

NOWE MOŻLIWOŚCI POMIAROWE ŚLĄSKIEGO CENTRUM RADIOMETRII ŚRODOWISKOWEJ GŁÓWNEGO INSTYTUTU GÓRNICTWA

Małgorzata Wysocka,
Bogusław Michalik,
Krystian Skubacz

Profil działalności Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej Głównego Instytutu Górnictwa

Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej Głównego Instytutu Górnictwa (dawniej Laboratorium Radiometrii) od kilkudziesięciu lat jest zaangażowane w badania związane z występowaniem naturalnej promieniotwórczości w kopalniach węgla kamiennego. Na początku lat siedemdziesiątych stwierdzono, że powstające w rurach systemów odwadniania kopalń osady, powodujące istotne utrudnienia w ich działaniu, zawierają również znaczne ilości izotopów radu. Rozpoczęte w efekcie tego stwierdzenia badania szybko wykazały, że obecność osadów zawierających rad w kopalniach podziemnych związana jest z występowaniem radonośnych wód złożowych i jest zjawiskiem stosunkowo powszechnym w podziemnych zakładach górniczych. Wynikająca z obecności osadów ekspozycja górników na promieniowanie jonizujące jest źródłem zagrożenia radiacyjnego, które w wielu przypadkach, jest istotne ze względu na wymagania ochrony radiologicznej. Również odprowadzanie wód radonośnych na powierzchnię, nieuniknione w czasie prowadzenia eksploatacji górniczej, stanowi istotne obciążenie dla środowiska naturalnego, nie tylko w bezpośrednim sąsiedztwie kopalń.

W rezultacie prowadzonych badań oraz oceny zagrożenia radiacyjnego, na początku lat osiemdziesiątych do ustawy Prawo geologiczne i górnicze, w części dotyczącej zagrożeń naturalnych występujących w podziemnych zakładach górniczych, zostały wprowadzone obowiązujące do dzisiaj zapisy obligujące kopalnie do prowadzenia monitoringu

zagrożenia radiacyjnego związanego z występowaniem naturalnej promieniotwórczości¹. Wymagania te dotyczą zarówno wód i osadów zawierających rad, jak i występowania radonu. W przypadkach, kiedy zagrożenie to przekracza określone poziomy, wynikające z ogólnych zasad ochrony radiologicznej, kierownik zakładu górniczego zobligowany jest do podjęcia działań zapobiegawczych. Wychodząc naprzeciw istniejącym problemom zespół GIG przy współpracy z Wyższym Urzędem Górniczym przygotował i wdrożył system kontroli zagrożenia radiacyjnego, początkowo w kopalniach węgla kamiennego, a następnie we wszystkich podziemnych zakładach górniczych. Opracowano również pewne zasady postępowania z osadami zawierającymi rad oraz uruchomiono instalacje ograniczające skażenie środowiska związane z odprowadzaniem wód radonośnych na powierzchnię. W 1993 r. Laboratorium Radiometrii (obecnie Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej) jako pierwsze w Polsce laboratorium zajmujące się pomiarami promieniowania jonizującego i oceną zagrożenia radiacyjnego zostało akredytowane przez PCA (wówczas PCBC). Aktualny certyfikat AB 005 ważny jest do 30.12.2014 r.

Doświadczenia zdobyte w dziedzinie badania naturalnej promieniotwórczości w kopalniach węgla kamiennego umożliwiają stały rozwój potencjału naukowo-badawczego w zakresie ochrony radiologicznej zarówno pracowników i osób postronnych, jak i ochrony środowiska naturalnego przed promieniowaniem jonizującym. Obecnie zakres działalności Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG znacznie wykracza poza górnictwo podziemne i obejmuje wszelkie aspekty występo-

¹ W związku ze wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej w 2004 r., do ustawy – Prawo atomowe zostały wprowadzone wprost wymagania dyrektywy RADY UE 96/29/EURATOM z dnia 13 maja 1996 r. ustanawiające podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony zdrowia pracowników i ogółu społeczeństwa przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego również w zakresie dotyczącym zagrożenia wynikającego ze wzmożonego promieniowania naturalnego.

