

XXIV. posiedzenie Generalnej Konferencji Miar

Patrycja Ruśkowska

Generalna Konferencja Miar jako najwyższy organ Konwencji Metrycznej (CGPM), podejmujący między innymi uchwały dotyczące podstawowych problemów metrologicznych oraz określający zakres działalności Międzynarodowego Biura Miar (BIPM), zwoływana jest co cztery lata. Od pierwszej Generalnej Konferencji Miar (1889), na której ustalono pierwsze definicje metra i kilograma, upłynęły już 123 lata. Od tego czasu wprowadzono nowe jednostki i ich definicje, jak na przykład jednostkę mola czy kandeli, doprowadzając do sformułowania Międzynarodowego Układu SI w obowiązującej nadal postaci.

Podczas XXIV. posiedzenia Generalnej Konferencji Miar, które odbyło się w dniach 17–21 października 2011 roku w Paryżu, uczestniczyły delegacje państw członkowskich (obecnie 56) oraz zrzeszonych (obecnie 33) – sygnatariuszy traktatu Konwencji Metrycznej. Przedmiotem obrad ostatniej Konferencji CGPM było rozpatrzenie 10. projektów rezolucji.

Uchwalone rezolucje stanowią wytyczne dla rozwoju współczesnej metrologii na świecie. W trakcie obrad Generalnej Konferencji Miar odbyły się prezentacje rekomendujące celowość zgłaszanych projektów rezolucji, będących następnie przedmiotem głosowania [1]. Przewodniczący Komitetu Doradczego CCU prof. I. M. Mills przedstawił przyczyny opracowania projektu rezolucji, będącej odpowiedzią na potrzeby wszystkich krajów członkowskich porozumienia CIPM MRA, dotyczącej redefinicji jednostek Układu SI. Potrzeba zmian definicji jednostek miar zaistniała, między innymi na skutek zauważalnych zmian masy międzynarodowego prototypu kilograma (artefaktu) w stosunku do pozostałych platynowo-irydowych wzorców masy oraz braku pewności co do dryftu masy wzorców niższego rzędu. Celem redefinicji jednostki masy realizowane są obecnie dwa projekty: Avogadro (International Avogadro Coordination IAC), istotą którego wzorzec kilograma realizowany jest w oparciu o liczbę atomów krzemu (^{28}Si) zawartych w kuli krzemowej oraz projekt wiążący kilogram ze stałą Plancka h , z realizacją jednostki masy za pomocą prądowej wagi Watta (Watt balance) [1].

Z powodu pewnych rozbieżności pomiędzy rezultatami uzyskanymi w powyższych projektach, ostateczne zdefiniowanie jednostki masy w oparciu o stałą Plancka nie jest obecnie możliwe. Ponadto, celem zwiększenia dokładności pomiaru, konieczne jest jednoczesne zastosowanie kilku wag Watta. Zgodnie z dotychczasowym stanem wiedzy waga Watta będzie stosowana do realizacji jednostki masy oraz badań dryftu masy artefaktów (prototypów) najwyższego rzędu, natomiast przekazywanie jednostki będzie odbywać się dalej z użyciem wzorców tradycyjnych platynowo-irydowych oraz w postaci artefaktów ulepszonych pod względem materiałowym, wzorcowanych za pomocą wagi Watta poprzez związek ze stałą Plancka [3].

Projekt uchwały A, jest rezultatem wielu dyskusji przeprowadzonych podczas obrad Komitetu CCU, pozostałych Komitetów Doradczych CIPM oraz innych instytucji zajmujących się metrologią. Uchwalona rezolucja 1 jest propozycją przyszłej weryfikacji Układu SI. Początkowo został opracowany w Komitecie Doradczym CCU, a następnie po szeregu modyfikacjach został przyjęty przez CIPM do celów prezentacji podczas XXIV. Konferencji CGPM. Ostateczny projekt uchwały A przedstawiono podczas ostatniego dnia posiedzenia (21 października 2011 r.) i uchwalono w formie rezolucji 1. Zgodnie z przyjętą uchwałą

w zweryfikowanym Międzynarodowym Układzie SI definicje podstawowych jednostek zostaną sformułowane przy pomocy stałych odniesienia.

