

ISSN 2080-5632



METROLOGIA

Biuletyn Głównego Urzędu Miar

Nr 1

vol. 7

kwiecień 2012



W bieżącym numerze:

<i>XXIV. posiedzenie Generalnej Konferencji Miar – Patrycja Ruśkowska.....</i>	3
<i>Wzorcowanie siłomierzy i przetworników siły – Mikołaj Woźniak</i>	13
<i>Okręgowy Urząd Miar w Łodzi – Wielisław Ferchow, Izabela Klich</i>	21
<i>Pulsary a metrologia czasu i częstotliwości – Albin Czubla</i>	29
<i>XI Sympozjum Niepewność Pomiarów, Świnoujście 13–17 luty 2012 – streszczenia referatów</i>	31

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). Pomiary realizowane są również poprzez wywzorcowane sondy, zamieszczone w specjalnych balonach. Pomiary są także realizowane 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 (CEM) – przewodniczący dr B. D. Inglis

W zakresie działalności CEM 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

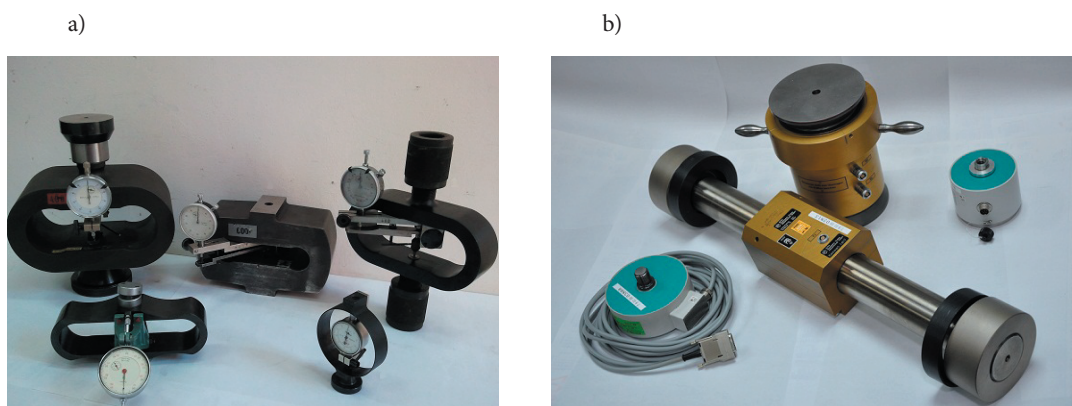
1. Prezentacje wygłoszone w trakcie XXIV. Konferencji CGPM Przewodniczącego Komitetu Doradczego CCU prof. Milesa oraz Dyrektora Departamentu Systemu Obserwacji i Informacji Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), Wenjian Hanga.
2. Prezentacje Przewodniczących Komitetów Doradczych CIPM wygłoszone 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.

Wzorcowanie siłomierzy i przetworników siły

Mikołaj Woźniak

1. Wstęp

Siłomierze, zwane też czasem dynamometrami, wykorzystywane są do pomiarów jednostki miary siły w wielu dziedzinach nauki i przemysłu, głównie w celu określenia wytrzymałości materiałów, wyrobów i konstrukcji na działanie sił ściskających, rozciągających lub zginających. Podstawowym elementem każdego siłomierza jest odpowiednio zaprojektowany przetwornik siły, który pod wpływem działania siły odkształca się. Pomiar tego odkształcenia przeprowadza się mechanicznie, elektrycznie lub optycznie przy pomocy urządzenia wskazującego, które może być analogowe (np. czujnik zegarowy w siłomierzach pałkowych i pierścieniowych) lub cyfrowe (np. miernik rejestrujący sygnał elektryczny z tensometrycznego przetwornika siły). Można wyróżnić różnego rodzaju przyrządy do pomiaru siły, przy czym w Laboratorium Siły i Ciśnienia Głównego Urzędu Miar najczęściej wzorcowane są siłomierze pałkowe i siłomierze z tensometrycznym przetwornikiem siły, przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Różne rodzaje siłomierzy: a) pałkowe i pierścieniowe, b) tensometryczne przetworniki siły

Ze względu na charakter zastosowania oraz swoją budowę, siłomierze mają różne udźwigi (do 500 N lub do 100 kN) i wymiary. Siłomierze do pomiaru sił rozciągających o udźwigu 10 MN mogą mieć długość nawet 2 m i ważyć pół tony, podczas gdy wagowe przetworniki siły mają przeważnie rozmiary rzędu kilku centymetrów. Lepsza rozdzielczość, ułatwione wykonywanie pomiarów, doskonalsze konstrukcje i parametry tensometrycznych przetworników siły powodują, że stopniowo wypierają one z użytkowania siłomierze pałkowe i im podobne.

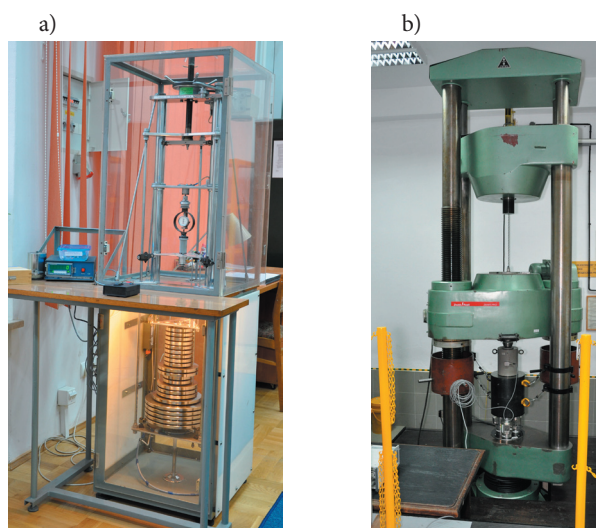
2. Wzorzec jednostki miary siły w Głównym Urzędzie Miar

Do wzorcowania siłomierzy w Laboratorium Siły i Ciśnienia Głównego Urzędu Miar wykorzystuje się cztery maszyny obciążnikowe i trzy zestawy obciążników wchodzące w skład wzorca pierwotnego oraz maszynę hydrauliczną z układem trzech przetworników odniesienia, który pełni rolę wzorca wtórnego.

Maszyny obciążnikowe i zestawy obciążników odtwarzają jednostkę miary siły poprzez zastosowanie quasi statycznej siły ciężenia obciążników i umożliwiają bezpośrednie obciążanie wzorcowanego przyrządu siłami rozciągającymi i siłami ściskającymi w kierunku pionowym. Realizują zatem konkretne wartości siły z przedziału 10 N ÷ 500 kN dla maszyn obciążnikowych oraz (0,02 ÷ 500) N dla zestawów obciążników. Wartość siły odtwarzanej przez obciążniki wyraża się zależnością:

$$F = m \cdot g \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_m} \right) \quad (1)$$

gdzie: m – masa obciążnika, g – wartość przyspieszenia ziemskiego w miejscu stosowania obciążnika, ρ_p – gęstość powietrza, ρ_m – gęstość materiału obciążnika.



Rys. 2. Maszyny wzorca jednostki miary siły w Głównym Urzędzie Miar: a) maszyna obciążnikowa stanowiska wzorcowego siły do 500 N, b) maszyna hydrauliczna stanowiska wzorcowego siły do 3000 kN

Z kolei maszyna hydrauliczna, o zakresie pomiarowym (100 ÷ 3000) kN, posiada tzw. układ *build-up* – trzy tensometryczne przetworniki siły, o udźwigu 1 MN każdy, zamontowane równolegle wokół osi maszyny w przestrzeni roboczej. Siła generowana jest przez układ hydrauliczny tłok/cylinder i mierzona jest jako suma sił mierzonych przez pojedyncze przetworniki. Względna niepewność rozszerzona wartości zadawanej siły tego stanowiska wynosi 0,05 % i jest dużo gorsza niż w przypadku maszyn obciążnikowych, które najczęściej są wykorzystywane jako wzorce jednostki miary siły, charakteryzując się najlepszą dokładnością i stabilnością pomiarową (względna niepewność rozszerzona około 0,006 %). Wynika to z faktu, że obciążniki wykonane są najczęściej ze stopów stali niemagnetycznej, których dokładnie znana masa ulega niewielkim zmianom przez wiele lat. Problemem jest jednak bardzo duży koszt i rozmiary maszyny obciążnikowej w przypadku dużych zakresów sił (powyżej 100 kN).

