



METROLOGIA

Biuletyn Informacyjny Głównego Urzędu Miar

Nr 1(12)

marzec 2009



W bieżącym numerze:

<i>Omówienie raportu Międzynarodowego Biura Miar za rok 2008</i> – W. T. Chyla.....	3
<i>Państwowy wzorzec jednostki miary pojemności elektrycznej</i> – R. Rzepakowski.....	13
<i>Państwowy wzorzec jednostki miary aktywności promieniotwórczej</i> <i>radionuklidów – T. Dziel, R. Broda.....</i>	19
<i>Metrologia polska w świetle wyzwań stawianych metrologii</i> <i>europejskiej – D. Sochocka</i>	28
<i>Letnia Szkoła Metrologii – M. Mosiądz.....</i>	37
<i>Międzynarodowe Targi Analityki i Technik Pomiarowych</i> <i>EuroLab 2009</i>	38
<i>Harmonogram Seminariów Głównego Urzędu Miar w 2009 roku</i>	39

OMÓWIENIE RAPORTU MIĘDZYNARODOWEGO BIURA MIAR ZA ROK 2008

Dyrektor Międzynarodowego Biura Miar (BIPM), prof. Andrew Wallard, przedstawił coroczny raport z działalności BIPM za rok ubiegły oraz zarys planów badawczych na najbliższe lata. Poniżej omówiono najważniejsze zagadnienia przedstawione w powyższym raporcie.

Sprawy organizacyjne

Liczba państw członkowskich BIPM, która nie zmieniała się przez kilka ostatnich lat, wzrosła w grudniu 2008 r. wraz z akcesją Kazachstanu i wynosi obecnie 52. Należy spodziewać się, że liczba państw członkowskich będzie dalej wzrastać, ponieważ negocjacje z kilku innymi państwami przebiegają bardzo sprawnie. W roku 2008 status państw stowarzyszonych Generalnej Konferencji Miar (CGPM) uzyskały Boliwia i Gruzja. Tym samym liczba państw i organizacji stowarzyszonych z CGPM zwiększyła się do 27.

Na 97. posiedzeniu Międzynarodowego Komitetu Miar (CIPM), w październiku 2008 r., rozpoczęło pracę trzech nowych członków Komitetu. Na tym samym posiedzeniu CIPM zaaprobował powstanie nowej regionalnej organizacji metrologicznej AFRIMETS, która reprezentuje cały kontynent afrykański. W wyniku tej decyzji kilka krajów regionu afrykańskiego wyraziło zamiar ubiegania się o członkostwo BIPM lub status członka stowarzyszonego CGPM. Podobne zainteresowanie przejawia również kilka państw regionu Zatoki Perskiej, zaś kontakty w tej sprawie są nawiązywane poprzez Komitet Wspólny ds. Regionalnych Organizacji Metrologicznych i BIPM (JCRB).

Z uwagi na ograniczenia budżetowe i zgodnie z zaleceniem 23. konferencji CGPM, ostatnie posiedzenie CIPM było w znacznej mierze poświęcone określeniu priorytetów naukowych na lata 2009 – 2012. Zdecydowano, iż priorytetem badawczym BIPM będzie redefinicja kilku podstawowych jednostek układu SI, a w szczególności redefinicja i realizacja jednostki masy przy użyciu wagi Watta.

W czerwcu 2008 r. Parlament Republiki Francuskiej ratyfikował porozumienie między BIPM-em a rządem Francji, dotyczące kwestii formalno-prawnych związanych z usytuowaniem siedziby BIPM na terenie Francji. Strony porozumienia uznają m.in., iż właściwym do rozstrzygania ewentualnych sporów pracowniczych w BIPM jest Międzynarodowy Trybunał Administracyjny Międzynarodowej Organizacji Pracy (ILO); podobnie rozwiązanie przyjęły już wcześniej inne organizacje międzynarodowe.

Finanse

Ambitny program badawczy na najbliższe lata stawia BIPM przed niełatwym problemem sfinansowania zaplanowanych prac. W pierwszej kolejności odpowiednie finansowa-

nie otrzymają priorytetowe programy naukowe. Niektóre sfery bieżącej działalności będą jednak musiały być ograniczone, a część programów zaplanowanych przez CGPM na lata 2009–2012 zostanie przesunięta na lata 2013–2016. Zaproponowane zmiany będą przedłożone do zaakceptowania na konferencji CGPM w roku 2011. Przykładowo, zamknięta zostanie produkcja komórek jodowych używanych do stabilizacji laserów, które są stosowane m.in. w grawimetrii. BIPM zapewni jednak alternatywne źródło dostaw tych elementów. Zakończone zostaną niektóre projekty w dziedzinie elektryczności, promieniowania jonizującego i metrologii gazów.

Konieczność ograniczenia wydatków nie dotknie kadr BIPM. Odejścia na emeryturę będą uzupełniane nowymi pracownikami. Planowane jest wzmocnienie kadrowe personelu BIPM przez przyjęcia na staże podoktorskie, zatrudnianie pracowników na krótkoterminowych kontraktach oraz czasowe delegowane do pracy w BIPM specjalistów z niektórych krajowych instytucji metrologicznych (NMI). W szczególności, powiększony zostanie zespół pracujący nad wagą Watta, która jest wiodącym zadaniem badawczym realizowanym obecnie przez BIPM.

Kierownictwo BIPM czyni starania, aby zminimalizować wpływ ograniczeń finansowych na takie obszary swej odpowiedzialności jak wymiana informacji, transfer wiedzy technicznej, łączność z instytucjami naukowymi oraz z międzynarodowymi organizacjami rządowymi i międzyrządowymi, pomimo iż ta sfera działalności pochłania znaczną część budżetu BIPM.

Poczynione oszczędności ułatwią sprostanie najpoważniejszym wyzwaniom stojącym obecnie przed BIPM. Pomimo niełatwej sytuacji budżetowej, kierownictwo BIPM widzi możliwość sfinansowania wszystkich priorytetowych programów badawczych. Ten optymistyczny wniosek wynika ze zbilansowania potrzeb BIPM z szacowanymi wpływami. Głównym źródłem finansowania BIPM pozostają składki państw członkowskich i opłaty za wykonywane usługi, ale cenna jest również pomoc dobrowolnie zaoferowana przez niektóre NMI. BIPM rozważa również możliwość dofinansowania niezbędnych projektów infrastrukturalnych i inwestycyjnych ze środków rezerwowych.

Działalność szkoleniowa i przekaz informacji

W lipcu 2008 r. BIPM zorganizował już po raz drugi letnią szkołę metrologii (*Second BIPM Metrology Summer School*), która cieszyła się ogromnym powodzeniem i była bardzo wysoko oceniona przez uczestników. W ciągu dwu tygodni 90. młodych metrologów z 30. krajów wzięło udział w 45. wykładach i warsztatach szkoleniowych. Wykładowcami byli głównie eksperci z krajowych instytucji metrologicznych oraz zaproszeni goście specjalni, w tym trzech laureatów nagrody Nobla.

W październiku 2008 r. Sekcja Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii BIPM zorganizowała warsztaty szkoleniowe w zakresie stosowania układu odniesienia związanego z Ziemią. Szczególną uwagę poświęcono problemom wynikającym z niejednostajnego obrotu Ziemi. Pracownicy tej Sekcji prezentują wyniki swych prac badawczych na licznych konferencjach naukowych oraz wygłaszają wykłady na zaproszenia z laboratoriów wielu krajów.

W kwietniu 2008 r. Sekcja Chemii BIPM, we współpracy z innymi organizacjami międzynarodowymi, zorganizowała warsztaty szkoleniowe w zakresie metod pomiaro-

wych i niepewności pomiaru. Uczestnikami warsztatów byli delegaci instytucji rządowych uczestniczący w szkoleniu na temat procedur analitycznych i metod pobierania próbek. W październiku 2008 r. Sekcja Chemii oraz US Pharmacopeia zorganizowała bardzo udane warsztaty szkoleniowe w zakresie pomiarów w dziedzinie szeroko pojętej ochrony zdrowia.

Pod koniec 2007 r. Komitet Wspólny ds. Spójności w Medycynie Laboratoryjnej (JCTLM), we współpracy z NIM i NIST, zorganizował w Pekinie sympozjum na temat spójności pomiarowej, wzorcowania i normalizacji w medycynie laboratoryjnej. Baza danych prowadzona przez JCTLM (www.bipm.org/jctlm/) cieszy się niezmiennie wielkim zainteresowaniem, odnotowując średnio ok. 1300 połączeń miesięcznie.

W związku z Igrzyskami Olimpijskimi w Pekinie, Dzień Metrologii w roku 2008 przebiegał pod hasłem „Nie ma igrzysk bez pomiarów”. Obchody Dnia Metrologii cieszyły się ogromnym zainteresowaniem w świecie, czego dowodzi np. przetłumaczenie przesłania Dyrektora BIPM na 28 języków i rozpowszechnienie 84. wersji językowych plakatów okolicznościowych. Była to doskonała promocja metrologii na całym świecie. Obecnie prowadzone są prace nad przygotowaniem obchodów Dnia Metrologii w roku 2009, które promować będą związek metrologii i handlu, a w tym kontekście zbliżający się jubileusz dziesięciolecia podpisania umowy o wzajemnym uznawaniu wzorców jednostek miar i świadectw pomiarowych, CIPM MRA, który ma kluczowe znaczenie w usuwaniu technicznych barier w handlu międzynarodowym.

Prace Komitetów Wspólnych

Prace Komitetu Wspólnego ds. Przewodników w Metrologii (JCGM)

W roku 2008 sfinalizowano prace nad trzecim wydaniem międzynarodowego słownika terminów metrologicznych VIM (*International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms*), które zostało już zatwierdzone przez BIPM. Wersja elektroniczna tej publikacji została udostępniona na stronie internetowej BIPM jako dokument JCGM 200:2008. Zasadnicze zmiany w nowym wydaniu VIM, w stosunku do wydania poprzedniego, dotyczą niepewności pomiaru. Odchodzenie od pojęcia błędu na korzyść pojęcia niepewności pomiaru wymagało ponownego przemyślenia terminologii związanej z tą problematyką. Praca nad nowym wydaniem Słownika dała również sposobność uwzględnienia wielu terminów ważnych w metrologii chemicznej.

Grupa robocza ds. niepewności pomiaru ukończyła w ubiegłym roku pracę nad pierwszym Suplementem do GUM (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*), który zaleca stosowanie metody Monte Carlo przy obliczaniu niepewności pomiaru. Suplement ten został już formalnie zaakceptowany przez BIPM i jest udostępniony na stronie internetowej jako dokument JCGM 101:2008.

Ze względu na szybki rozwój metrologii, ukończenie prac nad obu dziełami zamyka jedynie kolejny etap pracy nad tymi publikacjami. Na spotkaniu komitetu JCGM w grudniu 2008 r. podjęto decyzję rozpoczęcia zakrojonych na kilka lat prac nad przeglądem, uaktualnieniem i dostosowaniem do nowych potrzeb ostatnich wersji obu przewodników. JCGM powołał również nową grupę roboczą ds. oprogramowania metrologicznego.

Prace Komitetu Wspólnego ds. Spójności Pomiarowej w Medycynie Laboratoryjnej (JCTLM)

Na posiedzeniu Komitetu Wykonawczego JCTLM w grudniu 2008 r. przedyskutowano wyniki prac grupy roboczej pracującej nad poprawkami do normy ISO 15194, dotyczącej wymagań stawianych materiałom odniesienia w diagnostyce medycznej oraz grupy roboczej analizującej zapisy normy ISO 15193, dotyczącej procedur odniesienia stosowanych w diagnostyce medycznej i badaniach próbek pochodzenia biologicznego. Rozpatrzono również normę ISO 15195 z punktu widzenia potrzeby przyspieszenia procesu akredytacji laboratoriów pomiarowych pracujących na rzecz medycyny laboratoryjnej.

Na warsztatach towarzyszących posiedzeniu Komitetu Wykonawczego omawiano krajowe i międzynarodowe systemy zapewnienia spójności pomiarowej. W dyskusji stwierdzono konieczność poświęcenia większej uwagi spójności pomiarowej w medycynie laboratoryjnej i medycynie klinicznej.

Prace Komitetu Wspólnego BIPM i Regionalnych Organizacji Metrologicznych (JCRB)

Jednym z głównych przedmiotów zainteresowania JCRB jest umowa międzynarodowa CIPM MRA, ze względu na wielką rolę jaką ten układ odgrywa w usuwaniu barier technicznych w handlu międzynarodowym. Miarą znaczenia tego układu jest liczba jego sygnatariuszy, która w ubiegłym roku wzrosła do 74 (45 państw członkowskich Konwencji Metrologicznej, 27 członków stowarzyszonych CGPM oraz 2 organizacje międzynarodowe). Do CIPM MRA przystąpiły również 122 Instytuty Desygnowane.

Warunkiem sprawnego funkcjonowania CIPM MRA jest zachowanie spójności pomiarowej. Dlatego nie tylko instytucje akredytujące, ale i inne zainteresowane strony zwracają uwagę na stopień równoważności między realizacjami jednostek układu SI w poszczególnych laboratoriach badawczych. BIPM promuje przede wszystkim spójność pomiarową z pierwotnymi realizacjami jednostek układu SI. Ze spójnością pomiarową ściśle związane są porównania kluczowe, których wyniki znajdują się w Bazie Danych Porównań Kluczowych (KCDB). Biuletyn KCDB, wydawany przez BIPM, ma znaczenie zarówno informacyjne jak i promocyjne, przyczyniając się do wzrostu wzajemnego zaufania między wszystkimi zainteresowanymi stronami, co pomaga eliminować powtarzanie badań i redukuje ich koszt. W bazie danych zawierającej zdolności wzorcowania i zdolności pomiarowe (CMC) znajduje się już ponad 20 tys. wpisów. Wspomnijmy, że wraz z porozumieniem między CIPM i ILAC (*Międzynarodowa Współpraca ds. Akredytacji Laboratoriów*) w sprawie wspólnej definicji CMC, pojęcie to zastąpiło pojęcie Najlepszej Zdolności Pomiarowej (*BMC – Best Measurement Capability*), które było stosowane przez instytucje akredytujące przez wiele lat.

