

Omówienie raportu Dyrektora Międzynarodowego Biura Miar z działalności BIPM w roku 2009

Zgodnie z wieloletnią tradycją, Dyrektor Międzynarodowego Biura Miar (*International Bureau of Weights and Measures*, BIPM), prof. Andrew Wallard, przedstawił raport z działalności BIPM w roku ubiegłym. W poniższym opracowaniu podsumowano zarówno najważniejsze przedsięwzięcia organizacyjne BIPM, jak i aktualny zakres prac badawczych sekcji naukowych Biura.

1. Kwestie organizacyjne

Od momentu powołania BIPM w roku 1875, organizacja ta stanowi podstawę międzynarodowego ładu w dziedzinie wzorców pomiarowych. Działalność BIPM umożliwia globalną koordynację badań naukowych w zakresie metrologii oraz przyczynia się do usuwania technicznych przeszkód w handlu światowym.

1.1 Członkostwo w BIPM i udział w CIPM MRA

Skuteczne wypełnianie globalnej misji BIPM jest uwarunkowane powszechnością uczestnictwa w tej organizacji; dlatego jednym z priorytetów BIPM jest zachęcanie państw do uzyskiwania statusu członka BIPM lub statusu członka stowarzyszonego Generalnej Konferencji Miar (*General Conference on Weights and Measures*, CGPM). Ta druga możliwość pozwala uzyskać niezbędne doświadczenie przed przystąpieniem do Konwencji Metrycznej i pełnym członkostwem w BIPM. Najważniejszą jednak korzyścią, jaką odnosi państwo o statusie członka stowarzyszonego CGPM jest to, że na równi z członkami BIPM może przystąpić do Porozumienia o Wzajemnym Uznawaniu (*CIPM Mutual Recognition Arrangement*, CIPM MRA), co ułatwia rodzimym przedsiębiorstwom przemysłowym i handlowym pełne uczestnictwo w globalnej gospodarce.

W ubiegłym roku do Konwencji Metrycznej przystąpiły trzy dalsze państwa, które dotychczas były członkami stowarzyszonymi CGPM, a mianowicie Kazachstan, Chorwacja i Kenia, stając się pełnoprawnymi członkami BIPM; tym samym liczba państw członkowskich wzrosła do 54. Ponieważ w tym samym okresie Ghana, Paragwaj i Peru przystąpiły do CGPM, liczba państw i organizacji mających status członków stowarzyszonych CGPM nie zmieniła się i wynosi 27.

W październiku 2009 r. istotnym wydarzeniem były obchody 10-lecia podpisania układu CIPM MRA, w którym licznie uczestniczyli dyrektorzy Krajowych Instytutów Metrologicznych (*National Metrology Institute*, NMI). Spotkanie to miało nie tylko charakter symbolicznej uroczystości, ale przede wszystkim stało się okazją do podsumowań i postawienia merytorycznych wniosków po dłuższym już okresie funkcjonowania tego układu. Z okazji uroczystości rocznicowych zorganizowano sympozjum, na którym przedstawiono spostrzeżenia na temat praktyki funkcjonowania CIPM MRA oraz podsumowano korzyści gospodarcze, jakie przynosi on państwom, których NMI są sygnatariuszami CIPM MRA. Porozumienie o Wzajemnym Uznawaniu jest obecnie podpisane przez Krajowe Instytuty Metrologiczne 47. państw członkowskich Konwencji Metrycznej, 27. członków stowarzyszonych CGPM oraz dwie organizacje międzynarodowe, a wraz z Instytutami Desygnowanymi w układzie MRA partycypuje 199 podmiotów.

1.2 Przygotowania do 24. Konferencji CGPM w 2011 r.

W roku 2009 rozpoczęły się przygotowania do 24. Generalnej Konferencji Miar (CGPM), która planowana jest na październik 2011 r. Przygotowywane są dokumenty konieczne do jej prze-

prowadzenia, a mianowicie dokument zwołujący Konferencję, zarys programu pracy Konferencji, dokumenty budżetowe BIPM oraz raport Przewodniczącego CIPM. Dokumenty te powinny być rozesłane do państw członkowskich na początku roku 2011, aby umożliwić wnikliwe zapoznanie się z nimi i zapewnić sprawny przebieg Konferencji. Już w październiku 2009 r., w ramach przygotowań do 24. spotkania CGPM, zastępca Dyrektora BIPM przedstawił dyrektorom NMI zarys planowanego programu pracy, z prośbą o zgłaszanie ewentualnych uwag.

Kierownictwo BIPM jest przekonane o konieczności utrzymywania stałego kontaktu z rządami państw członkowskich w trakcie czteroletnich okresów między spotkaniami CGPM. W tym celu przygotowano i rozesłano do państw członkowskich Raport Roczny (*Annual Report*) jako uzupełnienie formalnych publikacji BIPM, zaznajamiając państwa członkowskie z bieżącymi sprawami dotyczącymi BIPM i międzynarodowego środowiska metrologicznego.

Z punktu widzenia naukowego, jednym z najistotniejszych zagadnień rozpatrywanych przez CGPM w roku 2011 będzie propozycja redefinicji czterech jednostek podstawowych układu SI (kilogram, ampera, kelwina i mola). Ponieważ jednak badania naukowe będące podstawą tych redefinicji nie są jeszcze sfinalizowane, trudno w chwili obecnej przewidzieć, w jakim zakresie temat redefinicji będzie przedmiotem decyzji Konferencji w 2011 roku.

1.3 Sprawy personalne

W ostatnich latach znacznie powiększył się zakres odpowiedzialności i obszar działalności BIPM. Wynika to z przygotowań organizacyjnych i sprzętowych do redefinicji czterech jednostek podstawowych układu SI (np. budowa wagi Watta i udział w projekcie Avogadro), z prowadzenia projektów modernizacyjnych w BIPM (np. budowa nowego przenośnego układu złącz Josephsona, nowego kalorymetru przeznaczonego do dozymetrii wysokoenergetycznej) oraz programem ulepszania obowiązujących procedur (np. praca nad nowym algorytmem do obliczania czasu atomowego TAI, czy budowanie systemu jakości w BIPM).

Wzrost zakresu obowiązków wiąże się z koniecznością powiększenia liczebności personelu BIPM, co stanowi poważny problem w obliczu obecnych ograniczeń finansowych. Problem ten został rozwiązany poprzez przyjmowanie specjalistów na staże podoktorskie, podpisywanie umów z ekspertami na krótkoterminowe kontrakty, zależnie od aktualnych potrzeb, oraz korzystanie z pomocy pracowników delegowanych do BIPM i finansowanych przez macierzyste NMI. Dodatkową zaletą tej ostatniej inicjatywy jest nawiązanie bliższych, bezpośrednich kontaktów BIPM z wiodącymi NMI i możliwość korzystania z bogatego doświadczenia ich personelu naukowego.

Konieczność ograniczenia kosztów osobowych BIPM spowodowała również zmianę zasad emerytalnych. Na 98. konferencji CIPM podjęto decyzję, iż uprawnienia emerytalne obecnych pracowników BIPM zostaną zachowane, ale nowo zatrudniane osoby obejmie już inny plan emerytalny.

