

Dokładnie 100 lat

Analiza strategiczna
polskiego projektu
wagi Kibble'a

Bezpieczeństwo
cyfrowe a rzetelność
pomiaru

Projekty strategiczne
Laboratorium
Długości

Weryfikacja wpływu
wyników porównań

175-lecie OUP
w Krakowie

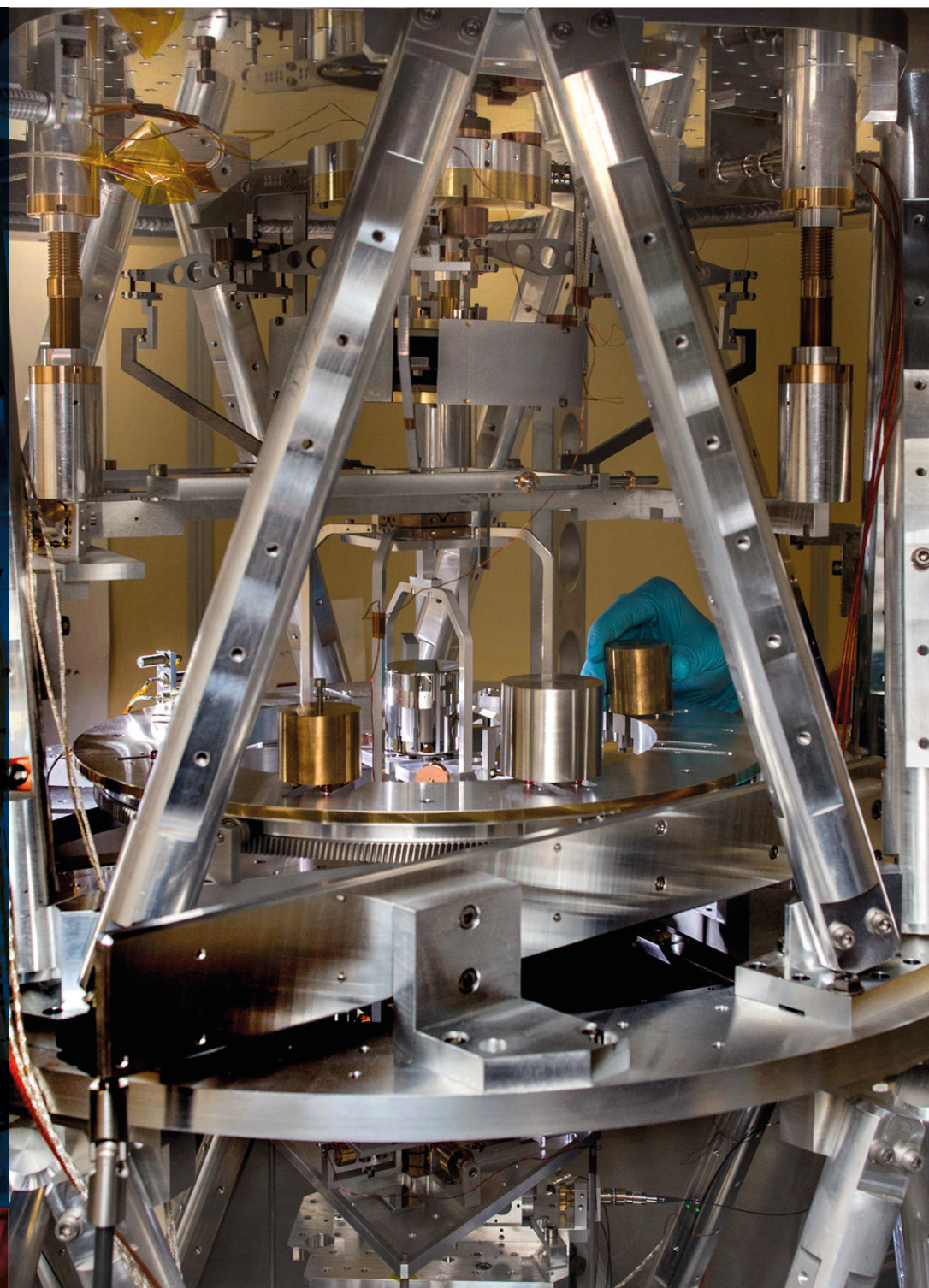
System Zarządzania
Jakością

Działalność KZM
ds. regulacji rynku

Od metra dawnego
do współczesnego

Przyszłość
w metrologii
kwantowej

Randka z metrolożką



W numerze:

WYDARZENIA 8-14

- ◆ Wystąpienie Macieja Dobieszewskiego, p.o. Prezesa GUM, otwierające uroczystość 100-lecia GUM w Sali Pod Kopułą Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii
- ◆ Dokładnie 100 lat – jubileusz Głównego Urzędu Miar

TECHNIKA I POMIARY 15-56

- ◆ Analiza strategiczna polskiego projektu wagi Kibble'a
- ◆ Bezpieczeństwo cyfrowe a rzetelność pomiaru
- ◆ Projekty strategiczne Samodzielnego Laboratorium Długości Głównego Urzędu Miar
- ◆ Weryfikacja wpływu wyników porównań prowadzonych w warunkach zrównoważonego eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego na CMC laboratorium wzorującego

WSPÓŁPRACA 57-61

- ◆ Konsultacyjny Zespół Metrologiczny ds. regulacji rynku
- ◆ Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne – krótkie podsumowanie działalności

PROBIERNICTWO 62-70

- ◆ 175-lecie powstania Urzędu Probierczego w Krakowie
- ◆ System Zarządzania Jakością w OUP w Warszawie

METROLOGIA W CZERWIE I DZIŚ 71-77

- ◆ Od metra dawnego do współczesnego
- ◆ Przyszłość w metrologii kwantowej

In this issue:

EVENTS 8-14

- ◆ Speech by Maciej Dobieszewski, acting President of GUM, opening the ceremony of the 100th anniversary of GUM in the Ministry of Entrepreneurship and Technology
- ◆ Exactly 100 years – the Jubilee of the Central Office of Measures

TECHNIQUE AND MEASUREMENTS 15-56

- ◆ Strategic analysis of the Polish project of Kibble balance
- ◆ Digital security and measurement reliability
- ◆ Strategic projects of the Length Laboratory of the Central Office of Measures
- ◆ Verification of the results of comparisons carried out in the conditions of balanced within laboratory experiment impact on CMC of calibration laboratory

COOPERATION 57-61

- ◆ The Consultative Metrology Team of Market Regulations
- ◆ Consultative Metrology Teams – a short summary of the activity

HALLMARKING 62-70

- ◆ 175 anniversary of the founding of the Assay Office in Cracow
- ◆ The Quality Management System in Regional Assay Office in Warsaw

METROLOGY IN THE PAST AND NOWADAYS 71-77

- ◆ From the old to the modern meter
- ◆ The future in quantum metrology

Wydawca: Główny Urząd Miar
ul. Elektoralna 2, 00-139 Warszawa, tel.: 22 581 95 18, 581 95 31, fax: 22 581 90 91.

Redakcja: dr Paweł Fotowicz (red. naczelny), Adam Żeberkiewicz (sekretarz red.).

Zdjęcia: Maciej Koszarny, Adam Żeberkiewicz.

Druk: ArtDruk Zakład Poligraficzny Andrzej Łuniewski, ul. Napoleona 2, 05-230 Kobyłka, www.artdruk.com

Wszystkie prawa zastrzeżone. Redakcja nie zwraca materiałów nie zamówionych oraz zastrzega sobie prawo do skrótów i zmian tytułów.

Pytania i uwagi do redakcji: biuletyn@gum.gov.pl



niepodległa

POLSKA
STULECIE ODZYSKANIA
NIEPODLEGŁOŚCI

2018

7–12.10

→ **POSIEDZENIE MIĘDZYNARODOWEGO KOMITETU METROLOGII PRAWNEJ Z UDZIAŁEM PRZEDSTAWICIELI GUM**

W Hamburgu, z udziałem delegacji Polski, odbyło się 53. posiedzenie CIML (Międzynarodowego Komitetu Metrologii Prawnej). W spotkaniu wzięło udział ponad 180 uczestników, w tym ok. 50 przedstawicieli państw członkowskich.