W ubiegłym roku CIPM przyjął dwa ważne dokumenty. Jeden z nich dotyczy kwestii stosowania CIPM MRA, zaś drugi odnosi się do procedur CMC w kontekście CIPM MRA. Oba te dokumenty są udostępnione na stronie internetowej BIPM (www.bipm.org/en/cipm-mra/documents/).

Współpraca BIPM z innymi organizacjami międzynarodowymi

Mając przeświadczenie o skuteczności wspólnego działania, BIPM nawiązuje współpracę merytoryczną i organizacyjną z innymi wyspecjalizowanymi organizacjami między-

narodowymi. W kwestii spójności pomiarowej w dziedzinie nowych materiałów i technologii BIPM współpracuje z VAMAS (*Versailles Project on Advanced Materials and Standards*). Niezwykle ważny dla rozwoju handlu problem wzmocnienia struktury metrologicznej w krajach rozwijających się jest rozwiązywany wspólnie z UNIDO (*United Nations Industrial Development Organization*) z wykorzystaniem środków finansowych udostępnianych przez tę organizację.

Metrologiczne aspekty pomiarów meteorologicznych i monitorowanie zmian klimatycznych stanowi przedmiot współpracy BIPM z WMO (*World Meteorological Organization*). Pomimo, iż WMO nie dysponuje własnymi laboratoriami, organizacja ta wyraża wolę przystąpienia do CIPM MRA. Obecnie wypracowywana jest formuła prawna, która ma to umożliwić. BIPM i WMO planują zorganizowanie w roku 2010 konferencji, której tematem będzie metrologia i zmiana klimatu.

Układ jednostek miar SI

BIPM prowadzi intensywne prace nad redefinicją kilku jednostek układu SI. Kwestia redefinicji dotyczy przede wszystkim jednostki masy, kilograma. W opinii Komitetu Doradczego ds. Jednostek (CCU), ewentualna redefinicja jednostki masy, wiążąca kilogram ze stałą Plancka h i realizacja tej jednostki za pomocą wagi Watta jest bardziej perspektywiczna niż redefinicja jednostki masy w oparciu o stałą Avogadro N_A i realizacja tej jednostki przy użyciu kuli krzemowej. Jednakże dotychczasowe wyniki prac badawczych nie dają jeszcze podstawy do ostatecznego przesądzenia, która z powyższych możliwości jest lepsza. Nowe wyniki, które są spodziewane w ciągu ok. jednego roku, zostaną ocenione przez CIPM z punktu widzenia możliwości redefinicji jednostki masy w przewidywalnym czasie i przedłożenia odpowiedniej rekomendacji dla CGPM.

Komitet Doradczy ds. Elektryczności i Magnetyzmu (CCEM) oraz Komitet Doradczy ds. Jednostek (CCU) przyjęły wspólne stanowisko, iż nowa definicja ampera powinna być oparta na ustalonej wartości elementarnego ładunku elektrycznego e .

Komitet Doradczy ds. Termometrii (CCT) pracuje nad redefinicją kelwina opartą na wartości stałej Boltzmanna k_B , której wartość planuje się wyznaczyć w ciągu najbliższych kilku lat ze znacznie większą dokładnością niż to jest obecnie możliwe.

Prace sekcji naukowych BIPM

Sekcja Masy

Naczelnym wyzwaniem stojącym obecnie przed BIPM jest nowa definicja jednostki masy i realizacja kilograma za pomocą wagi Watta. Sekcja Masy koordynuje całość prac konstrukcyjnych, a trzy osoby (z pięciu zatrudnionych w tej sekcji) poświęca znaczną większość swego czasu temu właśnie zagadnieniu. W pracach nad wagą Watta, Sekcja Masy ściśle współpracuje z Sekcją Elektryczności.

Projekt znany pod nazwą International Avogadro Coordination (IAC) ma na celu wykonanie wzorca jednostki masy w postaci kuli krzemowej. Sekcja Masy bierze udział w tym projekcie, ściśle współpracując z Komitetem Koordynacyjnym ds. Masy (CCM) oraz kilkunastoma NMI. Zarówno konstrukcja wagi Watta, jak i projekt kuli krzemowej są objęte programem iMERA-Plus EURAMET-u, co ułatwia sfinansowanie obu projektów.

Niepewność związana z przeniesieniem jednostki masy na wzorce niższego rzędu zależy od jakości użytego sprzętu. Dlatego Sekcja Masy prowadzi jednocześnie prace nad udoskonalonym komparatorem mas mogącym działać w atmosferze gazu szlachetnego, co wymaga np. zainstalowania manipulatorów rękawicowych.

Sekcja Masy kontynuuje wzorcowania prototypów kilograma i innych wzorców masy. Jednakże zauważono pewne niespodziewane zmiany w stosowanych wzorcach roboczych, w związku z czym czasowo zawieszono wydawanie świadectw wzorcowania (świadectw pomiarowych).

Na prośbę NPL, BIPM jest w trakcie badania nowej metody czyszczenia prototypów kilograma, z zastosowaniem promieniowania UV i ozonu. Aparat skonstruowany w NPL jest obecnie testowany w BIPM, a wyniki są analizowane przez dwie grupy zadaniowe ds. wzorców jednostki masy.

Spośród innych zadań wykonanych w ostatnim roku należy wymienić zainstalowanie automatu do zmiany mas w wadze pracującej w zakresie od 5 g do 100 g. Sekcja Masy BIPM opublikowała w ubiegłym roku pracę podającą sposób obliczania gęstości wilgotnego powietrza oraz sporządziła raport z porównania uzupełniającego dotyczącego wzorcowania ciśnienia w LNE.

Sekcja Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii

Sekcja Czasu systematycznie oblicza czas TAI (*Time Atomic International*) oraz UTC (*Universal Time Coordinated*), a wyniki są publikowane co miesiąc w Okólniku T (*Circular T*); dane te są wykorzystywane w porównaniach kluczowych. Stabilność czasu TAI (odchylenie Allana), wynikająca z uśrednienia miesięcznego, jest nie gorsza niż $0,4 \cdot 10^{-15}$ dzięki wykorzystaniu 12. pierwotnych wzorców częstotliwości, z których aż 8 to fontanny cezowe. Roczna względna poprawka do TAI wyniosła $-3,6 \cdot 10^{-15}$. W ciągu ostatniego półtora roku, czas TAI wykazuje stabilność rzędu 10^{-15} .

Od października 2007 r. trwa badanie nowych możliwości wykorzystania odbiorników GPS (*Global Positioning System*) do porównywania zegarów atomowych. W kwietniu 2008 r. rozpoczął się eksperyment pilotażowy z udziałem 25. laboratoriów. Porównania wyników uzyskiwanych z zastosowaniem różnych rozwiązań technicznych są na bieżąco publikowane w Internecie.

Rosyjskim odpowiednikiem systemu GPS jest GLONASS. Chociaż BIPM zakończył już wzorcowanie elementów systemu GLONASS we współpracy z VNIIM (NMI Rosji), to problematyka ta będzie jeszcze kontynuowana. Sekcja Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii współpracuje z VNIIM również w sprawie konstrukcji nowego grawimetru. Grawimetria, podobnie jak inne oddziaływania środowiskowe, jest istotna również w kontekście prac nad wagą Watta.

Sekcja Czasu współuczestniczy w pracach nad kondensatorem obliczeniowym (CC – *Calculable Capacitor*), gdzie interferometryczny pomiar długości odgrywa zasadniczą rolę. Współpracuje również z CCL (*Komitet Doradczy ds. Długości*) i CCTF (*Komitet Doradczy ds. Czasu i Częstotliwości*) w porównaniu kluczowym laserów stabilizowanych. W Sekcji wykonywane są także wzorcowania laserów oraz pomiary dla użytkowników wewnętrznych (z BIPM) i partnerów zewnętrznych.

Sekcja Elektryczności

Sekcja Elektryczności uczestniczy w kilku porównaniach kluczowych i międzynarodowych, które dotyczą zarówno pierwotnych, jak i wtórnych wzorców jednostki napięcia, oporu elektrycznego i pojemności elektrycznej (niektóre z porównań zostały już zakończone). Uczestnictwo w porównaniach z udziałem m.in. NIST, PTB i LNE pozwoli na weryfikację niepewności pomiarowych po dokonanych ostatnio zmianach kadrowych i modyfikacjach układów pomiarowych. Dotychczas otrzymane wyniki wykazują doskonałą zgodność przy bardzo małej niepewności pomiaru.

W dziedzinie pomiarów impedancji, znacznie zmniejszono niepewność związaną z przekazywaniem jednostki dzięki zmodyfikowaniu komparatora mostkowego. Sukcesem zakończyło się wdrożenie metody skorelowanych szeregów czasowych do opracowania wyników pomiarów. Zastosowanie tego rodzaju analizy statystycznej znacznie zmniejszyło niepewności związane z pomiarami mostkowymi w obecności korelacji czasowych.

Sekcja Elektryczności wykonuje liczne wzorcowania w zakresie napięcia, oporu i pojemności elektrycznej, szczególnie dla NMI tych krajów członkowskich, które nie posiadają jeszcze swych własnych wzorców pierwotnych danej jednostki miary.

Prace nad kondensatorem obliczeniowym (CC) prowadzone są we współpracy z NMI Australii. Obecnie testowany jest układ interferometryczny do pomiaru odległości między elektrodami tego kondensatora. Kondensator obliczeniowy będzie stanowić pierwotny wzorzec pojemności elektrycznej. Ponadto umożliwi on precyzyjne powiązanie jednostki pojemności i jednostki oporu elektrycznego. Kondensator obliczeniowy będzie również zastosowany do pomiaru stałej von Klitzinga $R_k = h/e^2$ z niepewnością względną rzędu 10^{-8} . Pomiar stałej von Klitzinga i stałej Josephsona $K_J = 2e/h$ z jak największą dokładnością jest bardzo istotny ze względu na powiązanie nowej definicji jednostki masy ze stałą Plancka poprzez iloczyn $R_k K_J^2 = 4/h$.

Powiększył się zespół osób pracujących nad elementami wagi Watta. Prace Sekcji Elektryczności, przebiegające w ścisłej kooperacji z Sekcją Masy, koncentrują się na konstrukcji magnesów, cewki indukcyjnej i wysoce stabilnego źródła prądu dla tego urządzenia. Wkrótce instalowana będzie izolacja całego urządzenia od drgań mechanicznych. W dalszej perspektywie planowana jest próba generalna działania wagi Watta w temperaturze pokojowej, a następnie w warunkach kriogenicznych.

Sekcja Promieniowania Jonizującego

Sekcja Promieniowania Jonizującego prowadzi prace nad wzorcowym źródłem promieniowania gamma (^{60}Co). Przyjęto nowe wartości kermy w powietrzu dla promieniowania emitowanego przez ^{60}Co . Badane są własności wnęk grafitowych, a w szczególności analizowane są zjawiska przepuszczalności, fluorescencji i rozpraszania promieniowania w szczelinie wnęki.

Ukończono konstrukcję kalorymetru do pomiaru dawki promieniowania absorbowanego w wodzie. Grupa Robocza ds. Dozymetrii Akceleratorowej zaproponowała najpierw przetestowanie tego urządzenia w LNE-LNHB (Francja), a następnie przeprowadzenie serii dwustronnych porównań z tymi NMI, które dysponują akceleratorami.

Sekcja Promieniowania Jonizującego współpracuje z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej w dziedzinie dozymetrii termoluminescencyjnej. W dziedzinie dozymetrii

mammograficznej badana jest stabilność wzorca pierwotnego w zakresie podwyższonych energii. W roku 2008, w dziedzinie dozymetrii przeprowadzono ogółem 6 porównań. BIPM pilotuje obecnie 2 porównania kluczowe w dziedzinie promieniowania jonizującego.

W ostatnich latach stwierdzono zmniejszanie się liczby NMI biorących udział w porównaniach dotyczących aktywności radionuklidów. Ze sprzętową pomocą NPL, Sekcja prowadzi program International Reference System (SIR), testując aktywność radionuklidów, m.in. $^{99}\text{Tc}^m$ i ^{85}Kr . Prowadzone są prace nad rozszerzeniem programu SIR na emiterzy promieniowania beta.

Sekcja Chemii

W związku z coraz szerszym zakresem badań w dziedzinie metrologii chemicznej, Sekcja Chemii staje przed coraz to nowymi wyzwaniami. Jednym z wiodących tematów jest metrologia gazów atmosferycznych. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się badania tych gazów, których zawartość w powietrzu jest przypisywana działalności człowieka i wiąże się ze zmianami klimatycznymi (efekt cieplarniany). Monitorowanie zawartości dwutlenku węgla, tlenków azotu i ozonu, zarówno w wymiarze globalnym, jak i lokalnym (obszary miejskie i przemysłowe) oraz w skali jednostkowej (analiza spalin) jest niezbędne do prowadzenia skutecznej ochrony środowiska naturalnego.

Metrologia gazów wymaga powszechnej dostępności gazowych materiałów odniesienia pełniących rolę wzorców pierwotnych (primary gas standards). W Sekcji Chemii przygotowano i opublikowano wyniki prac nad wzorcowymi materiałami odniesienia dla tlenku azotu (NO) oraz zakończono kolejny etap prac nad walidacją metody pomiaru stężenia dwutlenku azotu (NO_2) w systemie ciągłym.