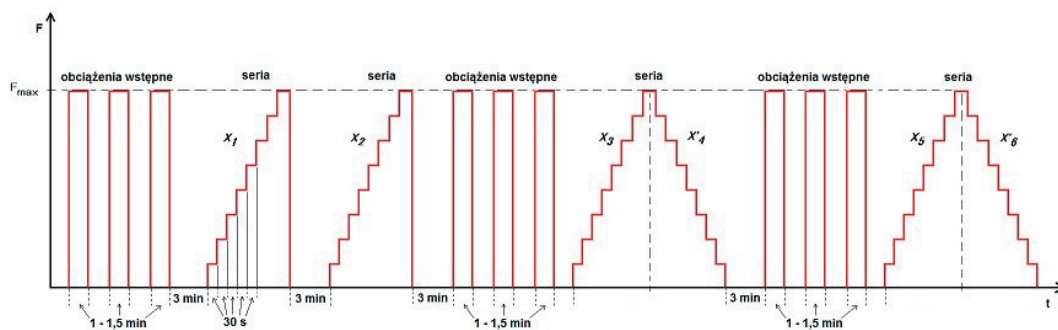
3. Wzorcowanie siłomierzy

W Laboratorium Siły i Ciśnienia Głównego Urzędu Miar wykonuje się pomiary siłomierzy wg kilku podobnych do siebie metod, w tym najczęściej wzorcowanie na zgodność z normą PN-EN ISO 376 [1]. Wzorcowania wykonywane są z reguły dla Okręgowych

Urzędów Miar i akredytowanych laboratoriów wzorcujących, które za pomocą swoich wzorców roboczych (tj. siłomierzy kontrolnych) przenoszą dalej jednostkę siły, poprzez wzorcowanie maszyn wytrzymałościowych.

Przed przystąpieniem do wzorcowania należy przeprowadzić oględziny wstępne siłomierza, które głównie mają na celu wykrycie usterek mechanicznych. W zależności od kierunku działania sił, jakie mają być stosowane podczas wzorcowania, przyrząd umieszcza się we właściwej przestrzeni roboczej maszyny i wyposaża w zestaw koniecznych elementów łącznikowych lub przegubów. Należy także zapewnić, aby podczas obciążania przyrządu pomiarowego siła była przykładana osiowo (oś przyrządu zgodna z osią maszyny).

Pomiary przeprowadza się zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 3. Wykonywane są cztery serie pomiarowe dla ustalonych wartości sił wzorcowych F , poprzedzone, z wyjątkiem serii drugiej, trzema obciążeniami wstępnymi, polegającymi na zadaniu maksymalnej siły wzorcowej. Pierwsza i druga seria wykonywane są dla obciążeń rosnących w tej samej pozycji siłomierza. W wyniku tych pomiarów uzyskuje się przyrosty wskazań, odpowiednio X_1 i X_2 . Następnie wykonuje się obrót siłomierza wokół osi o kąt 120° i w tej pozycji przeprowadza się serię pomiarów dla obciążeń rosnących oraz malejących (o ile jest to możliwe). W wyniku tych pomiarów uzyskuje się przyrosty wskazań odpowiednio X_3 i X'_4 . Wyniki ostatniej serii pomiarów należy odczytać po kolejnym obrocie siłomierza o kąt 120° dla obciążeń rosnących oraz malejących. W wyniku tych pomiarów uzyskuje się przyrosty wskazań odpowiednio X_5 i X'_6 . W przypadkach, gdy ustawienie siłomierza w pozycjach 120° i 240° jest niemożliwe, np. ze względu na budowę siłomierza, dopuszcza się zastosowanie pozycji obrotowych 180° oraz 360° . Wartości przyrostów wskazań odczytywane są z urządzenia wskazującego po upływie 30 s po obciążeniu siłomierza daną wartością siły. Wartość wskazania zerowego odczytuje się także po upływie 30 sekund od momentu całkowitego usunięcia obciążenia. Wzorcowanie siłomierza przeprowadza się dla około dziesięciu uzgodnionych wartości sił wzorcowych, równomiernie rozłożonych w zakresie wzorcowania, jednakowych dla wszystkich serii pomiarowych.



Rys. 3. Schemat obciążeń wykonywanych podczas wzorcowania siłomierza

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów, do oceny siłomierza wykorzystuje się obliczenia wartości następujących błędów:

- 1) względnego błędu powtarzalności b' ,
- 2) względnego błędu odtwarzalności b ,
- 3) względnego błędu interpolacji f_c ,
- 4) względnego błędu wskazania zerowego f_0 ,
- 5) względnego błędu histerezy v , który jest obliczany tylko wtedy, gdy wykonano pomiary z obciążeniami malejącymi.

Błędy powyższe oblicza się dla każdej wartości siły wzorcowej F , stosując następującą zależność:

$$b' = \left| \frac{X_2 - X_1}{\bar{X}_{wr}} \right| \cdot 100 \% \quad (2)$$

gdzie \bar{X}_{wr} jest wartością średnią wskazań otrzymanych z pierwszych dwóch serii pomiarowych:

$$\bar{X}_{wr} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (3)$$

$$b = \left| \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}_r} \right| \cdot 100 \% \quad (4)$$

gdzie X_{max} i X_{min} to maksymalny i minimalny przyrost wskazania siłomierza z serii obciążeń wzrastających z obrotem (tj. X_1 , X_3 i X_5), a \bar{X}_r jest wartością średnią wskazań otrzymanych z tych serii:

$$\bar{X}_r = \frac{X_1 + X_3 + X_5}{3} \quad (5)$$

$$f_c = \left| \frac{\bar{X}_r - X_a}{X_a} \right| \cdot 100 \% \quad (6)$$

gdzie X_a to wartość przyrostu wskazania obliczona przy zastosowaniu krzywej interpolacji – równania przyrostu wskazań pierwszego, drugiego lub trzeciego stopnia, jako funkcji siły wzorcowej F . Względny błąd interpolacji nie wyznacza się przeważnie w przypadku wzorcowania siłomierzy pałkowych, które często charakteryzują się dużymi nieliniowościami w zależności wskazania od siły wzorcowej.

$$f_0 = \left| \frac{i_f - i_0}{X_N} \right| \cdot 100 \% \quad (7)$$

gdzie i_0 i i_f to wartości wskazań siłomierza przed i po przyłożeniu serii obciążeń, a X_N to przyrost wskazania odpowiadający maksymalnej sile wzorcowej. Do dalszych analiz i obliczeń należy uwzględnić wartość maksymalną f_0 ze wszystkich serii pomiarowych.

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot 100 \% \quad (8)$$

gdzie:

$$v_1 = \left| \frac{X'_4 - X_3}{X_3} \right| \quad (9)$$

$$v_2 = \left| \frac{X'_6 - X_5}{X_5} \right| \quad (10)$$

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń, dla każdej wartości siły wzorcowej F , można dokonać klasyfikacji siłomierza pod względem zgodności z wymaganiami normy PN-EN ISO 376 [1]. Wyróżniamy dwa rodzaje klasyfikacji: dla określonych sił i dla interpolacji.

Dla siłomierzy zaklasyfikowanych dla określonych sił należy wziąć pod uwagę względny błąd odtwarzalności, powtarzalności, wskazania zerowego i histerezy. Siłomierze zakla-

syfikowane dla określonych sił mogą być stosowane tylko dla tych sił, w których zostały wywzorcowane, a wartością siły wzorcowej przez nie odtwarzanej jest przyrost wskazania \bar{X}_r obliczony na podstawie serii wyników wzorcowania.

Dla siłomierzy zaklasyfikowanych dla interpolacji brany jest pod uwagę względny błąd odtwarzalności, powtarzalności, interpolacji, wskazania zerowego i histerezy. Siłomierze zaklasyfikowane do interpolacji mogą być stosowane dla dowolnych sił w zakresie interpolacji. Wartość siły wzorcowej odtwarzanej przez takie siłomierze to z kolei przyrost wskazania X_a obliczony z krzywej interpolacji.

