

Udział Głównego Urzędu Miar w Międzynarodowym Programie Metrologii Chemicznej, realizowanym przez BIPM

GUM's contribution to the International Metrology in Chemistry Programme at the BIPM

dr Robert I. Wielgosz (BIPM)

Streszczenie prezentacji p. Roberta Wielgosza, dyrektora Wydziału Chemii BIPM, wygłoszonej 20 maja 2014 r. w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie z okazji uczczenia 95. rocznicy powstania GUM, połączonej z obchodami Światowego Dnia Metrologii.

Summary of the presentation given by Mr. Robert Wielgosz, Director of Chemistry Department in BIPM on 20 May 2014 at GUM, Warsaw, Poland on the occasion of the celebration of the 95th anniversary of GUM, in conjunction with World Metrology Day.

Rola i misja BIPM

Międzynarodowe Biuro Miar (BIPM) jest organizacją międzyrządową, za pośrednictwem której Państwa Członkowskie współdziałają ze sobą w sprawach związanych z metrologią oraz wzorcami pomiarowymi. Biuro działa na rzecz promocji i zapewnienia globalnej porównywalności pomiarów, włączając w to zabezpieczenie istnienia spójnego, międzynarodowego układu jednostek miar dla:

- odkryć naukowych i innowacji,
- produkcji przemysłowej oraz handlu międzynarodowego,
- utrzymania jakości życia i środowiska naturalnego na całym świecie.

Unikatowa rola i misja BIPM polega na rozwijaniu technicznej i organizacyjnej infrastruktury służącej do zapewnienia podstaw ogólnościowej spójności pomiarowej z Międzynarodowym Układem Jednostek Miar (SI). Cel ten jest osiąganym jest poprzez międzynarodową koordynację, jak również poprzez prowadzenie prac technicznych w laboratoriach Biura. Celami międzynarodowej organizacji metrologicznej są:

- koordynowanie działań pomiędzy krajowymi instytucjami metrologicznymi (NMIs), na przykład poprzez porozumienia CIPM MRA („Porozumienie o wzajemnym uznawaniu wzorców jednostek miar oraz świadectw wzorcowania i świadectw pomiarów wydawanych przez krajowe instytucje metro-

The Role and Mission of the BIPM

The International Bureau of Weights and Measures (BIPM) is the intergovernmental organization through which Member States act together on matters related to measurement science and measurement standards. It ensures and promotes the global comparability of measurements, including providing a coherent international system of units for:

- Scientific discovery and innovation,
- Industrial manufacturing and international trade,
- Sustaining the quality of life and the global environment.

The unique role of the BIPM enables it to achieve its mission by developing the technical and organizational infrastructure of the International System of Units (SI) as the basis for the world-wide traceability of measurement results. This is achieved both through international coordination as well as technical activities in its laboratories. The organization's objectives are:

- To coordinate activities between the National Metrology Institutes (NMIs), such as through the CIPM MRA and to provide technical services to support them.
- To coordinate international comparisons of national measurement standards through the

- logiczne” z 1999 r.) oraz zapewnienie obsługi technicznej dla ich wsparcia,
- koordynowanie międzynarodowych porównań państwowych wzorców pomiarowych przez Komitety Doradcze CIPM oraz podejmowanie roli laboratorium koordynującego dla wybranych porównań, o najwyższym priorytecie, a także podejmowanie prac naukowych niezbędnych do realizacji tego celu,
 - zapewnienie Państwom Członkowskim przeprowadzania wybranych wzorcowań,
 - w razie potrzeby nawiązywanie współpracy z odpowiednimi organizacjami międzyrządowymi lub innymi międzynarodowymi instytucjami zarówno bezpośrednio, jak i poprzez wspólne komitety,
 - organizowanie spotkań naukowych w celu zidentyfikowania kierunków rozwoju światowego systemu pomiarowego, niezbędnych dla zaspokojenia przyszłych potrzeb pomiarowych w przemyśle, nauce i życiu społecznym,
 - informowanie, za pośrednictwem publikacji i spotkań społeczności naukowej, opinii publicznej oraz decydentów o sprawach związanych z metrologią i korzyściach z niej wynikających.