Od 2007 r. trwa porównanie kluczowe dotyczące pomiarów stężenia ozonu, w którym osiem laboratoriów uczestniczy bezpośrednio, zaś dwa laboratoria uczestniczą w porównaniach za pośrednictwem swych regionalnych organizacji metrologicznych (RMO). Dwa państwowe wzorce odniesienia stosowane w tych porównaniach zostały skorygowane ze względu na błędy systematyczne. Kontynuowany jest program, którego celem jest budowa laserowego fotometru do pomiaru stężenia ozonu. Obecne konstrukcje dają wyniki pomiaru różniące się o mniej niż 5 % w stosunku do wyników otrzymanych za pomocą fotometru wykorzystującego lampę rtęciową.

Innym, szybko rozwijającym się działem metrologii chemicznej jest metrologia substancji organicznych, która koncentruje się na oznaczaniu czystości związków organicznych oraz badaniu zawartości określonych substancji w preparatach pochodzenia naturalnego. Sekcja Chemii, we współpracy z Komitetem Doradczym ds. Liczności Materii (CCQM), koordynuje porównania w dziedzinie oznaczania czystości próbek związków organicznych w celu uzyskania materiałów odniesienia do wzorcowania przyrządów pomiarowych. Największym współczesnym wyzwaniem stojącym przed metrologią chemiczną jest dziedzina analityki medycznej oraz zespół zagadnień pokrewnych, obejmujących oznaczanie wybranych, biologicznie czynnych substancji w preparatach pochodzenia naturalnego. Do tej samej grupy zagadnień należą pomiary w przemyśle farmaceutycznym i spożywczym. Sekcja Chemii BIPM prowadzi porównania metod oznaczania zawartości wybranych substancji w produktach żywnościowych, procedur oznaczania analitów klinicznych oraz metod analitycznych stosowanych w ekspertyzach sądowych. Zakończono walidację metod analitycznych stosowanych w badaniach glikozydów nasercowych.

Porównanie kluczowe dotyczące oznaczania hormonów steroidowych (sterydów) koordynuje CCQM. Preparat zawierający 17β -estradiol, przygotowany przez Wydział Organicznej Chemii Analitycznej NMIJ (Japonia), jest obecnie badany w BIPM. Grupa Robocza ds. Analiz Organicznych (OAWG) komitetu CCQM rekomenduje, aby udział w tym porównaniu kluczowym był obowiązkowy dla wszystkich NMI, które deklarują zdolności pomiarowe (CMC) w dziedzinie chemii organicznej. W 2008 r. Sekcja Chemii przeprowadziła 6 porównań międzynarodowych.

Wszystkie sekcje BIPM kontynuują misję wykonywania najwyższej jakości wzorcowań i pomiarów na rzecz krajowych instytucji metrologicznych państw członkowskich. Na początku roku 2009, na stronach internetowych BIPM można będzie znaleźć wartości niepewności dla wszystkich wykonywanych przez BIPM pomiarów i wzorcowań.

Zarys planów badawczych BIPM na lata 2009 – 2012

Głównym priorytetem badawczym BIPM, a w szczególności Sekcji Masy, jest konstrukcja wagi Watta i przygotowania do redefinicji jednostki masy, kilograma, co może nastąpić już w roku 2011. Najbliższym partnerem BIPM w tym projekcie jest NPL, ale utrzymywane są kontakty badawcze z innymi NMI, które pracują nad konstrukcją swoich własnych prototypów wagi Watta, np. z NIST-em. W najbliższym czasie instalowana będzie izolacja od drgań mechanicznych całego układu pomiarowego. Prace konstrukcyjne w BIPM koncentrują się na budowie i montażu podzespołów, które będą częścią składową międzynarodowego prototypu wagi Watta, np. elektromagnesu i cewki indukcyjnej. Jednym z najważniejszych podzespołów wagi Watta będzie wzorzec jednostki napięcia wykorzystujący nowy typ złącza Josephsona.

Wprowadzenie do użytku nowego typu złącza Josephsona spowodowało konieczność modyfikacji programu badań Sekcji Elektryczności. Planowane są różnego rodzaju porównania (kluczowe, międzynarodowe, międzylaboratoryjne) układów pomiarowych wykorzystujących nowy typ złącza; niektóre z tych porównań są już wykonywane. Przeprowadzenie porównań planuje się również dla układów pomiarowych wykorzystujących kwantowy efekt Halla.

Sekcja Elektryczności będzie kontynuować intensywne prace nad kondensatorem obliczeniowym, który ma w przyszłości służyć jako międzynarodowy wzorzec odniesienia jednostki pojemności elektrycznej. Kondensator obliczeniowy będzie również wykorzystany do jeszcze dokładniejszego pomiaru stałej von Klitzinga, która wraz ze stałą Josephsona zwiąże nową definicję jednostki masy ze stałą Plancka.

Sekcja Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii BIPM planuje poczynić wewnętrzne oszczędności, aby sfinansować nowy program wzorcowania odbiorników GPS w celu zmniejszenia niepewności w krajowych skalach czasu. Kontynuowany będzie program atomowych zegarów optycznych. Międzynarodowe porównanie grawimetrów zaplanowane jest na rok 2009.

Prace Sekcji Promieniowania Jonizującego BIPM będą koncentrować się na modernizacji już istniejących urządzeń. Kontynuowany będzie program badań w dziedzinie dozimetrii akceleratorowej, zaś do pomiarów planuje się wykorzystanie akceleratorów liniowych w krajach członkowskich. Przygotowane będą propozycje rezolucji w dziedzinie dozimetrii akceleratorowej, które zostaną przedłożone do rozpatrzenia na następnej konferencji CGPM.

W związku z coraz ważniejszą rolą, jaką metrologia chemiczna odgrywa w medycynie, przemyśle farmaceutycznym i branży spożywczej, aktywność Sekcji Chemii w najbliższych latach będzie równie wysoka jak dotychczas. Spodziewany jest szybki postęp zarówno pod względem liczby nowych procedur pomiarowych, jak i osiągniętych niepewności pomiaru.

Doniosłym aspektem działalności BIPM jest i pozostanie krzewienie wiedzy metrologicznej oraz tworzenie płaszczyzn wymiany informacji w tej dziedzinie. Na następne cztery lata planuje się zorganizowanie serii warsztatów szkoleniowych podejmujących nowe zagadnienia metrologiczne wynikające z rozwoju technologicznego, takie jak np. pomiary w dziedzinie nanotechnologii lub metrologia parametrów biochemicznych i fizjologicznych organizmu człowieka.

Nowożytna metrologia wyrosła z praktycznych potrzeb handlu i przemysłu na przełomie XVIII i XIX wieku. Chociaż współczesna metrologia posiada status samodzielnej dyscypliny naukowej, to jej związki z gospodarką pozostają nadal równie silne. Cała światowa struktura metrologiczna jest pomyślana tak, aby jak najlepiej służyć rozwojowi produkcji i międzynarodowego handlu.

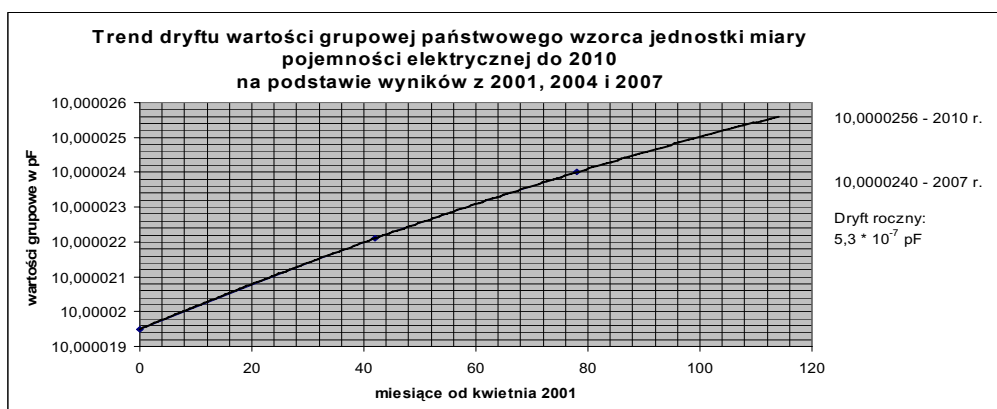
Z technicznego punktu widzenia, podstawą zaufania do pomiarów wykonywanych w odległych częściach świata jest wykazanie się laboratoriów badawczych akredytacją i spójnością pomiarową w zakresie wielkości mierzonych. Na 97. posiedzeniu CIPM przyjęto wytyczne w sprawie warunków stwierdzania spójności pomiarowej z jednostkami układu SI tych NMI, które deklarują CMC. Natomiast podstawą formalno-prawną uznawania równoważności wyników pomiarów wykonywanych przez laboratoria na całym świecie jest międzynarodowy dokument CIPM MRA, którego znaczenie w usuwaniu technicznych i administracyjnych barier w handlu trudno jest przecenić. Dla uczczenia dziesiątej rocznicy podpisania CIPM MRA, Międzynarodowy Komitet Miar planuje zorganizowanie dużej konferencji w październiku 2009 roku. Konferencji tej towarzyszyć będą kursy szkoleniowe w zakresie stosowania CIPM MRA.

Powyższe opracowanie powstało na podstawie raportu prof. Andrew Wallarda, Dyrektora Międzynarodowego Biura Miar, zatytułowanego *News from the BIPM – 2008*, opublikowanego w czasopiśmie *Metrologia* **46** (2009) 137 – 143.

dr Wojciech Chyla
Główny Urząd Miar

PAŃSTWOWY WZORZEC JEDNOSTKI MIARY POJEMNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

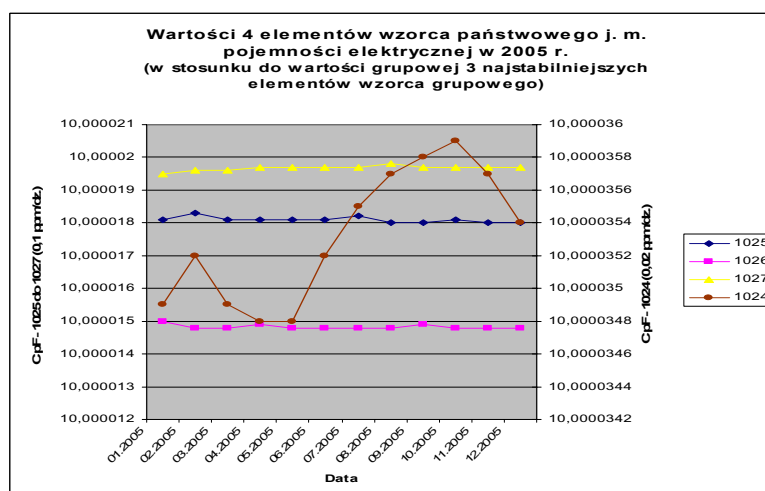
Państwowy wzorzec jednostki miary pojemności elektrycznej jest wzorcem grupowym. Składa się z czterech elementów pojemnościowych o wartościach nominalnych 10 pF. Zakłada się, że wartość średnia grupy (wartość grupowa) wzorców o jednakowej wartości nominalnej jest stabilniejsza w czasie niż wartość każdego z elementów tej grupy. W okresach pomiędzy kolejnymi wzorcowaniami przyjmuje się stałą wartość grupową, a po dłuższej obserwacji wzorców można wyznaczać i uwzględniać dryft czasowy.



Dryft czasowy wartości grupowej wzorca pojemności elektrycznej

Wartości poszczególnych elementów wzorca grupowego wyznaczone są okresowo (co 3 lata) w BIPM. W laboratorium wykonuje się comiesięczne wzajemne porównania elementów grupy i na ich podstawie ocenia się ich zmienność krótkookresową oraz długookresową (co pół roku).

Odtwarzanie wzorca następuje w wyniku pomiaru bezpośredniego kolejnych elementów grupy, przy zastosowaniu mostka AH2500A/E. Uzyskane wyniki są korygowane do



Stabilność czasowa elementów wzorca państwowego jednostki miary pojemności elektrycznej

wartości grupowej. Efektem takiego postępowania jest wyznaczenie aktualnej poprawki wskazań mostka, co pozwala na wyznaczenie wartości poprawnych poszczególnych elementów grupy oraz ciągłą ocenę stabilności mostka. Poprawkę wskazania mostka można wykorzystać przy pomiarach wzorców roboczych. Stabilność wartości elementów wzorca przedstawia rysunek powyżej.

Przekazywanie wartości wzorca grupowego na wzorce robocze odbywa się w następujący sposób:

- wartość wzorca grupowego przenoszona jest na wzorzec GR 1408 o wartości nominalnej 10 pF, przy zastosowaniu mostka AH 2500. Przenoszenie wykonywane jest metodą podstawienia, przy częstotliwości 1 kHz;
- wartość wzorca grupowego przenoszona jest na wzorzec GR 1408 o wartości nominalnej 100 pF przy zastosowaniu mostka GR 1621. Przenoszenie wykonywane jest przez porównanie ze wzorcem zewnętrznym, przy stosunku 1:10 i częstotliwości 1 kHz oraz 1,59 kHz;
- wartość wzorca grupowego przenoszona jest na wzorzec GR 1404 o wartości nominalnej 10 pF, przy zastosowaniu mostka AH 2500. Przenoszenie wykonywane jest metodą podstawienia, przy częstotliwości 1 kHz;
- wartość wzorca GR 1408 o wartości nominalnej 100 pF przenoszona jest na wzorzec GR 1404 o wartości nominalnej 1000 pF, przy zastosowaniu mostka GR 1621. Przenoszenie wykonywane jest przez porównanie ze wzorcem zewnętrznym, przy stosunku 1:10 i częstotliwości 1 kHz oraz 1,59 kHz;
- wartość wzorca GR 1408 o wartości nominalnej 100 pF przenoszona jest na wzorzec AH 11A o wartości nominalnej 100 pF, przy zastosowaniu mostka AH 2500. Przenoszenie wykonywane jest metodą podstawienia, przy częstotliwości 1 kHz.