W pierwszym dniu obrad Wenjian Hang, Dyrektor Departamentu Systemu Obserwacji i Informacji Światowej Organizacji Meteorologicznej, przedstawił prezentację pt.: „Wyzwania w zakresie systemów globalnej obserwacji zmian klimatu: spójności pomiarowej, stabilności i zmniejszenia niepewności”. W ramach plenarnych sesji trzech grup roboczych: A, B i C zostały omówione następujące zagadnienia: wymagania, kluczowe potrzeby i możliwości w zakresie monitoringu klimatu i zmian w środowisku (grupa robocza A), obecny stan nauki i technologii w zakresie monitoringu zmian klimatu (grupa robocza B) i poziom tolerancji dokładności i niepewności w pomiarach zmian klimatu oraz system zarządzania jakością w zakresie obserwacji (grupa robocza C). W wyniku prac grup roboczych został opracowany „Concept Document” dla potrzeb XXIV. Konferencji CGPM.

Międzynarodowa Organizacja Meteorologiczna stanowi autorytarny głos w sprawie stanu i zachowania atmosfery Ziemi, jej interakcji z oceanami, klimatem i w rezultacie dystrybucją źródeł wody. Między innymi WMO zajmuje się:

- przyrządami i organizacją sieci stacji obserwacyjnych,
- promowaniem normalizacji metrologicznych obserwacji,
- promowaniem systemów opracowanych w związku z gwałtownym wzrostem danych metrologicznych i innych,
- wspieraniem zastosowania metrologii dla potrzeb pomiarów wody oraz w dziedzinie rolnictwa, lotnictwa i w żegludze.

Międzynarodowa organizacja Meteorologiczna WMO współpracuje z BIPM i polega na jej usługach. W. Hang wymienił zakres działań mających na celu monitorowanie zmian klimatu na Ziemi. Są to następujące systemy obserwacji:

- sieć obserwacyjna powierzchni globu i oceanów,
- sieć obserwacji powietrza na dużych wysokościach,
- sieć zdalnie sterowanych sensorów (radarów),
- pomiary z poziomu samolotu,
- monitoring przy zastosowaniu zespołu satelitów okołoziemskich.

W. Hang poinformował o prowadzonych badaniach radiometrycznych spójnych z Układem Jednostek SI, realizowanych we współpracy BIPM, NPL (Wielka Brytania) i METAS (Szwajcaria). W ramach współpracy zostanie zweryfikowana zgodność World Radiometric Reference (WRR) i skali wzorców kriogenicznych NPL i METAS. Prowadzone są prace nad absolutnym słonecznym radiometrem CSAR, w ramach realizowanej współpracy PMOD, METAS i NPL. W. Hang omówił także badania ozonu realizowane „in situ” we współpracy NIST i BIPM. W roku 2002 utworzono laboratorium WMO-GAW Central Calibration Laboratory (CCL). Ozon jest ważnym gazem atmosferycznym, chroniącym zdrowie poprzez zatrzymywanie promieniowania UV, ale także działającym jako gaz cieplarniany. W związku z tym monitorowanie stężenia tego gazu jest istotne w badaniach zmian klimatu.

W następnym dniu obrad dr Robert Kaarls przedstawił prezentację pt.: „Metrologia, zmiany klimatu i dystrybucja węgla”. Dzięki porozumieniu MoU, podpisanemu między CIPM i WMO w 2002 roku organizacja WMO oraz CIPM/BIPM będą razem konsultować się w celu zapewnienia, że dane uzyskane w pomiarach stanu i składu atmosfery oraz źródeł wody w ramach programów badań, organizowanych pod auspicjami WMO są

spójne z Układem Jednostek SI, zgodnie z wytycznymi porozumienia CIPM MRA i technicznymi regulacjami organizacji WMO. W związku z tym nastąpił znaczny postęp we współpracy pomiędzy laboratoriami odniesienia WMO i Komitetem Doradczym CCQM, a od roku 2010 laboratoria odniesienia WMO uczestniczą w porozumieniu CIPM MRA. Program GAW, zorganizowany przez WMO, współpracuje z globalną siecią monitoringu klimatu. Dr Kaarls omówił wyzwania w zakresie zapewnienia jakości w pomiarach zmian klimatu:

- zróżnicowane parametry pomiarowe,
- zróżnicowane programy,
- zróżnicowane zdolności pomiarowe NMI,
- zróżnicowana dostępność źródeł.