Międzynarodowa równoważność gazowych wzorców pomiarowych w monitorowaniu jakości powietrza oraz zmian klimatycznych

Działania w dziedzinie metrologii chemicznej w BIPM zainicjowano poprzez utworzenie Komitetu Doradczego ds. Liczności Materii: Metrologii Chemicznej i Biologicznej (CCQM – *Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology*). CCQM jest odpowiedzialny za rozwój, doskonalenie i dokumentowanie równoważności państwowych wzorców pomiarowych (certyfikowanych materiałów odniesienia oraz metod referencyjnych) dla pomiarów biologicznych i chemicznych. Biuro pełni funkcję doradcą dla Międzynarodowego Komitetu CIPM w sprawach związanych z pomiarami chemicznymi i biologicznymi, włączając w to działania objęte programem naukowym BIPM. Obszarami działalności Komitetu Doradczego ds. Liczności Materii: Metrologii Chemicznej i Biologicznej są:

- a) ustanawianie globalnej porównywalności wyników pomiarów poprzez zapewnienie spójności pomiarowej z Międzynarodowym Układem Jednostek Miar SI oraz w przypadku, gdy zapewnienie spójności pomiarowej z układem SI nie jest możliwe, stworzenie systemu porównywalności wyników z innym uznawanym międzynarodowo układem odniesienia;

Consultative Committees of the CIPM; taking the role of coordinating laboratory for selected comparisons of the highest priority and undertaking the scientific work necessary to enable this to be done.

- To provide selected calibrations for Member States.
- To liaise as required with relevant intergovernmental organizations and other international bodies both directly and through joint committees.
- To organize scientific meetings to identify future developments in the world-wide measurement system required to meet existing and future measurement needs in industry, science and society.
- To inform, through publications and meetings, the science community, the wider scientific public and decision makers on matters related to metrology and its benefits.

International Equivalence of gas standards for air quality and climate change monitoring

Activities in Metrology in Chemistry at the BIPM were initiated by the creation of the Consultative Committee for Amount of Substance: metrology in chemistry and biology (CCQM). The CCQM is responsible for developing, improving and documenting the equivalence of national standards (certified reference materials and reference methods) for chemical and biological measurements. It advises the CIPM on matters related to chemical and biological measurements including advice on the BIPM scientific programme activities. The responsibilities of the CCQM are:

- a) to establish global comparability of measurement results through promoting traceability to the SI, and where traceability to the SI is not yet feasible, to other internationally agreed references;
- b) to contribute to the establishment of a globally recognized system of national measurement standards, methods and facilities for chemical and biological measurements;
- c) to contribute to the implementation and maintenance of the CIPM MRA with respect to chemical and biological measurements;
- d) to review and advise the CIPM on the uncertainties of the BIPM’s calibration and measurement services as published on the BIPM website;

- b) przyczynianie się do stworzenia uznawanego na skalę globalną systemu państwowych wzorców pomiarowych oraz metod i urządzeń, stosowanych w pomiarach chemicznych i biologicznych;
- c) przyczynianie się do realizacji i utrzymania postanowień porozumienia CIPM MRA w odniesieniu do pomiarów chemicznych i biologicznych;
- d) dokonywanie przeglądu oraz funkcja doradcza na rzecz CIPM w zakresie niepewności pomiaru dla wzorcowań oraz usług pomiarowych, realizowanych w BIPM, zgodnie z informacjami publikowanymi na stronie internetowej Biura;
- e) inicjowanie działań forum wymiany informacji na temat programów badań i usług pomiarowych, a także informowanie członków Komitetów Doradczych oraz obserwatorów o innych działaniach technicznych sprzyjających tworzeniu nowych możliwości współpracy.