wania promieniotwórczości naturalnej we wszystkich dziedzinach przemysłu umownie zaliczanych do kategorii NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials). Rozwijane są zarówno poszczególne metody pomiarowe stosowane do oceny występowania nuklidów promieniotwórczych w bezpośrednim otoczeniu człowieka i środowisku naturalnym, jak i unikatowe metody badawcze stosowane do oceny zagrożenia radiacyjnego człowieka i środowiska naturalnego z uwzględnieniem elementów, w literaturze anglojęzycznej określanych trafnie, aczkolwiek w sposób trudny do przetłumaczenia, jako *non-human biota*. Zakres akredytacji PCA jest stale poszerzany i obecnie obejmuje również metody niezbędne do oceny zagrożenia radiacyjnego związanego z ewentualnym rozwojem energetyki jądrowej w Polsce, w szczególności w aspekcie ochrony środowiska. Obecnie, na mocy rozporządzenia 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), Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG pełni rolę ośrodka wczesnego wykrywania skażeń oraz placówki specjalistycznej odpowiedzialnej za monitoring skażeń promieniotwórczych wody, żywności i powietrza.

Rozwój potencjału badawczego i pomiarowego Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej

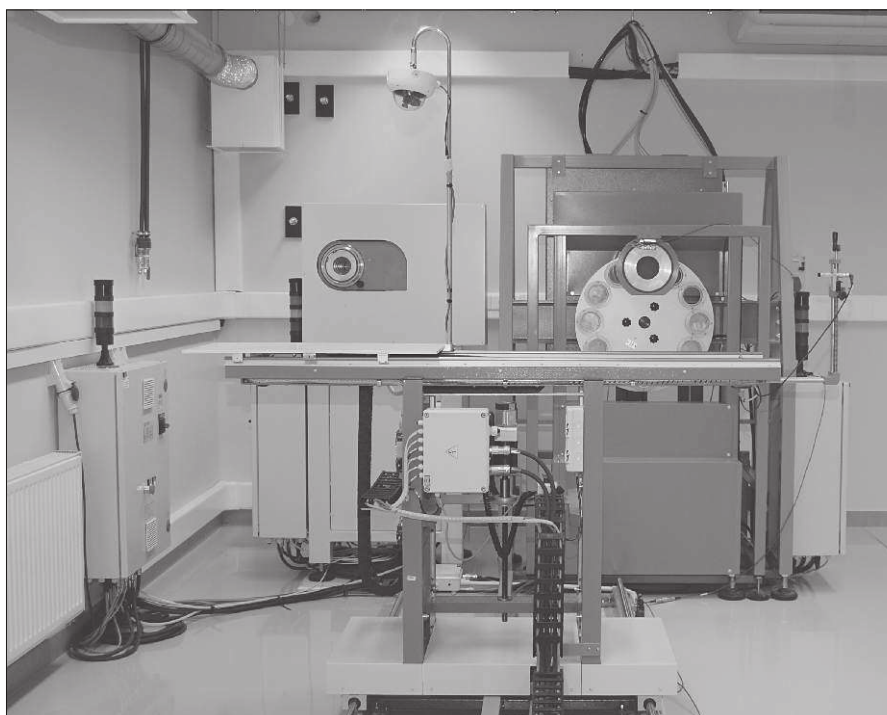
Zaplecze aparaturowe oraz stosowane procedury badawcze GIG są stale rozwijane w celu ich dostosowania do zmieniających się wymagań zewnętrznych. Dzięki pozyskaniu funduszy w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007-2013, Priorytet 2. Infrastruktura sfery B+R, Działanie 2.1. Rozwój ośrodków o wysokim potencjale badawczym, na realizację projektu „Modernizacja zaplecza badawczego wykorzystywanego podczas rewitalizacji terenów zdegradowanych działalnością przemysłową” rozbudowano i unowocześniono bazę aparaturową Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG w obszarach istotnych ze względu na prowadzenie monitoringu zagrożenia ra-

diacyjnego, jak i możliwości prowadzenia badań podstawowych oraz prac badawczo-rozwojowych.