Aby potwierdzić poprawność odtwarzania wzorców, w tym wzorców państwowych, przeprowadzane są okresowo porównania międzynarodowe.

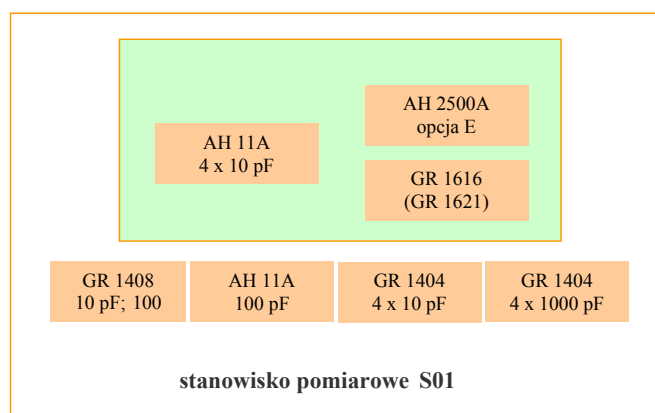


Stanowisko wzorca państwowego pojemności elektrycznej

Państwowy wzorzec jednostki miary pojemności elektrycznej przechowywany jest z Zakładzie Elektrycznym Głównego Urzędu Miar. Wzorzec tworzą:

- grupa czterech wzorców pojemności AH 11A o wartości nominalnej 10 pF,
- mostek pojemności AH 2500 opcja E,

- mostek pojemności GR 1616 (system pomiarowy GR1621),
- kondensatory GR1408,
- kondensator AH11A 100 pF,
- kondensatory GR1404.



Elementy wzorca państwowego pojemności elektrycznej

Elementy zawarte w wewnętrznym prostokącie na powyższym rysunku stanowią główną część wzorca państwowego, natomiast pozostałe elementy służą do przenoszenia wartości wzorca państwowego do wzorców roboczych.



Kondensatory AH11A w obudowie AH 1100

Kondensatory AH11A, o dielektryku wykonanym z topionej krzemionki są umieszczone w obudowie AH 1100 zapewniającej stabilizację termiczną. Kondensatory o wartości nominalnej 10 pF eksploatowane są od 1994 roku, a kondensator o wartości nominalnej 100 pF od 2005 roku. Kondensatory te cechują się następującymi parametrami metrologicznymi:

- wartości nominalne: 10 pF i 100 pF,
- stabilność termiczna deklarowana: $0,01 \mu\text{F}/\text{F}$, przy zmianie temperatury o 1 K,
- stabilność roczna deklarowana: $(0,3 + 1/C) \mu\text{F}/\text{F}$, gdzie C jest pojemnością wyrażoną w pF,
- potwierdzona stabilność roczna wzorca o wartości nominalnej 10 pF: $0,05 \mu\text{F}/\text{F}$,
- stabilność roczna wzorca o wartości nominalnej 100 pF (eksploatowanego od 3 lat) wg wstępnych pomiarów: ok. $0,1 \mu\text{F}/\text{F}$.



Mostek AH 2500A

Mostek AH 2500A jest automatycznym mostkiem transformatorowym o następujących parametrach metrologicznych:

- częstotliwość robocza: 1 kHz,
- największy błąd dopuszczalny dla zakresu 10 pF (MPE): ok. 3 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- nieliniowość: ok. 0,1 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- stabilność roczna: ok. 0,5 $\mu\text{F}/\text{F}$.

Parametry metrologiczne potwierdzone pomiarami:

- błąd dla 10 pF: ok. 3,6 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- błąd dla 100 pF i 200 pF: ok. 2,8 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- niestabilność roczna: < 0,1 $\mu\text{F}/\text{F}$.



System pomiarowy GR 1621

Mostek GR 1616 jest mostkiem pojemności manualnym, tworzącym wraz z elementami współpracującymi system pomiarowy GR 1621. Mostek umożliwia zarówno pomiar bezpośredni w stosunku do wzorców wewnętrznych, jak również pomiary w stosunku do wzorca zewnętrznego. Pomiary ze wzorcem zewnętrznym pozwalają na istotną poprawę dokładności i rozdzielczości pomiaru. Porównanie wzorców odniesienia i wzorcowanego może odbywać się przy stosunku wartości nominalnych 1:1, 1:10 oraz 10:1. System ten cechuje się następującymi parametrami metrologicznymi:

- częstotliwość robocza: od 10 Hz do 100 kHz,
- wzorce wewnętrzne:
 - 1 i 2 (największe wartości) – dielektryk: mika, wpływ temperatury – 20 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
 - 3, 4 i 5 – dielektryk: suchy azot, wpływ temperatury – 3 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
 - 6, 7 i 8 – dielektryk: suchy azot, wpływ temperatury – 20 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
 - 9, 10, 11 i 12 – dielektryk: powietrzne, wpływ temperatury – 20 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
- stała czasowa ok. 6 godzin (wzorce izolowane termicznie).



Kondensator GR 1404



Kondensatory GR 1408 o wartościach nominalnych 10 pF i 100 pF we wspólnej obudowie

Kondensatory GR 1408 są to kondensatory z dielektrykiem z topionej krzemionki, umieszczone w hermetycznej obudowie wewnętrznej, wypełnionej suchym azotem. Eksploatowane są od 1975 roku. Cechują się one następującymi parametrami metrologicznymi:

- wartości nominalne: 10 pF i 100 pF,
- stabilizacja termiczna: przy ok. 30 °C,
- stabilność termiczna deklarowana: 0,05 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
- stabilność roczna deklarowana: 0,3 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- stabilność roczna rzeczywista: 0,006 $\mu\text{F}/\text{F}$ (po ponad 30 latach eksploatacji).

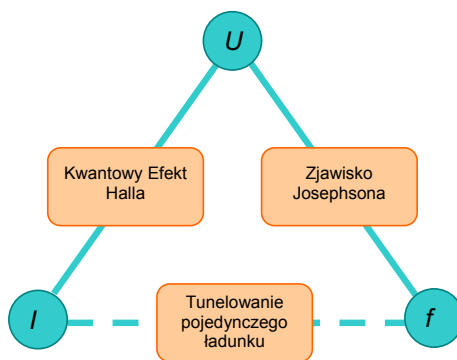
Niepewności pomiaru zależne są głównie od metody przenoszenia wartości i kształtują się następująco:

- odtwarzanie wzorca państwowego: 0,5 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- przenoszenie wartości metodą podstawiania: 5 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- przenoszenie wartości metodą pomiaru bezpośredniego: (30 ÷ 400) $\mu\text{F}/\text{F}$.

Wartość wzorca wyznaczona w Głównym Urzędzie Miar była mniejsza w porównaniu z wartością odniesienia o 0,4 $\mu\text{F}/\text{F}$, z niepewnością oszacowania: $\pm 0,8 \mu\text{F}/\text{F}$.

W przodujących ośrodkach zajmujących się metrologią, prowadzone są prace mające na celu odtwarzanie jednostek miar z wykorzystaniem fundamentalnych stałych fizycznych. Zaletą takiej metody odtwarzania jednostek miar jest niezależność uzyskiwanych wartości od miejsca odtwarzania. W dziedzinie elektryczności wykorzystuje się powszechnie kwantowe zjawisko Josephsona do odtwarzania jednostki napięcia oraz kwantowe zjawisko Halla do odtwarzania jednostki rezystancji. Gdyby udało się odtworzyć podobną

metodą jednostkę pojemności, możliwa byłaby realizacja tzw. „trójkąta metrologicznego”. Prace nad realizacją tego zagadnienia prowadzone są między innymi w NIST (USA) oraz w PTB (Niemcy).



Kwantowy trójkąt metrologiczny

Opracowano metodę wytwarzania kondensatorów o skrajnie małych pojemnościach ~ 20 fF ($20 \cdot 10^{-15}$ F), uzyskanych przy zastosowaniu nanotechnologii oraz zastosowano pompę elektronową, przy wykorzystaniu tunelujących obwodów i tranzystorów jednoelektronowych. Metoda polega na naładowaniu kondensatora znaną liczbą n elektronów posiadających ładunek elementarny e oraz pomiarze napięcia U na tym kondensatorze. Pojemność kondensatora C określona jest jako: $C = ne/U$. Dokładne policzenie elektronów umożliwia zastosowanie tunelującego obwodu jednoelektronowego (pompy jednoelektronowej). Gdy napięcie U mierzone jest przy zastosowaniu wzorca napięcia Josephsona: $U = ifh/2e$, gdzie f – częstotliwość mikrofalowa zaś i – numer stopnia na charakterystyce prądowo-napięciowej, pojemność C może być wyrażona na podstawie fundamentalnych stałych fizycznych e oraz h , częstotliwości f oraz liczb całkowitych (n oraz i): $C = 2ne^2/ifh$. Realizacja tej metody pozwoli na wyrażenie pojemności w taki sposób, jak wyrażane jest napięcie U (zjawisko Josephsona) oraz rezystancja R (zjawisko Halla).

Robert Rzepakowski
Główny Urząd Miar

PAŃSTWOWY WZORZEC JEDNOSTKI MIARY AKTYWNOŚCI PROMIENIOTWÓRCZEJ RADIONUKLIDÓW

Państwowy wzorzec jednostki miary aktywności promieniotwórczej radionuklidów (JMAPR) stanowi zespół trzech układów pomiarowych, w których stosuje się 12 bezwzględnych metod pomiarowych, a obiektami pomiaru są dwa rodzaje źródeł. Powyższe metody i źródła pomiarowe stanowią integralną część wzorca państwowego znajdującego się na wyposażeniu Laboratorium Wzorców Radioaktywności (LWR) Ośrodka Radioizotopów POLATOM wchodzącego w skład Instytutu Energii Atomowej w Świerku.



Układy detekcyjne i elektroniczne państwowego wzorca JMAPR

Podstawą zastosowanych metod pomiarowych, za wyjątkiem jednej, jest tzw. technika ciekłych scyntylatorów. Zasadniczym jej elementem jest zmieszanie roztworu promieniotwórczego z mieszaniną scyntylacyjną (tzw. koktajlem scyntylacyjnym) i rejestracja powstających scyntylacji w układzie detekcyjnym z fotopowielaczami. Zaletą tej techniki jest łatwość stosowania i fakt, iż nie występuje problem samoabsorpcji w źródłach pomiarowych, a istotna jest jedynie ich jednorodność i stabilność. Typowa mieszanina scyntylacyjna składa się z rozpuszczalnika (diizopropylonaftalen DIN lub ksylen), scyntylatora (2,5-difenyloksazol PPO) oraz tzw. przesuwacza widma (bis-MSB). Źródła pomiarowe są przygotowywane w zakręcanych naczynkach pomiarowych szklanych (o obniżonej zawartości potasu) lub polietylenowych.



Naczynka pomiarowe wykorzystywane w układach państwowego wzorca JMAPR

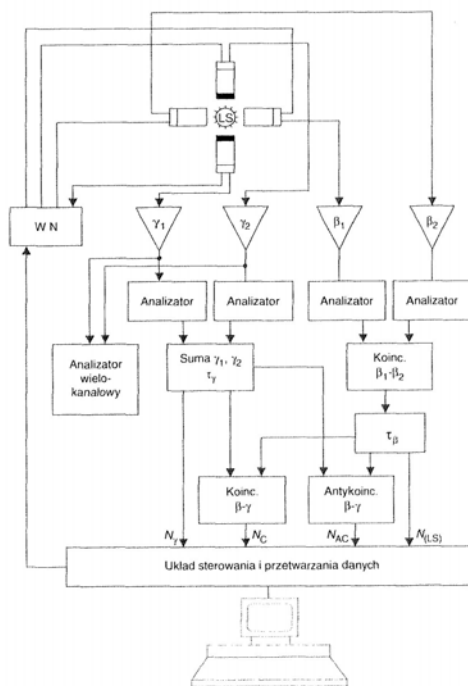
Działanie państwowego wzorca JMAPR

Działanie państwowego wzorca JMAPR polega na odtwarzaniu jednostki miary przez wyznaczenie aktywności promieniotwórczej danego źródła za pomocą odpowiednio wybranych układów i bezwzględnych metod pomiarowych, opracowanych w LWR.

Układ pomiarowy 4π (LS)- γ koincydencji i antykoincydencji

System detektorów zawiera w sumie 4 fotopowielacze umieszczone w płaszczyźnie poziomej wokół komory optycznej ze źródłem pomiarowym.

W torze gamma, zawierającym dwa fotopowielacze ze scyntylatorami krystalicznymi NaI(Tl), pracującymi w układzie sumy celem zwiększenia wydajności detekcji, rejestrowane są fotony γ w wybranym zakresie energetycznym widma (tzw. parametr toru gamma).



Schemat ideowy układu pomiarowego 4π (LS)- γ koincydencji i antykoincydencji: LS – ciekły scyntylator, WN – zasilacz wysokiego napięcia, τ – układ czasu martwego

Inne promieniowanie (α , β , X , e_A) jest rejestrowane w torze beta z ciekłym scyntylatorem i dwoma fotopowielaczami pracującymi w koincydencji celem obniżenia zliczeń tła pochodzących od szumów. Zależnie od rodzaju radionuklidu i emitowanego promieniowania można mówić o różnych bezwzględnych metodach pomiaru aktywności promieniotwórczej.