W chwili obecnej Komitet CCQM składa się z 8 Stałych Grup Roboczych oraz 3 grup działających czasowo („*ad hoc*”). Wśród ww. grup roboczych działa Grupa ds. Analizy Gazów, do której zadań należą:

- wykonywanie porównań kluczowych, lub jeśli to jest uzasadnione porównań pilotażowych, w celu przeprowadzenia krytycznej oceny i porównania deklarowanych przez NMI/DI kompetencji w dziedzinie: wzorców oraz zdolności pomiarowych w zakresie analizy składu mieszanin gazowych (w tym dwuskładnikowych lub wieloskładnikowych), analizy składu mieszanin gaz/ciecz, pomiarów stężeń nanocząsteczek i aerozoli, wyznaczania stosunków izotopowych, stężeń gazów rozpuszczonych w matricach ciekłych lub stałych;
- pomoc w identyfikacji i ustalaniu prac między laboratoriami, organizacji porównań pilotażowych i działań badawczych celem zapewnienia spójności wyników z układem jednostek miar SI i zredukowania niepewności pomiaru dla nowych technologii pomiarowych w analizie gazów, jak np. w dynamicznych technikach rozcieńczania gazów niestabilnych, jak i technikach spektroskopowych, które mogłyby być potencjalnie stosowane jako metody pierwotne.

Dokument dotyczący strategii działania Komitetu Doradczego ds. Liczności Materii: Metrologii Chemicznej i Biologicznej został po raz pierwszy opublikowany w dniu 23 maja 2013 r. i zawiera szczegółową listę porównań, zaplanowanych na lata 2013–2023. Dokument ten przewiduje w okresie 2013–2023 przeprowadzanie przez CCQM 19 porównań rocznie, w celu zaspokojenia potrzeb krajowych instytucji metrologicznych w zakresie

- e) to act as a forum for the exchange of information about the research and measurement service delivery programmes and other technical activities of the CC members and observers, thereby creating new opportunities for collaboration.

In order to carry out its responsibilities, the CCQM has currently eight Standing Working Groups and three ad hoc working groups. This includes the CCQM Working group on Gas Analysis, which has a remit to:

- Carry out Key Comparisons, and where necessary pilot studies, to critically evaluate and benchmark NMI/DI claimed competences for standards and capabilities for gas composition (including binary and multicomponent mixtures); gas/liquid mixture composition; nanoparticle and aerosol concentration; isotope ratio measurement; concentration of dissolved gases in liquid or solid matrices;
- Assist in identifying and establishing inter-laboratory work, pilot studies and research activities to provide SI traceable measurement results with reduced uncertainties for new measurement technologies in gas analysis such as dynamic dilution techniques for unstable gases, as well as spectroscopic techniques with the potential to be used as primary methods.

The CCQM strategy document was first published on 23 May 2013 and includes a detailed list of CCQM comparisons for the period 2013–2023. It foresees the execution of 19 CCQM comparisons annually for the period 2013–2023 to cover measurement service comparison needs for NMI standards and measurement services in chemistry and biology. This number includes comparisons of standards for greenhouse gas and air quality measurements overseen by the Gas Analysis Working group, with the coordination of a number of these led by the BIPM Chemistry Department laboratory.

Visiting Scientists at the BIPM

The Chemistry Department at the BIPM has had an active laboratory gas metrology programme since 2000, with a programme of coordination of CCQM comparisons on ozone, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, methane, carbon dioxide and formaldehyde. The comparisons have addressed requirements for international equivalence of gas standards to meet: mon-

porównań wzorców oraz usług pomiarowych w chemii i biologii. W ramach wspomnianych porównań znalazły się również porównania wzorców, wykorzystywanych do badań i monitoringu gazów cieplarnianych oraz do pomiaru jakości powietrza, nadzorowane przez Grupę Roboczą ds. Analizy Gazów, a w wielu przypadkach koordynowane przez laboratorium Wydziału Chemii BIPM.