W kwietniu 2009 r. stanowisko zastępcy Dyrektora BIPM objął prof. Michael Kühne z PTB. Pełni on równocześnie funkcję Dyrektora Desygnowanego (*Director Designate*) BIPM i wkrótce przejmie obowiązki Dyrektora BIPM od obecnego Dyrektora, prof. Andrew Wallarda. Chociaż przejście obowiązków przez nowego Dyrektora BIPM nastąpi dopiero w drugiej połowie 2010 r. i formalne pożegnanie dopiero nastąpi, prof. Wallard skorzystał z okazji przygotowywania raportu za rok 2009, składając tą drogą podziękowania całemu personelowi BIPM za owocną współpracę i stawienie czoła licznym wyzwaniom w trakcie jego kadencji.

2. Współpraca BIPM z innymi organizacjami międzynarodowymi

Wraz z upływem czasu, BIPM przejmowało coraz to nowe obowiązki wynikające z rozwoju przemysłu i handlu światowego, wypełniając nie tylko swe tradycyjne zadania w dziedzinie metro-

logii naukowej, ale wchodząc w rolę strategicznego centrum całej metrologii światowej. Sprawne wypełnianie tej nowej roli wiąże się z potrzebą utrzymywania ścisłych kontaktów z wielu innymi organizacjami międzynarodowymi, zarówno rządowymi jak i zawodowymi.

BIPM utrzymuje od lat bliskie więzi ze swymi naturalnymi partnerami, Międzynarodową Organizacją Metrologii Prawnej (*International Organization of Legal Metrology*, OIML) i Międzynarodową Współpracą ds. Akredytacji Laboratoriów (*International Laboratory Accreditation Cooperation*, ILAC). W ostatnich latach wiele innych organizacji wykazuje chęć nawiązywania stałej współpracy z BIPM; są wśród nich Światowa Agencja Antydopingowa (*World Anti-Doping Agency*, WADA), Organizacja ds. Wyżywienia i Rolnictwa (*Food and Agriculture Organization*, FAO) oraz Międzynarodowa Federacja Chemii Klinicznej (*International Federation of Clinical Chemistry*, IFCC). Współpraca z BIPM zapewnia tym instytucjom spójność pomiarową oraz możliwość bieżącej konsultacji ze światowej klasy autorytetami w sprawie pomiarów i wzorców pomiarowych. Profil merytoryczny współpracy z tymi organizacjami wskazuje na coraz większą rolę metrologii chemicznej i potwierdza prawidłowość strategicznej decyzji podjętej przez BIPM ponad dekadę temu, aby rozszerzyć zakres swej działalności na obszary związane z chemią, przemysłem spożywczym, farmakologią i analityką medyczną.

Widoczne profity, jakie przynosi współpraca z BIPM, przyciągają i inne podmioty do korzystania z kompetencji tego światowego centrum metrologii. Na przykład, symposium na temat meteorologii i zmian klimatycznych, planowane na przełom marca i kwietnia 2010 r., będzie zorganizowane wspólnie przez BIPM i Światową Organizację Meteorologiczną (*World Meteorological Organization*, WMO). Wspólnym projektem BIPM i Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju Przemysłowego (*United Nations Industrial Development Organization*, UNIDO) jest program rozwoju metrologii, infrastruktury akredytacyjnej i systemu norm (*metrology, accreditation and standardization*, MAS) w krajach afrykańskich, na obszarze objętym nowoutworzoną regionalną organizacją metrologiczną AFRIMETS.

Ponieważ współpraca z Międzynarodową Organizacją Normalizacyjną (*International Organization for Standardization*, ISO) jest coraz ściślejsza, planowane jest nawiązanie bliższych związków między Komitetami Technicznymi ISO, a Komitetami Doradczymi CIPM. Trzeba będzie jednak rozwiązać problem kompatybilności tych ciał, ponieważ Komitetów ISO jest o rząd wielkości więcej niż Komitetów BIPM.

Najbliższe związki merytoryczne łączą Międzynarodowy Komitet Miar (*International Committee for Weights and Measures*, CIPM) z Międzynarodową Organizacją Metrologii Prawnej (*International Organization of Legal Metrology*, OIML) i Międzynarodowym Komitetem Metrologii Prawnej (*International Committee of Legal Metrology*, CIML). W listopadzie 2008 r., z inicjatywy CIPM i CIML, dyrektorzy BIPM i BIML (*International Bureau of Legal Metrology*, Międzynarodowe Biuro Metrologii Prawnej) przedstawili raport w sprawie możliwości zbliżenia między tymi instytucjami, włącznie z opcją fuzji obu organizacji. Raport ten stał się przedmiotem dyskusji przedstawicieli CIPM i CIML w marcu 2009 r., ale ze względu na ujawnienie się różnic zdań państw członkowskich w tej sprawie, projekt ten został uznany za przedwczesny i dalsze rozmowy zostały zawieszono.

3. Działalność szkoleniowa, informacyjna i usługowa BIPM

W listopadzie 2009 r. BIPM zorganizował i gościł warsztaty szkoleniowe w dziedzinie spójności pomiarów parametrów fizjologicznych z jednostkami SI (*BIPM Workshop on Physiological Quantities and SI Units*). Wśród 70. uczestników z 22. krajów były zarówno osoby zajmujące się pomiarami, jak i osoby odpowiedzialne za tworzenie norm oraz dokumentacji technicznych w tej dziedzinie, a także legislatorzy specjalizujący się w tematyce opieki zdrowotnej i bezpieczeństwa. Większość uczestników szkolenia rekrutowała się spośród pracowników NMI, członków

komitetów technicznych i grup roboczych, pracowników instytucji rządowych oraz organizacji międzynarodowych, takich jak ISO, IEC, CIE, ICRU, IUPAC i IUPAP.

Pośród wielu zagadnień będących przedmiotem warsztatów, poczesne miejsce zajmował problem wpływu różnych form promieniowania na organizm ludzki. Przeprowadzone dyskusje doprowadziły do generalnej konkluzji, iż w tej dziedzinie niepewność pomiaru nie jest jeszcze dobrze określona, a efekty biologiczne i przydatność obecnych metod takich badań nie zawsze są precyzyjnie i zadowalająco ustalone. Stwierdzono brak dobrych modeli oddziaływania promieniowania na organizm ludzki, a w szczególności oceny skutków promieniowania o niskiej intensywności na organizm pacjenta, oceny skutków działania promieniowania na duże populacje oraz metod badania efektów nasycenia przy dużej intensywności promieniowania. Skonstatowano, by zaproponować grupie roboczej JCGM-WG1 uwzględnienie tych problemów w nowym Suplemencie do Przewodnika GUM (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*), który dotyczy będzie modelowania.

Jak co roku, cenną okazją do promocji zagadnień metrologicznych w szerokich warstwach społecznych i na wszystkich kontynentach był Światowy Dzień Metrologii (*World Metrology Day*, WMD). W roku 2009 wiodącym motywem obchodów były „Pomiary w Gospodarce”. Temat ten wybrano, aby zwrócić uwagę rządów na wielką rolę jaką odgrywa metrologia w rozwoju gospodarczym; wybór tego tematu był również związany z obchodami 10. rocznicy podpisania układu CIPM MRA. We współpracy z kilku wiodącymi instytucjami metrologicznymi, opracowano plakat propagujący aktualny temat Światowego Dnia Metrologii i upowszechniono coroczne, okolicznościowe przesłanie Dyrektora BIPM. Na podstawie oryginalnej wersji plakatu opracowano 50 różnych jego wariantów w 25. wersjach językowych, a także przygotowano ulotkę w języku angielskim i francuskim. Z informacji zwrotnej wiadomo, że w wielu krajach członkowskich zorganizowano specjalne uroczystości i imprezy okolicznościowe z okazji Światowego Dnia Metrologii. Znamienne jest to, że w krajach niebędących członkami BIPM, ani członkami stowarzyszonymi CGPM, również zorganizowano obchody dnia metrologii, co będzie miało niewątpliwie wpływ na przekonanie rządów tych krajów do zaangażowania się w prace BIPM.