13.10

→ **PODPISANIE UMOWY KONSORCJUM NA BUDOWĘ KAMPUSU LABORATORYJNEGO GUM W KIELCACH**

W obecności Premiera RP – Mateusza Morawieckiego, Minister Przedsiębiorczości i Technologii – Jadwigi Emilewicz oraz przedstawicieli GUM i Politechniki Świętokrzyskiej podpisana została umowa konsorcjalna, której celem jest szczegółowe opracowanie oraz realizacja projektu „Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny GUM”. Nowoczesne laboratorium badawcze ma stać się centrum polskiej metrologii i pracować m.in. na rzecz podniesienia konkurencyjności polskich firm na rynku europejskim i światowym.

Powołanie Konsorcjum z udziałem Głównego Urzędu Miar i Politechniki Świętokrzyskiej umożliwi efektywną współpracę naukowo-badawczą, prowadzenie wspólnych projektów, zwiększy potencjał wysoko kwalifikowanej kadry, umożliwi realizację zadań w zakresie działalności gospodarczej, tj. usług badawczych, badań na zlecenie, prac rozwojowych dla sektora przedsiębiorstw. Wartość projektu to ok. 160 mln zł. Będzie on realizowany w latach 2019–2023 w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego.

16.10

→ **SPOTKANIE KLUBU POLLAB**

Ponad 60 uczestników, przedstawicieli polskich laboratoriów wzorcujących, zgromadziło spotkanie Sekcji Laboratoriów Wzorcujących Klubu POLLAB, które odbyło się w Głównym Urzędzie Miar. Głównymi tematami spotkania były: doskonalenie systemu zarządzania w laboratoriach wzorcujących, porównania międzylaboratoryjne oraz planowana redefinicja jednostek miar.

19.10

→ **CZWARTE POSIEDZENIE RADY METROLOGII**

W siedzibie Głównego Urzędu Miar odbyło się 4. posiedzenie Rady Metrologii, działającej przy Prezesie GUM. W trakcie posiedzenia pracownicy Głównego Urzędu Miar zaprezentowali kilka istotnych projektów strategicznych, realizowanych w 2018 r. zarówno w GUM, jak i w administracji terenowej. Projekty te dotyczyły działań ujętych w „Czteroletnim strategicznym planie działania GUM 2018–2021”. Ponadto omówiono działalność Komitetów Technicznych, opiniujących działalność laboratoriów GUM. Przedstawiono również listę tematów prac dyplomowych, stanowiących potencjalną ofertę dla instytucji naukowych. Omówiono także wydawnictwa GUM, opublikowane w 2018 r. i plany wydawnicze na rok 2019.

20.10

→ **NOC LABORATORIÓW WE WROCŁAWIU**

Okręgowy Urząd Miar we Wrocławiu po raz pierwszy uczestniczył w Nocy Laboratoriów, organizowanej w tym mieście przez firmę Nokia. Była to czwarta edycja tej szczególnej w skali kraju imprezy, podczas której wrocławskie firmy i organizacje zapraszają wszystkich chętnych do zwiedzania przestrzeni, w których na co dzień trwają prace badawcze w obszarach technologii, chemii, biologii i innych obszarów nauki. Wśród 17 partnerów – uczestników tego wydarzenia był po raz pierwszy Okręgowy Urząd Miar we Wrocławiu, który w swojej siedzibie przy ul. Młodych Techników 61-63 zaprezentował stanowiska pomiarowe związane z legalizacją i wzorcowaniem przyrządów pomiarowych w dziedzinie długości, kąta, masy i siły. Można było zobaczyć m.in., jak sprawdza się taksometry, a także, jak kontroluje się płytki wzorcowe na komparatorze dwuczujnikowym.