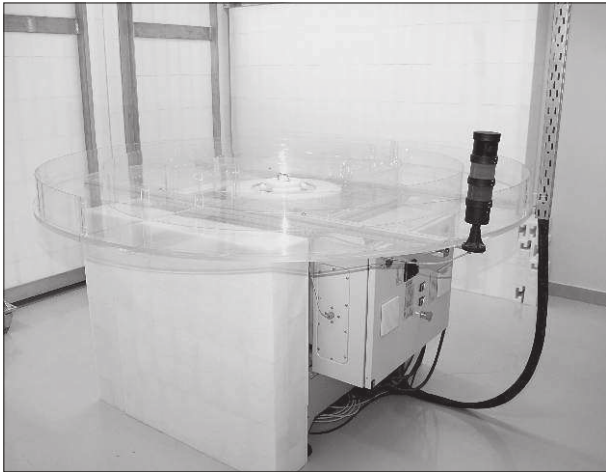
Instalacje wytwarzające promieniowanie jonizujące

W rezultacie przeprowadzonej modernizacji GIG w znacznym stopniu poszerzyło swoje możliwości w zakresie kontrolowanej ekspozycji materiałów doświadczalnych oraz wzorcowania aparatury do pomiarów promieniowania jonizującego. W podziemiach nowego budynku laboratorium, w pomieszczeniach zapewniających odpowiednią osłonność, zainstalowane zostało następujące wyposażenie:

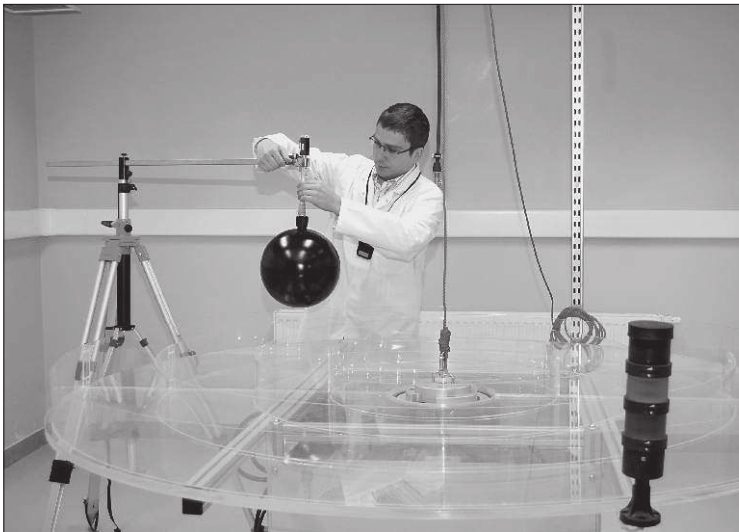
- Urządzenie IM6/M-2 (fot. 1) przeznaczone do wytwarzania skolimowanej wiązki promieniowania gamma wyposażone w źródła Cs-137 o aktywności 100 Ci, 1 Ci i 0,01 Ci (3700 GBq, 37 GBq, 0,37 GBq). Odległość napromieniowywanego obiektu od źródła można zmieniać płynnie w zakresie do 4 m. Moc kermy promieniowania gamma wynosi do 0,3 Gy/h w odległości 1 m od źródła.
- Aparat rentgenowski XCS-320-ST/X-RAY CAL (fot. 1) przeznaczony do wytwarzania skolimowanej wiązki promieniowania X wyposażony w ceramiczną lampę pracującą przy napięciach do 320 kV, wyposażony w zestaw filtrów zgodnych z normą ISO 4037, przeznaczonych do modyfikowania wiązki promieniowania. Odległość napromieniowywanego obiektu od lampy