Duża i ciągle wzrastająca liczba sygnatariuszy CIPM MRA (199 podmiotów) implikuje olbrzymi wzrost liczby zapisów w bazie danych porównań kluczowych KCDB, która zawiera już 659 porównań kluczowych, 213 porównań dodatkowych i ok. 21 600 wpisów CMC (*Calibration and Measurement Capability*).

Aby promować prace BIPM, wydawany jest *KCDB Newsletter*, dostępny na stronach internetowych BIPM. Biuletyn ten ma charakter nie tylko techniczny, ale staje się istotnym źródłem informacji środowiskowych dla metrologów z całego świata. Dwunasty numer biuletynu, który wydano 12 grudnia 2009 r. zawiera nie tylko linki do wyników porównań kluczowych i wpisów CMC, ale również omówienie międzynarodowych kongresów metrologicznych, raporty z prac Komitetów Wspólnych (JC), spotkań Komitetów Konsultacyjnych (CC), kalendarz planowanych spotkań grup roboczych (WG) i innych spotkań środowiskowych, linki do informacji dla Komitetów Technicznych (TC) i Regionalnych Organizacji Metrologicznych (RMO), a także obszerny materiał na temat obchodów 10-lecia podpisania CIPM MRA wraz z linkami do prezentacji przedstawianych na sympozjum zorganizowanym z okazji uroczystości rocznicowych.

Ważnym elementem pracy BIPM jest wykonywanie wzorcowań i pomiarów, zarówno dla poszczególnych sekcji BIPM (np. wiele wzorcowań układów elektrycznych wykonuje się dla zespołu pracującego nad redefinicją jednostki masy za pomocą wagi Watta) oraz dla użytkowników zewnętrznych, szczególnie dla nowych i mniejszych NMI, które same nie dysponują wzorcami pierwotnymi. Ponieważ jednak BIPM do niedawna nie posiadał Systemu Jakości (QS), użytkownicy tak wywzorcowanych przyrządów mieli problem z wykazaniem się spójnością pomiarową z jednostkami SI i obliczaniem niepewności przy formułowaniu swych własnych CMC. Problem

został podjęty w 2008 r. poprzez opracowanie i zadeklarowanie Systemu Jakości w BIPM, zgodnego z normą ISO/IEC 17025, który pod koniec 2008 r. przeszedł pomyślnie pierwszy audyt, a na początku roku 2009 wprowadzono poprawki wynikające z pierwszego audytu. W marcu 2009 r., BIPM poprosił ekspertów z RMO o kolejny audyt swego Systemu Jakości, a obecnie wdraża otrzymane zalecenia i uwagi. Bardzo trafnym posunięciem było zatrudnienie pełnomocnika ds. jakości i ustanowienie programu audytów wewnętrznych i zewnętrznych. W ten sposób rozwiązany został problem ze spójnością pomiarową i obliczaniem niepewności dla wzorcowań wykonywanych w BIPM.

4. Prace Komitetów Wspólnych

Niektóre dziedziny współpracy BIPM z innymi organizacjami międzyrządowymi oraz międzynarodowymi stowarzyszeniami zawodowymi zostały sformalizowane w postaci powołania Komitetów Wspólnych (*Joint Committee, JC*), zajmujących się określonymi obszarami wspólnego zainteresowania.

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

Komitet JCTLM (*Joint Committee on Traceability in Laboratory Medicine*) jest miejscem współpracy BIPM z ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*, Międzynarodowa Współpraca ds. Akredytacji Laboratoriów) oraz IFCC (*International Federation of Clinical Chemistry*, Międzynarodowa Federacja Chemii Klinicznej i Medycyny Laboratoryjnej). Na spotkaniu Komitetu w grudniu 2009 r. omówiono sprawy bieżące i zdecydowano, że laboratoria działające w sferze biomedycznej powinny brać udział w regularnych porównaniach, o ile chcą utrzymać się w bazie danych JCTLM. Postanowiono powołać grupę roboczą (*Working Group, WG*) zajmującą się zachowaniem spójności pomiarowej laboratoriów klinicznych prowadzących działalność komercyjną, laboratoriów odniesienia (*reference laboratory*) i laboratoriów NMI. Grupa ta ma wypracować metody wykonywania porównań w tej dziedzinie, tak aby zapewnić spójność pomiarową z jednostkami SI i innymi właściwymi wzorcami lub materiałami odniesienia, a tym samym podnieść zaufanie do pomiarów użytkowych w tej dziedzinie. JCTLM kontynuuje współpracę z Grupą Zadaniową ds. Harmonizacji Globalnej (*Global Harmonization Task Force*) w sprawie definicji spójności pomiarowej, która winna obejmować również obszar chemii, biologii i medycyny laboratoryjnej.

4.2 Prace Komitetu Wspólnego ds. Przewodników w Metrologii (JCGM)

Pomimo ukończenia prac nad trzecim wydaniem międzynarodowego słownika metrologicznego (VIM3) oraz Suplementem 1, omawiającym zastosowanie metody Monte Carlo do obliczania niepewności pomiaru, w JCGM (*Joint Committee for Guides in Metrology*) trwa intensywne prace nad kolejnymi przewodnikami. Kontynuowane są prace nad przewodnikiem dotyczącym roli niepewności pomiaru w ocenie zgodności (*Evaluation of measurement data – the role of uncertainty in conformity assessment*), z docelowym terminem zakończenia prac w 2010 r. Przewodnik ten jest szczególnie istotny, ponieważ raporty Światowej Organizacji Handlu (*World Trade Organization, WTO*) stwierdzają, że problem oceny zgodności z obowiązującymi normami stanowi obecnie jedną z najpoważniejszych przeszkód w handlu międzynarodowym. Nowy przewodnik ustali pewne zasady, które pozwolą efektywnie zwalczać tę przeszkodę w wymianie towarowej.

Grupa robocza pracująca nad nowym słownikiem metrologicznym zajmuje się obecnie usunięciem pewnych niespójności, które dostrzeżono w ostatnim wydaniu słownika (VIM3), w wersjach pochodzących z różnych źródeł (BIPM, ISO i OIML). Przygotowywany jest obecnie zestaw poprawek, a prace nad ostateczną wersją tego dokumentu wkrótce zostaną sfinalizowane.

W roku 2009 odbywały się spotkania grup roboczych, a w grudniu 2009 r. odbyła się doroczna konferencja przeglądowa JCGM.

4.3 Prace Komitetu Wspólnego Regionalnych Organizacji Metrologicznych i BIPM (JCRB)

Komitet JCRB (*Joint Committee of Regional Metrology Organizations and the BIPM*) bierze aktywny udział w definiowaniu polityki w dziedzinie procedur zapewniających spójność pomiarową, w kontekście wpisów CMC. Monitorując praktyczną realizację postanowień CIPM MRA, JCRB widzi pewne problemy z zapewnieniem równoważności procedur w systemach jakości sygnatariuszy CIPM MRA. Należy spodziewać się formalnych rekomendacji JCRB w tym zakresie i opracowania regulacji, które będą dotyczyć zarówno NMI jak i Instytutów Desygnowanych.