Dr Kaarls zaprezentował schemat sieci Global Atmosphere Watch (GAW) oraz omówił badania ozonu jako najczęściej obserwowanego gazu poprzez system satelitów z zastosowaniem metod spektroskopowych (do pomiaru całkowitej ilości ozonu, profili oraz mapowania). Pomiar realizowany jest również poprzez wywzorcowane sondy, zamieszczone w specjalnych balonach. Pomiar jest także realizowany z poziomu powierzchni Ziemi, również przy użyciu technik spektroskopowych: Dobson, Brewer, LIDAR, DOAS, FTIR i in. Wykonywany jest pomiar „ozonu całkowitego” (w jednostkach Dobsona) oraz wyznaczane są profile.

We współpracy NIST i BIPM realizowany jest program do zapewnienia porównywalności wzorców odniesienia ozonu, stosowanych do monitoringu ozonu z powierzchni Ziemi. Realizowane są projekty długoterminowych badań lotnych związków organicznych: etanu, acetonu, propanu, benzenu, toluenu, formaldehydu, monoterpenów, metanolu, etanolu i innych, które wpływają na stężenie ozonu w stratosferze, stanowią prekursorzy różnego rodzaju aerozoli i jako związki organiczne uczestniczą w cyklach węgla. Prowadzone są także badania zasolenia oceanów, którego stopień wpływa wyraźnie na zmiany klimatu i związane z tym zagrożenia Tsunami.

Zgodnie z rekomendacjami rezolucji 2, uchwalonej w dniu 21 października 2011 roku, odpowiednie organy mają za zadanie zapewnić, że pomiary wykonywane w zakresie badań zmian klimatu, gospodarki węglowej, są spójne z Układem Jednostek SI. Odpowiednie organy wesprą rozwój technik pomiarowych, które umożliwią opracowanie spójnych pomiarowo wzorców radiometrycznych i przyrządów, dla których spójność będzie mogła być ustalana w pomiarach naziemnych i w przestrzeni. Natomiast, krajowe instytuty metrologiczne NMI będą kontynuować badania nad rozwojem technik i systemów pomiarów umożliwiających analizę biopaliw i ubytku węgla.

Przedmiotem obrad XXIV. Generalnej Konferencji Miar było także określenie zakresu działalności badawczej BIPM, w zależności od wysokości składki członkowskiej, której wartość była ustalona podczas głosowania. Obecnie BIPM prowadzi badania w zakresie pomiarów masy, czasu, energii elektrycznej, promieniowania jonizującego, a także chemii. Prace badawcze w tych dziedzinach realizowane są w ramach wydziałów: Masy, Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii, Elektryczności, Promieniowania Jonizującego oraz Wydziału Chemii. BIPM realizuje i koordynuje porównania kluczowe oraz wzorcowania w wyżej wymienionych dziedzinach, w celu zapewnienia spójności pomiarowej z Międzynarodowym Układem Jednostek Miar. W ramach programu prac na lata 2013–2016 zostaną zrealizowane następujące zadania: rozwój badań w dziedzinie emisji gazów cieplarnianych, rozwój badań w zakresie analizy cząsteczek o wyższej masie molowej oraz pozyskanie klinicznego akceleratora liniowego (LINAC), a także inwestycje w dziedzinie pomiarów dozymetrycz-

nych. CIPM proponuje, aby BIPM nabyło kliniczny akcelerator liniowy (LINAC), w celu zapewnienia państwom członkowskim spójności pomiarów dozymetrycznych stosowanych w radiacyjnej terapii nowotworów.

Generalna Konferencja Miar jest także doskonałą okazją do sprawozdawania z wszelkiego rodzaju działań, podejmowanych przez najwyższe organa Konwencji Metrycznej, w zakresie metrologii. Poniżej zestawiono najważniejsze zagadnienia zaprezentowane w ramach sprawozdań, wygłoszonych przez przewodniczących Komitetów Doradczych Międzynarodowego Komitetu Miar (CIPM) [2].

Komitet Doradczy ds. Długości (CCL) – przewodniczący dr Attilio Sacconi

W ramach działalności Komitetu Doradczego CCL, zajmującej się szeroko pojętą metrologią długości i kąta realizowane są prace związane bezpośrednio z realizacją i definicją jednostki długości – metrem. Znaczny postęp technologiczny w przemyśle implikuje rozwój tej dziedziny pomiarowej, która jest obecnie realizowana między innymi w obszarach: interferometrii dużych odległości, metrologii obiektów o dużych rozmiarach w inżynierii produkcji, komputerowej topografii w skali mikro, metrologii 3D w skali nano oraz interferometrii wysokiej rozdzielczości. W dziedzinie metrologii długości realizowane są aktualnie projekty EMRP, jak np.: „NIMTech” z wykorzystaniem metody „laser tracer” oraz „Long distance” z wykorzystaniem interferometru laserowego.