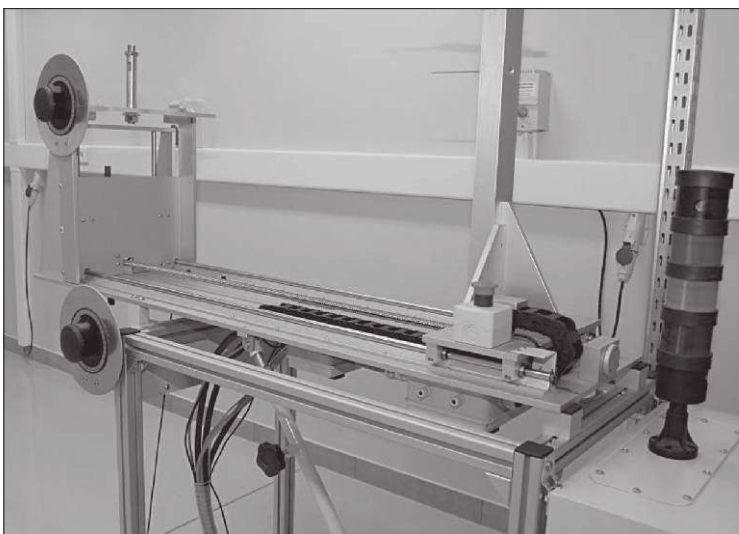
Fot. 1. Instalacja do wytwarzania skolimowanej wiązki promieniowania gamma IM6/M-2 (lewa strona) oraz aparat rentgenowski XCS-320-ST/X-RAY CAL (320 kV) z założonymi filtrami (prawa strona). Obydwa urządzenia są obsługiwane przez wspólną ławę kalibracyjną przeznaczoną do pozycjonowania napromieniowywanych obiektów (Canberra-Packard, USA oraz TEMA, Włochy)



Fot. 2. Urządzenie IN1/P SP/BOT/R-2 przeznaczone do panoramicznego napromieniowywania obiektów promieniowaniem neutronowym (Canberra-Packard, USA oraz TEMA, Włochy)



Fot. 3. Urządzenie IM1/P SP/BOT/R-2 przeznaczone do panoramicznego napromieniowywania obiektów promieniowaniem gamma (Canberra-Packard, USA oraz TEMA, Włochy)



Fot. 4. Urządzenie IB1/P przeznaczone do napromieniowywania obiektów promieniowaniem beta (Canberra-Packard, USA oraz TEMA, Włochy)

można zmieniać płynnie w zakresie do 4 m. Dla niefiltrowanej wiązki promieniowania moc kermy wynosi 7 Gy/h w odległości 1 m od ogniska lampy.

- Urządzenie IN1/P SP/BOT/R-2 (fot. 2) przeznaczone do panoramicznego napromieniowywania obiektów promieniowaniem neutronowym wytwarzanym przez źródło $^{241}\text{AmBe}$ o aktywności 1 Ci (37 GBq). Stanowisko umożliwi napromieniowywanie obiektów usytuowanych w odległościach od 0,3 m do 1 m. W odległości 1 m od źródła moc dawki wynosi 30 Sv/h.
- Urządzenie IM1/P SP/BOT/R-2 (fot. 3) przeznaczone do panoramicznego napromieniowywania obiektów promieniowaniem gamma wytwarzanym przez źródło ^{137}Cs o aktywności 0,05 Ci (1,85 GBq). Stanowisko umożliwi napromieniowywanie obiektów usytuowanych w odległościach od 0,3 m do 1 m. W odległości 1 m od źródła moc kermy promieniowania gamma wynosi 150 $\mu\text{Gy/h}$.