W tab. 1. podano wartości graniczne poszczególnych parametrów i niepewności zastosowanej siły wzorcowej U_{wzorca} niezbędne do uzyskania odpowiedniej klasy dokładności siłomierza [1].

Tabela 1. Wartości graniczne charakterystyk metrologicznych siłomierzy

Klasa	Względny błąd siłomierza (%)					Niepewność wartości zastosowanej siły wzorcowej ($k = 2$) U_{wzorca}
	powtarzalności b'	odtwarzalności b	interpolacji f_c	zera f_0	histerezy v	
00	0,025	0,05	0,025	0,012	0,07	0,01 %
0,5	0,05	0,10	0,05	0,025	0,15	0,02 %
1	0,10	0,20	0,10	0,05	0,30	0,05 %
2	0,20	0,40	0,20	0,10	0,50	0,10 %

Rodzaj i jakość układu pomiarowego odkształcenia decyduje o tym, czy siłomierz jest klasyfikowany dla określonych sił, czy dla interpolacji. Na ogół siłomierze z czujnikami zegarowymi klasyfikowane są dla określonych sił. Wzorcowanie tensometrycznych przetworników siły odbywa się przy pomocy urządzeń wskazujących, należących do klienta lub Laboratorium Siły i Ciśnienia Głównego Urzędu Miar. Zamiana wskaźnika na inny jest dopuszczalna, gdy pomiar wykonywany jest w jednostkach elektrycznych, a zamienny wskaźnik spełnia kilka dodatkowych warunków.

4. Niepewność pomiaru siłomierzy

Niepewność pomiaru siłomierzy szacowana jest w oparciu o dokument EA-10/04 [2], który w 2010 roku został zastąpiony przez przewodnik EURAMET/cg-04 [3]. Na wartość niepewności złożonej pomiaru siłomierza u_{sil} składają się wartości niepewności związanych z błędami przedstawionymi w rozdziale 3. oraz składowe związane z wartością siły wzorcowej $u(F)$ i rozdzielczością $u(a)$, gdzie a to rozdzielczość siłomierza. Rozkłady prawdopodobieństwa tych niepewności standardowych przedstawione zostały w przykładowym budżecie niepewności (tab. 2). Generalnie przyjmuje się, że składowe w budżecie są wartościami nieskorelowanymi, współczynniki wrażliwości przyjmują wartość 1, a równanie niepewności pomiaru przyjmuje postać:

$$u_{sil}^2 = u^2(F) + u^2(b') + u^2(b) + u^2(f_c) + u^2(v) + u^2(f_0) + u^2(a) \quad (11)$$

gdzie:

$$u(F) = \frac{U_{\text{wzorca}}}{2} \quad (12)$$

$$u(b') = \frac{b'}{2\sqrt{3}} \quad (13)$$

$$u(b) = \frac{b}{2\sqrt{2}} \quad (14)$$

$$u(f_c) = \frac{f_c}{2\sqrt{6}} \quad (15)$$

$$u(v) = \frac{v}{2\sqrt{3}} \quad (16)$$

$$u(f_0) = \frac{f_0}{2\sqrt{3}} \quad (17)$$

$$u(a) = \frac{a}{2\sqrt{3}} \quad (18)$$

Tabela 2. Przykładowy budżet niepewności pomiaru siłomierza zaklasyfikowanego do interpolacji

Symbol wielkości	Estymata wielkości	Niepewność standardowa	Rozkład prawdopodobieństwa	Współczynnik wrażliwości	Udział niepewności
F	20 kN	0,005 %	normalny	1	0,005 %
b'	0 %	0,000865 %	prostokątny	1	0,000865 %
b	0 %	0,00318 %	kształtu U	1	0,00318 %
f_c	0 %	0,003945 %	trójkątny	1	0,003945 %
v	0 %	0,003751 %	prostokątny	1	0,003751 %
f_0	0 %	0,00035 %	prostokątny	1	0,00035 %
a	0 %	0,000144 %	prostokątny	1	0,000144 %
X_a	2,00079 mV/V				0,008101 %

W przypadkach, gdy względny błąd interpolacji lub histerezy nie są wyznaczane, to podczas szacowania niepewności składowe, pochodzące od tych wielkości, nie są brane pod uwagę. Względna niepewność rozszerzona pomiaru siłomierza, dla każdej wartości siły wzorcowej F , wyraża się zależnością:

$$U = k \cdot u_{\text{sił}} \quad (19)$$

gdzie współczynnik rozszerzenia przyjmuje wartość $k = 2$, a $u_{\text{sił}}$ oblicza się ze wzoru (11).

Podczas zaklasyfikowania siłomierza do jednej z klas dokładności zdefiniowanych w tab. 1 dodatkowo przeprowadza się analizę. W tab. 3, w ostatniej kolumnie, pokazano maksymalne możliwe wartości niepewności rozszerzonej dla wszystkich czterech klas z tab. 1. Zostały one wyznaczone przy pomocy maksymalnych błędów dopuszczalnych dla danej klasy, pobranych z tej tabeli jako wielkości wejściowe do równań (12) i (19). W środku-

wej kolumnie podano odpowiednie wartości minimalne dla każdej z klas. Są one identyczne z wartościami maksymalnymi niepewności wyższej klasy dokładności, przy czym dla klasy 00 minimalna niepewność nie może być wyższa niż U_{wzorca} stanowiska wzorcowego siły. Jeżeli wartość niepewności pomiaru wyliczona ze wzoru (19) jest mniejsza niż wartość minimalna dla danej klasy, podana w tab. 3, to należy ją zastąpić tą wartością z tabeli. Użytkownik siłomierza powinien wziąć pod uwagę także pozostałe wielkości wpływające na wyniki pomiarów przeprowadzanych tym siłomierzem (np. niestabilność długoterminowa, wpływ temperatury) [2].

Tabela 3. Wartości graniczne względnej niepewności rozszerzonej dla różnych klas dokładności

klasa	minimalna	maksymalna
00	U_{wzorca}	0,06 %
0,5	0,06 %	0,12 %
1	0,12 %	0,24 %
2	0,24 %	0,45 %

Dla danego zakresu klasyfikacji za wartość niepewności pomiaru przyjmuje się największą wartość U spośród wszystkich punktów pomiarowych tego zakresu.

5. Świadectwo wzorcowania

Fakt przeprowadzenia wzorcowania potwierdzany jest świadectwem wzorcowania, które zawiera następujące informacje:

- 1) data i wyniki wzorcowania,
- 2) błędy i niepewność pomiaru,
- 3) równanie przyrostu wskazań i funkcja do niej odwrotna (o ile są wyznaczone),
- 4) temperatura, w której przeprowadzono wzorcowanie,
- 5) identyfikacja wszystkich elementów siłomierza i stanowiska wzorcowego,
- 6) kierunek zastosowanych sił (rozciągające/ściskające),
- 7) klasa siłomierza i zakres klasyfikacji (w przypadku siłomierzy klasyfikowanych).

W przypadku wzorcowania na zgodność z normą PN-EN ISO 376 maksymalny okres ważności świadectwa nie powinien przekraczać 26. miesięcy [1].

6. Podsumowanie

W większości przypadków wzorcowanie siłomierzy w Laboratorium Siły i Ciśnienia Głównego Urzędu Miar przeprowadza się na zgodność z normą PN-EN ISO 376. Siłomierze te, zwane siłomierzami kontrolnymi, służą do sprawdzania jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych na zgodność z normą PN-EN ISO 7500 [4]. W związku z wydaniem przewodnika EURAMET/cg-04 oraz nowej edycji normy PN-EN ISO 376 przedstawiona powyżej metoda zostanie nieco zmodyfikowana. Pojawia się tam nowy błąd do oceny siłomierza, stosowany zamiennie z błędem histerezy. Zmienione również zostało podejście do szacowania niepewności pomiaru poprzez uwzględnienie nowych rozkładów prawdopodobieństwa i nowych składowych niepewności.