Realizowane są porównania kluczowe w zakresie: krótkich i długich płytek wzorcowych, pomiarów kąta, wzorców średnic, wzorców schodkowych, płyt kulowych, wzorców kreskowych, wzorców chropowatości powierzchni, laserów MeP. Aktualnie realizowane są porównania kluczowe: CCL-K1.2011 (koordynowane przez Komitet Doradczy CCL) oraz EURAMET.L-K1 – płytek wzorcowych i EURAMET.L-K3 – pomiarów kąta realizowanych (organizowane przez EURAMET) oraz porównania interregionalne: CCL-RMO-KC, organizowane w ramach danego regionu z możliwością udziału przedstawicieli innych regionów.

Komitet Doradczy ds. Masy i Wielkości Pochodnych (CCM) – przewodniczący dr Mitsuru Tanaka

W zakresie działalności Komitetu CCM realizowane są jednostki wielkości fizycznych, takie, jak: masa (kg), gęstość (kg/m^3), siła (N), ciśnienie (Pa), twardość (skala twardości), przepływ płynów (m^3/kg), (kg/s), lepkość [Pa s], ciężenie ziemskie (m/s^2). W ramach prac Komitetu Doradczego CCM, realizowanych w ostatnim czasie należy wymienić badania nad udoskonaleniem globalnego wzorca pomiarowego (Wagi Watta) oraz nad realizacją jednostki kg za pomocą stałej Avogadro (N_A). Wartość stałej Avogadro N_A wyznaczono w oparciu o pomiary średnicy d kuli (kryształu) krzemu, zbudowanego z atomów ^{28}Si . Rezultaty badań międzynarodowych nad wyznaczeniem wartości stałej Avogadro N_A jako $N_A = 6,022\,140\,82(18) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, opublikowano w czasopiśmie Metrologia 48 (2011) S1-S13. W pracach tych w latach 2003 – 2011, oprócz BIPM wzięły udział następujące NMI: PTB, I.N.R.i.M, IRMM, NPL, NIST, NMIA, NMIJ/AIST.

Opracowanie redefinicji jednostki kg w oparciu o stałe fizyczne powinno być realizowane zgodnie z rekomendacjami G1 i G2 (2010). Według wytycznej G1 na podstawie

uzyskanych rezultatów w trzech niezależnych eksperymentach, wykonanych za pomocą wagi Watta oraz w ramach projektów międzynarodowych dotyczących wyznaczenia stałej Avogadro, w oparciu o kryształ krzemu. Wartości właściwych stałych powinny zostać wyznaczone ze względną niepewnością standardową nie większą niż $5 \cdot 10^{-8}$ i przynajmniej jeden z tych wyników powinien być obarczony niepewnością nie większą niż $2 \cdot 10^{-8}$.

Według wytycznej G2 zastosowanie międzynarodowego prototypu kilograma ma potwierdzić spójność pomiarową z prototypami BIPM. W praktyce pierwotne realizacje definicji kilograma będą oparte na: porównaniu mocy elektrycznej z mechaniczną, na zastosowaniu metody XRCD polegającej na pomiarze rentgenograficznym gęstości kryształu lub innych. W ramach przygotowań do wdrożenia nowej definicji jednostki masy przewiduje się również opracowanie sposobu jej przekazywania do laboratoriów niższego rzędu z poszczególnych NMI i BIPM (odtworzących jednostkę masy za pomocą pierwotnych realizacji) oraz zaprojektowanie zestawu wzorców masy w odniesieniu do wyników, uzyskanych w porównaniach kluczowych. Niemniej jednak, pomimo prowadzonych badań nad nową definicją, kontynuowane będą prace w oparciu o poprzednią definicję kilograma.