Rejestrowane są częstości zliczeń impulsów: w torze beta $N_{(LS)}$, w torze gamma N_γ oraz w torach koincydencji N_C i antykoincydencji N_{AC} . Zmieniane jest wysokie napięcie na fotopowielaczach toru beta, aby uzyskać zmianę wydajności detekcji $\varepsilon_{(LS)}$. Częstość rozpadów promieniotwórczych N_0 w roztworze otrzymuje się z ekstrapolacji liniowych dla dwóch metod:

$$\frac{N_{LS}N_\gamma}{N_C} \rightarrow N_0 \quad \text{przy} \quad \frac{1-\varepsilon_{LS}}{\varepsilon_{LS}} \rightarrow 0 \quad \text{gdzie} \quad \varepsilon_{LS} = \frac{N_C}{N_\gamma}$$

$$\frac{N_{LS}N_\gamma}{N_\gamma - N_{AC}} \rightarrow N_0 \quad \text{przy} \quad \frac{1-\varepsilon_{LS}}{\varepsilon_{LS}} \rightarrow 0 \quad \text{gdzie} \quad \varepsilon_{LS} = \frac{N_\gamma - N_{AC}}{N_\gamma}$$

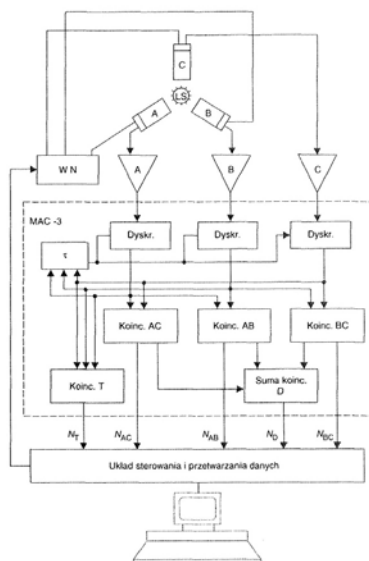
Pomiary kilku różnych parametrów toru gamma wzajemnie się weryfikują. Średnia ze wszystkich ekstrapolowanych wartości jest przyjmowana jako końcowy wynik pomiaru aktywności promieniotwórczej mierzonego źródła.

Gdy radionuklid rozpada się bez emisji promieniowania γ , wówczas stosowana jest tzw. metoda traserów. Na przykład w przypadku ^{63}Ni , będącego tzw. „czystym” emiterym β , jako traser wybierany jest ^{60}Co będący emiterym $\beta - \gamma$, a następnie wyznaczana jest jego aktywność promieniotwórcza A_{Co} za pomocą omówionej wcześniej metody. Do mieszaniny scyntylacyjnej dodawany jest „czysty” emiterym β , po czym wyznaczana jest aktywność promieniotwórcza sumarycznego źródła A_{Co+Ni} . Ekstrapolacja różnicy ($A_{Co+Ni} - A_{Co}$) w funkcji zwiększanej ilości ^{63}Ni w źródle sumarycznym wyznacza aktywność promieniotwórczą ^{63}Ni .

Układ pomiarowy potrójno-podwójnych koincydencji TDK

Układ pomiarowy TDK zawiera trzy fotopowielacze umieszczone koncentrycznie w płaszczyźnie poziomej, co 120° wokół komory optycznej ze źródłem pomiarowym w scyntylatorze ciekłym. Metoda potrójno-podwójnych koincydencji TDK jest przeznaczona głównie do pomiaru aktywności promieniotwórczej radionuklidów rozpadających się bez emisji promieniowania γ , czyli tzw. „czystych” emiterym α , β i „czystych” emiterym rozpadających się przez wychwyty elektronu.

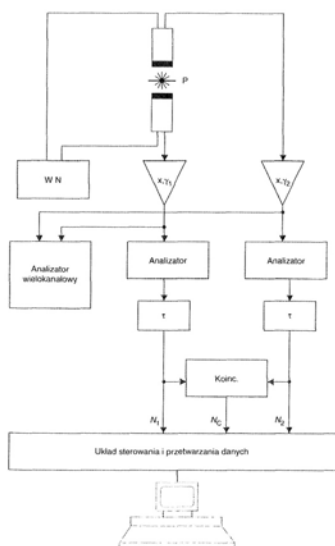
Częstości zliczeń impulsów są rejestrowane równocześnie w trzech torach koincydencji podwójnych (N_{AB} , N_{BC} , N_{AC}), w torze koincydencji potrójnych (N_T) oraz w torze sumy logicznej trzech koincydencji podwójnych (N_D). Stosunek $K = N_T/N_D$ stanowi charakterystyczny parametr metody TDK. Stosując teoretyczny model detektora z ciekłym scyntylatorem z dobranymi parametrami oraz uwzględniając schemat rozpadu radionuklidu i dane scyntylatora, można obliczyć wydajność detekcji układu pomiarowego $\varepsilon(K)$. Zmieniając ε przez zmianę potencjału elektrody skupiającej fotopowielaczy uzyskuje się serię punktów pomiarowych o różnych wartościach parametru K i dla każdego z nich oblicza się $N_0(K) = N_D/\varepsilon_D(K)$. Gdy spełniony jest warunek, że prosta regresji N_0 względem K jest pozioma, to wartość średnia N_0 wyznacza aktywność promieniotwórczą mierzonego źródła.



Schemat ideowy układu pomiarowego potrójno-podwójnych koincydencji: LS – ciekły scyntylator, WN – zasilacz wysokiego napięcia, τ – układ czasu martwego

Układ pomiarowy X-y koincydencji

Układ pomiarowy X-y koincydencji składa się z systemu dwóch detektorów z fotopowielaczami i cienkimi kryształami NaI(Tl). W szufladce między nimi umieszczane jest punktowe źródło pomiarowe przygotowane na podstawie z folii Mylar, naklejonej na pierścien ze stali kwasoodpornej. Źródło stanowi odważka roztworu promieniotwórczego naniesiona na część centralną podstawki i wysuszona. Trwałość źródła zapewnia dodanie substancji tworzącej trwałe i nierozpuszczalne sole z jonem radionuklidu.



Schemat ideowy układu pomiarowego X-y koincydencji: P – źródło punktowe na folii Mylar, WN – zasilacz wysokiego napięcia, τ – układ czasu martwego

Metodą X-y koincydencji wyznacza się aktywność promieniotwórczą radionuklidów takich jak ^{125}I , rozpadających się w wyniku wychwytu elektronu z emisją fotonów X i γ o energiach bardzo zbliżonych do siebie, które trudno odseparować w procesie detekcji.

Zarejestrowana częstości zliczeń fotonów X i γ w torze „gamma 1” (N_1), w torze „gamma 2” (N_2) oraz w torze koincydencji (N_C) wyznacza częstość rozpadów promieniotwórczych N_0 w mierzonym źródle:

$$N_0 = \frac{\left(N_1 + \frac{N_C}{2}\right)\left(N_2 + \frac{N_C}{2}\right)}{2N_C} \cdot 0,997$$

Niepewność pomiaru

Niepewność złożona pomiaru aktywności promieniotwórczej liczona jest jako pierwiastek z sumy kwadratów niepewności składowych, związanych ze statystycznym charakterem rozpadów promieniotwórczych oraz z niepewnością parametrów aparatury pomiarowej, masy roztworu promieniotwórczego i danych jądrowych. Niepewność pomiaru zależy też od rodzaju radionuklidu, stosowanej metody pomiaru i stabilności pracy aparatury, która jest sprawdzana źródłami kontrolnymi ^3H , ^{14}C , ^{60}Co i ^{133}Ba w zależności od układu. Równoległe stosowanie kilku metod pomiaru pozwala na weryfikację uzyskanych wyników i zmniejsza niepewność określenia aktywności promieniotwórczej. Wyznaczona niepewność złożona względna wzorców I rzędu dla różnych radionuklidów wynosi około 1–2 % przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$ (co odpowiada poziomowi ufności około 95 %).

Niepewność określenia aktywności promieniotwórczej wzorców niższych rzędów jest tym wyższa, im dłuższy łańcuch porównań dzieli je od państwowego wzorca JMAPR.

Usługi świadczone za pomocą państwowego wzorca JMAPR

Przekazywanie jednostki miary aktywności promieniotwórczej radionuklidów na wzorce niższego rzędu, wzorce robocze i przyrządy użytkowe odbywa się zgodnie z hierarchicznym układem sprawdzeń, zatwierdzonym przez Prezesa GUM.

W procesie wzorcowania wykorzystuje się roztwory promieniotwórcze różnych radionuklidów. Roztwór promieniotwórczy, którego stężenie promieniotwórcze (kBq/g) zostało obliczone na podstawie pomiaru w układach państwowego wzorca JMAPR oraz jego masy dodanej do źródła pomiarowego, staje się wzorcem I rzędu. Stosowanie wychyłowej różnicowej metody rozcieńczania umożliwia uzyskanie wzorców II i III rzędu.

Wzorce w postaci roztworu o żądanym stężeniu promieniotwórczym, są dostarczane klientom dla wzorcowania ich przyrządów pomiarowych, takich jak komory jonizacyjne, liczniki scyntylicyjne czy spektrometry gamma. LWR wykonuje również wzorcowanie przyrządów pomiarowych dostarczonych przez użytkownika. Dotyczy to w większości mierników aktywności z komorami jonizacyjnymi, które są wykorzystywane przez zakłady medycyny nuklearnej.

Z roztworów wzorcowych wytwarzane są źródła wzorcowe o różnych kształtach i budowie, odpowiednio do potrzeb klientów, a w szczególności:

- wzorcowe źródła punktowe zamknięte między krążkami folii polietylenowej lub krążkami pleksi, przeznaczone do wzorcowania spektrometrów gamma;
- wzorcowe źródła objętościowe multigamma w zlewkach typu Marinelli;
- wzorcowe źródła kontrolne do mierników aktywności;

- wzorcowe źródła symulacyjne np. MOCK ^{131}I lub ^{18}F ;
 - inne nietypowe źródła wzorcowe wykonywane na specjalne zamówienia.
- LWR w swojej działalności wykorzystuje także szereg układów do względnych pomiarów aktywności promieniotwórczej. Na wyposażeniu Laboratorium znajdują się m.in.:
- spektrometr scyntylacyjny beta WALLAC 1411,
 - spektrometr gamma z kryształem HPGe GX2018,
 - miernik aktywności z komorą jonizacyjną i licznikiem scyntylacyjnym NaI(Tl) CAPINTEC CRC-15beta,
 - miernik aktywności z komorą jonizacyjną ISOMED 2000,
 - zestaw liczników scyntylacyjnych NaI(Tl) o różnych geometriach kryształów.

Wymienione przyrządy pomiarowe, wzorcowane w odniesieniu do państwowego wzorca JMAPR, umożliwiają m.in. atestację źródeł i materiałów promieniotwórczych oraz preparatów radionuklidowych dostarczanych przez klientów, a także określanie metodami spektrometrii gamma czystości radionuklidowej i aktywności promieniotwórczej poszczególnych radionuklidów w próbkach.



Spektrometr scyntylacyjny beta WALLAC 1411

Przykład wzorcowania

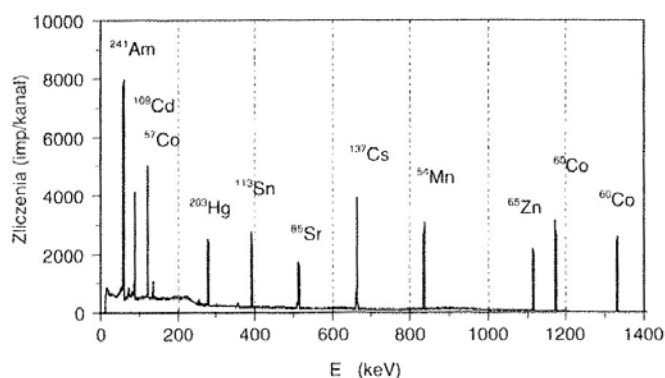
Przykład pokazuje wzorcowanie spektrometru promieniowania gamma z detektorem germanowym HPGe w odniesieniu do państwowego wzorca JMAPR. Przekazywanie jed-



Spektrometr gamma GX2018 z kriostatem i kryształem HPGe

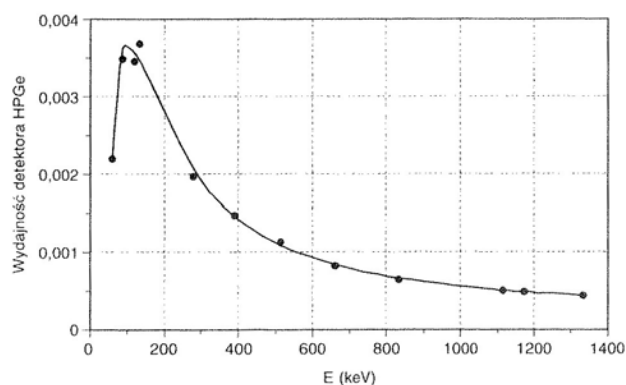
nostki miary aktywności promieniotwórczej radionuklidów odbywa się za pośrednictwem roztworów promieniotwórczych. Metodą spektrometrii gamma sprawdza się, czy w roztworach nie występują zanieczyszczenia radionuklidowe.

Próbki roztworów różnych radionuklidów są przygotowywane wagowo w scyntylatorze ciekłym. Wyznaczane jest ich stężenie promieniotwórcze metodami pomiarowymi. Roztwory te (wzorce I rzędu), o odmierzonych masach (m) i określonych aktywnościach (A), są mieszane. Roztwór multi-gamma (wzorec II rzędu), zamknięty w butelce szklanej, jest ustawiany na detektorze HPGe i rejestrowane jest widmo promieniowania γ .