Literatura

1. PN-EN ISO 376:2006 *Metale – Wzorcowanie siłomierzy kontrolnych stosowanych do sprawdzania jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych.*
2. Dokument EA-10/04 (EAL-G22) *Uncertainty of Calibration Results in Force Measurements.*
3. Dokument EURAMET cg-04 *Uncertainty of Force Measurements.*
4. PN-EN ISO 7500-1:2005 *Metale – sprawdzanie statycznych jednoosiowych maszyn wytrzymałościowych – Część 1: Maszyny wytrzymałościowe rozciągające/ściskające – Sprawdzanie i wzorcowanie układu pomiarowego siły.*

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi

Wielisław Ferchow i Izabela Klich

Historyczną datą w dziejach polskiej administracji miar jest dzień 8 lutego 1919 roku, w którym podpisany został Dekret o miarach, jeden z pierwszych aktów ustawodawczych odrodzonego państwa polskiego, a w dniu 1 kwietnia 1919 roku został utworzony w Warszawie Główny Urząd Miar. W tym samym roku delegat dyrektora GUM powołał w Łodzi Miejsowy Urząd Miar, kontynuujący działalność istniejącej przy łódzkim Magistracie od 1915 roku placówki pod nazwą „Sprawdzanie wagi i miar”.

Od 1 lipca 1919 roku Miejsowy Urząd Miar w Łodzi wchodził w skład Warszawskiego Okręgowego Urzędu Miar. Po zawirowaniach wojennych skutkiem przeniesienia z Krakowa z dniem 1 lipca 1945 roku powstaje w Łodzi jednostka o nazwie „Łódzki Okręgowy Urząd Miar”.



Siedziba Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi

Obecnie Okręgowy Urząd Miar w Łodzi jest jednym z terenowych urzędów administracji państwowej właściwym w sprawach miar, podległym Prezesowi GUM w Warszawie. Od 1 stycznia 1999 roku prowadzi działalność na terenie województw łódzkiego i świętokrzyskiego. Podlega mu 5 Obwodowych Urzędów Miar w Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim, Łowiczu, Zduńskiej Woli i Kielcach.

Organizację Urzędu Miar w Łodzi określa statut nadany przez ministra właściwego do spraw gospodarki w drodze zarządzenia z dnia 15 lipca 2010 roku w sprawie nadania statutu Okręgowemu Urzędowi Miar w Łodzi (Dz. Urz. Ministra Gospodarki Nr 2, poz. 25).

Misją Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi jest skuteczne realizowanie zadań wynikających z ustaw: Prawo o miarach, o towarach paczkowanych i o systemie oceny zgodności.

Główne zadania Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi to:

- prawna kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych,
- nadzór nad paczkowaniem towarów i produkcją butelek miarowych zgodnie z ustawą o towarach paczkowanych,
- realizowanie zadań w zakresie sprawowania nadzoru nad wykonywaniem przepisów ustawy Prawo o miarach,

- wykonywanie innych prac metrologicznych zgodnie z możliwościami technicznymi, w tym wzorcowania i ekspertyzy przyrządów pomiarowych,
- wytwarzanie chemicznych materiałów odniesienia,
- udzielanie konsultacji i prowadzenie doradztwa technicznego w zakresie doboru i stosowania przyrządów pomiarowych,
- realizacja procedur oceny zgodności zgodnie z zakresem udzielonej notyfikacji.

Jednym z podstawowych celów, jaki kierownictwo Urzędu wyznaczyło sobie i podległemu personelowi, jest dążenie do kompleksowej obsługi klienta, polegającej na wykonywaniu zleceń o szerokim zakresie pomiarowym i dotyczących różnych dziedzin (przyrządów) pomiarowych. Kompleksowy charakter usług świadczonych w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi umożliwia znaczne przyśpieszenie realizacji zamówień, ograniczenie kosztów i uciążliwości dla Klienta, związanych z organizacją badań w wielu, często wąsko wyspecjalizowanych laboratoriach.

Aby osiągnąć powyższe cele uruchamiamy nowe i modernizujemy istniejące stanowiska pomiarowe, rozszerzamy zakres akredytacji i notyfikacji, a pracownicy podnoszą kwalifikacje na kursach i szkoleniach metrologicznych oraz studiach podyplomowych.

W 2008 roku, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów, wybudowano, jedyne w administracji miar i jedno z nielicznych w Europie, stanowisko pomiarowe do sprawdzania wodomierzy z grawitacyjnym układem zasilania wodnego. Zgłaszającymi ekspertyzy wodomierzy są zarówno właściciele punktów legalizacyjnych, jak i inne podmioty gospodarcze, takie jak spółdzielnie mieszkaniowe, zakłady wodociągów miejskich, producenci wodomierzy oraz osoby fizyczne.

Z końcem 2010 roku powstało także stanowisko do legalizacji i oceny zgodności przetworników przepływu do ciepłomierzy do wody oraz wodomierzy na zimną i ciepłą wodę oraz stanowisko do sprawdzania odmierzaczy i cystern LPG.



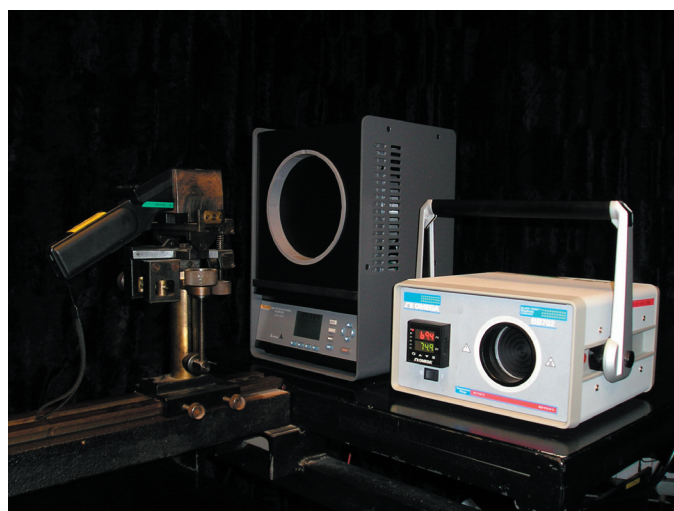
Stanowisko do sprawdzania wodomierzy, przepływomierzy i przetworników przepływu do ciepłomierzy

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi uruchomił również w 2009 roku stanowiska pomiarowe do sprawdzania liczników i boczników prądu stałego, na których wykonywane są wzorcowania dla producentów i użytkowników w/w przyrządów pomiarowych. Oferta adresowana jest do eksploatujących pojazdy trakcji elektrycznej. Do budowy tych stanowisk wykorzystano, po niewielkim doposażeniu, posiadaną już aparaturę pomiarową.



Stanowisko do sprawdzania liczników i boczników prądu stałego

W 2010 roku w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi powstało stanowisko do wzorcowania pirometrów radiacyjnych, jako pierwsze w administracji miar i jedno z nielicznych w Polsce. Nowe stanowisko pozwoliło na rozszerzenie pomiarów temperatury przez zastosowanie metody bezstykowej. Przeprowadzana wielokrotnie analiza zapytań ofertowych wykazała duże zainteresowanie klientów wzorcowaniem pirometrów radiacyjnych. Przyrządy te znajdują szerokie zastosowanie w służbie zdrowia, służbach weterynaryjnych, przemyśle, handlu, jednostkach kontrolujących (np. UDT, TDT, Sanepid) oraz w wielu innych gałęziach gospodarki. Pirometria radiacyjna jest dziedziną szybko rozwijającą się, a ilość przyrządów znajdujących się na rynku stale wzrasta.



Stanowisko do wzorcowania pirometrów radiacyjnych

Urząd posiada unikalne stanowisko pomiarowe do wzorcowania mierników do pomiaru poziomu napełniania zbiorników do wysokości 4,7 m. Daje to możliwość wzorcowania mierników do zbiorników pomiarowych powyżej 3 m wysokości. W związku z dyrektywą KE, wprowadzającą obowiązek hermetyzacji stacji paliw do końca 2012 roku, zauważamy stały wzrost zapotrzebowania na wzorcowanie mierników powyżej 3 m. Poza Głównym Urzędem Miar w Warszawie jesteśmy jedyną jednostką administracji miar w kraju wykonującą takie usługi.

Liczne zapytania klientów o możliwości wzorcowania przyrządów, służących monitorowaniu warunków środowiskowych, skłoniły kierownictwo urzędu do utworzenia, wg własnego projektu, stanowiska do wzorcowania tego rodzaju przyrządów. W związku ze stale wzrastającą ilością zamówień inwestycja okazała się rentowna po krótkim czasie.



