR's archive,
- supervision of the CLOR's library,
- coordination development and evaluation of standards and national and international regulations,
- secretariat management of the TC no. 246.

In 2015 two trainings lasting three weeks were conducted for candidates to gain license of the Radiation Protection Officer (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, two-day training, were organized in CLOR for operators of accelerators and devices for brachytherapy containing radioactive sources. In total, 75 certificates were given to participants of above mentioned trainings.

CLOR participates in the standardization work in two technical committees:

- TC no. 246 for radiological protection, whose Chairman is CLOR's Director Dr. Paweł Krajewski and the secretariat that is managed by MSc. Krzysztof Ciupek.
- TC no. 266 for nuclear instrumentation in which CLOR is a member.

Standardisation 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, the entire content standards are not translating but only the titles and scopes of newly introduced documents.

In 2015, Central Laboratory for Radiological Protection participated in a series of informative and educational events, including, among others, 90th Anniversary of the foundation act of building the Radium Institute in Warsaw and 19. Science Picnic. The activities aimed at popularizing knowledge also consisted of organizing meetings our employees with children and youth. During such visits lectures were organized and CLOR's laboratories with equipment used in the currently conducted research were shown.

ISBN 978-83-920940-9-8

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej