

Omówienie sprawozdania Dyrektora Międzynarodowego Biura Miar z działalności BIPM w roku 2010

W. T. Chyla

Główny Urząd Miar

Ostatni raport Dyrektora BIPM, prof. Andrew Wallarda, koncentruje się na naukowych i administracyjnych aspektach działalności BIPM w 2010 r., ale widoczne są również jego osobiste refleksje na temat misji realizowanej przez tę instytucję. Jest to ostatni przygotowany przez niego raport, ponieważ z końcem 2010 r. przeszedł on na emeryturę, a obowiązki Dyrektora BIPM przejął dotychczasowy wice-Dyrektor, prof. Michael Kühne (rys. 1).



Rys. 1. Prof. Andrew Wallard (z lewej), Dyrektor BIPM w latach 2004–2010 oraz jego następcą, prof. Michael Kühne (z prawej) *Źródło: BIPM*

1. Problematyka ogólna

Dominującym przedsięwzięciem organizacyjnym w roku 2010 były przygotowania do 24. Generalnej Konferencji Miar (CGPM) w 2011 r., na której zostanie przedyskutowany i zatwierdzony program prac badawczych i budżet na lata 2013–2016. Innym ważnym tematem tej Konferencji będzie ocena stanu przygotowań do redefinicji czterech jednostek podstawowych układu SI, a w szczególności kilograma.

Konferencje CGPM mają charakter decyzyjny, natomiast planowaniem i przygotowaniem materiałów merytorycznych, na podstawie których podejmowane są owe decyzje, zajmuje się BIPM i CIPM (Międzynarodowy Komitet Miar). Instytucje te działają zgodnie z wypracowanym wspólnie 10-letnim programem ramowym, który jest dyskutowany i dostosowywany na bieżąco do nowych trendów, możliwości i wyzwań w metrologii. Ekspertcy wywodzący się z NMI i 10. Komitetów Doradczych CIPM wnoszą ważny wkład do agendy CIPM. Istotnym elementem współpracy BIPM z przedstawicielami rządów krajów-sygnatariuszy Konwencji Metrycznej są spotkania z Dyrektorami NMI. Ostatnie takie spotkanie odbyło się w czerwcu 2010 r., a następne – planowane na maj 2011 r. – zadecyduje o ostatecznym kształcie projektów uchwał przygotowywanych na 24. Konferencję CGPM, a w szczególności o wysokości i strukturze budżetu warunkującego utrzymanie planowanego zakresu prac badawczych.

Inną ważną kwestią mającą być przedmiotem dyskusji na 24. CGPM jest redefinicja jednostek podstawowych układu SI. Temat ten znajduje się w zakresie kompetencji Komitetu Doradczego ds. Jednostek Miar (CCU) i Komitetu Doradczego ds. Elektryczności i Magnetyzmu (CCEM). W CCU opracowano mapę drogową redefinicji, a w szczególności zaproponowano nowe sformułowania definicji jednostek podstawowych SI oraz przygotowano dla CIPM projekt rezolucji w sprawie redefinicji. Na ostatniej Konferencji CIPM w październiku 2010 r. zatwierdzono (z niewielkimi zmianami) projekt owej rezolucji, która ma być

poddana pod głosowanie na 24. CGPM. Wyraża ona generalne poparcie dla idei redefinicji kilograma, ampera, kelwina i mola, jednak stopień zaawansowania prac badawczych nie pozwala jeszcze na określenie konkretnego terminu realizacji tego ważnego przedsięwzięcia. W roku 2010 minęło 50 lat od wprowadzenia Międzynarodowego Układu Jednostek Miar SI; planowana kompleksowa reforma układu SI, znana jako *New SI* lub *Quantum SI*, będzie prawdopodobnie przesunięta o parę lat, ponieważ nie zostały jeszcze spełnione wszystkie kryteria techniczne, a pośpiech w tak kluczowej sprawie nie jest wskazany.

W 2010 r. liczba państw członkowskich BIPM nie zmieniła się i wynosi 54. Przybyło natomiast 5. nowych członków stowarzyszonych CGPM, których jest obecnie 32. Kilka krajów stowarzyszonych prowadzi negocjacje w sprawie uzyskania pełnego członkostwa BIPM jeszcze przed 24. Konferencją CGPM.

W ciągu ostatniego roku zaszły znaczne zmiany organizacyjne w BIPM. Poszczególne Sekcje tematyczne przekształcono w Wydziały, a ich dotychczasowi szefowie uzyskali status i tytuł Dyrektorów. Połączono również komórki administracyjne, finansowe i usługowe, tworząc nowy Wydział Finansów, Administracji i Spraw Ogólnych, na którego czele stoi Dyrektor ds. Administracyjno-Finansowych. Wydział ten wdraża obecnie nowy system księgowy i zawiaduje funduszem emerytalnym BIPM. Decyzje te mają poprawić efektywność gospodarowania środkami finansowymi. Konieczność zmniejszenia wydatków socjalnych spowodowała, że od 2010 r. ograniczono przywileje emerytalne nowych pracowników BIPM.

W związku z przejściem na emeryturę, prof. A. Wallard podziękował wszystkim pracownikom BIPM za wiele lat niezwykle udanej współpracy dla dobra społeczności międzynarodowej, zarówno w dziedzinie naukowej, jak i pod względem organizacyjnym, oraz złożył najlepsze życzenia swemu następcy, prof. M. Kühne.

2. Współczesne zadania BIPM

Nadrzędnym celem BIPM jest realizacja litery i ducha postanowień Konwencji Metrycznej. Cel ten jest urzeczywistniany poprzez utrzymanie i ulepszanie wzorców jednostek miar układu SI, prowadzenie prac naukowych w dziedzinie wzorców i rozwój międzynarodowego układu jednostek miar. Horyzontalny i globalny charakter współczesnej metrologii wymaga podejmowania przez BIPM działań w wielu dziedzinach, na płaszczyźnie naukowej, dyplomatycznej, gospodarczej i informacyjnej.

2.1 Prowadzenie prac badawczych – waga Watta

Tematyka prac badawczych prowadzonych w poszczególnych Wydziałach BIPM jest bardzo obszerna i będzie omówiona w oddzielnym rozdziale. W tym punkcie skoncentrujemy się na pracach interdyscyplinarnego zespołu ds. konstrukcji wagi Watta oraz kwestiach związanych z redefinicją kilograma, a podniesionych na ostatniej konferencji CIPM w październiku 2010 r.

Waga Watta budowana w BIPM (rys. 2) różni się od podobnych urządzeń konstruowanych w NIST i kilku innych NMI tym, że pomiar statyczny wykonywany jest równocześnie z pomiarem dynamicznym. Praktyka pokazuje jednak, że idea potencjalnie świetna jest trudna do zrealizowania i urządzenie to było już parokrotnie ulepszone w ciągu ostatnich kilku lat. W ubiegłym roku wykonano 11 serii pomiarów¹⁾ uzyskując rezultaty obarczone

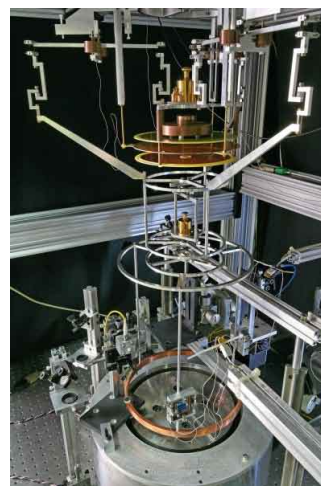
¹⁾ Pomiar masy za pomocą wagi Watta jest równoważny pomiarowi stałej Plancka.

względna złożoną niepewnością standardową rzędu $5 \cdot 10^{-5}$, w porównaniu do wartości $3.6 \cdot 10^{-8}$ uzyskanej w NIST. Również rozrzut wyników, którego miarą jest względne odchylenie standardowe, jest znaczny i wynosi $5 \cdot 10^{-6}$.

O konieczności dokonania zasadniczych ulepszeń w tym projekcie wiadomo było już wcześniej; we wrześniu 2009 r. podjęto analizę wykonalności urządzenia pracującego w warunkach kriogenicznych i w próżni. Obecnie przygotowywane jest nowe laboratorium przeznaczone dla wagi Watta; wyróżnia się ono doskonałą izolacją od zakłóceń mechanicznych (drgania) i termicznych. Ponieważ przyspieszenie grawitacyjne w miejscu pomiaru jest jedną z wielkości decydujących o wyniku i niepewności pomiaru, przygotowywana jest trójwymiarowa mapa grawitacyjna tego pomieszczenia. Całe urządzenie będzie pracować w próżni; obudowa i układ pomp próżniowych są już konstruowane. Jednocześnie budowane są nowe, ulepszone podsystemy mechaniczne, optyczne i elektryczne wagi Watta. Integracja owych podsystemów stworzy właściwie całkowicie nowy układ pomiarowy; zadanie to planuje się wykonać w tym roku.

Waga Watta konstruowana w BIPM będzie dostępna do wzorcowań dla wszystkich krajów członkowskich BIPM na mocy postanowień Konwencji Metrycznej. Urządzenie to, jako realizacja nowej definicji jednostki masy, jest najważniejszym elementem programu redefinicji jednostek podstawowych SI. Przygotowania do redefinicji były przedmiotem długiej dyskusji na ostatniej konferencji CIPM, w wyniku której poparto program redefinicji kilograma, ampera, kelwina i mola w oparciu o ustalone wartości stałej Plancka h , ładunku elementarnego e , stałej Boltzmanna k_B i stałej Avogadro N_A , ale oceniono, że stan zaawansowania prac badawczych nie pozwala jeszcze na ustalenie terminu finalizacji tego przedsięwzięcia. Należy mianowicie spełnić następujące warunki: (1) potrzebna jest więcej niż jedna waga Watta działająca z wystarczającą dokładnością; (2) wartości h określone dwiema niezależnymi metodami (metodą wagi Watta i metodą kuli krzemowej²⁾) powinny wykazywać lepszą zgodność, a to wymaga znacznego zmniejszenia niepewności w projekcie kuli krzemowej; (3) definicje jednostek miar w oparciu o ustalone wartości stałych fizycznych mają charakter abstrakcyjny, należy więc przygotować praktyczną realizację (*mise en pratique*) każdej z tak zdefiniowanych jednostek. W ocenie CIPM, są to niełatwe zadania, które trudno będzie spełnić w ciągu najbliższych kilku miesięcy, toteż przedsięwzięcie to będzie prawdopodobnie sfinalizowane dopiero za parę lat.

Po zredefiniowaniu jednostki masy za pomocą stałej Plancka i realizacji kilograma metodą wagi Watta, międzynarodowy wzorzec kilograma przechowywany w BIPM straci status wzorca pierwotnego. Ponieważ w przewidywalnym czasie niewiele państw będzie dysponować własną wagą Watta, zatem BIPM powinno mieć takie urządzenie, aby móc wykonywać tego rodzaju wzorcowania krajom-sygnatariuszom Konwencji Metrycznej; BIPM będzie też organizatorem porównań kluczowych wag Watta. Zastosowanie wag Watta nie zniesie potrzeby przekazywania wartości jednostki masy za pomocą artefaktów, ponieważ



Rys. 2. Waga Watta konstruowana w BIPM jest ciągle ulepszana celem obniżenia niepewności pomiarów Źródło: BIPM

² Metoda kuli krzemowej, czyli Projekt Avogadro (*International Avogadro Coordination*, IAC) pozwala bezpośrednio zmierzyć wartość stałej Avogadro N_A , a nie h , ale istnieje związek obu tych stałych, dzięki czemu można porównywać wyniki otrzymywane tymi dwiema metodami.

jest to metoda bardzo wygodna i dokładna – w tym celu w BIPM przygotowywane są nowe wzorce robocze jednostki masy, wykonane z różnych materiałów.

BIPM dysponuje wzorcami różnych wielkości fizycznych i fizykochemicznych oraz współorganizuje porównania kluczowe w tych dziedzinach. Instytucja ta stwarza niezbędną, neutralną płaszczyznę współpracy międzynarodowej, zarówno w kwestiach naukowych, jak i w aspekcie organizacyjnym.

2.2 Rozpowszechnienie i doskonalenie Międzynarodowego Układu Jednostek Miar SI

Chociaż Konwencja Metryczna liczy już 135 lat, to rozpowszechnienie systemu metrycznego nie jest jeszcze procesem zakończonym. W wielu krajach, np. w USA, stosowane są inne układy jednostek miar. Również w nauce, a szczególnie w środowisku fizyków-teoretyków, układ metryczny nie jest jedynym powszechnie stosowanym, ze względu na wygodę używania wyspecjalizowanych układów jednostek fizycznych. Na przykład, w elektrodynamice dalej stosowany jest zracjonalizowany układ Gaussa, w fizyce atomowej i chemii kwantowej stosuje się jednostki Hartree lub jednostki naturalne ($e = c = m_e = \hbar = k_B = 1$); pod względem konsekwencji stosowania układu SI, inżynierowie są znacznie bardziej zdyscyplinowani niż czystej krwi teoretycy. Na usprawiedliwienie można jedynie dodać, że trudno astronomów przymusić do mierzenia odległości w metrach, wieku Wszechświata w sekundach, a fizyków jądrowych nakłonić do wyrażania przekroju poprzecznego reakcji cząstek elementarnych w metrach kwadratowych. Rola BIPM w propagowaniu jednego, powszechnie obowiązującego układu jednostek miar jest nie do przecenienia.

Międzynarodowy układ jednostek miar podlega ciągłej ewolucji, a zmiany idą w dwu kierunkach. Po pierwsze, rozszerza się zakres gałęzi wiedzy, w których wymagane jest podporządkowanie się rygorom metrologicznym; są to przede wszystkim pomiary w dziedzinie medycyny, analityki medycznej, farmacji, a także w tradycyjnych obszarach chemii i biologii, w przemyśle spożywczym i ochronie środowiska. Konieczne jest zatem opracowywanie nowych wzorców pomiarowych i metod pomiarowych, a nawet wprowadzanie nowych rodzajów jednostek (np. jednostka aktywności katalitycznej, katal, zatwierdzona przez CGPM w 1999 r.). Po drugie, podejście do sposobu definiowania jednostek również podlega zmianom. Jeszcze przed podpisaniem Konwencji Metrycznej Maxwell zaproponował oparcie definicji jednostek podstawowych na wzorcach atomowych; w owym czasie była to propozycja niemożliwa do zrealizowania ze względów technicznych i dopiero w roku 1960 CGPM przyjął nową definicję jednostki długości, w której metr określony był za pomocą długości fali świetlnej emitowanej przez izotop ^{86}Kr . W 1983 r. po raz pierwszy zdefiniowano jednostkę podstawową poprzez ustalenie wartości fundamentalnej stałej fizycznej, a mianowicie zdefiniowano metr ustalając wartość prędkości światła c . W obecnie opracowywanej, nowej wersji układu jednostek SI, zwanej też Kwantowym SI (*Quantum SI*), wszystkie jednostki podstawowe będą zdefiniowane za pomocą stałych fizycznych i własności atomowych. BIPM odgrywa wiodącą rolę w doskonaleniu Międzynarodowego Układu Jednostek Miar i opracowaniu *mise en pratique* nowych definicji jednostek podstawowych SI.

2.3 Współpraca z rządami krajów członkowskich BIPM oraz organizacjami międzynarodowymi

Na 23. Konferencji CGPM w 2007 r. zwrócono uwagę na konieczność bliższych i regularnych kontaktów BIPM z rządami krajów członkowskich, ponieważ Konferencje odbywają się tylko raz na cztery lata, a szybkiemu rozwojowi technologicznemu towarzyszy

konieczność sprawnego przepływu informacji i szybkiego reagowania na zmieniającą się sytuację. W tym celu, poza formalnymi raportami przekazywanymi przez BIPM rządom krajów członkowskich, poszerzono zakres tematyczny biuletynu *KCDB Newsletter*, w którym na bieżąco omawiane są aktualne zagadnienia fachowe, ważne wydarzenia w środowisku metrologicznym, jak również kwestie związane z CIPM MRA.

BIPM rozpoczął także wydawanie nowego biuletynu w formie elektronicznej, *BIPM Bulletin*. W ostatnim (trzecim) numerze przedstawiona jest notatka z 99. spotkania CIPM, przewidywana tematyka 24. Konferencji CGPM, informacja o wdrażaniu nowego systemu księgowego w BIPM oraz informacja o zmianach personalnych – nowym Przewodniczącym CIPM został dr Barry Inglis z Australii, a dotychczasowy szef, prof. Ernst Göbel z Niemiec (PTB) pozostał w składzie CIPM. Informacje te, choć bardzo pobieżne, dają jednak generalny ogłęd sytuacji osobom, które nie mają wglądu do materiałów poufnych.

Ważnym źródłem informacji o działalności BIPM jest również szczegółowy raport składany w połowie każdego roku przez Dyrektora BIPM na ręce CIPM [1], dostępny na stronach internetowych BIPM, oraz zwięzłe podsumowanie działalności BIPM [2], publikowane corocznie na łamach *Metrologii* (BIPM).

W maju 2011 r. zaplanowane jest spotkanie przedstawicieli krajów członkowskich BIPM celem przedyskutowania programu prac i budżetu BIPM na najbliższe lata (2013 – 2016). Już w grudniu ubiegłego roku przekazano odpowiednim ciałom rządowym materiały dotyczące proponowanego zakresu prac BIPM (*BIPM's Programme of Work*) oraz dokumentację przygotowywaną na 24. Konferencję CGPM, tak aby była możliwość wcześniejszego zapoznania się z tymi materiałami. Ostateczna wersja owych dokumentów, która będzie przedłożona CGPM w październiku 2011 r. będzie uwzględniać uwagi i wnioski ze spotkania majowego. Nieformalna dyskusja na tematy poruszane w tych dokumentach pozwoli wypracować najlepsze rozwiązania i usprawnić procedowanie w trakcie 24. Konferencji CGPM.

BIPM współpracuje z ok. 100. organizacjami krajowymi i międzynarodowymi, zarówno metrologicznymi, jak i działającymi w innych dziedzinach. Szczególnie ożywione są kontakty BIPM z BIML. BIPM organizuje liczne spotkania robocze i warsztaty szkoleniowe, w których współuczestniczy ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*), ISO (*International Organization for Standardization*), WMO (*World Meteorological Organization*) oraz UNIDO (*United Nations Industrial Development Organization*). W nowej strukturze organizacyjnej, koordynacją współpracy międzynarodowej BIPM zajmuje się p. Andy Henson wraz z trzysobowym zespołem.

Przedstawiciele BIPM oraz 7. innych organizacji tworzą JCGM (*Joint Committee for Guides in Metrology*). Dwie grupy robocze tego komitetu opracowują, aktualizują oraz udostępniają poprzez stronę internetową BIPM poradniki metrologiczne dotyczące słownictwa oraz metod obliczania niepewności pomiarów. Trzecie wydanie słownika *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*, VIM3, jest dostępne na stronach internetowych BIPM jako dokument JCGM 200:2008, a w ubiegłym roku opracowano też poprawki do tego wydania (*Corrigendum*). Dziełem grupy roboczej ds. niepewności pomiarów są *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, GUM 1995, with minor modifications (JCGM 100:2008), *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Propagation of distributions using a Monte Carlo method* (JCGM 101:2008) oraz *Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents* (JCGM 104:2009). W 2010 r. JCGM podjął decyzję, by nie uzupełniać i nie poszerzać

VIM3 w najbliższym okresie, aby dać metrologom czas na przyswojenie sobie zbioru pojęć zdefiniowanych w ostatnim wydaniu Słownika. Komitet wyraził również z troską sytuację, w której zalecenia poradników JCGM dotyczące niepewności pomiarów nie są tak powszechnie stosowane, jak się tego spodziewano, a w szczególności znajdują nikle odzwierciedlenie w programach nauczania.

Od sześciu lat sekretariat JCTLM (*Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine*) prowadzony jest przez BIPM. W pracach JCTLM biorą udział organizacje działające w obszarze medycyny klinicznej, analityki i diagnostyki medycznej, chemii analitycznej i dziedzin pokrewnych. Prace tego Komitetu plasują się w głównym nurcie współczesnej metrologii, która obejmuje coraz szersze obszary chemii, biologii, farmacji i medycyny.