Komitet doradczy ds. Czasu i Częstotliwości (CCTF) – przewodniczący dr Luc Erard

W zakresie działalności Komitetu Doradczego CCTF wykonywane są prace, związane z realizacją i definicją jednostek czasu i częstotliwości. Priorytetem jest utrzymanie (obliczanie) Międzynarodowej Skali Czasu (UTC) przez BIPM z zachowaniem stabilności częstotliwości UTC: $3 \cdot 10^{-16}$ i dokładności częstotliwości UTC na poziomie: 10^{-16} . Do obliczenia skali czasu UTC wykorzystano około 400 zegarów atomowych (atomu cezu (Cs) oraz maserów wodorowych) z 69 laboratoriów NMI. Realizowane są prace nad unowocześnieniem wyposażenia laboratoriów biorących udział w porównaniach zegarów stosowanych do obliczeń UTC w BIPM oraz udoskonaleniem porównań pomiaru czasu w Wydziale Czasu BIPM, poprzez zastosowanie bardziej skomplikowanych technik i statystycznej obróbki uzyskiwanych danych. Prowadzone są badania transferu czasu poprzez transmisję w oparciu o amerykański system nawigacji GPS (*Global Positioning System – Navigation Signal Timing and Ranging*) i metodę alternatywną, taką jak TWSTFT (*Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer*) oraz transmisję w oparciu o rosyjski system nawigacji GLONASS.

W ostatnim czasie nastąpił znaczny rozwój technik transferu czasu. Obecnie techniki stosowane do porównań pierwotnych wzorców – TWSTFT i metoda wykorzystująca satelity GPS – nie są wystarczająco dokładne do porównań wzorców optycznych z powodu pogarszania ich dokładności i precyzji. Jako alternatywę zastosowano połączenia światłowodowe, osiągając dobre rezultaty w pomiarach w odległości kilkuset kilometrów, realizowanych w projektach połączeń kontynentalnych. Interferometria wielkobazowa (VLBI) i technologia TWSTFT stosowane są jako potencjalne techniki eliminujące problem wielkich odległości w porównaniach interkontynentalnych. Nastąpił znaczny postęp w badaniach nad zegarami optycznymi. Do porównań kluczowych wymagany poziom dokładności transferu czasu wynosi 10^{-18} . W związku ze zmianami *mise en pratique* metra oraz rozwoju w badaniach nad optycznymi wzorcami częstotliwości w kierunku ustalenia precyzyjnych wartości częstotliwości, umożliwi w przyszłości przyjęcie nowej definicji sekundy (nie wcześniej jednak niż przed 2019 r.). Dzięki zastosowaniu nowych wzorców częstotliwości z tzw. syn-

tezerami optycznymi możliwe będą porównania zegarów optycznych. Przyjęcie wspólnego naziemnego systemu odniesienia – *International Terrestrial Reference System* (ITRS) pozwoli na zmniejszenie lub wyeliminowanie ryzyka pomyłek czy nieporozumień przy ustalaniu położenia i czasu w oparciu o różne systemy nawigacji satelitarnej, związanych z zastosowaniem różnych systemów odniesienia.

Komitet Doradczy ds. Elektryczności i Magnetyzmu (CCEM) – przewodniczący dr B. D. Inglis

W zakresie działalności CCEM realizowane są prace związane z realizacją jednostek elektryczności i magnetyzmu. Obecnie prowadzone są konsultacje we współpracy z Wydziałem Elektryczności BIPM dotyczące projektu Wagi Watta (Watt Balance) we współpracy z Wydziałem Masy. Ponadto wykonywane są badania nad udoskonaleniem kondensatorów obliczeniowych. Realizowane są porównania kluczowe – opracowano nowe ulepszone wzorce „przenośne”. Wzorce przenośne są dostarczane przez BIPM.

Kierunki rozwoju dla metrologii z zakresu pomiarów rezystancji to technologia wykorzystująca grafen – alotropową odmianę węgla o doskonałych właściwościach półprzewodnika (aktualnie prowadzone są porównania w ramach projektu BIPM/NPL).

Komitet Doradczy ds. Termometrii (CCT) – dr Hüseyin Uğur

W Komitecie Doradczym ds. Temperatury wykonywane są prace, związane z realizacją i definicją jednostki temperatury. Obecnie kontynuowane są badania w celu zaktualizowania danych dotyczących skali temperatury ITS-90 w kontekście redefinicji kelwina. Stworzono dokument pt. „Mise en pratique for the definition of the kelvin”. Opracowano budżet niepewności dla termometrii kontaktowej. Opracowano drugorzędowe punkty odniesienia i techniki w relacji do ITS-90. Prowadzone są badania nad wyznaczeniem temperatury termodynamicznej oraz rozszerzeniem skali temperatury ITS-90 do zakresu niskich temperatur. W zakresie termometrii radiacyjnej prowadzone są prace nad budżetem niepewności pomiaru temperatury radiacyjnej poniżej punktu krzepnięcia srebra (Ag), w odniesieniu do pomiarów termodynamicznych prowadzonych w wyższych temperaturach. Natomiast w zakresie wysokich temperatur prowadzone są pomiary w punktach termodynamicznych. Realizowane są także pomiary wilgotności – opracowywany jest dokument CCT-K6. Planowane są nowe porównania kluczowe. Opracowano sprawozdanie dla Komitetu CIPM w zakresie implikacji zmian w definicji kelwina w oparciu o stałą Boltzmanna. Stała Boltzmanna zostanie wyznaczona eksperymentalnie przy zastosowaniu metod pomiarowych podstawowej termometrii, włączając gazową termometrię akustyczną oraz gazową termometrię stałej dielektrycznej. Niezależnie uzyskane rezultaty mogą być ponadto potwierdzone między innymi przez realizację pomiarów metodą termometrii radiacyjnej oraz termometrii poszerzonej o zjawisko Dopplera (z niepewnością względną równą w przybliżeniu 2×10^{-6}).