Procedury uznawania nowych regionalnych organizacji metrologicznych (np. AFRIMETS) i zasady współpracy RMO w ramach JCRB, zaaprobowane przez CIPM, są na bieżąco konsultowane przez JCRB, a w roku 2009 wprowadzono dwa ich uaktualnienia.

5. Postanowienia 98. Konferencji CIPM

5.1 Tematyka instytucjonalna

Coroczna, 98. już Konferencja CIPM odbyła się w siedzibie BIPM w październiku 2009 r. Obecny Przewodniczący CIPM, prof. Ernst O. Göbel z Niemiec złożył rezygnację w związku z przejściem na emeryturę, zaś na funkcję przewodniczącego CIPM został wybrany dr Barry Inglis z Australii. Inny wieloletni członek CIPM, prof. Gao Jie z Chin, również złożył rezygnację z pełnionej funkcji.

Konferencja CIPM zaaprobowwała kilka dokumentów, m.in. Zasady Proceduralne dla Komitetów Doradczych (*Rules of Procedure for Consultative Committees*) i powołanych przez nie grup roboczych, a także uzgodniła kryteria członkostwa w Komitecie Doradczym ds. Jednostek (*Consultative Committee for Units, CCU*). Zaaprobowano postanowienia dotyczące spójności pomiarowej w kontekście uzyskiwania wpisów zdolności wzorcowania i zdolności pomiarowej (CMC), a także zaktualizowano procedurę uznawania nowych regionalnych organizacji metrologicznych (RMO).

CIPM podjął także kilka kwestii dotyczących zarządzania BIPM-em, a w szczególności przyjął zmiany dotyczące struktury pensji pracowników BIPM oraz zaaprobował poprawki do zasad emerytalnych pracowników BIPM, które obejmą nowych pracowników, zatrudnianych od stycznia 2010 r.; zmiany te są związane z wpływem wzrostu długości życia na ubezpieczenia emerytalne. Zaaprobowano również zmiany w przepisach wewnętrznych i zasadach prowadzenia rachunkowości.

5.2 Rekomendacje CIPM

Część merytoryczną 98. Konferencji CIPM zdominowała tematyka związana bezpośrednio lub pośrednio z pomiarem czasu, a mianowicie sposób obliczania czasu UTC, wprowadzenie alternatywnej względem UTC skali czasu bez sekund przestępnych, równoważność skal

czasu i układów odniesienia stosowanych przez różne systemy nawigacji satelitarnej oraz określenie częstotliwości wzorcowych linii widmowych w zakresie widzialnym. Przyjęto cztery rekomendacje.

Rekomendacja 1. zaleca przyjęcie wspólnego globalnego układu odniesienia. Obecnie istnieje już kilka systemów nawigacji satelitarnej (*Global Navigation Satellite System*, GNSS), dających możliwość określania położenia obiektów z dokładnością od paru do kilkudziesięciu centymetrów, a w przyszłości może powstać jeszcze więcej takich systemów. Konieczne jest zatem wypracowanie jednego, wspólnego układu odniesienia, celem umożliwienia współdziałania różnych systemów GNSS i uzyskania kompatybilności ich sygnałów czasowych. Rekomendacja 1. zaleca przyjęcie ITRS (*International Terrestrial Reference System*) za wspólny międzynarodowy układ odniesienia we wszystkich zastosowaniach metrologicznych, w drodze podjęcia odpowiedniej rezolucji CGPM.

Rekomendacja 2. dotyczy uaktualnienia listy częstotliwości wzorcowych. Pomiar czasu i częstotliwości w oparciu o linie widmowe układów atomowych może być tym dokładniejszy, im większa jest ich częstotliwość. Rekomendacja 2. podaje listę pięciu częstotliwości wzorcowych w zakresie optycznym, a mianowicie linię widmową izotopu strontu ^{88}Sr o częstotliwości $f = 429\,228\,004\,229\,873,7$ Hz (względna niepewność standardowa $u = 1 \cdot 10^{-15}$), która już obecnie jest uznana przez CIPM za wtórną realizację jednostki czasu, oraz cztery inne przejścia optyczne (w atomie strontu ^{88}Sr , jonie wapnia $^{40}\text{Ca}^+$, atomie iterbu ^{171}Yb i jonie iterbu $^{171}\text{Yb}^+$), których względna niepewność standardowa jest jednak co najmniej o rząd wielkości gorsza. Chociaż pierwotną, definicyjną realizacją jednostki czasu pozostaje nadal nadsubtelna linia widmowa izotopu cezu ^{133}Cs , to zmian w tej kwestii należy spodziewać się już w najbliższych latach.

Rekomendacja 3. wskazuje na konieczność dostosowania układów współrzędnych przestrzennych i skal czasu wykorzystywanych w różnych globalnych systemach nawigacji satelitarnej (GNSS) do wspólnych międzynarodowych wzorców. Rekomenduje się, by różne GNSS stosowały współrzędne przestrzenne jak najbliższe układowi ITRS oraz skalę czasu jak najbliższą czasowi UTC (z możliwością przesunięcia o dokładnie 1 sekundę, tzw. *leap second*). Zaleca się również, by GNSS nadawały nie tylko swój własny czas systemowy (*Internal System Time*, ST), ale także różnicę między czasem własnym (ST) a czasem UTC.

Rekomendacja 4. postuluje szybkie opracowanie nowej definicji skali czasu UTC, bez sekund przestępnych, ponieważ systemy nawigacji satelitarnej GNSS wymagają stosowania skali czasu płynącego jednostajnie, bez zmian skokowych. Potrzeba szybkich rozwiązań w tym zakresie wynika stąd, że pojawiło się już kilka alternatywnych, ale nieskoordynowanych przedsięwzięć w tym zakresie. Postuluje się, by agencje międzynarodowe zajmujące się międzynarodową skalą czasu oraz zainteresowane stowarzyszenia naukowe jak najszybciej zajęły się problemem redefinicji czasu UTC i wypracowały rozwiązanie, które mogłoby jak najszybciej być zaakceptowane w skali międzynarodowej.

Kwestia określenia uniwersalnej skali czasu jest zagadnieniem trudnym, ponieważ nie sprowadza się tylko do zagadnień technicznych. Jeszcze sto dziesięć lat temu, gdy nie były znane zjawiska wpływające na szybkość upływu czasu, a zegary nie odznaczały się wielką dokładnością, wszelkie różnice ich wskazań przypisywano niedoskonałości technicznej ówczesnych chronometrów; istniały wówczas doświadczone podstawy do twierdzenia, że czas jest jeden (absolutny), a każdy zegar jest jego prorokiem. Jednak już od około stu lat wiadomo, że każda cząstka elementarna, każdy atom i każde ciało makroskopowe ma swój niepowtarzalny czas własny (*proper time*), a różnice w upływie czasu wewnętrznego (własnego) różnych obiektów wynikają z różnicy szybkości z jaką poruszają się one w inercjalnym układzie odniesienia (co wiadomo od 1905 r.) oraz od lokalnej wartości natężenia pola grawitacyjnego wzdłuż ich trajektorii (co ustalono w 1917 r.). Wystarczy zatem, że satelity systemów GNSS poruszają się po różnych orbitach,

czyli z różnymi szybkościami i w innym polu grawitacyjnym, aby powstały mierzalne i zmienne w czasie różnice szybkości „tykania” ich zegarów wewnętrznych. W sytuacji, gdy współczesne technologie pozwalają mierzyć czas z ogromną dokładnością (niepewnością względną rzędu 10^{-15}), a przesunięcie czasu o 1 mikrosekundę w systemach nawigacji satelitarnej skutkowałoby błędem określenia położenia rzędu 300 m, owe pozornie małe efekty relatywistyczne mają fundamentalne znaczenie. Można zatem mieć pewność, że tematów do dyskusji merytorycznej w kwestii pomiaru czasu, częstotliwości oraz innych wielkości fizycznych związanych z czasem, nie zabraknie ani na następnej, 99. Konferencji CIPM, która odbędzie się w dniach 11 – 15 października 2010 r., ani na jubileuszowej 100. Konferencji CIPM w dniach 10 – 14 października 2011 r., ani na wielu kolejnych Konferencjach CGPM.