Widmo promieniowania roztworu multigamma zarejestrowane przez detektor HPGe

Mierzone są pola pod pikami (S_γ) dla linii γ o energiach (E_γ) i intensywnościach (I_γ) znanych z tablic. Obliczana jest wydajność (ϵ_γ) detektora HPGe dla poszczególnych energii oraz jej niepewność złożona dla poziomu ufności 95 %. Empiryczna funkcja $\epsilon_\gamma(E_\gamma)$ umożliwia określanie aktywności promieniotwórczej radionuklidów w badanej próbce na podstawie zarejestrowanego widma γ .

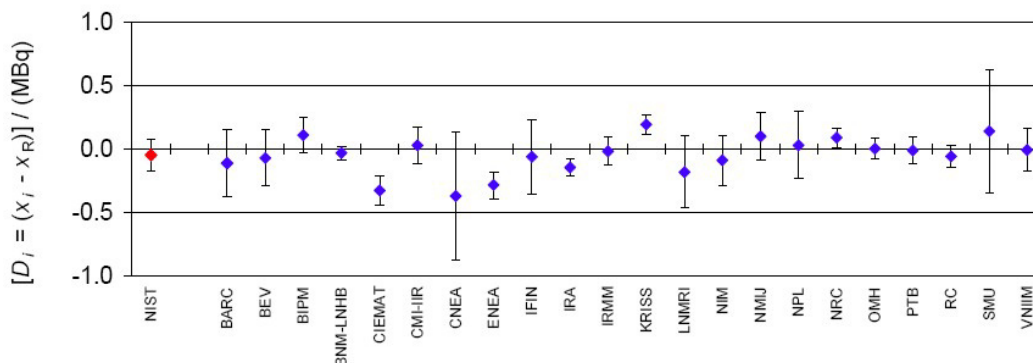


Wydajność detektora HPGe w funkcji energii fotonów γ

Powiązanie ze światowym systemem wzorców

Państwowy wzorec JMAPR jest powiązany ze światowym systemem wzorców dzięki międzynarodowym porównaniom pomiarów aktywności radionuklidów, organizowanym m.in. przez Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM), EUROMET (obecnie EURAMET) i Międzynarodowy Komitet Metrologii Radionuklidów (ICRM). Uczestniczące w porówna-

niu laboratoria metrologiczne z całego świata, stosując różne bezwzględne metody pomiarowe, określają stężenie promieniotwórcze rozesłanego roztworu wybranego radionuklidu.



Przykład rezultatów międzynarodowego porównania wyników pomiarów aktywności roztworu ¹⁵²Eu (BIPM, październik 2000). Wynik LWR oznaczony jako RC (Radioisotope Centre)

LWR w ostatnich 30 latach brało udział w ponad 30 porównaniach międzynarodowych, uzyskując zadowalające wyniki.

System zarządzania

Laboratorium Wzorców Radioaktywności posiada wdrożony system zarządzania zgodny z wymogami normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005. Potwierdzeniem jest przyznanie Laboratorium przez Polskie Centrum Akredytacji w grudniu 2008 roku statusu akredytowanego laboratorium wzorcującego, numer akredytacji AP 120. Akredytacja obejmuje swoim zakresem wzorcowanie roztworów promieniotwórczych i źródeł stałych pojedynczego radionuklidu oraz wzorcowanie mierników do pomiaru aktywności.

Działalność Laboratorium

Laboratorium Wzorców Radioaktywności zorganizowało w 2007 r. w placówkach medycyny nuklearnej w Polsce porównanie pomiarów aktywności radionuklidów stosowanych powszechnie do diagnostyki i terapii – eluatu ⁹⁹Tc^m i kapsułek ¹³¹I. Celem porównania była ocena dokładności pomiarów aktywności w tych placówkach i porównanie wyników z państwowym wzorcem jednostki miary aktywności promieniotwórczej radionuklidów. Organizacja porównania została dofinansowana z dotacji Państwowej Agencji Atomistyki i zyskała poparcie Polskiego Towarzystwa Medycyny Nuklearnej.

W porównaniu pomiarów wzięło udział 37 placówek spośród 58, do których wysłano zaproszenia. Źródła do pomiarów, eluat ⁹⁹Tc^m w szklanych fiolkach próżniowych oraz niski i wysokoaktywne kapsułki ¹³¹I, były wytwarzane w OR POLATOM, wzorcowane w układzie pomiarowym z komorą jonizacyjną 4π w odniesieniu do państwowego wzorca JMAPR i dostarczane uczestnikom porównania sukcesywnie w ciągu 4 miesięcy do pomiaru ich własnymi miernikami aktywności. Uczestnicy przesyłali wyniki pomiarów do LWR.

Wynik podany przez uczestnika porównania i wynik wzorcowania w LWR przeliczono na tę samą datę referencyjną i liczono ich stosunek. Do oceny wyników zastosowano statystyczne kryterium znormalizowanego odchylenia standardowego, przyjmując, że dla pomiarów aktywności w placówkach medycyny nuklearnej zadowalający jest wynik leżący przedziale $\pm 5\%$ w stosunku do państwowego wzorca JMAPR, a akceptowalny nie różni się więcej niż o $\pm 7.6\%$. Zastosowanie kryterium stopnia równoważności E_n nie było możliwe, gdyż nie wszyscy uczestnicy porównania oszacowali niepewności swych pomiarów.

Uczestnicy porównania użyli do pomiarów mierniki aktywności 22. różnych typów. Nadesłano w sumie 118 wyników pomiarów, w tym – 23 wyniki niezadowalające. Wyniki zadowalające i akceptowalne wynosiły: 75 % (eluat $^{99}\text{Tc}^m$), 69,2 % (niskoaktywne kapsułki ^{131}I) i 82 % (wysokoaktywne kapsułki ^{131}I).

Dokładność większości pomiarów aktywności $^{99}\text{Tc}^m$ i ^{131}I wykonanych przez uczestników porównania była zadowalająca. Zaplanowano również organizację kolejnych tego typu porównań w Polsce dla innych radionuklidów.

Podsumowanie

Od ponad 30. lat w LWR w OR POLATOM IEA wykonywane są wzorcowania roztworów radionuklidów za pomocą metod bezwzględnych. Zgromadzone doświadczenie oraz uczestnictwo w wielu międzynarodowych porównaniach pomiarów aktywności zaowocowało ustanowieniem państwowego wzorca JMAPR. Podstawą funkcjonowania tego wzorca jest technika ciekłych scyntylatorów. LWR dysponuje metodami pomiarowymi wzorcowania aktywności promieniotwórczej roztworów dowolnych radionuklidów. W przypadku wzorców I rzędu niepewność złożona względna wynosi około 1–2 %, przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$. Przygotowywane w OR POLATOM wzorce niższego rzędu są powiązane z państwowym wzorcem JMAPR za pomocą hierarchicznego układu sprawdzeń.

Tomasz Dziel

dr Ryszard Broda

Laboratorium Wzorców Radioaktywności

Ośrodek Radioizotopów POLATOM

Instytut Energii Atomowej w Świerku

METROLOGIA POLSKA W ŚWIETLE WYZWAŃ STAWIANYCH METROLOGII EUROPEJSKIEJ

Nowe wyzwania zawarte w Europejskim Programie Badań Naukowych w Metrologii (EMRP) mają na celu zwiększenie innowacyjności i konkurencyjności gospodarki Unii Europejskiej. Przed krajowymi programami rozwoju metrologii stawiają one również nowe zadania. Rolą polskiej metrologii jest zidentyfikowanie w najbliższym czasie obszarów badań obejmujących priorytety sformułowane w EMRP.

Programy badawczo-rozwojowe realizowane w europejskich Krajowych Instytucjach Metrologicznych (NMI) często obejmują podobne obszary badawcze i mają wspólne cele. Nieformalna i niedostateczna współpraca oraz priorytety ustalane na poziomie krajowym ograniczają możliwości zaspokajania, rosnącego w Europie, zapotrzebowania na zaawansowaną metrologię. Zaawansowane metody pomiarowe traktowane są obecnie jako narzędzie stymulujące rozwój innowacyjności (np. w biotechnologii, technologiach teleinformatycznych i nanotechnologii). Wspierają one również politykę i inne działania regulacyjne oraz mają wpływ na różne dziedziny badań naukowych, dostarczając zaawansowanych technik i przyrządów pomiarowych.

Wdrażanie Metrologii w Europejskiej Przestrzeni Badawczej – iMERA

W ramach Piątego Ramowego Programu Badań i Rozwoju Technicznego Komisji Europejskiej zrealizowany został projekt MERA „Planowanie Europejskiej Przestrzeni Badawczej w Metrologii” (*Planning the European Research Area in Metrology*), w trakcie którego poddano analizie potrzeby metrologiczne w Europie na początku 21. wieku. Z przeprowadzonej analizy wyniknął wniosek: aby zaspokoić rosnące potrzeby w obszarze metrologii należy zoptymalizować i znacznie zwiększyć efekty europejskich badań metrologicznych. Można to osiągnąć poprzez zwiększenie koordynacji i współpracy naukowej w ramach EUROMET-u i stworzenie przez to podstaw dla zintegrowanej Europejskiej Przestrzeni Badawczej (ERA) w metrologii. W 2004 r. członkowie EUROMET-u przedłożyli Komisji Europejskiej propozycję objętą Szóstym Programem Ramowym w ramach systemu ERA-NET. Realizacja trzyletniego projektu iMERA „Wdrażanie Metrologii w Europejskiej Przestrzeni Badawczej” (*Implementing the Metrology European Research Area*) rozpoczęła się w kwietniu 2005 r. Głównym celem projektu iMERA jest zintensyfikowanie współpracy naukowej między krajowymi instytucjami metrologicznymi oraz stworzenie warunków i struktur, które umożliwią realizację skoordynowanych badań metrologicznych w określonych dziedzinach o strategicznym znaczeniu. Główny Urząd Miar jest jednym z partnerów projektu iMERA. Zakończenie projektu iMERA było przewidziane kontraktem na koniec marca 2008 r., ale Komisja Europejska wyraziła zgodę na przedłużenie okresu realizacji projektu do końca 2008 r.

Końcowy cel projektu iMERA był bardzo ambitny – stworzenie wspólnego wielodyscyplinarnego Europejskiego Programu Badań Naukowych w Metrologii – EMRP (*European Metrology Research Programme*) poprzez integrację programów krajowych, z perspektywą uruchomienia inicjatywy obejmującej wspólne działanie Komisji Europejskiej i zainteresowanych krajów w oparciu o Artykuł 169 Traktatu Europejskiego. Utworzenie organizacji o statusie osoby prawnej było warunkiem koniecznym dla realizacji EMRP. Powstanie jej jednakże mogłoby grozić podziałem w metrologii europejskiej. Postanowiono, zatem utworzyć instytucję, która nada konkretny kształt EMRP i będzie go realizować, a jednocześnie będzie służyć, jako organizacja, wszystkim europejskim instytucjom metrologicznym, stając się tym sposobem następcą EUROMET-u. W ten sposób powstał EURAMET (*European Association of National Metrology Institutes*) – organizacja metrologii europejskiej mająca status osoby prawnej, której celem jest promowanie działań naukowo-badawczych i współpracy europejskiej w dziedzinie metrologii. W dniu 11 stycznia 2007 r. w Berlinie 26 sygnatariuszy podpisało Statut EURAMET-u. Obecnie EURAMET liczy 32 członków i 5 członków stowarzyszonych.

Europejski Program Badań Naukowych w Metrologii – EMRP

Europejski Program Badań Naukowych w Metrologii jest wspólnym programem 19. państw członkowskich UE, 2. krajów EFTA oraz Turcji. Celem EMRP jest połączenie odpowiednich europejskich programów i działań krajowych z zamiarem przyspieszenia rozwoju podstawowego potencjału naukowego, który z jednej strony wspomaga konkurencyjność, a z drugiej strony zapewnia infrastrukturę wspierającą polityki UE. Realizacja Wspólnego Programu jest oparta na Artykule 169 Traktatu Europejskiego. Komisja Europejska będzie współfinansować ten Wspólny Program poprzez Artykuł 169 – najbardziej zaawansowany instrument służący integracji badań naukowych w Europie. EMRP odegra istotną rolę w budowaniu szerszej Europejskiej Przestrzeni Badawczej.

Zgodnie z koncepcją inicjatywy opartej na Artykule 169, wypracowaną przez Komisję Europejską, wspólny program ma obejmować integrację zarówno działań naukowych, jak i zarządzania (poprzez wspólne konkursy, wspólne partnerskie oceny wzajemne oraz wspólne procedury selekcyjne i wspólne projekty) oraz integrację finansową.

Dzięki EMRP Europa będzie mogła odpowiedzieć na rosnące zapotrzebowanie na najnowocześniejszą metrologię jako narzędzie innowacyjności, badań naukowych oraz wsparcia polityki, szczególnie w nowopowstających dziedzinach techniki.

W pierwszym etapie realizacji EMRP projekt iMERA Plus będzie wspierany przez środki finansowe pochodzące z Siódmego Programu Ramowego w ramach ERA-NET Plus. Będzie to działanie pomostowe, realizowane aż do podjęcia decyzji dotyczącej EMRP w oparciu o Artykuł 169. Dla tego działania pomostowego w 7PR wymienia się kwotę 21 mln euro. Oznaczało to, że do końca 2007 r. EURAMET musiał przedstawić program wspólnych projektów naukowych o całkowitej wartości 63 mln euro, z czego Komisja Europejska będzie współfinansować jedną trzecią dopuszczalnych wydatków. Kontrakt na realizację tego programu został podpisany w końcu 2007 roku.