2.4 Promocja metrologii w skali światowej

BIPM jest organizacją międzynarodową dobrze rozpoznawalną na całym świecie. Wzorcowania wykonywane dla NMI wielu krajów są źródłem wysokiego prestiżu zawodowego pracowników BIPM; najlepszym sposobem propagowania swej profesji jest bowiem perfekcyjne wywiązywanie się ze swych zawodowych obowiązków.

BIPM popularyzuje międzynarodowy układ jednostek miar SI, spójność pomiarową i jednolite podejście do obliczania niepewności pomiarów, które składają się na solidną podstawę wiarygodności pomiarów. Szefowie i pracownicy BIPM prowadzą aktywną działalność informacyjną poza ośrodkiem w Sèvres. W ubiegłym roku Dyrektor BIPM i jego zastępca odbyli 20 podróży zagranicznych w celu prowadzenia rozmów z innymi organizacjami międzynarodowymi, wizytowali NMI i Regionalne Organizacje Metrologiczne oraz prowadzili wykłady na licznych kursach szkoleniowych i konferencjach. Dyrektorzy i pracownicy Wydziałów przejawiają podobną aktywność międzynarodową, a wyniki prac badawczych upowszechniają w formie publikacji, zarówno prac naukowych, jak i raportów technicznych, których liczba wynosi ok. 200 rocznie.

Szczególnie ważne jest zaangażowanie BIPM w rozwój wzorców w dziedzinie nanostruktur. W ubiegłym roku zorganizowano dla ok. 100 uczestników specjalne warsztaty szkoleniowe, których integralną częścią była dyskusja okrągłego stołu, ponieważ standardy (wzorce, normy, metody pomiarowe) w tej nowej dziedzinie metrologii nie są jeszcze ustanowione. Wielkim powodzeniem cieszą się warsztaty szkoleniowe organizowane wspólnie z WMO (*World Meteorology Organization*), które dotyczą pomiarów wielkości ważnych z punktu widzenia monitorowania zmian klimatycznych w sposób spójny z jednostkami SI. Ustalenia tych obrad zostały szeroko rozpropagowane w kołach rządowych, wśród dyrektorów NMI i na forum organizacji międzynarodowych, takich jak IPCC (*International Panel on Climate Change*), czy UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*).

W BIPM prowadzona jest aktywna polityka kadrowa mająca na celu tworzenie więzi ze środowiskiem naukowym krajów członkowskich. W ubiegłym roku, na kontraktach krótkoterminowych w BIPM pracowało – z obopólną korzyścią – kilkadziesiąt osób z całego świata.

Ważnym elementem propagowania metrologii jest Światowy Dzień Metrologii (*World Metrology Day*, WMD), obchodzony corocznie 20 maja dla upamiętnienia dnia podpisania Konwencji Metrycznej. Jest to okazja do upowszechnienia w szerokich warstwach społecznych wiedzy o metrologii i roli jaką odgrywa ona w nauce, gospodarce, medycynie i innych ważnych społecznie dziedzinach.

2.5 Nadzór nad realizacją i uaktualnianie układu CIPM MRA

Sygnatariuszami Układu o Wzajemnym Uznawaniu CIPM MRA pod koniec 2010 r. było 47 NMI z państw członkowskich BIPM oraz 3 organizacje międzynarodowe (IAEA, IRMM i WMO); do CIPM MRA przystąpiło również 27. członków stowarzyszonych CGPM i 134. Instytuty Desygnowane (DI). Liczba organizacji uczestniczących w CIPM MRA powiększa się w dalszym ciągu i obecnie wynosi 48. członków BIPM, 30. członków stowarzyszonych CGPM oraz 135 DI.

Wiarygodność oraz uznawanie wyników i świadectw pomiarów zapewniają odpowiednie wpisy do bazy danych KCDB (*Calibration and Measurement Capability, CMC*), których jest obecnie ponad 23 tysiące. Wpisy uzyskiwane są na podstawie wyników porównań kluczowych i porównań uzupełniających organizowanych i nadzorowanych przez BIPM, Komitety Doradcze CIPM oraz Regionalne Organizacje Metrologiczne (RMO). Porównań takich przeprowadzono już ok. 700. Baza danych KCDB cieszy się niezwykle popularnością; liczba wejść do tej bazy danych sięga 100 tysięcy rocznie, a liczba przeglądanych stron zbliża się do miliona rocznie.

Układ CIPM MRA ma już 11 lat. Pomimo ogromnego sukcesu tej inicjatywy, w wielu szczegółowych punktach jest on już nieaktualny, np. odwołuje się do zmienionych w międzyczasie norm jakości, struktur organizacyjnych, procedur „okresu przejściowego” i nie uwzględnia zmian, które zaszły w terminologii. CIPM zaakceptował już projekt Uzupełnienia do MRA (*Addendum*), który będzie przedyskutowany na spotkaniu Dyrektorów NMI w maju 2011 r.; będą wówczas przyjmowane propozycje dalszych modyfikacji tego dokumentu. Zmiany technologiczne, prawne i organizacyjne we współczesnym przemyśle i handlu wymagają szybkiego dostosowywania MRA do aktualnych realiów, tak aby dotychczasowy sukces w usuwaniu technicznych barier w handlu mógł być w przyszłości kontynuowany dla dobra całej gospodarki światowej.

3. Prace wydziałów naukowych BIPM

3.1 Wydział Masy

Ważnym elementem prac Wydziału jest wzorcowanie krajowych prototypów kilograma przez odniesienie ich do międzynarodowego prototypu kilograma (rys. 3). W ubiegłym roku ukończono wzorcowanie 6. prototypów platynowo-irydowych i rozpoczęto wzorcowanie 4. następných. Wzorcowaniu poddano także kilkanaście stalowych kopii międzynarodowego wzorca jednostki masy. Wzorcowaniu kopii stalowych towarzyszy zwykle pomiar ich podatności magnetycznej, ponieważ oddziaływanie z ziemskim polem magnetycznym musi być uwzględnione w pomiarach najwyższej dokładności. Wydział dokonuje również sprawdzeń podatności magnetycznej kopii platynowo-irydowych.

W Wydziale Masy wykonywane są także wzorcowania mniejszych mas, od 5 g do 100 g, za pomocą nowej, automa-



Rys. 3. Międzynarodowy prototyp kilograma wraz z sześcioma „kopiami oficjalnymi” przechowywany jest w sejfie BIPM do dziś, w warunkach określonych w 1889 r. przez 1 CGPM

Źródło: BIPM

grudnia 2010 r. odchylenia skali czasu TAI mieściły się w zakresie od $+2.6 \cdot 10^{-15}$ do $+5.7 \cdot 10^{-15}$ przy rozszerzonej niepewności standardowej wynoszącej poniżej $1 \cdot 10^{-15}$. W ciągu ostatniego roku dokonano 12 poprawek skali czasu, które w sumie wyniosły $-6.1 \cdot 10^{-15}$, w oparciu o 13 najbardziej stabilnych wzorców częstotliwości, w tym 9 tzw. fontann cezowych. Od kilku lat, BIPM we współpracy z kilku obserwatoriami astronomicznymi bada możliwość wykorzystania pulsarów milisekundowych do sprawdzenia stabilności czasu atomowego w bardzo długich okresach czasu.