22.10

→ **PIERWSZE SPOTKANIE KOMITETU TECHNICZNEGO OPINIUJĄCEGO DZIAŁALNOŚĆ LABORATORIUM MASY**

W Głównym Urzędzie Miar odbyło się pierwsze spotkanie Komitetu Technicznego, opiniującego działalność Samodzielnego Laboratorium Masy. W spotkaniu udział wzięli członkowie Komitetu: Andy Knott z National Physical Laboratory (NPL – Wielka Brytania), inż. Dušcan Trochta z SMU (Słowacki Instytut Metrologiczny), dr hab. Daniel Lisak z UMK w Toruniu. Podczas spotkania omówiono bieżącą działalność Laboratorium, a jego pracownicy zaprezentowali przedstawicielom Komitetu stanowiska pomiarowe w poszczególnych pracowniach. Duże zainteresowanie wzbudził pierwszy zbudowany w Polsce komparator masy, znajdujący się w Pracowni Wag i Wzorców Masy.



- 24.10 → **INAUGURACYJNE SPOTKANIE KOMITETU TECHNICZNEGO OPINIUJĄCEGO DZIAŁALNOŚĆ LABORATORIUM ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU**
W Głównym Urzędzie Miar odbyło się pierwsze spotkanie Komitetu Technicznego, opiniującego działalność Samodzielnego Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu, powołanego Decyzją nr 23 Prezesa GUM z dn. 9 maja 2018 r. Komitet Techniczny ma za zadanie dokonać oceny Laboratorium, obejmującej m.in. działalność w kontekście: Czteroletniego strategicznego planu działania GUM na lata 2018–2021, a także w aspektach związanych z: zasobami ludzkimi, organizacją pracy oraz jego infrastrukturą techniczną, czy udziałem Laboratorium w prowadzonych pracach badawczo-rozwojowych w dziedzinie metrologii. Kolejnym krokiem będzie rekomendowanie Prezesowi GUM propozycji działań, służących rozwojowi i efektywności laboratorium.
- 25.10 → **KSIĘGA ZNAKU GUM WYRÓŻNIONA PRZEZ JURY PROGRAMU DOBRY WZÓR 2018**
Podczas gali finałowej system identyfikacji wizualnej Głównego Urzędu Miar otrzymał wyróżnienie – status produktu rekomendowanego przez jury konkursu i zaprezentowany został podczas wystawy, towarzyszącej gali. Produkty rekomendowane do konkursu Dobry Wzór 2018 – to takie, które zostały uznane za wyróżniające się przez ekspertów Instytutu Wzornictwa Przemysłowego podczas monitoringu rynku i następnie zgłoszone do konkursu przez producentów czy dystrybutorów. Do dwudziestej piątej, finałowej edycji zgłoszono do konkursu aż 193 produkty i usługi.
- 30.10 → **PODPISANIE WNIOSKU APLIKACYJNEGO NA DOKUMENTACJĘ PROJEKTOWĄ KAMPUSU W KIELCACH**