Przez cały rok 2008 trwały negocjacje dotyczące wynegocjowania odrębnego porozumienia o przyznaniu grantu na podstawie Artykułu 169.

Cel Europejskiego Programu Badań Naukowych w Metrologii

EMRP postawiło sobie za cel przyspieszenie rozwoju nowych możliwości pomiarowych oraz znaczną poprawę rozpowszechniania i stosowania wiedzy wypracowanej przez wspólnotę zainteresowanych podmiotów.

Działania w ramach EMRP obejmują pięć głównych obszarów tzn.:

1. Tworzenie sieci współpracy i koordynacja krajowych programów badawczo-rozwojowych oraz działania dotyczące pomiarów, które są w dalszym ciągu prowadzone na poziomie krajowym poza głównym wspólnym programem EMRP, a w szczególności:
 - a) inwestowanie w nowe krajowe pomiarowe urządzenia badawcze,
 - b) udostępnianie istniejących krajowych, pomiarowych urządzeń badawczych,
 - c) organizowanie krajowych programów szkoleniowych dotyczących pomiarów i programów przekazywania wiedzy, wspomagających badania naukowe i rozwój technologiczny.
2. Tworzenie wspólnych programów realizowanych przez krajowe instytucje metrologiczne oraz instytucje przez nie desygnowane, dotyczących badań i postępu technologicznego w nauce o pomiarach:
 - a) wspierających innowacyjność,
 - b) wspierających jakość życia oraz politykę europejską,
 - c) wspierających szerszą wspólnotę naukową.
3. Wspieranie:
 - a) badań i rozwoju technologicznego w nauce o pomiarach, podstawowej i wspierającej,
 - b) działań dotyczących przekazywania wiedzy związanej ze wsparciem badań i rozwoju technologicznego.
4. Stwarzanie możliwości, które wspierają podnoszenie poziomu w nauce, głównie poprzez system stypendiów naukowych ukierunkowanych na szerszą wspólnotę laboratoriów europejskich krajowych instytucji metrologicznych oraz środowisko naukowe spoza NMI, poszerzone o działania promujące uczestnictwo w transferze wiedzy i działaniach szkoleniowych, obejmujące udział członków EURAMET-u z państw nieuczestniczących w inicjatywie „Artykuł 169”.
5. Popularyzacja wspólnego programu, kierowanie i zarządzanie nim obejmuje takie działania jak:
 - a) funkcjonowanie sekretariatu, obejmujące kierowanie procesami i procedurami wyboru projektów i wszelkie działania pomocnicze,
 - b) kierowanie, doradztwo, koordynacja i uzyskiwanie informacji od zainteresowanych podmiotów,
 - c) popularyzacja i promocja programu wśród zainteresowanych podmiotów,
 - d) kontynuacja działań zapewniająca właściwą ewolucję programu w czasie wykraczającym poza okres współfinansowania EMRP przez KE,
 - e) sporządzanie raportów nt. realizacji wspólnego programu.

Europejskie krajowe programy badań naukowych w metrologii są definiowane jako działania naukowe finansowane z funduszy publicznych, dotyczące Krajowych Systemów Metrologicznych w poszczególnych krajach uczestniczących w EMRP i wnoszących swój

wkład w jego realizację. Zastosowanie Artykułu 169 zakłada zobowiązanie każdego państwa uczestniczącego w programie do zmobilizowania do udziału w nim swych organizacji finansowanych z funduszy publicznych działających w obszarze objętym EMRP oraz do przeznaczenia określonych środków na realizację wspólnego programu.

Zarządzanie Europejskim Programem Badań Naukowych w Metrologii

Realizacją EMRP kieruje EURAMET e.V. Jest to stowarzyszenie o charakterze non-profit zgodne z niemieckim prawem cywilnym (eingetragener Verein, e.V.). Stowarzyszenie e.V. działa na podstawie §§ 21 – 79 niemieckiego kodeksu cywilnego (BGB). Ten podmiot prawny poza prowadzeniem EMRP ma również na celu realizację zadań i zobowiązań związanych z europejską i globalną harmonizacją metrologii. W związku z tym członkostwo w EURAMET-cie e.V. jest otwarte dla wszystkich krajów europejskich poprzez ich krajowe instytucje metrologiczne. A zatem, partnerzy EMRP w praktyce tworzą podstrukturę EURAMET-u e.V., zajmującą się wszystkimi sprawami EMRP.

EURAMET będzie rozwijać i realizować wspólny program EMRP oraz zapewni struktury prawną, finansową i operacyjną, konieczne dla otrzymywania, rozdziału i rozliczania funduszy oraz zarządzania działalnością. Struktura EURAMET-u jest następująca:

- ▶ „Zgromadzenie Ogólne” członków stowarzyszenia e.V., najwyższa władza EURAMET-u, które będzie podejmować decyzje związane ze wszystkimi sprawami dotyczącymi poszerzonego EURAMET-u. Jednakże, co się tyczy spraw związanych z realizacją EMRP, Zgromadzenie Ogólne będzie działać zgodnie z wiążącymi zaleceniami Komitetu EMRP.
- ▶ „Przewodniczący”, który jest oficjalnym przedstawicielem EURAMET-u e.V. i jego zastępcy.
- ▶ „Zarząd” e.V., który odpowiada za zapewnienie wprowadzania w życie decyzji Zgromadzenia Ogólnego oraz określa środki niezbędne dla realizacji celów EURAMET-u.
- ▶ „Komitet EMRP”, który jest ciałem decyzyjnym odpowiedzialnym za wszystkie aspekty związane ze wspólnym programem EMRP, co obejmuje: zawartość programu, kwestie finansowe, decyzje dotyczące przeznaczania środków, konkursy na wnioski projektowe, kryteria oceny, wyznaczanie ekspertów do oceny wniosków projektowych oraz ostateczną decyzję dotyczącą wyboru wniosków projektowych. Komitet EMRP obejmuje wyłącznie przedstawicieli z państw uczestniczących w inicjatywie „Artykuł 169”.
- ▶ „Rada Naukowa”, która udziela Komitetowi EMRP strategicznych porad w sprawach EMRP. Radę stanowi zrównoważona reprezentacja zainteresowanych podmiotów, głównie z państw uczestniczących, w tym przykładowo kluczowe grupy interesu instytucjonalne i przemysłowe, pochodzące z takich instytucji, jak BIPM, Komisja Europejska, Europejska Rada ds. Badań Naukowych, Parlament Europejski, EUROLAB, CEN, WELMEC, powiększone o osoby indywidualne wyznaczone z uwagi na ich strategiczną wiedzę.
- ▶ „Sekretariat” e.V., który zapewnia administracyjne wsparcie prac realizowanych w ramach EURAMET-u, włączając sekretariat zajmujący się EMRP, który wspiera wdrażanie

nie i realizację EMRP. Wspiera on prace Zgromadzenia Ogólnego, Zarządu, Komitetu EMRP i Rady Naukowej.

Finansowanie Europejskiego Programu Badań Naukowych w Metrologii

Budżet EMRP jest przewidywany na siedem lat. Środki krajowe przeznaczane na Wspólny Program są szacowane na co najmniej 200 M€ w okresie siedmioletnim. Ponadto, każdy kraj będzie utrzymywał rezerwę budżetową w celu zapewnienia tego, by wybór projektów, który opiera się na zgodności z celami programu, nie był zagrożony przez ograniczenia budżetowe w którymś z krajów uczestniczących. W celu zwiększenia efektów EMRP Komisja Europejska przeznaczy na ten program kwotę 200 M€.

Koszty zarządzania operacyjnego zostaną ograniczone do 3,5 % całej wartości programu, a połowa kosztów zostanie pokryta z bezpośrednich wkładów krajów członkowskich e.V. uczestniczących w inicjatywie „Artykuł 169”. Koszty związane z działalnością Sekretariatu EURAMETU e.V., które nie są związane ze wspólnym programem naukowym, zostaną pokryte oddzielnie przez wszystkich członków e.V. Poniżej podano sposób obliczania liczby głosów w komitecie EMRP

$$Vote = rnd \left(S \cdot \sqrt{\frac{NC}{NC_{max}}} \right)$$

gdzie: NC – krajowy udział, NC_{max} – maksymalny krajowy udział, $S = 10$

Obszar prac EMRP

W programie prac EMRP zastosuje się dwukierunkowe „odgórno-oddolne” podejście do badań naukowych, mając na celu z jednej strony „wielkie wyzwania”, a z drugiej strony „metrologię podstawową i stosowaną”. Tworzenie możliwości rozwojowych jest szczególnie ważne, ponieważ obecnie wiele krajów europejskich ma niewielki potencjał badawczo-rozwojowy (B + R) lub nie ma go wcale i aby rozwijać świadczone usługi musi polegać na badaniach prowadzonych w innych krajach europejskich.

Temat I EMRP, największy co się tyczy budżetu, skoncentruje wspólny potencjał naukowy europejskich NMI przy zastosowaniu zupełnie nowego podejścia „odgórnego”. Znacząco większe efekty osiągnie się poprzez skupienie doświadczenia i środków przeznaczanych w różnych dyscyplinach metrologicznych na prace B + R na określonych potrzebach dotyczących pomiarów i metrologii związanych z „Wielkimi Wyzwaniami” o europejskim i międzynarodowym znaczeniu – są to, na przykład, zmiany środowiska naturalnego i klimatu, produkcja energii, ochrona zdrowia i bezpieczeństwo.

Temat II, dziedzina działalności dotycząca „metrologii podstawowej i stosowanej”, obejmie odgórne multidyscyplinarne metrologiczne działania B + R, konieczne dla osiągnięcia stopniowych postępów dotyczących zmian w międzynarodowym układzie jednostek miar oraz oddolne tematyczne wyzwania naukowe w konkretnych dziedzinach technicznych przy mocnym wsparciu ze strony dobrze znanych komitetów technicznych.

Dziedziny działalności

Metrologia jest to horyzontalna dziedzina naukowo-techniczna, która wspiera prawie wszystkie dziedziny tematyczne w naukach przyrodniczych i technicznych. Pod względem technicznym jest to dziedzina szeroka i interdyscyplinarna, objęta wspólną metodologią, która charakteryzuje się naukowym podejściem do niepewności pomiaru, metodami matematycznymi i zasadami spójności. W skali międzynarodowej metrologia jest zorganizowana w ramach międzyrządowej Konwencji Metrycznej i jej organizacji, takich jak Międzynarodowy Komitet Miar (*CIPM – Comité international des poids et mesures*). W celu zaspokojenia najpilniejszych potrzeb przemysłowych i społecznych EMRP zajmuje się działalnością naukową w metrologii o charakterze interdyscyplinarnym.

Prace badawczo-rozwojowe w metrologii są realizowane zazwyczaj poprzez podejście obejmujące jedną dyscyplinę zgodnie ze schematem dziedzin technicznych podanym przez Komitety Konsultacyjne CIPM oraz Komitety Techniczne EURAMET-u (tak jak miało to miejsce w przypadku EUROMET-u). Podejście to sprawdza się w wielu przypadkach, zwłaszcza w określonych dziedzinach i będzie ono częścią EMRP. Jednakże, z uwagi na złożoność tematów, rosnąca liczba wyzwań wymaga podejścia bardziej interdyscyplinarnego. Tak więc, koordynacja w ramach EMRP nie oznacza jedynie koordynacji programów krajowych w określonej dziedzinie, lecz także koordynację różnej działalności naukowej, impulsem dla której jest kompleksowe wyzwanie.

W konsekwencji, dziedziny działalności EMRP są określone następująco:

- Wielkie wyzwania dotyczące metrologii interdyscyplinarnej (*zdrowie, energetyka, ochrona środowiska, nowe technologie*),
- Wielkie wyzwania dotyczące metrologii podstawowej,
- Metrologia dotycząca jednej dyscypliny i metrologia stosowana.

Wszystkie metrologiczne badania naukowe są wspomagane przez wspólnie tworzone programy matematyczne i komputerowe.

Działanie pomostowe

W ramach wspomnianego uprzednio działania pomostowego ERA-NET Plus w dniu 31 maja 2007 r. został ogłoszony konkurs na zgłaszanie propozycji tematycznych. Komisja Europejska wsparła to działanie kwotą 21 mln euro w postaci Działania Wspierającego i Koordynującego w ramach Programu Szczegółowego „Współpraca” objętego 7PR. Kraje uczestniczące w nim udzielią wsparcia w wysokości 42 mln euro za pośrednictwem sieci laboratoriów krajowych instytucji metrologicznych. W konkursie mogły brać udział instytucje, które były formalną częścią sieci krajowych laboratoriów metrologicznych w krajach uczestniczących.

Konkurs obejmował cztery priorytetowe obszary tematyczne określone Programami Celowymi:

- TP 1 Metrologia podstawowa,
- TP 2 Zdrowie,
- TP 3 Długość,
- TP 4 Elektryczność.

Termin składania propozycji tematycznych upłynął 6 lipca 2007 r. Konkurs składał się z dwóch etapów. Pierwszy etap obejmował składanie propozycji tematycznych i opracowanie propozycji wspólnych projektów badawczych, a drugi etap był niezależną oceną i zakończył się sporządzeniem końcowej listy projektów. Bezwzględnie po upływie terminu składania propozycji wyznaczeni eksperci zostali poinformowani o zawartości przedłożonych propozycji objętych Programami Celowymi w celu rozpoczęcia opracowywania Wspólnych Projektów Badawczych.