Z rekomendacji Komitetu Doradczego ds. Czasu i Częstotliwości (CCTF) wdrożono porównania czasu TAI wykorzystujące metodę PPP (*Precise Point Positioning, GPS Precise Positioning Technique*). Do obliczeń czasu UTC wykorzystywane jest również bezpośrednie połączenie między PTB (Niemcy) i WNIIFTRI (Rosja) za pomocą nowego rosyjskiego systemu satelitarnego GLONASS. Wydział systematycznie wzorcuje odbiorniki systemu GPS i GLONASS, ponieważ w porównaniach czasu bardzo istotne jest opóźnienie sygnału wskutek oddziaływania z jonosferą, której stan zależy od wielu czynników, a przede wszystkim od aktywności Słońca.

Od kilku lat Wydział współpracuje z USNO (*United States Naval Observatory*), prowadząc badania czasoprzestrzennego układu odniesienia związanego z Ziemią (IERS), co jest nietrywialnym zagadnieniem ze względu na skomplikowany ruch Ziemi (złożenie ruchu postępowego i obrotowego, nutacje), na który mają wpływ również zmiany zachodzące wskutek przemieszczeń masy w skorupie ziemskiej. Równocześnie, we współpracy z IAU (*International Astronomical Union*), opracowywany jest układ odniesienia niezależny od Ziemi (*International Celestial Reference Frame*), konieczny do nawigacji pozaziemskiej.

Ekspertom z Wydziału Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii udzielają pomocy technicznej w przeprowadzaniu kluczowych porównań laserów stabilizowanych (CCL-K11) oraz grawimetrów (ICAG-2009). Badania grawimetryczne odgrywają ważną rolę również w programie konstrukcji wagi Watta.

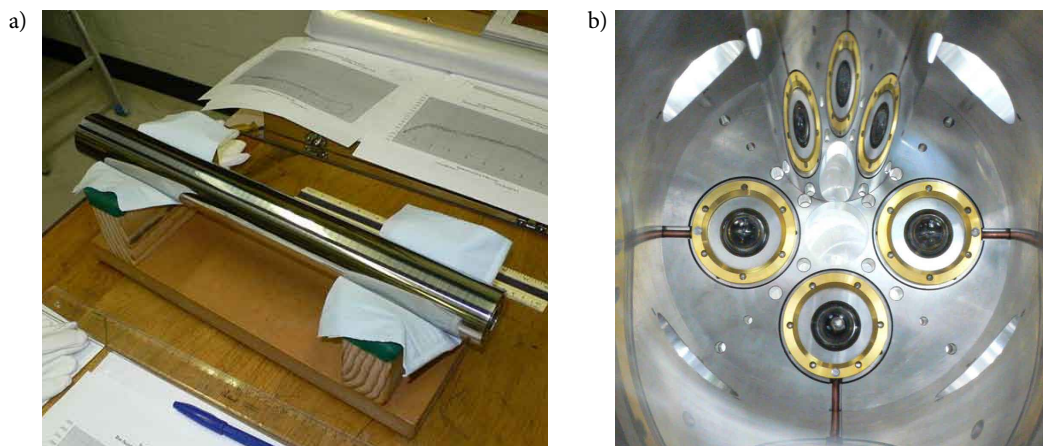
Wydział udostępnia swe zasoby do prowadzenia sekretariatów CCTF i CCTL oraz na posiedzenia grup roboczych tych Komitetów. W ubiegłym roku pracownicy Wydziału opublikowali kilkadziesiąt prac naukowych i raportów technicznych, byli zapraszani w charakterze ekspertów na liczne konferencje, warsztaty szkoleniowe oraz do udziału w grupach roboczych.

3.3 Wydział Elektryczności

Prace prowadzone w Wydziale Elektryczności mają bardzo szeroki zakres, ponieważ w większości współczesnych systemów pomiarowych układy elektryczne odgrywają niezwykle ważną rolę. W szczególności, pracownicy Wydziału Elektryczności stanowią trzon kadry budującej wagę Watta. Obecnie konstruowany jest nowy układ do pomiaru napięcia elektrycznego, oparty na 13-elementowej macierzy Josephsona.

W ubiegłym roku ukończono budowę przenośnego wzorca napięcia elektrycznego (Josephsona), który będzie wykorzystywany do wzorcowań przeprowadzanych w NMI krajów członkowskich BIPM. W porównaniach tego wzorca z obecnie wykorzystywanym, stacjonarnym wzorcem napięcia uzyskano względną niepewność standardową $1 \cdot 10^{-10}$, co jest doskonałym wynikiem. Automatyczny system wzorcowania diod Zenera został również pomyślnie przetestowany i jest on już wykorzystywany w praktyce.

Planowana jest budowa przenośnego kwantowego wzorca oporu elektrycznego (QHR). W kriostacie obecnego, stacjonarnego wzorca QHR wykryto przeciek; nowy kriostat jest



Rys. 5. a) Jedna z czterech elektrod kondensatora obliczeniowego; b) Montaż kondensatora obliczeniowego: pierwsza elektroda jest już zamocowana (u góry), a trzy pozostałe będą umocowane w widocznych na zdjęciu szafirowych głowicach

Źródło: BIPM

obecnie instalowany. Konstruowany jest też nowy komparator prądowy pracujący w temperaturze pokojowej.

W 2010 r. w Wydziale Elektryczności wykonano ponad 60 wzorcowań wzorców rezystancji, napięcia elektrycznego i indukcyjności dla NMI 14. krajów członkowskich BIPM. Przeprowadzone zostały porównania kluczowe i bilateralne napięcia (w zakresie 1.018 V i 10 V), pojemności elektrycznej (w zakresie 10 pF i 100 pF) oraz rezystancji (w zakresie 1 Ω , 100 Ω i 10 k Ω); w tym ostatnim porównaniu bierze udział GUM (1 Ω i 10 k Ω), a raport jest już przygotowywany.

W BIPM wdrożono system jakości, co jest niezwykle ważne z punktu widzenia zapewnienia jednolitości wymagań i procedur we wszystkich laboratoriach wzorcujących. W ubiegłym roku system jakości w zakresie pomiarów rezystancji, napięcia i pojemności elektrycznej przeszedł pomyślnie audyt wykonany przez ekspertów z NPL, METAS i PTB.