W obecności Prorektora ds. Ogólnych, dr hab. inż. Barbary Goszczyńskiej, prof. Politechniki Świętokrzyskiej, Dyrektora Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi Pawła Sarka oraz Anny Śmiłowskiej z Działu Projektów Infrastrukturalnych Politechniki Świętokrzyskiej, swoje podpisy pod wnioskiem aplikacyjnym złożyli w imieniu Lidera Konsorcjum – Dyrektora Generalnego Głównego Urzędu Miar w Warszawie Andrzej Hantz oraz Partner Konsorcjum Rektor Politechniki Świętokrzyskiej, prof. dr hab. inż. Wiesław Trąmpczyński. To kolejny ważny krok w kierunku realizacji projektu budowy nowoczesnego Świętokrzyskiego Kampusu Laboratoryjnego Głównego Urzędu Miar.
- 13–16.11 → **PRZYJĘCIE REZOLUCJI O ZMIANIE DEFINICJI PODSTAWOWYCH JEDNOSTEK MIAR MIĘDZYNARODOWEGO UKŁADU JEDNOSTEK MIAR (SI)**
Podczas 26. Generalnej Konferencji Miar w Paryżu (CGPM) podjęta została jednogłośnie decyzja o zmianie definicji podstawowych jednostek miar Międzynarodowego Układu Jednostek Miar (SI). Przyjęcie rezolucji jest ukoronowaniem wieloletniej, pokojowej współpracy w dziedzinie metrologii państw z całego świata. Redefinicja, która wejdzie w życie dokładnie 20 maja 2019 roku sprawi, że nasze pomiary nie będą już dłużej opierać się na niestabilnych obiektach fizycznych.
Gruntownej redefinicji ulegną cztery jednostki podstawowe:
 - kilogram (podstawowa jednostka masy w SI, po redefinicji oparta będzie na wartości liczbowej stałej Plancka),
 - kelwin (podstawowa jednostka temperatury termodynamicznej w SI, po redefinicji oparta będzie na wartości liczbowej stałej Boltzmanna),
 - amper (podstawowa jednostka prądu elektrycznego w SI, po redefinicji oparta będzie na wartości liczbowej ładunku elementarnego),
 - mol (podstawowa jednostka ilości substancji w SI, po redefinicji oparta będzie na wartości liczbowej stałej Avogadra).Więcej informacji o istocie redefinicji oraz pełne brzmienie nowych definicji jednostek podstawowych można znaleźć na stronie <http://www.gum.gov.pl/pl/redefinicja-si/redefinicja-si/2334,Redefinicja-SI.html>
- 15.11 → **SEMINARIUM „KONTROLA AERAZOLI METODĄ PROMIENIOWANIA RENTGENOWSKIEGO”**
W Okręgowym Urzędzie Miar w Warszawie, w Wydziale Zamiejscowym w Broniszach przy ul. Kwiatowej 11 odbyło się seminarium pt. „Kontrola aerazoli metodą promieniowania rentgenowskiego”. W spotkaniu uczestniczyli przedstawiciele producentów i importerów towarów paczkowanych wprowadzanych do obrotu w postaci aerazoli, a także przedstawiciele inspekcji kontrolujących takie wyroby na rynku.
- 19–21.11 → **WIZYTA STUDYJNA DWÓCH PRACOWNIKÓW OUP W WARSZAWIE W URZĘDZIE PROBIERCZYM W DRUSKIENNIKACH**
Celem wizyty było zebranie praktycznych informacji na temat akredytacji laboratoriów badawczych (norma ISO 17 025) oraz wymiana doświadczeń związanych z określaniem zawartości metali szlachetnych w wyrobach jubilerskich.
- 23.11 → **SEMINARIUM Z OKAZJI 175-LECIA POWOŁANIA URZĘDU PROBIERCZEGO W KRAKOWIE**
Relacja z tego wydarzenia znajduje się na str. 62.