Naukowcy odwiedzający BIPM

Od 2000 r. Departament Chemii BIPM aktywnie realizuje program w dziedzinie metrologii gazów wraz z programem koordynacji porównań CCQM w zakresie: ozonu, tlenku azotu, ditlenku azotu, metanu, ditlenku węgla i formaldehydu. Porównania były ukierunkowane na: wypełnienie wymagań międzynarodowej równoważności wzorców gazowych, uwzględniających przepisy w zakresie monitoringu, dotyczące jakości powietrza (tj. Dyrektywę o Jakości Powietrza w Europie) oraz strategię przeciwdziałania zanieczyszczeniu powietrza i ochrony przed jego wpływem na zdrowie człowieka i środowisko naturalne (np. z programu „Czyste Powietrze dla Europy” [„Clean Air for Europe” – CAFE]), a także wymagania dla długoterminowego monitoringu poziomu gazów cieplarnianych w atmosferze oraz kontroli poziomu ich emisji.

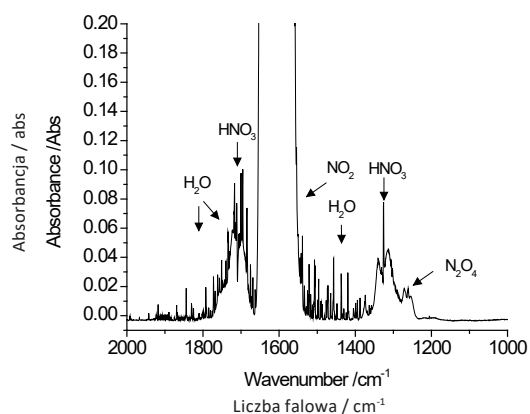
Już od momentu powstania program BIPM wspierany był przez odwiedzających Biuro naukowców z Państw Członkowskich, w tym pracowników Głównego Urzędu Miar: A. Rakowską (2006), G. Ochmana (2008) i K. Tworka (2012). Naukowcy ci przyczynili się do rozwoju porównań wzorców w zakresie ozonu oraz tlenków azotu, które są ważne zarówno dla polskich programów monitorowania jakości powietrza, jak i społeczności międzynarodowej.

Kulminacją prac nad ditlenkiem azotu była koordynacja przez BIPM kluczowego porównania (CCQM-K71), zrealizowanego w 2009 r. i będącego odpowiedzią na wysoki priorytet międzynarodowych działań prowadzących do redukcji stężenia tlenków azotu (NO_x) w atmosferze. Obecny poziom dopuszczalnych emisji zawiera się zazwyczaj w przedziale od $50 \mu\text{mol/mol}$ do $100 \mu\text{mol/mol}$, ale w przyszłości oczekuje się obniżenia jego wartości. Obecne przepisy dotyczące monitorowania jakości otaczającego powietrza, wymagają wyznaczania ułamków molowych tlenków azotu (NO_x) na niskim poziomie $0,2 \mu\text{mol/mol}$. Wytworzenie dokładnych wzorców, przy tak niskich wartościach ułamków molowych, wymaga przeprowadzenia rozcieńczenia stabilnego wzorca gazowego o wysokim stężeniu albo wytworzenia wzorca za pomocą technik dynamicznych,

itoring requirements for air quality regulations such as the Air Quality Directives in Europe and strategies to tackle air pollution and to protect against its effects on human health and the environment such as the Clean Air for Europe (CAFE) Programme; and requirements for the long term monitoring of greenhouse gas atmospheric and emission levels.

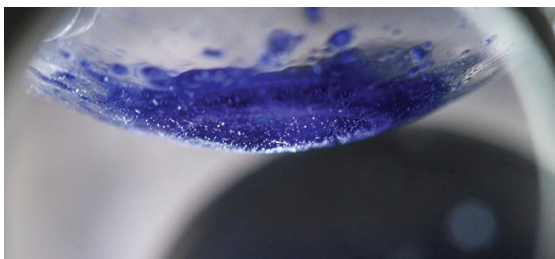
The BIPM programme has been supported by visiting scientists from Member States since its inception, including A. Rakowska (2006), G. Ochman (2008) and K. Tworek (2012) from GUM, Poland. The scientists have contributed to the development of standards and comparisons for ozone and nitrogen oxides, which are of importance to both Polish air quality monitoring programmes as well as the international community in general.