6. Prace nad nowym układem jednostek miar SI (New SI)

Od kilku już lat trwają przygotowania do opracowania nowego międzynarodowego układu jednostek miar (*New SI*). Ideą przewodnią nowego układu jednostek miar jest redefinicja czterech spośród siedmiu jednostek podstawowych Układu SI w taki sposób, by były one związane ze stałymi fizycznymi, podobnie jak obecnie jednostka długości, metr, jest związana z prędkością światła w próżni, c . Osiągnięto konsensus, by kilogram związać ze stałą Plancka h , amper zdefiniować za pomocą ładunku elementarnego e , kelwin powiązać ze stałą Boltzmanna k_B , zaś mol ze stałą Avogadro N_A .

Największa uwaga i wysiłek badawczy jest poświęcony redefinicji jednostki masy, ponieważ kilogram jest obecnie jedyną jednostką podstawową układu SI zdefiniowaną za pomocą artefaktu. Problemowi temu poświęcone są dwa duże programy badawcze (waga Watta i projekt Avogadro, znany również jako projekt kuli krzemowej), realizowane przez BIPM równolegle lub we współpracy z kilku wiodącymi krajowymi instytutami metrologicznymi, m.in. takimi jak NIST, PTB i NPL. Oba te projekty są już w bardzo zaawansowanym stadium realizacji, ale w kwestii badań naukowych nie sposób prognozować kalendarium ostatecznego sukcesu. Przyjęcie i wdrożenie redefinicji kilograma będzie również wymagać uprzedniego opracowania *mise en pratique* realizacji i przekazywania jednostki masy. Obecny stan rzeczy pozwala przypuszczać, że waga Watta będzie stosowana do realizacji jednostki masy i badania dryftu masy wzorcowych artefaktów najwyższego rzędu, natomiast rozpowszechnianie jednostki będzie odbywać się dalej z użyciem tradycyjnych wzorców platynowo-irydowych oraz w postaci artefaktów ulepszonych pod względem materiałowym (lepszy stop), wzorcowanych za pomocą wagi Watta poprzez związek ze stałą fundamentalną h .

Dyskusja na forum CIPM w październiku 2009 r. ujawniła istotne różnice w ocenie stanu zaawansowania przygotowań do redefinicji 4 jednostek podstawowych układu SI i realnego harmonogramu wdrożenia nowego układu jednostek miar. Obecnie wydaje się mało prawdopodobne, aby tak istotna zmiana w dotychczasowym układzie jednostek miar mogła być dokonana już na następnej konferencji CGPM w 2011 r., ale będzie to niewątpliwie jeden z najważniejszych tematów dyskutowanych na tej konferencji.

7. Prace sekcji naukowych BIPM

7.1 Konstrukcja wagi Watta

Chociaż redefinicja jednostki masy, kilograma, leży w centrum zainteresowań Sekcji Masy, a w budowie wagi Watta bierze udział trzech pracowników Sekcji Masy w pełnym wymiarze czasu, to przedsięwzięcie to należy traktować jako wspólny projekt całego BIPM, którego nie moż-

na przypisywać jednej tylko sekcji naukowej BIPM. Można nawet powiedzieć, że ze względu na fizyczną naturę tego projektu, wiodącą rolę w konstrukcji wagi Watta odgrywa Sekcja Elektryczności, której szef kieruje całością tego projektu, a jego pracownicy dają główny wkład do tego przedsięwzięcia.

Konstrukcja wszystkich zasadniczych części składowych wagi Watta została ukończona pod koniec 2008 r., ale wiele elementów wymaga jeszcze ulepszeń. Dlatego równocześnie z testami poszczególnych podzespołów układu pomiarowego oraz wagi Watta jako całości, prowadzone są nadal prace projektowe i konstrukcyjne. Obecnie projektowany jest wzorzec napięcia, przeznaczony specjalnie do wagi Watta, a oparty na efekcie Josephsona. Na ukończeniu jest projekt elektromagnesu wytwarzającego centralne pole magnetyczne; prace projektowe prowadzone są wspólnie z Uniwersytetem w Aachen (Niemcy) i przewiduje się, że wkrótce będzie on wdrożony. Trwają końcowe prace nad solenoidem, który ma być wykorzystywany do badania indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez elektromagnes.

Jedną z charakterystycznych cech wagi Watta w wersji realizowanej w BIPM jest jednoczesny pomiar prędkości ruchu solenoidu w polu magnetycznym o symetrii centralnej i napięcia indukowanego w tym solenoidzie. Prowadzone są prace nad układem mechanicznym zapewniającym precyzyjną kontrolę kierunku ruchu solenoidu, ulepszeniem działania interferometru do pomiaru prędkości ruchu solenoidu, a także nad eliminacją szumów w układach mierzących napięcie oraz synchronizacją pomiaru napięcia i prędkości. W trakcie prób układu ważącego zaobserwowano zaburzenia lokalnego pola magnetycznego, które mogą mieć wpływ na precyzję działania całego urządzenia.

Waga Watta konstruowana w BIPM będzie docelowo umieszczona w nowym laboratorium i posadowiona na grubym betonowym fundamencie, aby uniknąć drgań mechanicznych. Tuż obok wylano drugi, nieco mniejszy fundament betonowy, na którym umieszczony będzie gravimetr do pomiaru przyśpieszenia grawitacyjnego w pobliżu wagi Watta. Wykonano już gravimetryczne pomiary pola grawitacyjnego w całym laboratorium, tak aby można było z wielką precyzją znaleźć natężenie pola grawitacyjnego w obszarze, w którym znajdować się będzie waga Watta. Nowe pomieszczenie laboratoryjne jest obecnie testowane z punktu widzenia przenoszenia drgań, a wyniki wskazują, że poziom szumów mechanicznych jest wystarczająco niski.

Chociaż kwestia redefinicji i sposobu przekazywania jednostki masy nie jest jeszcze zamknięta, nie ulega wątpliwości, że waga Watta będzie odgrywała pierwszoplanową rolę w *mise en pratique* nowej definicji kilograma.

7.2 Sekcja Masy

Przygotowania do redefinicji jednostki masy przebiegają dwutorowo. Równolegle do konstrukcji wagi Watta prowadzony jest projekt *International Avogadro Coordination* (IAC), w którym dwie kule krzemowe mogą posłużyć do ustalenia jednostki masy. Cel projektu IAC jest w rzeczywistości bardzo elastyczny, ponieważ poza wkładem do redefinicji kilograma, wyniki tego projektu mogą posłużyć do dokładniejszego określenia liczby Avogadro N_A , stałej Plancka h oraz redefinicji jednostki liczebności materii (mola) za pomocą liczby Avogadro. Przed paru laty, projekt IAC napotkał pewne trudności, ale po poprawieniu oceny składu izotopowego kul krzemowych, przedsięwzięcie to zbliża się już ku końcowi.