- 14.12 → **DELEGACJA GUM NA WARSZTATACH DOTYCZĄCYCH EUROPEJSKICH SIECI METROLOGICZNYCH W BERLINIE**
 W berlińskiej siedzibie niemieckiej Narodowej Instytucji Metrologicznej (PTB), z udziałem 8-osobowej delegacji GUM, odbyły się warsztaty dotyczące Europejskich Sieci Metrologicznych (EMN), nowego projektu realizowanego pod patronatem EURAMET – Europejskiego Stowarzyszenia Krajowych Instytucji Metrologicznych. Podczas obrad sekretarz generalny EURAMET Duncan Jarvis zapoznał uczestników z aktualnym stanem rozwoju sieci, mając na uwadze szereg propozycji/tematów, które jak podkreślił D. Jarvis, są na różnym etapie rozwoju. Liderzy 6 zatwierdzonych projektów sieci (Mathmet, Quantum Metrology, Laboratory Medicine, Energy Gases, Smart Grids, Climate and Ocean Observation) pokrótce przedstawili założenia sieci oraz stan prac.
- 20.12 → **PODPISANIE UMOWY NA DOFINANSOWANIE PROJEKTU BUDOWY KAMPUSU**
 Marszałek Województwa Świętokrzyskiego Andrzej Bętkowski i Dyrektor Generalny Głównego Urzędu Miar Andrzej Hantz podpisali w Kielcach umowę na dofinansowanie projektu budowy „Świętokrzyskiego Kampusu Laboratoryjnego”. Wartość projektu wynosi ponad 162 mln zł. 90 % stanowić będzie dofinansowanie z UE w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego na lata 2014–2020, a 10 % to wkład własny Politechniki Świętokrzyskiej. Realizacja projektu będzie się odbywać w latach 2019–2023. W tym okresie zostaną zaprojektowane obiekty gospodarcze i laboratoria Kampusu, powstanie też infrastruktura budowlana wraz z budynkami służącymi do prac badawczych.
- 21.12 → **ROZSTRZYGNĘCIE KONKURSU NA OPRACOWANIE KONCEPCJI ARCHITEKTONICZNEJ KAMPUSU GUM**
 W siedzibie SARP nastąpiło rozstrzygnięcie konkursu na „Opracowanie koncepcji urbanistyczno-architektonicznej zamierzenia inwestycyjnego pod nazwą Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar”. Konkurs został przeprowadzony przez GUM w oparciu o zdefiniowane wymagania badawcze i metrologiczne, we współpracy ze Stowarzyszeniem Architektów Polskich (SARP).
 Zwycięstwo i I nagroda – 45 tys. zł brutto oraz zaproszenie do negocjacji z wolnej ręki przypadły firmie BDM Architekci z Warszawy. Do konkursu przystąpiło ponad 20 pracowni projektowych, z czego 11 złożyło wstępne koncepcje w pierwszym etapie i 2 docelowe koncepcje w drugim etapie. Zwycięską pracę można oglądać na materiałach zdjęciowych dostępnych na stronie internetowej GUM.
- 2019**
- 1.01 → **ROZPOCZĘCIE DZIAŁALNOŚCI NOWEGO OKRĘGOWEGO URZĘDU MIAR W BIAŁYMSTOKU**
 Zgodnie z zapisami rozporządzenia Ministra Przemysłu i Technologii z dnia 27 czerwca 2018 r. w sprawie określenia obszaru działania i siedzib okręgowych urzędów miar, od 1 stycznia 2019 r. działalność rozpoczął Okręgowy Urząd Miar w Białymstoku. Obszar działalności Urzędu obejmuje województwa: podlaskie oraz część mazowieckiego, obejmującą powiaty: makowski, ostrołęcki, ostrowski, przasnyski, pułtuski, wyszkowski, miasto na prawach powiatu Ostrołęka oraz część województwa warmińsko-mazurskiego, obejmującą powiaty: ełcki, giżycki, gołdapski, olecki, piski i węgorszewski. Strona internetowa białostockiego OUM: bip.bialystok.gum.gov.pl
- 11.01 → **SPOTKANIE PRZEDSTAWICIELI UNIwersYTETU WARSZAWSKIEGO Z KIEROWNICTWEM GUM**
 W siedzibie Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych przy ul. Żwirki i Wigury odbyło się spotkanie przedstawicieli UW i GUM, którego celem było nawiązanie konkretnych, wspólnych aktywności w obszarze nauk: fizyki, chemii, matematyki, informatyki oraz mechaniki. Udział w spotkaniu wzięli m.in. Maciej Dobieszewski, p.o. Prezesa GUM, dyrektorzy jednostek GUM i kierownicy jego wybranych laboratoriów. Uniwersytet Warszawski reprezentowali z kolei: prof. Jolanta Choińska-Mika, prorektor ds. studentów i jakości kształcenia, prof. Ewa Bulska, dyrektor CNBCh, prof. Andrzej Kudelski, dziekan Wydziału Chemii, prof. Dariusz Wasik, dziekan Wydziału Fizyki, prof. Paweł Strzelecki, dziekan Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki oraz Konrad Zawadzki, zastępca dyrektora CNBCh.
- 15.01 → **PIERWSZE SPOTKANIE KOMITETU TECHNICZNEGO DO SPRAW PRZEPEŁYWÓW**
 W GUM odbyło się pierwsze spotkanie Komitetu Technicznego do spraw przepływów. Komitet został powołany Decyzją nr 92 Prezesa GUM z dn. 19 grudnia 2018 r. i ma za zadanie zaopiniowanie działalności Samodzielnego Laboratorium Przepływów. Podczas wizyty w GUM, członkowie Komitetu Technicznego zapoznali się z wyposażeniem i możliwościami pomiarowymi Pracowni Przepływu Gazu oraz Pracowni Przepływu Cieczy i Pomiarów Ciepła. Podczas spotkania omówiono bieżącą działalność laboratorium, zaprezentowano wzorce odniesienia, będące w gestii laboratorium oraz przeprowadzono wstępną dyskusję na temat możliwych działań służących rozwojowi Laboratorium Przepływów, nie tylko w kontekście strategii na lata 2018–2021, ale również w dłuższej perspektywie czasu.