The work on nitrogen dioxide culminated in the BIPM coordination of a key comparison (CCQM-K74) in 2009, in response to the high international priority attached to activities which reduce NO_x in the atmosphere. The current level of permitted emissions is typically between $50 \mu\text{mol/mol}$ and $100 \mu\text{mol/mol}$, but lower values are expected in the future. Currently, ambient air quality monitoring regulations also require the measurement of NO_x mole fractions as low as $0.2 \mu\text{mol/mol}$. The production of accurate standards at these levels of mole fractions requires either dilution of a stable higher concentration gas standard or production by a dynamic technique, for example one based on permeation tubes. The CCQM-K74 key



Wykres 1. Widmo FTIR wzorcowej mieszaniny gazowej, zawierającej $150 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{NO}_2$ w azocie, prezentujące znaczenie ilościowego określenia zanieczyszczeń ditlenku azotu (szczególnie kwasem azotowym), przy wyznaczaniu dokładnych wzorców NO_2 oraz przeprowadzaniu pomiarów

Fig 1. FTIR spectrum of a $150 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{NO}_2$ in nitrogen gas standard mixture, demonstrating the importance in quantifying other nitrogen oxide impurities including nitric acid for accurate NO_2 standards and measurements



Fot. 2. Czysty ozon wytworzony w BIPM, stosowany do celów pomiarów absorpcji światła laserowego

Fig 2. Pure ozone generated at the BIPM for absorption cross section measurements

np. z użyciem rurek permeacyjnych. Kluczowe porównanie CCQM-K74 zostało zaprojektowane pod kątem oceny poziomu porównywalności zdolności pomiarowych krajowych instytucji metrologicznych oraz wzorców ditlenku azotu (NO_2) na poziomie wartości nominalnej ułamka molowego, wynoszącej $10 \mu\text{mol/mol}$. W porównaniu, koordynowanym przez BIPM oraz holenderski instytut metrologiczny VSL (*Van Swinden Laboratorium*), wzięło udział 17 laboratoriów. Wartość odniesienia dla tego porównania kluczowego przyjęto na podstawie pomiarów wykonanych w BIPM, a standardowa niepewność wartości odniesienia wyniosła $0,042 \mu\text{mol/mol}$. Porównanie to jako pierwsze zwróciło uwagę na znaczenie wpływu zawartości kwasu azotowego na wzorce NO_2 .

Prace BIPM prowadzone nad ozonem we współpracy z naukowcami z GUM oraz koreańskiego KRISS (*Korea Research Institutes of Standards and Science*), doprowadziły w rezultacie do opublikowania w 2014 r. wyników dokładnych pomiarów bezwzględnej absorpcji promieniowania laserowego przez ozon. Są one potrzebne dla udoskonalenia spójności pomiarowej w zakresie pomiarów ozonu, prowadzonych od poziomu ziemi do najwyższych warstw w stratosferze. Prace te potwierdzają występowanie znaczącego błędu systematycznego w danych wykorzystywanych przez światowe sieci monitoringu jakości powietrza. Uczestnictwo w planowanym programie porównań wzorców ozonu BIPM (BIPM.QM-K1) umożliwi wprowadzenie rozwiązania, polegającego na zwiększeniu dokładności.