Bez względu na sposób, w jaki będzie zredefiniowana jednostka masy, przekazywanie jednostki od wzorców najwyższego rzędu wymaga niezwykle precyzyjnego porównywania mas. W tym celu w Sekcji Masy skonstruowano nową wagę próżniową z zewnętrznymi manipulacjami, służą do przemieszczania mas oraz układem grzewczym, którego zadaniem jest usuwanie pary wodnej, zaadsorbowanej na powierzchni ciała, przed jego zważeniem. Waga ta może posłu-

żyć do ważenia kul krzemowych z programu IAC, wtórnych wzorców kilograma utrzymywanych przez poszczególne NMI w próżni lub w atmosferze gazu obojętnego chemicznie, a także artefaktów stanowiących planowany nowy grupowy wzorzec odniesienia jednostki masy.

Ten ostatni punkt wymaga bliższego wyjaśnienia. Nawet wówczas, gdy definicja jednostki masy będzie związana ze stałą Plancka, a jednostka realizowana będzie za pomocą wagi Watta, nie zniknie potrzeba posługiwania się wzorcami masy w postaci artefaktów, ze względu na ich dokładność i wygodę użytkowania, a także dlatego, że nie będzie potrzeby ani możliwości budowy wagi Watta w każdym NMI. Z drugiej jednak strony wiadomo, że masa takich artefaktów ulega powolnej zmianie (dryft), i choć masa obecnego wzorca pierwotnego jednostki masy jest z definicji niezmienna, to porównanie z innymi wzorcami przechowywanymi w takich samych warunkach wskazuje, że masa każdego z nich, łącznie ze wzorcem pierwotnym, ulega dryftowi i to innemu dla każdego artefaktu. Dlatego do *mise en pratique* nowej definicji kilograma planuje się dodać nowy element, będący obecnie na etapie studiów pilotażowych, polegający na utworzeniu 12-elementowego grupowego wzorca jednostki masy, w którym poszczególne artefakty wykonane z trzech różnych rodzajów materiałów będą przechowywane w próżni lub atmosferze gazu obojętnego chemicznie. Średnia masa takiego wzorca grupowego będzie lepszą materialną reprezentacją jednostki masy niż pojedynczy artefakt, jakim jest dzisiejszy międzynarodowy wzorzec kilograma.

Sekcja masy prowadzi teraz kilka projektów mających usprawnić i polepszyć wzorcowania na zamówienie państw członkowskich BIPM. Na przykład, ulepszone zostały czujniki wilgotności względnej i grawimetryczna metoda pomiaru gęstości powietrza, co pozwoli na lepsze oszacowanie poprawek na wypór powietrza i adsorpcję wilgoci na badanych artefaktach. Skorygowano masę roboczych wzorców masy. Zautomatyzowany został również komparator mas działający w zakresie od 0,05 kg do 0,1 kg. W ubiegłym roku pomyślnie zakończono porównanie międzylaboratoryjne gęstości 1-kilogramowego cylindra platynowo-irydowego (we współpracy z PTB). Ponieważ wzorce wtórne oraz wzorce niższego rzędu są wykonane ze stopów metali, EURAMET podjął program badań własności magnetycznych takich wzorców, a Sekcja Masy BIPM włączyła się do tego programu.

7.3 Sekcja Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii

Jednym ze stałych zadań Sekcji Czasu jest obliczanie skali czasu TAI (*International Atomic Time*) i UTC (*Universal Coordinated Time*) oraz podawanie wyników w biuletynie *Circular T*, w którym można też znaleźć aktualne informacje na temat porównań kluczowych. Stabilność czasu TAI, której miarą jest odchylenie Allana, utrzymuje się na stałym poziomie $4 \cdot 10^{-16}$ w skali jednego miesiąca, a całkowita względna poprawka roczna wynosi $-5,2 \cdot 10^{-15}$. W czerwcu 2009 r. CCTF (*Consultative Committee for Time and Frequency*, Komitet Doradczy ds. Czasu i Częstotliwości) zaaprobował nową metodę porównywania wskazań zegarów, a od października 2009 r. ta nowa metoda jest już stosowana w praktyce do obliczania czasu TAI w oparciu o dane z co najmniej 25 laboratoriów. Pomimo doskonałej stabilności czasu TAI, zauważono iż podobnej klasy zegary atomowe pracujące w przemyśle wykazują systematyczny dryft w stosunku do zegarów cezowych, których wskazania służą do obliczania czasu TAI i UTC. Efekt ten przypisuje się, przynajmniej częściowo, algorytmowi stosowanemu do wyliczania czasu i obecnie wdrażana jest nowa procedura w tym zakresie.

Sekcja współpracuje z USNO (*US Naval Observatory*) przy opracowywaniu międzynarodowego układu współrzędnych czasoprzestrzennych związanych z Ziemią (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*, IERS). Bierze również aktywny udział w programie IUA (*International Astronomical Union*), którego celem jest opracowanie międzynarodowego układu

współrzędnych nie związanego z Ziemią, a przeznaczonego do badania ruchu obiektów naturalnych w Układzie Słonecznym (planet, asteroidów) i do ewentualnej astronawigacji.

Ze względu na to, że wielu członków Sekcji Czasu pracuje w CCTF i CCL (*Consultative Committee for Length*, Komitet Doradczy ds. Długości), Sekcja organizuje spotkania obu tych Komitetów, udziela pomocy logistycznej Grupom Roboczym (*Working Group*, WG) oraz służy radą ekspercką w prowadzeniu przez CCL porównania kluczowego laserów stabilizowanych. Ponieważ BIPM ogłosił zamiar zaprzestania produkcji komórek jodowych, wielu użytkowników (zarówno NMI jak i inne podmioty) poprosiło o dostarczenie takich komórek i otrzymało je. Sekcja Czasu kontynuuje również wzorcowania laserów i pomiary dla potrzeb wewnętrznych BIPM oraz dla użytkowników zewnętrznych. Sekcja bierze także udział we wzorcowaniu odbiorników GPS, a zwłaszcza w testowaniu nowego rosyjskiego systemu nawigacji satelitarnej GLONASS.

Do zakresu odpowiedzialności Sekcji należy też grawimetria. Ukończono już prace nad grawimetrem dla NMI Rosji (VNIIM), a wkrótce rozpocznie się porównanie międzynarodowe 25 grawimetrów oraz porównanie kluczowe, w którym uczestniczyć będzie 17 grawimetrów. Warto przypomnieć, że pomiary grawimetryczne stanowią jeden z kluczowych elementów wpływających na dokładność pomiarów za pomocą wagi Watta. Personel Sekcji uczestniczy również w innych pracach związanych z wagą Watta (np. pomiar prędkości przemieszczania solenoidu w centralnym polu magnetycznym) oraz w pracach nad kondensatorem obliczeniowym (pomiary długości).

Działalność naukowa pracowników Sekcji Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii znajduje wyraz w licznych publikacjach. W okresie objętym ostatnim raportem opublikowano 18 prac naukowych, a ok. 10 następnych jest przygotowywanych do druku. Wielkie uznanie dla eksperckiej wiedzy pracowników Sekcji przejawia się również w licznych zaproszeniach do laboratoriów NMI oraz na międzynarodowe konferencje naukowe celem wygłoszenia referatów, wykładów i innych wystąpień.