Komitet Doradczy ds. Fotometrii i Radiometrii (CCPR) – przewodniczący dr F. Hengstberger

W Komitecie Doradczym CCPR realizowane są badania w zakresie fotometrii, zajmującej się pomiarami wielkości charakteryzujących światło, postrzeganych przez ludzkie

oko oraz w zakresie radiometrii dotyczącej pomiarów energetycznych. Punktem wyjścia fotometrii jest sposób funkcjonowania oka jako wybiórczego detektora widma elektromagnetycznego. Ludzkie oko nie jest bowiem równie wrażliwe na fale świetlne wszystkich długości. Fotometria przyjmuje założenie, że wrażliwość ludzkiego oka odpowiada widzeniu fotopowemu, a nie widzeniu skotopowemu. Jednostką światłości jest kandela.

Obecnie w zakresie fotometrii prowadzone są prace w zakresie badań adaptacji oka ludzkiego w ciemności. Dużym wyzwaniem konstruktorskim będzie opracowanie przyrządów do pomiaru nie tylko światła zaadaptowanego przez oko ludzkie, ale także na każdym etapie jego adaptacji. Realizowane są także prace w celu wykorzystania nowych efektywnych źródeł światła, modeli nowej generacji oraz wyposażenia do pomiaru światła w celu zredukowania zużycia energii elektrycznej.

Komitet Doradczy ds. Promieniowania Jonizującego (CCRI) – przewodniczący dr K. Carneiro

W zakresie działalności Komitetu doradczego CCRI realizowane są badania i pomiary w dziedzinie metrologii promieniowania jonizującego, głównie dla potrzeb medycznej diagnostyki i terapii, przemysłowej sterylizacji, energetyki atomowej i bezpieczeństwa atomowego oraz kontroli i wpływu stężenia pierwiastków promieniotwórczych na zdrowie człowieka. Wielkością mierzoną jest zaabsorbowana dawka: jednostka grej (Gy), zakres pomiarowy: od 1 nGy do 100 kGy; radioaktywność (promieniotwórczość) – zdolność jąder atomowych do rozpadu promieniotwórczego, który najczęściej jest związany z emisją cząstek alfa, cząstek beta oraz promieniowania gamma: jednostka bekerel (Bq), zakres pomiarowy: od mBq do GBq; równoważnik dawki: jednostka dawki skutecznej: siwert (Sv), zakres pomiarowy: od nSv do Sv; fluencja neutronów: jednostka cm^{-2} ; zakres pomiarowy: $(10^3 \div 10^{16}) \text{cm}^{-2}$. Pomiary realizowane są z niepewnością standardową z przedziału $(0.2 \div 3.0) \%$.

W dziedzinie promieniowania jonizującego prowadzone są badania i pomiary radionuklidów, neutronów oraz cząstek naładowanych elektrycznie. Pomiary wykonywane są dla zakresu promieniowania x i γ .

W stale rozwijającej się dziedzinie dozymetrii realizowane są obecnie prace mające na celu dopracowanie systemu spójności pomiarowej w zakresie mammografii (projekt LINAC).