Stanowisko do wzorcowania termometrów i termohigrometrów

Ponadto jako jedyni w Polsce z terenowej administracji miar wykonujemy usługi wzorcowania kluczy dynamometrycznych i przetworników momentu siły dla stacji obsługi samochodów, zakładów przemysłowych przy montażu wyrobów, firm transportowych, zakładów remontowych, firm budowlanych, zakładów mechaniki precyzyjnej oraz laboratoriów pomiarowych.



Stanowisko do wzorcowania kluczy dynamometrycznych

W 2010 roku, wychodząc naprzeciw potrzebom licznych laboratoriów badawczych i wzorcujących zajmujących się badaniem ilości i jakości cieczy, uruchomiono stanowisko do wzorcowania pipet tłokowych, dozowników tłokowych i biuret tłokowych oraz uzyskano akredytację PCA dotyczącą wymienionych przyrządów.



Stanowisko do wzorcowania pipet, dozowników i biuret tłokowych

Z kolei w roku 2011 z zapytań ofertowych wielu laboratoriów przemysłu spożywczego zrodził się projekt i wykonanie kolby ciśnieniowej II rzędu o pojemności 500 dm³, przy udziale której dokonujemy legalizacji oraz wzorcowania instalacji do wydawania cieczy spożywczych, takich jak np. mleko czy piwo.



Kolba ciśnieniowa do cieczy spożywczych

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi jest, obok GUM, jedynym w polskiej administracji miar wytwórcą chemicznych materiałów odniesienia. Nasza Pracownia Wzorców Chemicznych oferuje swoim klientom ponad 100 typów certyfikowanych materiałów odniesienia, które zaliczamy do następujących grup:

- wzorce do analizy instrumentalnej,
- wzorce do chromatografii gazowej,
- wzorce do analizy wód i ścieków,
- wzorce NaCl, KCl, CaCl₂,
- wzorce gęstości (densymetryczne).

Odbiorcami chemicznych materiałów odniesienia są liczne laboratoria badawcze, wzorujące i przemysłowe, zajmujące się monitorowaniem warunków środowiskowych, badaniem surowców i wyrobów, głównie w przemyśle chemicznym i spożywczym, a także w farmakologii czy kryminalistyce.

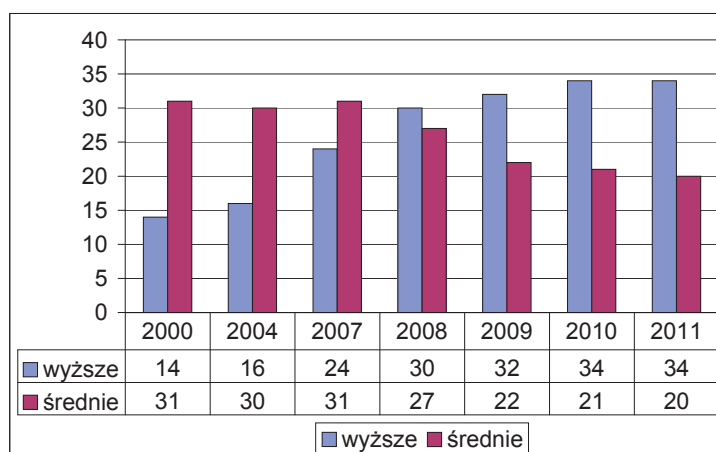


Stanowisko pomiarowe do chromatografii gazowej

W świetle występującej w ostatnich latach tendencji do zmiany struktury zamówień przez klientów, idącej w kierunku usług związanych z wzorcowaniem i oceną zgodności, uruchamianie nowych i modernizacja posiadanych wcześniej stanowisk pomiarowych miałyby się z celem, gdyby nie podejmowano równolegle starań o rozszerzenie zakresu akredytacji. Przyjęto zasadę, iż nowotworzone stanowiska pomiarowe z definicji poddawane są procesowi akredytacyjnemu. Posiadany od 2006 roku zakres akredytacji, w oparciu o normę PN-EN ISO/IEC 17025:2005, jest systematycznie rozszerzany i uzupełniany. Obecnie jesteśmy akredytowani w 17. dziedzinach i 39. poddziedzinach wzorcowań. W roku 2012 i latach następnych planujemy kolejne rozszerzenia zakresu akredytacji w nowych poddziedzinach, jak i rozszerzenia zakresów pomiarowych w dziedzinach wcześniej akredytowanych.

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom krajowych producentów przyrządów pomiarowych Okręgowy Urząd Miar w Łodzi, w następstwie udzielonej autoryzacji przez Ministra Gospodarki Pracy i Polityki Społecznej, uzyskał z dniem 7 maja 2004 roku status jednostki notyfikowanej o numerze **JN 1446**. Na koniec 2011 roku notyfikacja obejmuje wszystkie przyrządy pomiarowe objęte dyrektywą MID – moduły F, F₁ i D oraz wagi nieautomatyczne (NAWI).

Jest sprawą oczywistą, że osiągnięcie wyznaczonych celów byłoby niemożliwe bez posiadania personelu o wysokich kwalifikacjach, kompetencjach i odpowiednim doświadczeniu metrologicznym. Charakterystycznym zjawiskiem obserwowanym od lat, dotyczącym personelu technicznego laboratoriów Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi, jest ustalenie się tendencji wzrostu poziomu wykształcenia, na co niewątpliwie wpływ, oprócz zmieniającej się świadomości pracowników, miała prowadzona od lat polityka kadrowa związana z potrzebą podnoszenia kompetencji technicznych w zakresie wzorcowania oraz oceny zgodności przyrządów pomiarowych. Poniższy wykres obrazuje opisane zjawisko w latach 2000 – 2011.



Struktura poziomu wykształcenia pracowników laboratoriów OUM w Łodzi

Personel techniczny laboratoriów Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi, w procesie systematycznego doskonalenia, starał się zawsze przekazywać zdobytą wiedzę i doświadczenie innym metrologom i zainteresowanym pracownikom przemysłu, biorąc czynny udział w licznych konferencjach i sympozjach naukowych. Od 2009 roku pracownicy Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi dali się także poznać środowisku metrologicznemu jako prelegenci opracowanych samodzielnie referatów i prezentacji w trakcie wymienionych poniżej konferencji.

1. VII Konferencja Podstawowe Problemy Metrologii 2009 z przedstawieniem tematów:
 - Chemiczne materiały odniesienia,
 - Wzorcowanie narzędzi dynamometrycznych,
 - Zmiany w polskiej administracji miar,
 - Niepewność pomiaru przy kontroli metrologicznej wodomierzy,
 - Pomiar wilgotności względnej i temperatury powietrza,
 - Wzorcowanie mierników do pomiaru poziomu wysokości napełnienia zbiorników.
2. V Konferencja Naukowo-Techniczna Technik Oprogramowania gazu dziś i jutro TOP GAZ 2009 z przedstawieniem tematów:
 - Organizacja służby miar w Polsce - zadania Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi
 - Wzorce odniesienia jednostki objętości gazu ciekłego propan-butan.
3. Konferencja POOMT 2010 „Promieniowanie optyczne, oddziaływanie, metrologia, technologia” z przedstawieniem tematu:
 - Analiza wyników wzorcowania wzorców widmowego współczynnika przepuszczenia i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia z użyciem filtrów neutralnych, napyłanych i ciekłych.
4. V Kongres Metrologii 2010 z przedstawieniem tematów:
 - Metody sprawdzania liczników energii elektrycznej prądu przemiennego i stałego,
 - Niepewność pomiaru przy kontroli metrologicznej wodomierzy,
 - Chemiczne materiały odniesienia,
 - Wyznaczanie płaskości płyt pomiarowych i prostoliniowości liniałów różnymi metodami.
5. VIII Konferencja Podstawowe Problemy Metrologii 2011 z przedstawieniem tematów:
 - Wymagania Unii Europejskiej w zakresie metrologii prawnej,

- Wzorce odniesienia jednostki objętości gazu ciekłego propan-butan,
 - Analiza wyników oraz źródła niepewności przy wzorcowaniu wzorców spektrofotometrycznych.
6. XLIII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'2011 z przedstawieniem tematów:
- Wzorcowanie urządzeń do sprawdzania liczników energii elektrycznej prądu przemiennego,
 - Wzorcowanie młotów wahadłowych Charpy'ego.
7. II Międzynarodowa Konferencja – Zarządzanie Produkcją z przedstawieniem tematu:
- Wymagania Unii Europejskiej w zakresie metrologii prawnej.