Ozon odgrywa kluczową rolę w chemii troposfery. Po ditlenku węgla i metanie ozon jest trzecim pod względem znaczenia czynnikiem wpływającym na cieplarniany bilans radiacyjny. Jest także toksycznym zanieczyszczeniem powietrza, oddziałującym na zdrowie człowieka i rolnictwo. Długoterminowe pomiary ozonu troposferycznego były przeprowadzane na skalę ogólnosiwiatową od ponad 30 lat przy pomocy fotometrów UV. Pomiar absorpcji ozonu wykonywano przy linii

comparison was designed to evaluate the level of comparability of National Metrology Institutes' measurement capabilities and standards for nitrogen dioxide (NO_2) at a nominal mole fraction of $10 \mu\text{mol/mol}$. Seventeen laboratories took part in this comparison coordinated by the BIPM and VSL. The key comparison reference value was based on BIPM measurement results, and the standard measurement uncertainty of the reference value was $0.042 \mu\text{mol/mol}$. This comparison was the first to highlight the importance of accounting for the presence of nitric acid in standards of NO_2 .

The activities on ozone have led to the publication in 2014 of the most accurate absolute measurements of the absorption cross section of ozone by the BIPM together with researchers from GUM, Poland and KRISS Korea. These are needed to improve the consistency of measurements of ozone carried out from ground level to the highest levels in the stratosphere. They confirm the existence of significant bias in data used by global air quality networks, which will be resolved by improvements in accuracy through future participation in the BIPM's ozone standard comparison programme (BIPM.QM-K1).

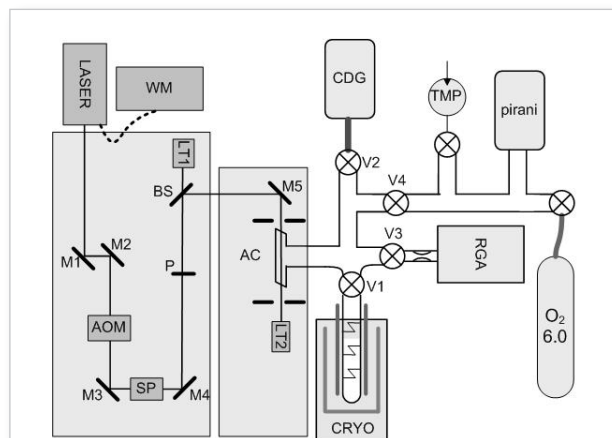
Ozone plays a crucial role in tropospheric chemistry, is the third largest contributor to greenhouse radiative forcing after carbon dioxide and methane and also a toxic air pollutant affecting human health and agriculture. Long-term measurements of tropospheric ozone have been performed globally for more than 30 years with UV photometers, all relying on the absorption of ozone at the 253.65 nm line of mercury. The BIPM has measured this cross-section and reports a value of $11.27 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 \text{ molecule}^{-1}$ with an expanded relative uncertainty of 0.92 %. This is lower than the conventional value currently in use and measured by Hearn in 1961 with a relative difference of 1.8 %, with the consequence that historically reported ozone concentrations should be increased by 1.8 %. In order to perform the new measurements of cross sections with reduced uncertainties, a system to generate pure ozone in the gas phase together with an optical system based on a UV laser with lines in the Hartley band, including accurate path length measurement of the absorption cell and a careful evaluation of possible impurities in the ozone sample by mass spectrometry and Fourier Transform Infrared spectroscopy was setup. The

widmowej rtęci, odpowiadającej długości fali 253,65 nm. BIPM przeprowadziło pomiary absorpcji w przekroju i poinformowało o uzyskaniu wyniku rzędu $11,27 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 \text{ cząsteczka}^{-1}$ przy rozszerzonej względnej niepewności pomiaru, wynoszącej 0,92 %. Uzyskany rezultat jest niższy od obecnie stosowanej, formalnej wartości, zmierzonej przez Hearn'a w 1961 r. ze względną różnicą 1,8 %. W związku z tym historycznie odnotowywane stężenia ozonu powinny być konsekwentnie powiększane o wartość 1,8 %. W celu przeprowadzenia nowych pomiarów absorpcji laserowej z obniżoną niepewnością pomiaru, opracowano nowy system generowania czystego ozonu w stanie gazowym. Ten stosowany, wraz z nowym układem optycznym, opartym na laserze UV z liniami widmowymi w paśmie Hartley'a oraz dokładnym pomiarem długości celi absorpcyjnej, umożliwia dokładną analizę możliwych zanieczyszczeń w próbce ozonu, realizowaną za pomocą spektrometrii mas oraz spektroskopii w zakresie podczerwieni z zastosowaniem transformacji Fouriera (FTIR). Absorpcja ozonu przy linii widmowej rtęci, odpowiadającej długości fali 253,65 nm została ustalona poprzez porównanie z wykorzystaniem wzorcowego fotometru odniesienia wyposażonego w lampę rtęciową jako źródło światła. Oczekuje się, że otrzymana nowa wartość będzie wykorzystana w przyszłości w celu uzyskania jak najdokładniejszych pomiarów stężenia ozonu, które będą zgodne z metodami fotometrycznymi, nie wykorzystującymi promieniowania UV, takimi, jak miareczkowanie fazowe ozonu za pomocą tlenku azotu.