- 23.01 → **SPOTKANIE PRZEDSTAWICIELI GUM Z NAUCZYCIELAMI I UCZNIAMI RADOMSKICH SZKÓŁ**
W VI Liceum Ogólnokształcącym w Radomiu odbyło się spotkanie przedstawicieli Głównego Urzędu Miar z nauczycielami i uczniami radomskich szkół, w ramach seminarium poświęconego „Zmianom definicji podstawowych jednostek układu SI”.
Redefinicja układu SI, a szczególnie zmiany dotyczące jednostek miar po 20 maja 2019 roku, były głównymi tematami tego spotkania. Dr inż. Paweł Fotowicz zapoznał zebranych z historycznym kontekstem powstania definicji jednostek miar układu SI, wskazując również najważniejsze aspekty realizacji większości z nich. W seminarium wzięło udział 140 uczniów, 40 nauczycieli wraz z dyrektorem szkoły p. Romualdem Lisem oraz gościem dr hab. Tadeuszem Szumiątą, prof. nadzw. UTH w Radomiu. Na pamiątkę spotkania Andrzej Hantz przekazał szkole replikę państwowego wzorca jednostki miary masy 1 kg, wykonanej w skali 1:1.
- 8.02 → **JUBILEUSZ 100-LECIA ADMINISTRACJI MIAR – OUM KRAKÓW**
We wnętrzach Kopalni Soli w Wieliczce odbyła się uroczystość setnej rocznicy podpisania Dekretu o Miarach, podczas której m.in. wręczono zasłużonym dla Krakowa odznaczenia Honoris Gratia. Uroczystość otworzyli dyrektor Okręgowego Urzędu Miar w Krakowie Jerzy Poznański oraz p.o. Prezesa Głównego Urzędu Miar Maciej Dobieszewski. W uroczystości udział wzięli m.in. członkowie Rady Metrologii oraz przedstawiciele władz samorządowych z terenu działania okręgu.
- 22.02 → **UROCZYSTOŚCI ROCZNICOWE W OUM WE WROCŁAWIU**
Kolejna część uroczystości z okazji 100-lecia Głównego Urzędu Miar odbyła się w Dworze Polskim na wrocławskim rynku. Podczas uroczystości głos zabrali: Dyrektor Okręgowego Urzędu Miar we Wrocławiu Robert Czajkowski, Wojewoda Dolnośląski Paweł Hreniak oraz p.o. Prezesa GUM Maciej Dobieszewski. Referat okolicznościowy o historii miar naturalnych wygłosił Pan Andrzej Kraszewski, Naczelnik Obwodowego Urzędu Miar we Wrocławiu. Ważną częścią uroczystości było wręczenie statuetek, dyplomów oraz upominków, między innymi dla pracowników o stażu powyżej 30 lat.
- 8.03 → **WIZYTA W GUM SPECJALISTÓW Z DZIEDZINY MASY**
W ramach konferencji organizowanej przez polskiego producenta wag – firmę RADWAG, w GUM odbyła się wizyta przedstawicieli NMI – specjalistów z dziedziny masy – z Indii, Chin, Białorusi, Macedonii, Bangladeszu.
Podczas spotkania goście zwiedzili pracownie Laboratorium Masy: Fizykochemii oraz Wag i Wzorców Masy, poznając m.in. budowę modułowego stanowiska pomiarowego państwowego wzorca jednostki masy kilograma, konstruowanego w oparciu o automatyczny próżniowy komparator masy, mającego zapewnić wdrożenie w 2019 r. redefinicji jednostki masy przez GUM.
- 13–15.03 → **GUM LAUREATEM NAGRODY GRAND PRIX TARGÓW EUROLAB**
Przez trzy dni w Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie trwały 21. Międzynarodowe Targi Analityki i Techniki Pomiarowych EuroLab oraz 8. Targi Techniki Kryminalistycznej CrimeLab. Podczas uroczystego otwarcia targów, z udziałem gości oficjalnych – patronów EuroLab Główny Urząd Miar został laureatem Grand Prix 2019 targów. Statuetkę za wieloletnią współpracę z targami, z rąk Urszuli Potęgi, Prezes MT Targi Polska odebrał Maciej Dobieszewski, p.o. Prezesa GUM.
Odwiedzający targi, zainteresowani tematyką metrologiczną i pomiarową, mogli zasięgnąć informacji na stoiskach Głównego Urzędu Miar. Eksperti GUM dzielili się wiedzą na temat najnowszych metod pomiarowych i materiałów odniesienia, stosowanych w laboratoriach. Można było także zaopatrzyć się w nowsze i starsze wydawnictwa GUM, m.in. broszury laboratoriów, Biuletyn „Metrologia i Probiernictwo” i inne specjalistyczne publikacje.
W czwartek, 14 marca w Sali Goethego odbywał się cykl wykładów pod hasłem „Dzień Metrologii. 100 lat GUM.”
- 14.03 → **POSIEDZENIE STAŁEGO KOMITETU KONWENCJI O KONTROLI I CECHOWANIU WYROBÓW Z METALI SZLACHETNYCH**
Dyrektorzy OUP w Warszawie i OUP w Krakowie uczestniczyli w 84. Posiedzeniu Stałego Komitetu Konwencji o kontroli i cechowaniu wyrobów z metali szlachetnych, które odbyło się w Lublanie. Na posiedzeniu kontynuowano prace nad wizją i strategią Konwencji, omawiano także plany włączenia Międzynarodowego Stowarzyszenia Urzędów Probierniczych w struktury Konwencji.
- 15.03 → **PIĄTE POSIEDZENIE RADY METROLOGII W GUM**
Najważniejszym wydarzeniem 5. posiedzenia Rady Metrologii było podjęcie przez Radę uchwał dotyczących pozytywnego zaopiniowania „Sprawozdania z działalności GUM w 2018 r.” oraz „Rocznego Planu działania GUM na 2019 r.” W trakcie posiedzenia przedstawiciele Głównego Urzędu Miar przekazali również informację na temat realizowanego projektu budowy Świętokrzyskiego Kampusu Laboratoryjnego GUM oraz obchodów 100-lecia.