Zachęcamy do odwiedzenia naszej strony internetowej www.lodz.gum.gov.pl, gdzie można znaleźć teksty wymienionych wyżej referatów jak również wiele innych użytecznych informacji o naszym urzędzie.

Podsumowując, można stwierdzić, iż przyjęta przez kierownictwo Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi polityka i wieloletnia strategia dostosowywania struktury, zakresu i jakości świadczonych usług do stale zmieniających się wymagań rynku po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej dała oczekiwane, wymierne efekty.

W perspektywie roku 2012 naszymi atutami z pewnością będą:

- wysoka jakość usług i kompetencje, potwierdzone przez akredytację zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005,
- wysoko wykwalifikowany zespół pracowników, nowoczesna aparatura i sprzęt laboratoryjny,
- krótkie terminy realizacji usług, dostosowane do indywidualnych potrzeb Klienta,
- możliwość realizacji zamówień kompleksowych dzięki wyjątkowo szerokiemu zakresowi akredytowanych przyrządów pomiarowych,
- ogólnokrajowy zasięg działania.

Pulsary a metrologia czasu i częstotliwości

Albin Czubla

W dniu 25 listopada 2011 roku, w dzień św. Katarzyny Aleksandryjskiej, patronki nauki, delegacja z Głównego Urzędu Miar i Okręgowego Urzędu Miar w Gdańsku, z Prezesem Głównego Urzędu Miar na czele, wzięła udział w uroczystej inauguracji Zegara Pulsarowego GDAŃSK 2011 w kościele św. Katarzyny na Starym Mieście w Gdańsku. Uroczystości towarzyszyły wystąpienia przedstawicieli zaproszonych instytucji i lokalnych władz miejskich i samorządowych, w tym również Prezesa Głównego Urzędu Miar, prezentacje multimedialne twórców zegara pulsarowego, msza św. koncelebrowana przez abp. Tadeusza Gołowskiego, w oprawie muzyki carillonowej (carillon jest instrumentem złożonym z kilkudziesięciu dzwonów o różnych tonach) i chóralnej, wraz z polską prapremierą wykonania utworu „Lumen” Wojciecha Kilara, napisanego specjalnie z okazji 400-lecia urodzin Jana Heweliusza.

Miejsce uroczystości nie zostało wybrane przypadkowo, gdyż w krypcie tego kościoła spoczywają doczesne szczątki Jana Heweliusza, gdańskiego astronoma a jednocześnie jednego z czołowych astronomów XVII wieku, prekursora wielu obserwacji księżycowych, planetarnych i słonecznych, równoległe do Christiana Huygensa prekursora zastosowania wahadła do budowy zegara, członka Royal Society w Londynie. W wieży tego kościoła mieści się Muzeum Zegarów Wieżowych – oddział Muzeum Historycznego Miasta Gdańska, które, właśnie dla uczczenia 400. rocznicy urodzin Jana Heweliusza w 2011 roku, podjęło się budowy zegara pulsarowego, łączącego idee obserwacji astronomicznych i precyzyjnego pomiaru czasu.

Zbudowany zegar pulsarowy, któremu nadano nazwę Zegar Pulsarowy GDAŃSK 2011, został zainstalowany w kościele św. Katarzyny. Za pomocą umieszczonej na jego dachu macierzy, 16 anten śledzi obecnie sygnały dochodzące z 6. pulsarów i wykorzystuje je do synchronizacji zegara lokalnego. Wg wiedzy autorów, jest to pierwsza tego typu konstrukcja na świecie, aczkolwiek jeszcze o nie przebadanych i nie potwierdzonych właściwościach metrologicznych. Pomocą w dokonaniu tej oceny, przynajmniej w zakresie wstępnej weryfikacji jakości i dokładności sygnałów uzyskiwanych z Zegara Pulsarowego GDAŃSK 2011, ma zająć się Główny Urząd Miar i Okręgowy Urząd Miar w Gdańsku. Po wykonaniu tych pomiarów, podjęta zostanie decyzja, co do zasadności i formy przeprowadzenia dalszych pomiarów o większej precyzji, z bezpośrednim powiązaniem z wyznaczanymi w sposób ciągły krajowymi i międzynarodowymi atomowymi skalami czasu.

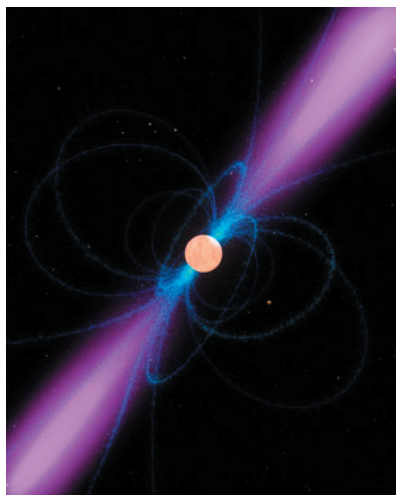
Zasada działania zegara pulsarowego polega na wykorzystaniu wysokiej stabilności ruchu wirowego pulsara, która jest szacowana teoretycznie na poziomie $1 \cdot 10^{-18}$ s/s, do regulacji lokalnego zegara umieszczonego w miejscu odbioru sygnału z pulsara. Dokładność rzędu 10^{-18} s/s oznacza możliwość pomyłki o 1 s dopiero po upływie 10^{18} sekund, czyli po upływie ok. 32 mln lat. Jednak, w celu osiągnięcia on-line takiej dokładności, niezbędny jest niemal „doskonały”, niezakłócony odbiór sygnału z pulsara, co technicznie, na tle mnogości sygnałów docierających z kosmosu i bezpośredniego otoczenia anten oraz niedoskonałości układów odbiorczych i wzmacniających sygnały, nie jest i szybko nie będzie możliwe. W praktyce, przy ograniczonej rozdzielczości odbioru sygnału z pulsarów, można wydłużyć czas obserwacji sygnałów z pulsarów i pomiary powtarzać wielokrotnie na przestrzeni kolej-

nych dni, miesięcy i lat, aż do osiągnięcia oczekiwanej dokładności. Jest to, zwykle liczony w latach, bardzo długotrwały proces. Ponadto wymaga to równie precyzyjnego uwzględnienia w obliczeniach wzajemnego ruchu Ziemi, Słońca i obserwowanych gwiazd, co z kolei zależy od zastosowanego modelu i znajomości jego parametrów. Istotną również pozostaje kwestia sposobu dokonywania synchronizacji zegara lokalnego do sygnału z pulsarów. Otwartą obecnie pozostaje sprawa uzyskanej precyzji Zegara Pulsarowego GDAŃSK 2011.

Pulsar jest gwiazdą neutronową o silnie skupionej masie, przekraczającej masę Słońca, i o średnicy rzędu 10 km, wytwarzającą bardzo silne pole magnetyczne. Szybkiemu ruchowi wirowemu, towarzyszy emisja silnego promieniowania radiowego z biegunów magnetycznych pulsara. Ponieważ oś obrotu pulsara zwykle nie pokrywa się z osią łączącą jego bieguny magnetyczne, wiązka sygnału z pulsara co pełen obrót zakreśla w przestrzeni kosmicznej powierzchnię stożka. Jeżeli Ziemia znajduje się na powierzchni tego stożka, to sygnał z pulsara dociera do Ziemi w regularnych odstępach równych okresowi obrotu pulsara. Najdokładniejsze są tzw. pulsary milisekundowe o okresie obrotu nie przekraczającym 10 ms. Do obserwacji sygnałów z pulsarów stosuje się zwykle duże radioteleskopy – największy w Arecibo o średnicy 305 m, a pozostałe o średnicy kilkudziesięciu metrów. Zastosowanie macierzy anten, z możliwością elektronicznej regulacji opóźnień sygnału docierającego z poszczególnych anten cząstkowych, pozwala na jednoczesną obserwację sygnałów docierających do anten z różnych kierunków i może być alternatywą dla dużych radioteleskopów.