Program budowy dwu egzemplarzy nowego typu kondensatora obliczeniowego, realizowany przez Wydział Elektryczności BIPM we współpracy z NMIA (Australia), jest już w końcowej fazie. W 2010 r. NMIA przekazał do BIPM cztery elektrody przeznaczone do tego urządzenia, które zostały wykonane z dokładnością 10^{-7} m (rys. 5). Przeprowadzone testy wskazują, że chociaż niektóre elementy kondensatora obliczeniowego (zamocowania i interferometryczny układ optyczny) będą musiały być nieco zmodyfikowane, to generalnie prace postępują zgodnie z planem. Jednym z najważniejszych celów tego programu jest niezależny pomiar stałej von Klitzinga z niepewnością względną $1 \cdot 10^{-8}$, co jest ważnym elementem programu redefinicji jednostek podstawowych SI.

Pracownicy Wydziału Elektryczności opublikowali w ubiegłym roku 9 prac naukowych, uczestniczyli w kilkunastu konferencjach, seminariach oraz spotkaniach komitetów technicznych i Komitetów Doradczych CIPM.

3.4 Wydział Promieniowania Jonizującego

W Wydziale Promieniowania Jonizującego kontynuowano prace nad wzorcami pierwotnymi dla dozymetrii i badania aktywności radionuklidów. Wykonywano również wzorcowania dla NMI krajów członkowskich BIPM oraz przeprowadzano porównania.

Zmierzone rok wcześniej wartości kermy w powietrzu dla promieniowania X (rys. 6) oraz dla promieniowania gamma emitowanego przez ^{137}Cs zostały zaaprobowane przez CCRI i są już dostępne. Na zlecenie ININ (meksykański instytut badań jądrowych o statusie



Rys. 6. Powietrzna komora jonizacyjna BIPM będąca pierwotnym wzorcem w zakresie promieniowania X
Źródło: BIPM

DI) przeprowadzono badanie wpływu niskiego ciśnienia na wyniki uzyskiwane przy pomocy grafitowej komory jonizacyjnej oraz komory z tworzywa sztucznego; badanie wykonano za pomocą wiązki promieniowania emitowanego przez ^{60}Co z intencją wykorzystania uzyskanych wyników przy budowie wzorca pierwotnego dla dozymetrii gamma. Wzorzec taki jest budowany dla ARPANSA (australijski instytut ochrony radiologicznej o statusie DI).

Kontynuowano badanie dawki pochłoniętej w wodzie z zastosowaniem wiązki ^{60}Co i kalorymetru grafitowego, osiągając odtwarzalność wyników na poziomie $1 \cdot 10^{-3}$. Wykonano również kilka serii analogicznych pomiarów stosując wiązkę promieniowania synchrotronowego (zamiast wiązki ze źródła kobaltowego), korzystając z akceleratora NRC (Kanada) i PTB (Niemcy).

Budowa w BIPM wzorca pierwotnego dla celów dozymetrii mammograficznej jest już ukończona; przeprowadzono porównania z NMIJ (NMI Japonii) i NIST (USA) oraz opracowano raport z tego porównania. Wykonano badanie charakterystyk wzorców krajowych w zakresie promieniowania X oraz promieniowania gamma dla NMI (lub DI) Finlandii, Norwegii, Chin i Afryki Południowej. Kontynuowano również stałą współpracę z WHO (*World Health Organization*) i IAEA (*International Atomic Energy Agency*) w tej dziedzinie. Podjęto także pierwsze trzy porównania wzorców stosowanych w brachyterapii; badania te prowadzone są we współpracy z VSL (Holandia), LNE-LNHB (Francja) i NPL (Wielka Brytania), a wyniki pomiarów są obecnie analizowane i opracowywane. W sumie przeprowadzono 15 porównań w dziedzinie dozymetrii, opublikowano 13 raportów oraz zbadano 17 charakterystyk krajowych wzorców wtórnych w dziedzinie dozymetrii.

Wydział Promieniowania Jonizującego bierze udział w programie SIR (*International Reference System*), którego istotą jest utrzymanie aktualnej i udokumentowanej bazy danych o radionuklidach aktywnych w zakresie promieniowania gamma. Od czasu rozpoczęcia programu SIR (1976 r.) wykonano pomiary dla 931. ampułek z 64. różnymi radionuklidami. W ciągu ostatniego roku, w Wydziale wykonano 17 porównań ampułek z 11. różnymi radionuklidami (rys. 7), a wyniki z 10. porównań zostały już opracowane i umieszczone w bazie danych SIR. Wyniki pomiarów publikowane są również w czasopiśmie *Metrologia*, w dodatku *Technical Supplement*. Zbiorcze zestawienia wyników pomiarów umieszczane są także w bazie danych KCDB.

Program SIR jest rozwijany w kierunku badania aktywności próbek radionuklidów krótkożyciowych, takich jak np. izotop technetu $^{99}\text{Tc}^m$, którego czas połowkowy wynosi



Rys. 7. Nowe laboratorium SIR w BIPM. Z prawej strony znajdują się 2 komory jonizacyjne wewnątrz osłony z bloków ołowiu
Źródło: BIPM

ok. 6 godzin. W przypadku emiterów krótkożyciowych, transport próbek do laboratoriów badawczych nie jest możliwy ze względu na szybki rozpad promieniotwórczy; do takich porównań stosuje się zatem wzorcowy przyrząd przenośny (*SIR Transfer Instrument, TI*), który został wywzorcowany we współpracy z LNE-LNHB (Francja), NPL oraz NIST. Kilka NMI już zgłasza chęć wzięcia udziału w takich porównaniach.

Prowadzone są prace w celu rozszerzenia programu SIR na emitery beta. Tak zwanym czystym emitery beta (tzn. bez emisji gamma) jest tryt ^3H , którego czas rozpadu na izotop ^3He wynosi 12,3 roku. W Wydziale konstruowane jest oprzyrządowanie do pomiarów aktywności czystych emiterów beta metodą koincydencji podwójno-potrójnych. Porównanie pomiarów aktywności próbki ^3H , przeprowadzone w ubiegłym roku, wykazało rozbieżność 4 % w stosunku do średniej z porównania. Prowadzone są prace nad znalezieniem i usunięciem przyczyn tej rozbieżności. Planowane jest również rozszerzenie bazy danych SIR na emitery alfa.

W badaniach radionuklidów bardzo istotna jest czystość próbek, ponieważ nawet niewielkie domieszki innych izotopów promieniotwórczych mogłyby być źródłem znacznych błędów pomiaru. Czystość radiacyjną próbki można określić badając jej spektrum, ponieważ radionuklidy mają charakterystyczne widma gamma. Wzorcowanie spektrometru gamma (HPGe), który rozwiąże ten problem jest już w zaawansowanym stadium.