Perspektywy na przyszłość

Strategia na przyszłość Komitetu CCQM przewiduje koordynację porównań przez BIPM w zakresie monitorowania głównych gazów cieplarnianych, szczególnie ditlenku węgla i metanu. Porównania te będą ważnymi narzędziami, zapewniającymi osobom odpowiedzialnym za kreowanie polityki redukcji emisji gazów cieplarnianych dostępność dokładnej informacji o wynikach obserwacji atmosfery. Ponadto, program w dziedzinie metrologii chemicznej, realizowany w BIPM, przewiduje dalsze możliwości współpracy naukowców, wymiany wiedzy oraz wprowadzania udoskonaleń w zakresie międzynarodowej porównywalności wzorców, wytwarzanych na potrzeby środowiska naturalnego i jakości życia.

Więcej informacji na temat programu BIPM w dziedzinie metrologii chemicznej można znaleźć na stronie www.bipm.org/en/bipm/chemistry/.



Rys. 3. Schemat instalacji, stosowanej w BIPM do pomiarów absorpcji ozonu. AOM (Accousto-Optic Modulator) – modulator akustyczno-optyczny; BS (Beam splitter) – rozdzielacz wiązki; CDG (Capacitive Diaphragm Gauge – Baratron) – ciśnieniomierz membranowy; CRYO (cryogenic ozone generator): kriogeniczny generator ozonu; LT (light trap) – pułapka świetlna – detektor promieniowania laserowego, M (mirror) – lustro; RGA (Residual Gas Analysers), (kwadrupolowy spektrometr mas) – (analizatory gazów resztkowych), (kwadrupolowy spektrometr mas); TMP (turbo molecular pump) – pompa turbomolekularna; V (valve) – zawór; WM (wavemeter): przyrząd do pomiaru długości fali lasera

Fig 3. Measurement setup used for ozone absorption cross sections at the BIPM. AOM – Accousto-Optic Modulator; BS – Beam Splitter; CDG – Capacitive Diaphragm Gauge (Baratron); CRYO – cryogenic ozone generator; LT – Light Trap; M – Mirror; RGA – Residual Gas Analyser (Quadrupole mass spectrometer); TMP – Turbo Molecular Pump; V – Valve; WM – Wavemeter

cross-section at the 253.65 nm line of mercury was determined by comparisons using a Standard Reference Photometer equipped with a mercury lamp as the light source. It is expected that the newly reported value will be used in the future to obtain the most accurate measurements of ozone concentration, which are in closer agreement with non UV photometry based methods such as the gas phase titration of ozone with nitrogen monoxide.

Future Outlook

The CCQM future strategy foresees BIPM coordinated comparisons for important greenhouse gases (GHG) notably carbon dioxide and methane which will be important tools in ensuring that high quality, atmospheric observational information is available to inform policy-makers implementing GHG reduction policies. In addition the visiting scientist programme at the BIPM will continue, giving continued opportunities for exchange of scientists and scientific knowledge and improvements in the international comparability of standards supporting the environment and quality of life.

Further information on BIPM's programme in Metrology in Chemistry can be found at www.bipm.org/en/bipm/chemistry/