Eksperti:

- wyznaczyli koordynatorów naukowych dla poszczególnych Programów Celowych,
- dopracowali propozycje tematyczne w postaci pakietu wstępnych Wspólnych Projektów Badawczych realizujących strategiczne cele Programów Celowych,
- wyznaczyli koordynatorów naukowych dla Wspólnych Projektów Badawczych,
- opracowali Wspólne Projekty Badawcze ze wstępnym ustaleniem kosztów,
- opracowali krótkie podsumowanie zaproponowanych Wspólnych Projektów Badawczych.

Następnie propozycje tematyczne i wstępne Wspólne Projekty Badawcze zostały przesłane niezależnym opiniującym, po czym opiniujący, nadzorujący Programy Celowe i ich koordynatorzy oraz koordynatorzy Wspólnych Projektów Badawczych i przedstawiciele Komitetu EMRP spotkali się na Konferencji Przeglądowej w celu poddania analizie zawartości konkursu, wizji strategicznej EMRP i Programów Celowych oraz podstawowych zasad oceny. Opiniujący ocenili każdą propozycję tematyczną zgłoszoną w ramach poszczególnych Programów Celowych i przedstawili ranking zaproponowanych Wspólnych Projektów Badawczych. Opiniujący i nadzorujący Programy Celowe zarekomendowali Komitetowi EMRP listę Wspólnych Projektów Badawczych. Następnie Komitet EMRP dokonał ostatecznego wyboru listy w oparciu o rekomendacje opiniujących. Zaproponowane projekty były na bardzo wysokim poziomie i wstępnie w październiku 2007 r. konferencja przeglądowa wybrała 39 wspólnych projektów badawczych z 4. obszarów tematycznych. W związku z ograniczeniami finansowymi Komitet EMRP przedstawił listę 21. wspólnych projektów badawczych. Po uzyskaniu opinii Rady Naukowej lista została przesłana Komisji Europejskiej. W końcu listopada 2007 r. został podpisany kontrakt z Komisją Europejską dotyczący realizacji programu iMERA-Plus.

Lista wspólnych projektów badawczych realizowanych w ramach iMERA Plus

1. NAH – Avogadro and molar Planck constants,
2. e-MASS – Watt balance,
3. REUNIAM – Redefinition of the SI base unit ampere,
4. OCS – Optical clocks for a new definition of the second,
5. Nanoparticles – Traceable characterization of nanoparticles,
6. TRACEBIOACTIVITY – Traceable measurement for biospecies and ion activity in clinical chemistry,
7. Power & Energy – Next generation of power and energy measuring techniques,

8. NANOTRACE – New traceability routes for nanometrology,
9. CLINBIOTRACE – Traceability of complex biomolecules and biomarkers in diagnostics,
10. JOSY – Next generation of quantum voltage systems for wide range applications,
11. Long distance – Absolute long distance measurement in air,
12. EBCT External beam cancer therapy,
13. EMF and SAR – Traceable measurement of field strength and SAR for the Physical Agents Directive,
14. Regenmed – Metrology on a cellular scale for regenerative medicine,
15. Boltzmann constant – Determination of the Boltzmann constant,
16. Brachytherapy dosimetry – Increasing cancer treatment efficacy using 3D brachytherapy,
17. NIM Tech – Metrology for new industrial measurement technologies,
18. ULQHE – Development of ultimate metrological QHE devices,
19. qu-Candela – Candela: Towards quantum-based photon standards,
20. Breath analysis – Breath analysis as a diagnostic tool for early disease detection,
21. Nano Spin, Nanomagnetism and Spintronics.

W pierwszej połowie roku 2008 zostały podpisane kontrakty na realizację zatwierdzonych, wspólnych projektów badawczych. Pierwsza transza współfinansowania projektu została przekazana na konto EURAMETU w końcu listopada 2008 r.

Stan zaawansowania prac

Co się tyczy ram czasowych realizacji EMRP Komisja Europejska zdecydowała się na przeprowadzenie procedury „Współdecydowania” z udziałem Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej. W końcu roku 2008 projekt dot. Europejskiego Programu Badań w Metrologii został przekazany przez Komisję Europejską ds. Badań do Rady Unii Europejskiej, gdzie trwają prace nad przygotowaniem decyzji Parlamentu i Rady Unii Europejskiej dot. udziału Wspólnoty w Europejskim programie Badań Naukowych w Metrologii „DECISION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the participation by the Community in a European metrology research and development programme undertaken by several Member States”.

Uzgodniono przewidywany harmonogram konkursów oraz wysokość zaangażowanych środków finansowych. Pierwszy konkurs zostanie ogłoszony w terminie 1 czerwca – 31 lipca 2009 r.

Podsumowując, został pokonany pierwszy etap i możemy oczekiwać, że:

- w maju 2009 r. Parlament Europejski podejmie decyzję o współfinansowaniu Programu EMRP,
- w końcu 2009 r. będą zakończone negocjacje związane z kontraktem,
- do kwietnia 2010 r. zostanie zakończona procedura związana z pierwszym konkursem i selekcją wspólnych projektów badawczych,
- lipiec 2010 start wspólnych projektów badawczych.

Wnioski

Przedstawiony powyżej Europejski Program Badań Naukowych w Metrologii i stawiane przed nim zadania stymulują Krajowe Instytucje Metrologiczne do sprecyzowania zadań związanych z realizacją krajowych programów rozwoju metrologii lub stworzenia takich programów. Nowe wyzwania, jakie niosą ze sobą potrzeby Europy w dziedzinie metrologii, wymagają stworzenia nowej jakości działania w zakresie metrologii, jaką stanowią wielodyscyplinarne projekty badawcze związane właściwie z całym obszarem gospodarki europejskiej począwszy od ochrony zdrowia, środowiska, energetyki, a kończąc na nowych technologiach. Jest to także wyzwanie dla metrologii w Polsce – wydaje się koniecznym sprecyzowanie obszarów zainteresowania metrologii polskiej tak, aby jak najlepiej wpisać się w obszary wspierane przez Unię Europejską.

Dobrosława Sochocka
Główny Urząd Miar

LETNIA SZKOŁA METROLOGII

W lipcu ubiegłego roku po raz pierwszy dwóch pracowników Głównego Urzędu Miar, **dr inż. Michał Mosiądz** i **mgr inż. Dariusz Czulek**, wzięło udział w *Letniej Szkole Metrologii (BIPM Metrology Summer School 2008)*, zorganizowanej przez Międzynarodowe Biuro Miar. Celem tego przedsięwzięcia była wymiana wiedzy i doświadczenia, a także poznanie najnowszych osiągnięć i kierunków rozwoju światowej metrologii.

W BIPM Metrology Summer School 2008 wzięli udział metrologi, reprezentujący najważniejsze instytucje metrologiczne z całego świata. Podczas spotkania mieli okazję poznać się osobiście, zaprezentować swoje osiągnięcia, wymienić doświadczenia i poszerzyć horyzonty zawodowe. Istotą Letniej Szkoły był cykl wykładów i zajęć warsztatowych stanowiących przegląd tego, co w metrologii najnowsze i najważniejsze. Zajęcia prowadzili naukowcy będący najlepszymi specjalistami w swoich dziedzinach, którzy przedstawili wiedzę z określonej specjalizacji wraz z kierunkami jej rozwoju. Pozwoliło to poszerzyć horyzonty, a także zapoznać się z najnowszymi zdobyczami nauki. Dzięki interesującym wykładom słuchacze wynieśli ze spotkania wiedzę pozwalającą szerzej spojrzeć na całokształt zagadnień związanych z metrologią, zarówno od strony naukowej, jak i organizacyjnej. Obecnie duży nacisk kładziony jest na interdyscyplinarność nauki. Postęp naukowo-techniczny niejako wymusza łączenie wiedzy z różnych dziedzin. Bez tego niemożliwe jest zrozumienie zjawisk fizycznych spotykanych w codziennej pracy.

Oprócz cyklu wykładów, i mniej oficjalnych spotkań, program Letniej Szkoły Metrologii obejmował również zwiedzanie laboratoriów pomiarowo-badawczych BIPM oraz LNE. Uczestnicy spotkań mieli okazję zapoznać się z codzienną pracą w tych instytucjach, obejrzeć rozwiązania tam stosowane, a także skonsultować problemy spotykane w swojej pracy ze specjalistami z innych dziedzin. Wyposażenie oraz organizacja pracy laboratoriów zrobiła duże wrażenie na uczestnikach wizyt, a wiele zaobserwowanych technik pomiarowych i szczegółów technicznych może zostać wdrożona również w codziennej pracy laboratoriów GUM.

W czasie wizyty w Paryżu odbyło się również wiele spotkań na gruncie towarzyskim, połączonych ze zwiedzaniem jednego z najpiękniejszych miast Europy, a także zacieśnianiem przyjaźni w tak znamienitym gronie. Uczestnictwo w tym prestiżowym wydarzeniu zaowocowało wzbogaceniem specjalistycznej wiedzy i nawiązaniem cennych znajomości.



dr Michał Mosiądz
Główny Urząd Miar

MIĘDZYNARODOWE TARGI ANALITYKI I TECHNIK POMIAROWYCH EUROLAB 2009

W dniach 4–6 marca 2009 roku po raz pierwszy w nowo wybudowanym Centrum Targowo-Kongresowym MT Polska odbyły się kolejne XI Międzynarodowe Targi Analityki i Technik Pomiarowych. Targi EuroLab są przedsięwzięciem skierowanym głównie do branży laboratoryjnej, skupiającym rzesze wystawców krajowych i zagranicznych zainteresowanych nowymi technologiami, sprzętem kontrolno-pomiarowym oraz wynikami najnowszych prac naukowo-badawczych. Każdej edycji imprezy towarzyszą prowadzone na wysokim poziomie seminaria, konferencje i wykłady. W trakcie tegorocznych Targów Główny Urząd Miar zorganizował seminarium na temat „*Współczesna metrologia*”, na którym przedstawiono następujące referaty:

- *Dokładność w pomiarach temperatury* – Elżbieta Grudniewicz
- *Nowe podejście dotyczące wyrażania niepewności pomiaru w dokumentach Międzynarodowego Biura Miar* – Paweł Fotowicz
- *Porównania międzylaboratoryjne wzorców wielkości elektrycznych* – Edyta Dudek, Michał Mosiądz, Lidia Snopek
- *Odtwarzanie jednostki indukcyjności na podstawie pojemności elektrycznej oraz automatycznych komparacji wzorców indukcyjności z wykorzystaniem komparatora RLC* – Jolanta Jursza, Maciej Koszarny, Robert Rzepakowski
- *Niejednoznaczność udziału rozdzielczości w niepewności wyniku pomiaru* – Albin Czubła, Jan Stępniewski
- *Nowe stanowisko państwowego wzorca jednostki kąta płaskiego* – Katarzyna Nicińska, Joanna Przybylska
- *Zastosowanie syntezy częstotliwości do praktycznej realizacji jednostki długości w GUM* – Dariusz Czulek, Robert Szumski

HARMONOGRAM SEMINARIÓW GŁÓWNEGO URZĘDU MIAR 2009 ROK

Lp.	Data	Tytuł	Autor
1.	20 stycznia	Państwowe wzorce jednostek: pojemności elektrycznej i indukcyjności	<i>Robert Rzepakowski</i> GUM - M4
2.	17 lutego	Państwowy wzorzec jednostki temperatury utrzymywany w Głównym Urzędzie Miar	<i>Elżbieta Grudniewicz, Władysław Roszkowski</i> GUM - M5
3.	17 marca	Państwowe wzorce jednostek napięcia elektrycznego i rezystancji	<i>Edyta Dudek</i> GUM - M4
4.	21 kwietnia	Państwowy wzorzec jednostki temperatury dla zakresu od 13,8033 K do 273,16 K	<i>dr hab. Anna Szmyrka-Grzebyk</i> Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Wrocław
5.	16 czerwca	Odtwarzanie i przekazywanie jednostki kerm w powietrzu dla promieniowania rentgenowskiego	<i>Adrian Knyziak</i> GUM - M2
6.	20 października	Pomiar i wynik pomiaru wg rozstrzygnięć terminologicznych BIPM. Terminy i definicje Międzynarodowego Słownika Metrologii	<i>dr inż. Jerzy Borzymiński</i> GUM - M2
8.	17 listopada	Odtwarzanie i przekazywanie jednostki mocy kerm w powietrzu dla promieniowania gamma	<i>Adrian Knyziak</i> GUM - M2
9.	15 grudnia	Praktyczne obliczanie niepewności pomiaru zgodne z zalecaną procedurą przez nowy dokument: BIPM JCGM 101:2008	<i>Paweł Fotowicz</i> GUM - M2

**Seminaria odbywają się o godz. 11⁰⁰ w sali 105
Głównego Urzędu Miar przy ul. Elektoralnej 2**

Wydawca: **Główny Urząd Miar**

Prezes

JANINA MARIA POPOWSKA

tel. 581 95 45, fax 620 84 11,

e-mail: prjp@gum.gov.pl

**Wiceprezes odpowiedzialny za sprawy
metrologii naukowej**

WŁODZIMIERZ POPIOŁEK

tel. 581 95 49, fax 620 84 11, e-mail: vprwp@gum.gov.pl

**Wiceprezes odpowiedzialny za sprawy
metrologii prawnej**

DOROTA HABICH

tel. 581 93 26, fax 624 25 73,

e-mail: vprdh@gum.gov.pl

Dyrektor Generalny Urzędu

ELŻBIETA SOIKA

tel. 581 93 78, fax 624 02 68, e-mail: dgu@gum.gov.pl

Redakcja: **Stanowisko ds. Koordynacji Współpracy Naukowej**

Dobrosława Sochocka tel. (22) 581 92 93, e-mail: d.suchocka@gum.gov.pl

Paweł Fotowicz tel. (22) 581 94 37, e-mail: uncert@gum.gov.pl