Nowym elementem w pracy Wydziału było podjęcie odpowiedzialności za pomiar temperatury za pomocą wzorcowego rezystancyjnego termometru platynowego (SPRT) na potrzeby całego BIPM. Wymagało to przeprowadzenia porównań bilateralnych z LNE-INM i wprowadzenia odpowiednich zmian do Systemu Jakości.

3.5 Wydział Chemii

Prace Wydziału Chemii w ubiegłym roku były realizacją wieloletniego planu rozwoju metrologii chemicznej, który koncentruje się na metrologii gazów i wielkocząsteczkowych związków organicznych. Wydział Chemii bierze aktywny udział w pracach Komitetu Doradczego ds. Liczności Materii (CCQM), Komitetu Wspólnego ds. Spójności Pomiarowej w Medycynie Laboratoryjnej (JCTLM) oraz uczestniczy w działalności licznych organizacji międzynarodowych.

Metrologia gazów ma pierwszorzędne znaczenie w badaniach składu chemicznego atmosfery, wykrywaniu zanieczyszczeń i monitorowaniu zmian klimatycznych. Jednym z najważniejszych parametrów podlegających stałemu nadzorowi jest zawartość ozonu

w powietrzu; ozon w niskich warstwach atmosfery stanowi jej zanieczyszczenie, ale jego obecność w stratosferze jest niezbędna, ponieważ ozon zatrzymuje silne promieniowanie ultrafioletowe Słońca, które jest zabójcze dla organizmów żywych. Zawartość ozonu w powietrzu mierzona jest najczęściej metodą fotometryczną (rys. 8).

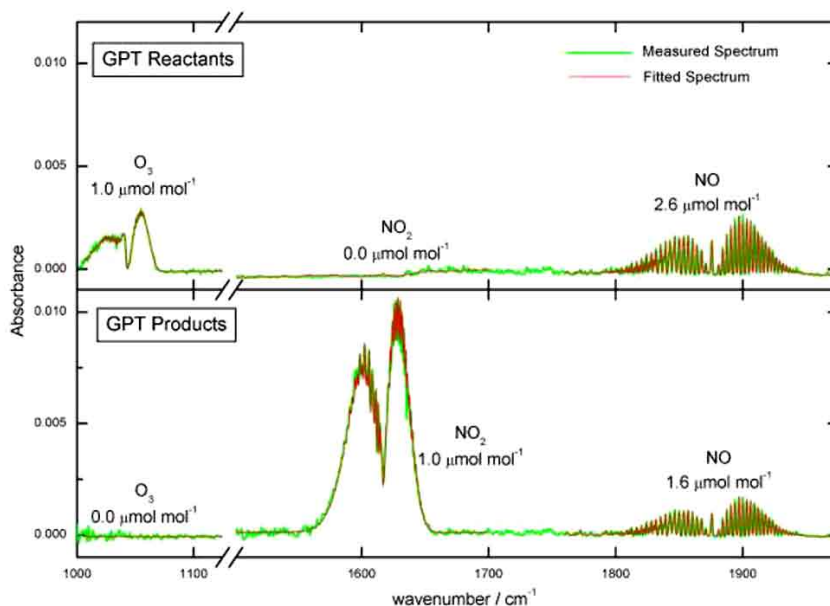


Rys. 8. Wzorzec odniesienia ozonu

Źródło: BIPM

W ubiegłym roku, w Wydziale Chemii przeprowadzono porównania wzorcowego fotometru BIPM-SRP27 z państwowymi wzorcami ozonu USA, Czech, Portugalii i Francji, które były częścią bieżącego porównania kluczowego BIPM.QM-K1. Wyniki pierwszego cyklu takich porównań, przeprowadzonych w latach 2007 – 2008, zostały już opracowane i częściowo opublikowane w suplemencie technicznym do *Metrologii* (BIPM). W wyniku przeprowadzonych porównań, jeden ze wzorców państwowych musiał być zmodyfikowany. W dalszym ciągu prowadzone są prace konstrukcyjne i testy fotometru laserowego do badania zawartości ozonu.

Innym ściśle monitorowanym zanieczyszczeniem atmosfery są tlenki azotu, emitowane przez zakłady przemysłowe i transport. Zawartość tlenków azotu badana jest m.in. metodą chemiluminescencyjną i fotolityczną. W Wydziale Chemii przeprowadzono pomyślnie testy nowego analizatora tlenku azotu (NO), CLD70E, który wszedł już do użytku. Przykład miareczkowania w fazie gazowej podany jest na rys. 9. Zakończono kolejne porównanie w zakresie pomiarów NO_2 przy stężeniach nominalnych rzędu $10 \mu\text{mol/mol}$ i przygotowany jest raport końcowy z tego porównania. Tlenki azotu w obecności pary wodnej tworzą kwas azotowy i azotawy, które mogą zakłócić dokładność pomiarów; poprawki uwzględniające ten efekt wymagają zastosowania analizy spektralnej FTIR (zakres podczerwieni). Wydział przygotowuje się także do porównania wzorców stężenia metanu (CH_4) w powietrzu; do posiadanego już spektrometru dokupiono chromatograf gazowy, co pozwoli na wy-



Rys. 9. Miareczkowanie w fazie gazowej. Ozon reagujący z tlenkiem azotu NO daje ditlenek azotu NO_2 , którego silny sygnał widać w dolnej części spektrogramu

Źródło: BIPM

konanie takich porównań. W końcowej fazie uruchamiania jest też stanowisko pomiarowe do badania stężenia formaldehydu.

Wydział Chemii BIPM jest w stałym kontakcie z WMO (*World Meteorological Organization*), które planuje ustanowić swe własne laboratorium (*Central Calibration Laboratory*) w celu ciągłego monitorowania zanieczyszczenia atmosfery tlenkami azotu; jest to część programu GAW (*Global Atmosphere Watch*), w którym uczestniczy ok. 80 państw, a którego celem jest monitorowanie obecności gazów cieplarnianych, ozonu, gazów wysoce reaktywnych (tlenki azotu i siarki), zanieczyszczeń pyłowych, aerozoli, itd. GAW, z kolei, jest częścią jeszcze większego programu monitorowania zmian klimatycznych GCOS (*Global Climate Observing System*). Udział BIPM w tych programach daje nadzieję na obiektywizację danych pomiarowych.

W analizie ilościowej czystych substancji organicznych pierwszoplanową rolę odgrywają związki o dużej masie cząsteczkowej, bowiem metody oznaczania związków organicznych o małych molekułach są już dobrze opracowane. Otrzymywanie i oczyszczanie substancji wielkocząsteczkowych wymaga znacznie bardziej finezyjnych metod niż te stosowane w przypadku małych molekuł. Właściwości (np. aktywność biologiczna) takich związków zależą od cech tak subtelných jak konformacja molekuły i oddziaływanie z rozpuszczalnikiem (np. wodą lub tłuszczami) oraz innymi substancjami wielkocząsteczkowymi (np. białkami). Dlatego program metrologii w chemii organicznej należy rozpatrywać jako proces wieloletni, zarówno w aspekcie wyboru metod analitycznych, walidacji metod i procedur pomiarowych, jak i wytwarzania materiałów odniesienia. W Wydziale Chemii BIPM (rys. 10) ukończono instalowanie urządzeń do oczyszczania substancji wielkocząsteczkowych metodami fizykochemicznymi.