- Urządzenie IB1/P (fot. 4) przeznaczone do napromieniowywania obiektów promieniowaniem beta wytwarzanym przez źródło ^{90}Sr o aktywności 0,05 Ci (1,85 GBq) i znajdujące się w równowadze ^{90}Y . Położenie napromieniowywanego obiektu można płynnie zmieniać w zakresie do 1 m od źródła. W odległości 10 cm, 30 cm i 50 cm od źródła moc dawki wynosi ok. 3100 mSv/h, 210 mSv/h i 50 mSv/h odpowiednio.

Ze względu na możliwość wytwarzania w pracowni, przez instalacje promieniowania jonizującego, zagrażającego życiu i zdrowiu wszystkie urządzenia sterowane są zdalnie z odrębnego pomieszczenia (fot. 5) oraz opracowano system bezpieczeństwa, na który składają się następujące elementy:

- lokalizacja pomieszczeń pod ziemią i kierowanie najbardziej intensywnych wiązek promieniowania jonizującego pod powierzchnię gruntu,
- ściany z półmetrowej warstwy betonu barytowego o gęstości $3,3 \text{ g/cm}^3$ i wyposażenie wejść w drzwi zawierające 5 cm warstwę ołowiu,
- wyposażenie instalacji we własne osłony pozwalające personelowi na przebywanie w ich pobliżu, jeśli instalacje są wyłączone i źródła nie znajdują się w pozycji roboczej,
- obserwacja pomieszczeń, w których zlokalizowane są instalacje do wytwarzania promieniowania jonizującego przez system kamer,



Fot. 5. Pomieszczenie kontrolne

- łączność telefoniczna z każdym pomieszczeniem,
- ustawienie pracy systemu w tryb uniemożliwiający włączenie instalacji i przesyłanie źródeł do pozycji roboczej przy otwartych drzwiach osłonnych, a w przypadku otwarcia drzwi podczas pracy instalacji, jej automatyczne przerwanie,
- możliwość wyłączenia działającego urządzenia, przez osobę znajdującą się w pobliżu, z pomocą przycisków awaryjnego przerywania ich pracy, umieszczonych wewnątrz pomieszczeń na ścianach lub przy samych instalacjach,
- rozlokowanie w pobliżu źródła promieniowania neutronowego ekranów osłonnych zbudowanych z polietylenu wzbogaconego w bor,
- wyposażenie osób przebywających w pomieszczeniach w elektroniczne dawkomierze indywidualne pozwalające na bieżącą kontrolę stanu zagrożenia radiacyjnego.

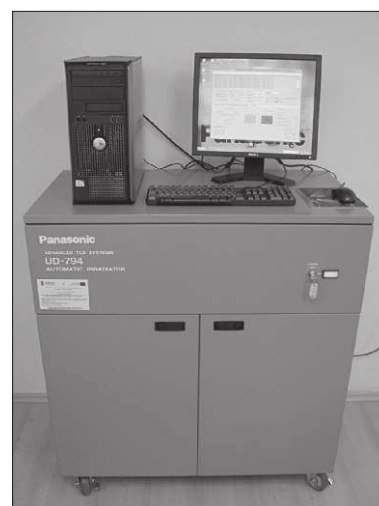
Pracownia dozymetrii

Funkcjonująca w Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG pracownia dozymetrii indywidualnej i środowiskowej zaangażowana do tej pory głównie w prace usługowe na rzecz górnictwa (pomiar dawek gamma, stężenia krótkożyciowych produktów rozpadu radonu w powietrzu kopalnianym) oraz własne prace badawcze została przystosowana do prowadzenia wielkoskalowych pomiarów dawek promieniowania rentgenowskiego, gamma, neutronowego i beta. Pracownia została wyposażona w automatyczny czytnik (Panasonic) kart przeznaczony do wielkoskalowych pomiarów dawek od promieniowania rentgenowskiego, gamma, neutronowego i beta. Czytnik umożliwia dokonywanie odczytu: do 500 dawkomierzy/4 godziny (fot. 6). Dla dawkomierzy UD-802, które są elementem tego systemu, przeznaczonych do pomiaru ekspozycji w mieszanych polach promieniowania limit detekcji wynosi $1 \mu\text{Gy}$ dla poziomu istotności 5% i promieniowania gamma. Automatyczny czytnik