Realizowane są obecnie porównania kluczowe w zakresie brachyterapii we współpracy BIPM, EURAMET oraz Sekcji I Komitetu CCRI. W porównaniach uczestniczą również NMI z następujących krajów: Wielkiej Brytanii, Holandii, Francji, Niemiec, USA i Kanady. Ponadto, prowadzone są porównania w zakresie mammografii z BIPM jako koordynatorem. Pozostałe kraje uczestniczące w tym projekcie to: Japonia, Niemcy, USA, Kanada oraz Włochy i Holandia. Powyższe porównania są aktualnie w trakcie realizacji. Realizowane są także porównania z zakresu pomiarów fluencji neutronów (Sekcja III Komitetu CCRI), cyklicznie co 10 lat. NMI uczestniczące w porównaniach w 2001 roku to: Niemcy, Rosja, Japonia, Wielka Brytania, USA, Chiny. Ponadto w tym projekcie wzięło udział Wspólne Centrum Badawcze przy Komisji Unii Europejskiej (*Joint Research Committee Centre – European Commission, EU-JRC*). W roku 2011 w porównaniach wzięły udział Rosja, Japonia, Wielka Brytania, USA, Chiny oraz Wspólne Centrum Badawcze przy Komisji Unii Europejskiej (EU-JRC). Zaplanowano porównania dozymetryczne przy zastosowaniu akceleratora liniowego.

Komitet Doradczy ds. Liczności Materii: metrologia w dziedzinie chemii (CCQM) – przewodniczący dr R. Kaarls

W zakresie działalności Komitetu Doradczego CCQM realizowane są prace związane ze spójnością pomiarową i chemicznymi materiałami odniesienia w wielu dziedzinach chemii. Prowadzone są badania, między innymi w następujących obszarach: analizy i bioanalizy wysokiej czystości związków chemicznych zarówno nieorganicznych (metali, izotopów), jak i organicznych, np. syntetycznej insuliny. Ważkie z punktu widzenia ochrony zdrowia i środowiska naturalnego wykonywane są także badania analityczne (m.in. z zakresu absorpcyjnej spektrometrii atomowej czy elektrochemii) roztworów wodnych jonów metali, jak np. niklu, chromu w pomiarach czystości wód (pitnej, powierzchniowych, gruntowych, a także sodu w badaniu stopnia zasolenia wody morskiej). Prowadzone są także badania metrologiczne (dostarczanie wzorców) roztworów związków organicznych o działaniu mutagennym, takich jak policyklicznych węglowodorów aromatycznych czy związków biokumulowalnych, takich jak np. polichlorobifenyli czy pestycydów. W ostatnim czasie realizowane są w przyspieszonym tempie badania związane ze zmianami klimatu, tj. z efektem cieplarnianym oraz postępującym zmniejszaniem się warstwy ozonowej nad powierzchnią kuli ziemskiej (powodowanego reakcjami rodnikowego rozpadu ozonu, głównie z atomami chloru z freonów). Wśród gazów cieplarnianych dominują: para wodna, dwutlenek węgla, ozon, metan, podtlenek azotu oraz chlorowcopochodne węglowodory: freony, halony i inne, których właściwością jest zdolność całkowitego przepuszczania krótkofalowego promieniowania słonecznego, absorbowanego na powierzchni Ziemi z jednoczesnym odbijaniem promieniowania długofalowego Ziemi. Opracowywane są nowe metody analityczne w celu badań i monitoringu stężenia w powietrzu atmosferycznym gazów (O_2 , N_2O , O_3 , NF_3) oraz lotnych związków organicznych charakteryzujących się wysoką prężnością par w temperaturze pokojowej, jak np. formaldehydu (VOCs – Volatile organic compounds), substancji znacznie wpływających na zmniejszenie zawartości ozonu w stratosferze. Prowadzone są prace nad opracowaniem systemów odniesienia dla peptydów i białek, jak np. insuliny (projekt we współpracy BIPM, NIST, Międzynarodowej Organizacji Zdrowia i innych NMI). Opracowano syntezę wieloetapową hormonu insuliny, która poddawana jest badaniom analitycznym metodą spektrometrii mas w kierunku ustalenia spójności pomiarowej dla biomarkerów, stosowanych w diagnostyce medycznej (projekt BIPM).

Prowadzone są także prace w zakresie analiz patogenów izolowanych z mikroorganizmów, takich jak: bakterie, wirusy, grzyby i inne, w obszarach, gdzie metrologia w chemii stoi przed dużym wyzwaniem opracowania drogi analitycznej spójnej pomiarowo z Układem SI, opracowaniem materiałów odniesienia. Prowadzone są badania w zakresie analizy jakości żywności, właściwości polimerów, struktury powierzchni i wielu innych.