CCQM i Wydział Chemii koordynują dwa porównania (CCQM-K55.b i CCQM-P117.b) próbek czystego związku chemicznego o nazwie potocznej aldrin (jest to pestycyd, niegdyś używany powszechnie, a obecnie zakazany jako niebezpieczny dla człowieka). Celem tych



Rys. 10. Siedziba Wydziału Chemii i Wydziału Promieniowania Jonizującego

Źródło: BIPM

porównań jest sprawdzenie i walidacja kilku metod analitycznych stosowanych w oznaczaniu i charakteryzacji próbek tego związku, który jest przewidywany do użycia jako substancja wzorcowa. Badane metody pomiarowe to spektrometria masowa, dwie odmiany chromatografii gazowej, dwie odmiany chromatografii cieczowej, spektroskopia w ultrafiolecie, spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego i miareczkowanie kulometryczne. Próbkki zostały już rozesełane do 18. laboratoriów uczestniczących w pierwszym porównaniu oraz do 7. laboratoriów biorących udział w drugim porównaniu; wyniki uzyskane w międzyczasie były już omawiane na spotkaniu CCQM-OAWG (Grupa Robocza ds. Analizy Organicznej) pod koniec ubiegłego roku. Ta sama substancja (aldryn) w roztworze izooktanu będzie przedmiotem kolejnego porównania (CCQM-K78); obecnie opracowuje się metody przygotowania próbek do tego porównania.

Jako substancje wzorcowe związków wielkocząsteczkowych o znaczeniu medycznym wybrano angiotensynę I (jest to peptyd regulujący ciśnienie krwi i układ sercowo-naczyniowy) oraz insulinę (hormon regulujący metabolizm węglowodanów). W Wydziale Chemii rozpoczęto badania i walidację metod mogących służyć do charakteryzacji próbek tych substancji w stanie czystym.

Porównanie czystości próbek estradiolu (hormon sterydowy), które ukończono przed ponad rokiem, wykazało znaczne rozbieżności wyników, których przyczyną okazała się drobna różnica w sposobie przygotowania próbek. W temperaturze poniżej punktu topnienia estradiolu (176 °C) niektóre próbki nie były dobrze odwodnione. Przygotowano już nowy projekt raportu z tego porównania.

W oznaczaniu peptydów i białek o znaczeniu biologicznym ważny jest ich skład aminokwasowy, który odnieszony jest do próbek czystych aminokwasów. Podjęto zatem badanie i walidowanie metod oznaczania zanieczyszczeń w komercyjnie dostępnych próbkach aminokwasów.

Wydział Chemii został po raz kolejny wybrany do prowadzenia sekretariatu JCTLM (*Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine*). W bazie danych JCTLM znajdują się wpisy o materiałach odniesienia, metodach i procedurach pomiarowych oraz dostępnych usługach. W ubiegłym roku firma zewnętrzna zmodyfikowała stronę internetową JCTLM, a 49 usług zostało usuniętych z bazy danych ze względu na utratę akredytacji przez niektóre laboratoria.

Metrologia chemiczna jest bardzo szybko rozwijającą się dziedziną wiedzy. Aby skutecznie reagować na nowe potrzeby sektora biotechnologii i nauk biologicznych, LGC (*Laboratory of the Government Chemist*) na zlecenie BIPM wykonało kompleksowe badanie potrzeb i perspektyw w tej dziedzinie. Końcowa wersja tego opracowania uwzględnia uwagi wniesione w procesie konsultacji środowiskowych i zostanie wkrótce udostępniona.

Wydział Chemii BIPM nie odgrywa, co prawda, wiodącej roli w programie redefinicji jednostek podstawowych układu SI, ale zmiany w tej dziedzinie dotyczą również metrologii chemicznej (nowa definicja mola, kilograma i kelwina). Dokładność pomiarów z jaką mamy do czynienia w metrologii chemicznej pozwala przypuszczać, że redefinicje nie wpłyną na wyniki i niepewność pomiarów w tej dziedzinie.

Zespół Wydziału Chemii bierze aktywny udział w pracach Komitetów Doradczych CIPM i grup roboczych tych komitetów. Dyrektor i pracownicy Wydziału opublikowali 7 prac naukowych i opracowań o charakterze technicznym, zaś udział w kilkudziesięciu konferencjach, warsztatach szkoleniowych i posiedzeniach ciał międzynarodowych jest miarą wielkiego zainteresowania metrologią chemiczną na świecie i wysokiego autorytetu naukowego pracowników Wydziału Chemii.

4. Podsumowanie

BIPM jest wyspecjalizowaną organizacją międzynarodową, która służy potrzebom wszystkich krajów-sygnatariuszy Konwencji Metrycznej. Szybki rozwój metrologii w tradycyjnych gałęziach nauki, przemysłu i handlu oraz rosnąca liczba dziedzin podlegających rygorom badań metrologicznych powoduje konieczność opracowywania nowych wzorców i metod pomiarowych oraz inspiruje podejmowanie prac naukowych i badawczo-rozwojowych. Tempo realizacji prac badawczych, planowanych i wykonywanych w BIPM, będzie zależęć od decyzji finansowych podjętych na 24. Konferencji CGPM w październiku 2011 r., które określą budżet BIPM na lata 2013 – 2016.

Wiodąca rola BIPM w dziedzinie redefinicji jednostek układu SI jest przykładem na to, że instytucja ta nie tylko reaguje na nowe trendy globalne, ale sama jest inicjatorem koniecznych zmian. Rola, jaką odgrywa BIPM w światowej strukturze metrologicznej będzie w najbliższych latach podlegać ewolucji. Prędzej czy później, międzynarodowy prototyp kilograma w Sèvres przestanie być wzorcem definicyjnym jednostki masy i BIPM nie będzie już depozytariuszem jedyne go (ostatnie go) na świecie wzorca pierwotne go w postaci artefaktu. Przygotowanie się do tej nowej sytuacji, tak aby nie zaprzepaścić dotychczasowych osiągnięć tej ważnej organizacji jest poważnym wyzwaniem zarówno dla BIPM, jak i dla całej społeczności międzynarodowej.

Literatura

- [1] A. Wallard: *Director's report on the activity and the management of the International Bureau of Weights and Measures (1 July 2009 – 30 June 2010)*. CIPM/2010-01, BIPM August 2010.
- [2] A. Wallard: *International Report. News from the BIPM – 2010*. Metrologia **48**, 59-67 (2011).