do detektorów TLD firmy Harshaw oraz urządzenia do kalibrowania detektorów dopełniają wyposażenie pracowni. Z pomocą czytnika Harshaw są dokonywane odczyty między innymi dawkomierzy Gamma-31 przeznaczonych do oceny ekspozycji na promieniowanie gamma. W tym przypadku limit detekcji wynosi $0,5 \mu\text{Gy}$ dla poziomu istotności 5%. Potencjał ten umożliwi monitorowanie dawek w różnych dziedzinach badań i gałęziach przemysłu, w tym w energetyce jądrowej.

Badania skażeń promieniotwórczych

Pracownia spektrometrii gamma została przeniesiona do podziemnej części nowego budynku laboratorium, w którym ściany wykonano z półmetrowej warstwy betonu barytowego o gęstości $3,3 \text{ g/cm}^3$, o średniej zawartości naturalnych nuklidów promieniotwórczych nie przekraczających 10 Bq/kg . Dodatkowo, w celu obniżenia tła dla naturalnych nuklidów promieniotwórczych pomieszczenie wyposażono w system wentylacji mechanicznej o wydajności gwarantującej ograniczenie narastania produktów rozpadu radonu. Sześć spektrometrów promieniowania gamma, w które wyposażona jest pracownia umożliwia pomiar stężeń izotopów emitujących promieniowanie gamma w bardzo szerokim spektrum energetycznym, praktycznie od 5 keV . Stosowane w spektrometrach detektory germanowe: koaksjalne n-Type, p-Type, BEGe, XtR oraz well-type z aktywną osłoną antykoincydencyjną „Annulus” (Tabela 1) umożliwiają zarówno szybkie pomiary próbek o dużej zawartości nuklidów promieniotwórczych, jak i precyzyjne pomiary stężeń śladowych, również w próbkach materiałów biologicznych i innych, o ograniczonej dostępności przy bardzo niskim limicie detekcji.



Fot. 6. Stanowisko dozymetryczne: zestaw do wielkoskalowych pomiarów dawek promieniowania rentgenowskiego, gamma, neutronowego i beta

Tabela 1. Parametry techniczne detektorów półprzewodnikowych

Detektor	Zakres energet. [keV]	Tło [cps]	Wydajność względna [%]	Typ/Wyposażenie
coaxial	40 – 2000	1,11	30	n – type
coaxial	50 – 2000	2,16	44	p – type
BEGe	20 – 2000	1,28	34	ISOCS & LabSOCS
BEGe	20 – 2000	1,19	50	n – type
Well-type	10 – 2000	0,35	50	Aktywna osłona antykoincydencyjna „Annulus”
XtRa	5 – 2000	1,4	40	ISOCS & LabSOCS

Na przykład dla Cs-137 jest to 0,02 Bq. Dla pozostałych detektorów limity detekcji wynoszą od 0,1 Bq dla Cs-137 do ok. 2 Bq dla Pb-210. Czas pomiaru dostosowuje się do aktywności nuklidów promieniotwórczych i ich rodzaju. W ramach modernizacji pracownia została wyposażona w przenośny spektrometr INSPECTOR 2000 oraz nowy detektor BEGe o wydajności względnej 50%. Wszystkie detektory zostały umieszczone w domkach osłonnych wykonanych z ołowiu o niskiej zawartości izotopu Pb-210 o grubości ścianek 10 i 15 cm.