Komitet Doradczy ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań (CCAUV) – przewodniczący dr Joaquín Valdés

W zakresie działalności Komitetu Doradczego CCAUV są realizowane prace związane z pomiarami akustycznymi, ultradźwiękami i drganiami. Aktualnie prowadzone są badania sejsmograficzne. W wyniku wielu obserwacji stacji badawczych położonych w wielu miejscach na świecie opracowano globalną sieć sejsmograficzną. Przy zastosowaniu tysięcy sejsmografów wykonano pomiary dźwięków o niskiej częstotliwości z obszaru całej

kuli ziemskiej. Sejsmografy, użyte w tych badaniach, pracują na poziomie niskich częstotliwości z zakresu: 0,5 Hz, 0,1 Hz a nawet 0.008 Hz. Dzięki zastosowaniu tego typu mierników, możliwe jest szersze zbadanie istoty trzęsień ziemi. Obecnie trwają trzy porównania kluczowe i realizowane są połączone porównania z zakresu mikrofonów na różnych kontynentach – AUV.A-K1: LS1P. Przeprowadzono 10 porównań regionalnych – przez organizację RMO. Obecnie realizowane są 2 porównania regionalne RMO, a 6 – zostało zdefiniowanych i rozpoczętych. Aktualnie prowadzone są porównania z zakresu dźwięków niskich częstotliwości – APMP.AUV.V–S1, pilotowane przez instytut NIM (Chiny) i instytut NMISA (Republika Południowej Afryki), w celu zapewnienia spójności pomiarowej oraz międzynarodowej równoważności dla wzorów dźwięków o niskich częstotliwościach, poniżej poziomu 0,1 Hz.

Komitet Doradczy ds. Jednostek – przewodniczący prof. I. M. Mills

W Komitecie Doradczym CCU opracowano ideę weryfikacji Międzynarodowego Układu Jednostek SI, sformułowaną w postaci rezolucji 1, uchwalonej podczas XXIV. Konferencji CGPM, zatytułowanej: „On the possible future revision of the International System of Units, the SI”. Nowy Układ Jednostek Miar będzie oparty na siedmiu fundamentalnych stałych fizycznych:

- $\Delta\nu$ – częstotliwość stanu podstawowego struktury nadsubtelnej atomu cezu (^{133}Cs)_{hfs}:
9 192 631 770 Hz,
- c – prędkość światła w próżni: 299 792 458 m/s,
- h – stała Plancka: $6,626\ 06\text{X} \cdot 10^{-34}$ J·s,
- e – ładunek elementarny: $1,602\ 17\text{X} \cdot 10^{-19}$ C,
- k – stała Boltzmanna: $1,380\ 6\text{X} \cdot 10^{-23}$ J/K,
- N_A – stała Avogadro: $6,022\ 14\text{X} \cdot 10^{23}$ mol⁻¹,
- K_{cd} – skuteczność świetlna dla promieniowania monochromatycznego o częstotliwości $540 \cdot 10^{12}$ Hz: 683 lm/W.

Dokładne wartości X zostaną zatwierdzone i opublikowane przez Komitet CODATA.

Zgodnie z założeniem, jeśli Q jest fundamentalną stałą, to wartość Q jest iloczynem wartości liczbowej {Q} i jednostki [Q] [3]:

$$Q = \{Q\} \cdot [Q] \quad (1)$$

przykładowo:

$$c = \{c\} \cdot [c] = 299\ 792\ 458\ \text{m/s} \quad (2)$$

Podczas definiowania jednostki [Q] konieczne jest wyznaczenie eksperymentalne wartości liczbowej {Q}. Natomiast, jeśli w celu zdefiniowania jednostki wybierzemy wartość {Q}, to w rezultacie zostanie zdefiniowana jednostka [Q], np. jeśli wybieramy wartość liczbową {c} jako dokładnie 299 792 458, to w rezultacie definiowana jest jednostka m/s. Tak więc poprzez wybór wartości liczbowej stałej fundamentalnej można będzie definiować jej jednostkę. Prace nad redefinicją jednostek i opracowaniem nowego Układu SI są w trakcie realizacji.

Literatura

1. Prezentacje wygłoszone w trakcie XXIV. Konferencji CGPM Przewodniczącego Komitetu Doradczego CCU prof. Milesa oraz Dyrektora Departamentu Systemu Obserwacji i Informacji Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), Wenjian Hanga.
2. Prezentacje Przewodniczących Komitetów Doradczych CIPM wygłoszone w trakcie XXIV. Generalnej Konferencji Miar (CGPM), Paryż, 17 – 21.10.2011 r., dostępne na stronie internetowej BIPM.
3. Praca zbiorowa: *The new SI based on fundamental constants*, Phil. Trans. R. Soc. A 369, 3903-3904, Londyn, Wlk. Brytania, 2011.