7.4 Sekcja Elektryczności

Poza zaangażowaniem w budowę wagi Watta, Sekcja Elektryczności uczestniczy również w innych wspólnych projektach. Jednym z ważniejszych przedsięwzięć jest budowa dwu kondensatorów obliczeniowych (*Calculable Capacitor*, CC) o nowej, ulepszonej konstrukcji, prowadzona we współpracy z NMIA (*National Measurement Institute of Australia*). Wielką zaletą kondensatora obliczeniowego polega na tym, że z pojedynczego interferometrycznego pomiaru odległości można obliczyć pojemność takiego kondensatora. Przyrząd ten pozwoli na bardzo dokładną realizację jednostki pojemności elektrycznej, farada, a w układzie mostkowym umożliwi precyzyjne odtworzenie jednostki rezystancji, oma. Ocenia się, że przy pomocy CC można będzie określić stałą von Klitzinga z niepewnością względną rzędu $1 \cdot 10^{-8}$, co pozwoli zwiększyć dokładność również innych stałych fizycznych znajdujących się w bazie danych CODATA i wpłynie na zmniejszenie niepewności wielu pomiarów.

Zakres odpowiedzialności Sekcji Elektryczności w projekcie kondensatora obliczeniowego obejmuje przygotowanie części mechanicznych w warsztatach BIPM oraz polerowanie elektrod, które wkrótce będą dostarczone do BIPM przez NMIA. Jednym z najistotniejszych elementów tego projektu jest pomiar długości za pomocą interferometru Fabry-Perot'a; całość układu optycznego jest obecnie w fazie testowania i strojenia tak, by zminimalizować niepewność pomiaru odległości. W Sekcji Elektryczności budowany jest również mostek, który będzie służyć do przekazywania jednostki pojemności elektrycznej.

Sekcja Elektryczności współpracuje obecnie z PTB nad konstrukcją przenośnego wzorca pojemności elektrycznej. Przedsięwzięcie to jest jednym z elementów wspólnego projektu badaw-

czego (*Joint Research Project, JRP*) EURAMET-u pod nazwą REUNIAM, którego głównym celem jest redefinicja ampera.

Laboratorium pomiarów napięcia zostało ostatnio odnowione i wyposażone w lepszą klimatyzację (kontrola temperatury i wilgotności). Został już zainstalowany i świetnie działa nowy system automatycznego wzorcowania diod Zenera za pomocą matrycy złącz Josephsona. W ciągu paru ostatnich lat zbudowano również przenośny wzorzec napięcia w postaci matrycy złącz Josephsona, co ułatwia wykonywanie bezpośrednich porównań i wzorcowań podstawowych wzorców napięcia tych NMI, które wzorcem pierwotnym jeszcze nie dysponują. Wzorzec przenośny już działa, ale wciąż jest jeszcze testowany, aby osiągnąć wystarczającą niezawodność na poziomie $\sim 10^{-9}$ V.

Pracownicy Sekcji Elektryczności przywiązują dużą wagę do wypełniania swych codziennych zobowiązań, wykonując pomiary i wzorcowania w zakresie rezystancji, napięcia i pojemności elektrycznej dla NMI państw członkowskich. Pewnym utrudnieniem w wykonywaniu tej misji jest długotrwała nieobecność dwu stałych pracowników Sekcji oraz konieczność wymiany elektromagnesu wraz z układem chłodzącym (kriostatem) w kwantowym wzorcu rezystancji, opartym na kwantowym efekcie Halla, ponieważ w obecnym urządzeniu zaobserwowano przeciek chłodziwa. Pomimo tych utrudnień wykonano 35 wzorcowań i jedno studium analityczne, głównie dla kilkunastu mniejszych NMI, nie posiadających swych własnych pierwotnych wzorców rezystancji. Przeprowadzono również 9 porównań w dziedzinie napięcia, oporu i pojemności elektrycznej z wiodącymi NMI.

7.5 Sekcja Promieniowania Jonizującego

Zmierzone w ubiegłych paru latach wartości kermy w powietrzu dla wiązek promieniowania rentgenowskiego w zakresie niskich i średnich energii, jak również kerma w powietrzu dla wiązki promieniowania gamma emitowanego przez ^{137}Cs , zostały już zatwierdzone przez CCRI (*Consultative Committee for Ionizing Radiation*, Komitet Doradczy ds. Promieniowania Jonizującego) i obecnie dane te są na etapie publikacji. W roku 2009 wszystkie działy Sekcji zajmujące się promieniowaniem rentgenowskim przeszły pomyślnie audyt wewnętrzny i zewnętrzny.

W ubiegłym roku skonstruowano wnękę grafitową, która jest już stosowana jako wzorzec pierwotny do pomiaru kermy w powietrzu, a także dwie wzorcowe wnęki grafitowe do pomiaru kermy w wodzie. Badania średniej energii wzbudzenia dla grafitu, które zostały już opublikowane w *Metrologii*, dają istotny wkład do rozwiązania kontrowersji na temat zdolności hamowania elektronów w graficie, która zależy np. od struktury krystalicznej grafitu; badania te wskazują na konieczność wprowadzenia poprawek przy interpretacji danych uzyskanych za pomocą wzorcowych wnęk grafitowych. Trwają prace studyjne nad wnęką z materiałów syntetycznych do badania kermy w powietrzu rozrzedzonym.

Nowo zbudowany, grafitowy kalorymetr do pomiaru dawki absorbowanej w wodzie poddawany był licznym testom, zarówno z zastosowaniem wiązki ze źródła ^{60}Co , jak i przy użyciu wiązek z akceleratorów liniowych we Francji i w Kanadzie. Wstępna analiza wyników potwierdza prawidłowość działania tego urządzenia dla obu rodzajów źródeł i wskazuje na możliwość wykorzystania go do pomiarów i porównań wiązek akceleratorowych.

Prace nad wzorcem pierwotnym dla dozymetrii mammograficznej opóźniają się ze względu na zaobserwowaną rozbieżność rzędu $2 \cdot 10^{-3}$ w stosunku do obecnie stosowanego wzorca, której przyczyna nie została jeszcze wyjaśniona. Problem ten opóźnia uruchomienie stanowiska do badań i porównań mammografów. Natomiast prace nad silnymi źródłami i wysokimi dawkami stosowanymi w brachyterapii przebiegają pomyślnie. BIPM pilotował, a częściowo brał również udział w porównaniach silnych źródeł, których wyniki są obecnie opracowywane.

W dziedzinie dozymetrii, w ubiegłym roku przeprowadzono 23 wzorcowania krajowych wzorców wtórnych. Kontynuowane jest badanie dozymetrów stosowanych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) i Światową Organizację Zdrowia (*World Health Organization*, WHO). W dziedzinie dozymetrii przeprowadzono 9 porównań kluczowych i międzynarodowych oraz 3 inne porównania, z których raporty zostały już opublikowane. Rozpoczęto prace studialne nad konstrukcją komory powietrznej dla NIS (NMI Egiptu), która będzie stanowić wzorzec podstawowy w tym kraju.

W ubiegłym roku bardzo wzrosło zainteresowanie porównaniami aktywności radionuklidów w systemie SIR (*International Reference System*), co wiąże się ze stopniowym usuwaniem z bazy danych KCDB zapisów sprzed 1984 r. W pierwszym półroczu 2009 r. otrzymano do porównań 13 ampulek, w stosunku do 8 ampulek w całym 2008 r. Od 1 stycznia 2009 r. badania prowadzone są za pomocą nowego spektrometru gamma, a wszystkie elementy systemu SIR przeszły pomyślnie audyt wewnętrzny (pod koniec 2008 r.) i zewnętrzny (w czerwcu 2009 r.).