Pulsary już od wielu lat znajdują się w obszarze zainteresowań metrologii czasu i częstotliwości, jako niezależne źródło weryfikacji długoterminowej stabilności wyznaczanych na Ziemi międzynarodowych atomowych skal czasu oraz uzupełnienie do utrzymywanej międzynarodowej sieci atomowych wzorców czasu i częstotliwości. Pulsary wprawdzie nie są w stanie zastąpić zegarów atomowych, ze względu na brak możliwości generacji ciągłego wzorcowego sygnału częstotliwości o dużej dokładności, ale mogą stanowić alternatywę dla ziemskich atomowych skal czasu w eksploracji kosmosu i ocenie ich faktycznej stabilności, co może się przyczynić do poprawy dokładności odtwarzania definicji sekundy SI. Nie bez znaczenia są również pomysły wykorzystania sygnałów z pulsarów do oparcia na nich systemu nawigacyjnego.

Zegar Pulsarowy GDAŃSK 2011 niewątpliwie stanowi godne upamiętnienie dokonania Jana Heweliusza i uświetnienie jego 400. rocznicy urodzin. Życzymy sobie, aby był również krokiem milowym w kierunku rozwoju metrologii czasu i częstotliwości w Polsce i na świecie.



Pulsar Still NASA

XI Sympozjum Niepewność Pomiarów Świnoujście 13 – 17 luty 2012

Tradycyjnie, jak co roku, w dniach od 13 lutego do 17 lutego 2012 roku odbyło się już 11. Sympozjum dotyczące problematyki niepewności pomiaru, zorganizowane, jak zwykle, przez Panów profesora Stefana Kubisę i doktora Stanisława Moskowicza. W tym roku rozpoczęła się druga dekada spotkań poświęconych tym zagadnieniom, z udziałem przedstawicieli krajowych środowisk metrologicznych, reprezentowanych przez pracowników uczelni wyższych, instytutów badawczych, administracji miar i wojska. W obradach uczestniczyło ponad 40. uczestników, podczas których przedstawiono prawie 20. referatów. Wśród nich znaczną liczbę stanowiły wystąpienia pracowników Głównego Urzędu Miar.

W celu przybliżenia tematyki tych wystąpień poniżej przedstawiamy krótkie ich omówienia.

1. Paweł Fotowicz: *Historyczne źródła teorii błędu i niepewności pomiaru*

Można postawić pytanie, gdzie należałoby szukać początków kształtowania się współczesnej myśli w dziedzinie opracowania danych pomiarowych. Początki te historycznie można wiązać z trzema intelektualnymi osiągnięciami myśli matematycznej. Wszystkie pojawiły się prawie w tym samym czasie, za sprawą trzech wybitnych intelektualistów z przełomu XVIII i XIX wieku.

Adrien Marie Legendre, Carl Friedrich Gauss i Pierre Simon Laplace za sprawą swoich publikacji stworzyli podstawy współczesnej metodyki opracowania danych pomiarowych. Przedstawili w nich trzy podstawowe rozwiązania, które współcześnie znane są pod nazwami: metoda najmniejszych kwadratów, prawo propagacji błędów oraz centralne twierdzenie graniczne. Przedstawione zostały, nijako na marginesie zasadniczych publikacji, kolejno w latach 1805, 1809 i 1810. Prace nie tworzą oddzielnych dzieł, lecz raczej są uzupełnieniami szerszych opracowań.

Te trzy wymienione historyczne rozwiązania tworzą podstawy współczesnej metrologii teoretycznej w dziedzinie opracowania wyniku pomiaru. Powstały na wiele lat przed ich praktycznym zastosowaniem i, choć zostały przyjęte bez naukowego dowodzenia, świadczą o trafności wnioskowania. Powstały prawie w tym samym czasie, niezależnie w umysłach ich twórców, gdyż obieg informacji naukowej w początkach XIX wieku był bardzo ograniczony. Można sądzić, że autorzy rozwiązań, choć stworzyli nierozzerwalny łańcuch wnioskowań (centralne twierdzenie graniczne wymaga przyjęcia założenia o rozkładzie normalnym, a ten umożliwia rozwiązanie problemu propagacji błędów, która nie może się obejść bez metody najmniejszych kwadratów), to prawdopodobnie nie znali swoich prac. Ten krótki czas pomiędzy rokiem 1805 i 1810 zbudował podstawy niepewności pomiaru. Miało to miejsce w dobie romantyzmu, która to aksjologicznie w nauce kojarzy się, nie bez przyczyny, z genialną intuicją.

Nie sposób w tym miejscu pominąć dzieła Airy, wydanego w 1875 roku, w którym autor postuluje używanie pojęcia „niepewność” przy wyrażaniu błędów obserwacji. Jest to o tyle znamienne, iż w roku tym społeczność międzynarodowa na mocy traktatu dyplomatycznego, zwanego Konwencją Metryczną, powołała do życia Międzynarodowe Biuro Miar, które dzisiaj patronuje metodyce opracowania danych pomiarowych wyrażanej właśnie poprzez niepewność pomiaru.

Tak oto rok 1875 rozpoczyna budowanie nowoczesnej metrologii, z jednej strony powołując do życia stabilną strukturę metrologiczną o zasięgu międzynarodowym na mocy Konwencji Metrycznej, a z drugiej wydając dzieło tworzące podstawy współczesnego sposobu wyrażania niepewności pomiaru, łącznie z użytym terminem. Współcześnie wydawane dokumenty pod egidą Międzynarodowego Biura Miar, dotyczące opracowania danych pomiarowych (Evaluation of measurement data), czerpią ideowo z pracy Airy, rozwijając koncepcję opisu wielkości mierzonej w postaci zbioru możliwych dla niej wartości, przedstawianych w postaci numerycznie obliczanych rozkładów prawdopodobieństwa.

2. *Albin Czubla: Czy $2 - 2 = 0$? – poprawki systematyczne a niepewność wyniku pomiaru*

Referat jest próbą zarysowania problematyki tego zagadnienia z perspektywy doświadczenia w pomiarach w dziedzinie czasu i częstotliwości. W praktyce, przy szacowaniu niepewności wyniku pomiaru w pomiarach złożonych (np. pomiarach różnicowych, pomiarach metodą podstawiania), precyzyjne i w pełni wiarygodne metrologicznie uwzględnianie składowych niepewności o charakterze systematycznym jest zadaniem problematycznym. Trudności wynikają m.in. z często lokalnego charakteru wartości poprawek związanych z tymi składowymi, a także z niejednoznaczności rozróżnienia między jedną częścią poprawki – o charakterze systematycznym, a jej pozostałą częścią – o charakterze przypadkowym. Dążąc do optymalizacji precyzji pomiaru, tzn. do wyniku pomiaru bez znaczącego, dla użytkownika, niedoszacowania czy przeszacowania wartości niepewności, zagadnienia te są lub mogą być istotne dla niejednego laboratorium wzorcującego.

3. *Katarzyna Falińska: Wzorcowe pole magnetyczne wytwarzane za pomocą cewek Helmholtza*

Pola magnetyczne, o różnym natężeniu i częstotliwości, obecne są powszechnie w środowiskach mieszkalnych i pracy. Parametry pól powinny być określane i kontrolowane a narzędzia wykorzystywane do ich pomiarów – wzorcowane, co wymaga wytworzenia wzorcowego pola magnetycznego. Pole magnetyczne o znanym natężeniu i o dużej jednorodności może być wytwarzane przez układ cewek o kołowej i prostokątnej geometrii. Cewki Helmholtza często są stosowane do wytwarzania takich pól. Omówiono stałą cewki K , jako jeden z parametrów wchodzących do budżetu niepewności wzorcowania mierzonych pola magnetycznego. Zaprezentowano weryfikację wartości tej stałej, wyznaczonej

dla używanych w Głównym Urzędzie Miar cewek Helmholtza, poprzez porównanie wzorców indukcji pola magnetycznego z wzorcami z Czeskiego Instytutu Metrologicznego.