Pracownia izotopowa klasy II została wyposażona w nowoczesne urządzenia pomocnicze, między innymi automatyczną wyparkę umożliwiającą załadunek próbek wód środowiskowych i pitnych o dużej objętości początkowej, urządzenie do elektrodepozycji oraz urządzenia do mineralizacji próbek. W pracowni radiochemicznej prowadzona jest wstępna preparatyka próbek przeznaczonych do pomiarów metodami:

- spektrometria alfa: cztery detektory alfa typu PIPS w komorach próżniowych, system Canberra-Packard, USA. Warstwa aktywna stosowanych detektorów ma grubość ok. 140 μm , co pozwala na analizę spektrometryczną cząstek alfa o energii od 3 MeV do 15 MeV;

- spektrometria ciekłoscintylacyjna: dwa zautomatyzowane niskotłowe spektrometry na ciekłe scyntylatory Quantulus (PerkinElmer, USA) z aktywną osłoną antykoincydencyjną oraz możliwością rozdzielania cząstek alfa i beta do pomiarów stężeń izotopów w powietrzu, wodzie i roślinach;
- system kontroli stężenia radonu w powietrzu oparty na metodzie detektorów śladowych (Radosys, Węgry), przeznaczony do pomiarów długotrwałych (3 miesiące i więcej). Przy czasie ekspozycji równym 3 miesiące można mierzyć za pomocą tego typu detektorów stężenia radonu ^{222}Rn powyżej 10 Bq/m³. Do odczytu detektorów używa się automatycznego mikroskopu optycznego.

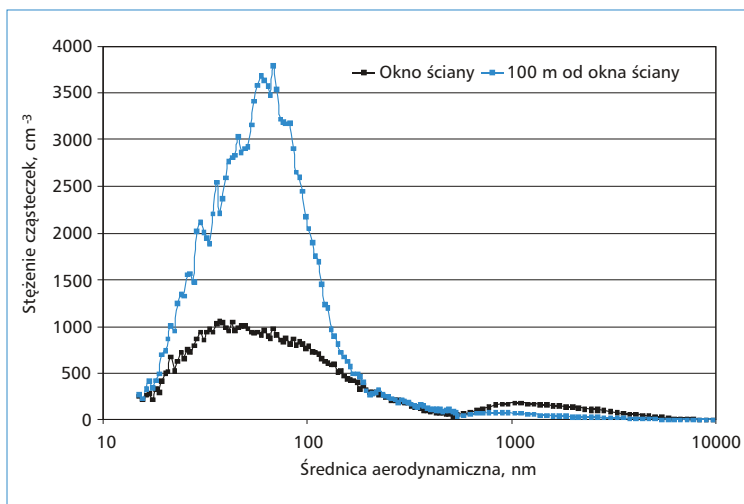
Pracownia aerozoli

Spektrometry cząstek SMPS oraz APS (TSI, USA) umożliwiają prowadzenie badań aerozoli w szerokim zakresie od 4 nm do około 20 μm (fot. 7). Dzięki dodatkowemu wyposażeniu w rozcieńczacze i kondycjonowanie próbki, możliwe jest zastosowanie tych technik pomiarowych w środowisku o bardzo dużej koncentracji cząsteczek, w tym bezpośrednio w strumieniach spalin. Generatory aerozoli pozwalają wytworzyć monodispersyjne aerozole od 10 nm do 100 μm . Oprócz zastosowań czysto badawczych, takich jak badanie zachowania się aerozoli lub nadanie układów filtracyjnych, generatory mogą służyć również do testowania spektrometrów cząstek i ich wzorcowania.

Istotnym uzupełnieniem wyposażenia pracowni jest komora klimatyczna (fot. 8). Parametry komory: objętość około 17 m³, zdalne sterowanie i kontrolowanie temperatury i wilgotności względnej w zakresie od -30°C do +50°C i 10-90% (Feutron, Niemcy, 2008). Komora wyposażona jest w śluzy osobowe, towarowe, obserwacyjny wizjer oraz przepusty przeznaczone do podawania z zewnątrz aerozoli. Wykorzystując posiadane źródła promieniowania



Fot. 7. Urządzenia do badania zanieczyszczeń i składu aerozolowego powietrza



Rys. 1. Pomiar rozkładu ziarnowego w kopalni

można uzyskać w komorze stężenia radonu Rn-222 do 15 kBq/m³.