Porównanie aktywności radionuklidów krótkożyciowych wymaga zastosowania specjalnych procedur. W ubiegłym roku, we współpracy z NPL i NIST, zakończono próbną serię porównań aktywności izotopu technetu $^{99}\text{Tc}^m$, którego czas połowkowy wynosi 6,01 h. Porównania wykonano za pomocą przyrządu pośredniczącego (*SIR Transfer Instrument*), a pomyślne wyniki tych porównań pozwolą zapewnić spójność pomiarową odległych geograficznie NMI, biorących udział w porównaniach aktywności $^{99}\text{Tc}^m$ i innych krótkożyciowych radionuklidów w systemie SIR.

Innym ważnym problemem, w którego rozwiązaniu uczestniczy Sekcja Promieniowania Jonizującego, jest rozszerzenie systemu SIR na radionuklidy będące czystymi emiterami beta. W tym celu prowadzone są prace nad ciekłymi detektorami scyntylacyjnymi, oprzyrządowaniem oraz procedurami i algorytmami wykorzystywanymi do badania koincydencji potrójno-podwójnych, a także koincydencji z rozpraszaniem Compton'a. W roku 2009 BIPM pilotował i uczestniczył w porównaniach gazowych emiterów beta (trytu ^3H i kryptonu ^{85}Kr) oraz emitera beta w postaci stałej (lutetu ^{177}Lu), a rezultaty porównań są opracowywane celem opublikowania raportu i powiązania wyników z KCRV (*Key Comparison Reference Value*).

7.6 Sekcja Chemii

Ze względu na szybki rozwój metrologii chemicznej, możliwość planowania badań na wiele lat naprzód jest ograniczona, natomiast myślenie w skali jednego roku nie pozwala na planowanie perspektywiczne. Dlatego Sekcja Chemii pracuje w cyklach 4-letnich. Początek roku 2009 był to czas podsumowania wyników i oceny programu badawczego wykonanego w latach 2005 – 2008. Prace Sekcji koncentrowały się wówczas na badaniu wzorcowych materiałów odniesienia, ważnych z punktu widzenia biologicznego i medycznego (np. badanie czystości preparatów digoksyny i teofiliny), na dokładności pomiarów ozonu w atmosferze (zgodność wyników uzyskiwanych w różnych laboratoriach jest już na poziomie $1 \cdot 10^{-3}$) oraz na badaniu równoważności wzorców stężenia tlenku azotu NO, zarówno z punktu widzenia metodyki przygotowania próbek, jak i pomiaru stężenia substancji głównej (tzn. NO) oraz zanieczyszczeń w postaci podtlenku azotu N_2O i dwutlenku azotu NO_2 .

Badania planowane na lata 2009 – 2012 będą kontynuacją prac w tych dwu strategicznych kierunkach. W dziedzinie organicznych związków biologicznych czynnych podjęto zagadnienie porównania czystości preparatów 17- β -estradiolu (hormon), tetracykliny (antybiotyk) i aldrinu (pestycyd). Wyniki uzyskane w porównaniach czystości tych trzech preparatów będą podstawą oceny zdolności pomiarowej laboratoriów i uzyskiwania przez nie wpisów CMC w dziedzinie czystych, organicznych, wzorcowych materiałów odniesienia. Z inicjatywy dwu grup roboczych (GR)

Komitetu Doradczego ds. Liczności Materii (*Consultative Committee for Amount of Substance, CCQM*), a mianowicie GR ds. Analizy Związków Organicznych (*WG on Organic Analysis, OAWG*) i GR ds. Bioanaliz (*WG on Bioanalysis, BAWG*), podjęto prace nad metodami charakteryzacji czystych związków wielkocząsteczkowych o złożonej strukturze. Jest to bardzo trudny problem, ponieważ np. w białkach, oprócz struktury pierwszorzędowej, czyli składu aminokwasowego, można wyróżnić strukturę drugorzędową (konformację β lub strukturę α -helisy), strukturę trzeciorzędową białek globularnych (stabilizowaną wiązaniami dwusiarczkowymi i wodorowymi) oraz strukturę czwartorzędową w przypadku białek oligomerycznych (wielołańcuchowych), zaś własności tak złożonych molekuł zależą silnie nie tylko od ich składu aminokwasowego, ale także od ich struktury drugo- trzecio- i czwartorzędowej, które mogą ulegać zmianie w zależności od warunków fizykochemicznych. Jako układ modelowy związków o złożonej strukturze wybrano peptydy (czyli poliaminokwasy o tej samej naturze chemicznej co białka, ale o mniejszej masie cząsteczkowej) i rozpoczęto opracowanie metod badania i wzorcowania materiałów odniesienia w tej dziedzinie.

Drugi strategiczny kierunek badań obejmuje kompleks zagadnień związanych z monitorowaniem warstwy ozonowej oraz zawartości gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń gazowych w atmosferze. Zbadano charakterystykę stabilności mocy jonowego lasera argonowego, który wykorzystywany jest do pomiaru stężenia ozonu (O_3) na podstawie absorpcji wiązki laserowej oraz rozpoczęto nowy cykl porównań fotometrów wzorcowych do pomiaru stężenia ozonu (*Ozone Standard Reference Photometer, SRP*). Rozpoczęto walidację metod pomiaru tlenków azotu metodami spektroskopowymi oraz budowę nowego stanowiska pomiarowego do porównań wzorców stężenia metanu i gazowego formaldehydu.

Sekcja Chemii współpracuje z Komitetem Wspólnym ds. Spójności Pomiarowej w Medycynie Laboratoryjnej (*JCTLM*) utrzymując i aktualizując bazę danych *JCTLM Database*, w której zarejestrowanych jest obecnie ponad 200 certyfikowanych materiałów odniesienia, ponad 140 metod odniesienia i procedur pomiarowych oraz ponad 120 rodzajów pomiarów odniesienia oferowanych zainteresowanym podmiotom naukowym, przemysłowym, handlowym, rządowym oraz organizacjom pozarządowym i międzynarodowym, m.in. zajmującym się ochroną środowiska.

Zróźnicowanie pomiarów chemicznych w nauce i gospodarce jest tak duże, a zmiany tak szybkie, że kierownictwo i personel Sekcji Chemii widzi potrzebę współpracy z innymi podmiotami w zakresie opracowania strategii rozwoju metrologii chemicznej. W tym celu poproszono krajowe instytuty metrologiczne (NMI), inne instytuty naukowe, stowarzyszenia zawodowe, organizacje społeczne, korporacje przemysłowe, instytucje rządowe oraz organizacje międzynarodowe o opinię na temat przyszłych potrzeb w dziedzinie metrologii chemicznej, zwłaszcza w zakresie metrologii biomedycznej i biotechnologii, zarówno w aspekcie naukowym, komercyjnym, jak i legislacyjnym. Wyniki kwerendy zostaną ujęte w postaci raportu przedstawiającego strategiczne kierunki rozwoju metrologii chemicznej i przewidywane potrzeby w zakresie infrastruktury pomiarowej w wieloletniej perspektywie czasowej.

Powyższe opracowanie powstało na podstawie raportu prof. Andrew Wallarda, Dyrektora Międzynarodowego Biura Miar, zatytułowanego *News from the BIPM – 2009*, opublikowanego w czasopiśmie *Metrologia* 47 (2010) 103-111.

Dr Wojciech Chyla
Główny Urząd Miar