4. Paweł Fotowicz: *Rola niepewności przy ocenie zdolności pomiarowej*

Niepewność pomiaru może być wygodnym parametrem służącym do oceny zdolności pomiarowej przyrządu pomiarowego. Zdolność tą bada się przy użyciu wzorców pomiarowych, a sama czynność zbliżona jest do wzorcowania. W najprostszym badaniu można zastosować jeden wzorzec, na którym należy wykonać serię pomiarową o określonej liczności w warunkach powtarzalności. Wartość średnią z tej serii porównuje się z wartością wzorca, a otrzymaną różnicę traktuje jako jedną ze składowych niepewności. Uwzględnia się również składowe niepewności związane z wzorcem pomiarowym. Skumulowaną niepewność w postaci niepewności rozszerzonej odnosi się do wartości granicznej. Może nią być największy błąd dopuszczalny. Zdolność pomiarowa na ogół wyrażana jest procentowo, jako część wartości tego błędu.

Aby można było porównywać zdolności pomiarowe przyrządów należy określić składowe niepewności. Zadanie to ułatwiają wskazówki zawarte w odpowiednich normach. Projekty tych norm uzgadniane są międzynarodowo. Idąc śladem tych norm można wykonywać obliczenia zalecanymi technikami obliczeniowymi. Podstawową z nich jest metoda propagacji niepewności, wynikająca bezpośrednio z analizy wariancji. Metoda ta nie wymaga znajomości rozkładów prawdopodobieństwa przypisywanych poszczególnym składowym. Jednakże druga technika obliczeniowa, nazywana propagacją rozkładów prawdopodobieństwa, oparta jest na znajomości tych rozkładów. W odpowiedni sposób należy je przypisać wielkościom wejściowym. Chociaż obie metody obliczeniowe oparte są na różnych zasadach, to otrzymane wyniki obliczeniowe specjalnie się od siebie nie różnią.

5. Jerzy Borzymiński: *Niepewność pomiaru w metrologii prawnej. Wybrane problemy*

Rozwój w zakresie analizy wyniku pomiaru oraz rola, jaką odgrywa w tym tzw. „rachunek niepewności” znajduje swe odbicie w metrologii prawnej. Bieżące potrzeby w tej dziedzinie wymuszają stosowanie aktualnie dostępnych metod analizy wyniku pomiaru do realizacji zadań metrologii prawnej.

Istotnym elementem jest w zadaniach metrologii prawnej orzekanie – na podstawie wyniku pomiaru – czy spełnione są wymagania określone prawem. W odróżnieniu od dziedziny oceny zgodności orzekanie to nakazane jest prawem i ewentualne skutki błędnego orzeczenia, oprócz konsekwencji w postaci strat materialnych, a czasem wypadków i innych szkód, których koszty ponosi albo wytwórca, albo klient lub szeroko rozumiane „państwo”, dochodzi jeszcze fakt pomyłki podczas czynności, której należy się poddać z mocy prawa.

Jeżeli przedział rozszerzenia zawiera w sobie wartość największego błędu dopuszczalnego, zachodzi przy orzekaniu ryzyko „niesłusznego odrzucenia”, albo „niesłusznego przy-

jęcia”. Nie ma niezależnego kryterium rozstrzygającego, dla zmniejszenia ryzyka niesłusznego orzeczenia, tj.:

- guard banding, tzn. zastosowanie pasma ochronnego,
- shared risk, tzn. podział ryzyka

oraz

- zróżnicowanie wartości błędów dopuszczalnych przy sprawdzaniu spełnienia wymagań (ocenie zgodności, legalizacji lub tp.) i w użytkowaniu.

Interes ekonomiczny państwa może przemawiać za tym, że dopuszcza się pewien procent przyrządów nie spełniających wspomnianego wyżej żądania. Rzetelne postępowanie ze strony państwa wymaga określenia „acceptable non-conformity rate”.

6. *Patrycja Ruśkowska: Kierunki rozwoju współczesnej metrologii – rekomendacje 24. Generalnej Konferencji Miar*

Generalna Konferencja Miar, jako najwyższy Organ Konwencji Metrycznej, podejmujący uchwały dotyczące podstawowych problemów metrologicznych, ustalający definicje jednostek miar oraz określający zakres działalności Międzynarodowego Biura Miar, nakreśla zarazem kierunki rozwoju światowej metrologii.

W pierwszej części referatu zaprezentowano projekty uchwał, jakie przedłożono do rozpatrzenia XXIV. Generalnej Konferencji Miar. Następnie, omówiono prace badawcze, realizowane obecnie w Wydziałach Międzynarodowego Biura Miar (BIPM). Omówiono program prac BIPM na lata 2013 – 2016, w ramach którego realizowane będą między innymi badania nad zapewnieniem spójności pomiarowej w zakresie dozymetrii oraz analizy chemicznej makromolekuł.

W dalszej części referatu przedstawiono streszczenia sprawozdań z prac prowadzonych w ramach 10. Komitetów Doradczych Międzynarodowego Komitetu Miar (CIPM) w następujących dziedzinach pomiarowych: długość, elektryczność i magnetyzm, masa i wielkości pochodne, liczność materii i chemia, radiometria, fotometria, jednostki oraz inne (sprawozdania Przewodniczących Komitetów Doradczych CIPM dostępne są na stronie internetowej BIPM http://www.bipm.org/en/convention/cgpm/24cgpm_cc_presentations/).

W podsumowaniu wymieniono wszystkie uchwalone Rezolucje XXIV. Generalnej Konferencji Miar oraz omówiono szerzej rekomendacje Rezolucji nr: 1, 2, 8 i 9, wskazujących kierunki rozwoju w wybranych dziedzinach pomiarowych. W Rezolucji 1 zarekomendowano weryfikację Międzynarodowego Układu SI, którego jednostki definicyjnie oparte będą na podstawowych stałych fizycznych. W Rezolucji 2 wskazano na rozwój badań i monitoringu zmian klimatu przy zastosowaniu metod spójnych pomiarowo z Międzynarodowym Układem Jednostek SI, a w rezolucjach 8 i 9, dotyczących pomiarów czasu i częstotliwości oraz długości, wskazano na rozwój nowej generacji wzorców optycznych i polecono przyjęcie Międzynarodowego Naziemnego Systemu Odniesienia (ITRS).

7. Paweł Fotowicz: Europejskie programy naukowe w dziedzinie metrologii

Europejskie programy naukowe dotyczące metrologii znalazły wsparcie ze strony Komisji Europejskiej. Pierwszym z nich był, realizowany w latach 2002 i 2003 program o nazwie MERA (*Metrology in the European Research Area*), definiujący potrzeby europejskiej metrologii. Był on punktem wyjścia do programu wdrażającego metrologię w europejskim obszarze badawczym o nazwie iMERA (*implementing Metrology in the European Research Area*) realizowany od 2005 roku. W 2007 roku, w wyniku powstania Europejskiego Stowarzyszenia Krajowych Instytucji Metrologicznych w postaci organizacji o osobowości prawnej i nazwie EURAMET e.V. (*European Association of National Metrology Institutes*), rozpoczęto, pod egidą tej instytucji, program naukowy o nazwie EMRP (*European Metrology Research Programme*). Celem jego jest efektywne wykorzystanie europejskiego potencjału naukowego w obszarze metrologii, przy wsparciu finansowym Unii Europejskiej. Kontynuacją tych działań, od roku 2014, będzie nowy program badawczy o nazwie EMPIR (*European Metrology Programme for Innovation and Research*).

Wydawca: **Główny Urząd Miar**

Prezes

JANINA MARIA POPOWSKA

tel. (22) 581 95 45, fax 620 84 11,

e-mail: prjp@gum.gov.pl

Wiceprezes do spraw metrologii prawnej

DOROTA HABICH

tel. (22) 581 93 26, fax 624 25 73,

e-mail: vprdh@gum.gov.pl

Wiceprezes do spraw metrologii naukowej

WŁODZIMIERZ POPIOŁEK

tel. (22) 581 95 49, fax 620 84 11, e-mail: vprwp@gum.gov.pl

Zastępujący Dyrektora Generalnego Urzędu

ROBERT ZIÓŁKOWSKI

tel. (22) 581 93 78, fax 624 02 68, e-mail: dgu@gum.gov.pl

Redakcja: **Paweł Fotowicz** tel. (22) 581 92 95, e-mail: uncert@gum.gov.pl