Wyposażenie pracowni aerozoli w połączeniu z pozostałymi możliwościami pomiarowymi GIG umożliwia prowadzenie badań aerozoli promieniotwórczych zarówno pochodzenia naturalnego jak antropogenicznego w kontrolowanych warunkach klimatycznych. Możliwość wytworzenia atmosfery o kontrolowanym stężeniu radonu i produktów jego rozpadu są wykorzystywane do testowania mierników stężenia radonu oraz stężenia energii potencjalnej alfa.

Magazyn izotopów

Magazyn izotopów spełnia wymagania ochrony radiologicznej, dotyczące przechowywania źródeł promieniotwórczych. Źródła umieszczone są w stalowo-ołowianych silosach, zamykanych ołowianymi pokrywami. Mechaniczny system podnoszenia pokryw (fot. 9) zapewnia bezpieczną i łatwą obsługę magazynu. Pojemność silosów, projektowana i uzyskana osłonność oraz system kontroli dostępu i kontroli fizycznej umożliwia przechowywanie wysokoaktywnych źródeł promieniotwórczych.

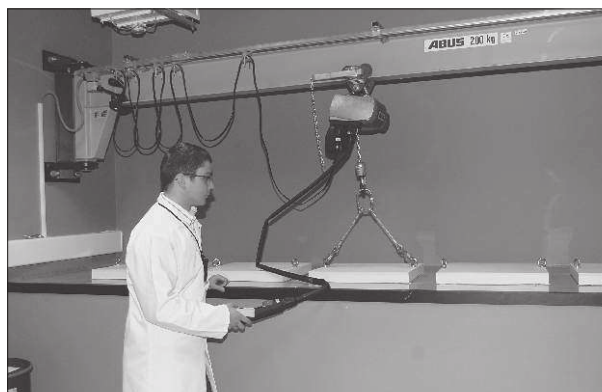


Fot. 8. Komora radonowa

Podsumowanie

Nowoczesne zaplecze Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej Głównego Instytutu Górnictwa pozwala na realizację zadań dostosowanych do rosnących wymagań nauki i przemysłu. Nabyta biegłość pomiarowa i ponad 25-letnie doświadczenie zespołu pracowników w badaniu różnych aspektów promieniotwórczości mogą być elementem bardzo istotnym w programie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Zarówno na pierwszym etapie wdrażania, polegającym na ocenie stanu zerowego skażeń radiologicznych dla wybranych lokalizacji elektrowni jądrowej i składowiska odpadów promieniotwórczych, jak i późniejszym, związanym z rutynowym monitoringiem wpływu energetyki jądrowej na szeroko rozumiane środowisko. Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG jest jednym z niewielu w Polsce ośrodków, które dzięki wdrożonym metodom pomiarowym, są w stanie prowadzić kompleksowy monitoring skażeń promieniotwórczych zarówno w sytuacji awaryjnej, jak i normalnej. Unowocześnienie zaplecza sprawiło, że GIG jest jednostką w pełni przygotowaną do realizowania zadań w szeroko rozumianym zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej. Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej GIG posiada szerokie doświadczenie i potencjał w zakresie kontroli zagrożeń związanych z występowaniem podwyższonej naturalnej promieniotwórczości. Problemy powodowane występowaniem podwyższonej naturalnej promieniotwórczości pozostają w cieniu działań techniczno-organizacyjnych i prawnych związanych z planowanym rozwojem energetyki jądrowej, ale faktycznie są źródłem większości zdarzeń radiacyjnych zgłaszanych do Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR).

dr hab. inż. Małgorzata Wysocka, prof. GIG,
dr hab. Bogusław Michalik, prof. GIG,
dr Krystian Skubacz,
Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej,
Główny Instytut Górnictwa, Katowice



Fot. 9. Magazyn izotopów

zdjęcia z archiwum Śląskiego Centrum Radiometrii Środowiskowej Głównego Instytutu Górnictwa