- 20-21.03 → **OKRĘGOWE URZĘDY PROBIERCZE NA TARGACH „AMBERIF”**
 Pracownicy OUP w Warszawie i w Krakowie oraz przedstawiciele wydziałów zamiejscowych obydwu urzędów uczestniczyli w 26. Międzynarodowych Targach Bursztynu, Bizuterii i Kamieni Jubilerskich „Amberif”. Spotkaniu towarzyszyła coroczna narada, poświęcona wymianie doświadczeń oraz harmonizacji działalności urzędów probierczych. Uczestnicy narady odwiedzili Wydział Zamiejscowy OUP w Gdańsku.
- 28.03 → **KONFERENCJA DOTYCZĄCA ZMIAN CZASU, Z UDZIAŁEM PRZEDSTAWICIELI GUM**
 W Ministerstwie Przedsiębiorczości i Technologii odbyła się otwarta konferencja na temat aspektów społecznych, ekonomicznych, uwarunkowań kulturowych, geograficznych i historycznych, dotyczących zmian czasu. Z ciekawymi referatami na ten temat wystąpili pracownicy Głównego Urzędu Miar: dr Maciej Gruszczyński i dr Albin Czubla z Laboratorium Czasu i Częstotliwości.
- 1.04 → **JUBILEUSZ 100-LECIA GUM. GŁÓWNA UROCZYSTOŚĆ W MPiT**
 W Sali Pod Kopułą Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii odbyła się jubileuszowa konferencja Głównego Urzędu Miar. Wystąpienie inauguracyjne prezesa Macieja Dobieszewskiego i relacja na str. 8.
- 5.04 → **POROZUMIENIE O WSPÓŁPRACY POMIĘDZY GUM, PCA I PKN**
 W siedzibie PKN zawarto porozumienie o współpracy pomiędzy Polskim Komitetem Normalizacji, Polskim Centrum Akredytacji i Głównym Urzędem Miar. Porozumienie dotyczy wprowadzenia przewodników serii ISO/IEC Guide 98 Uncertainty of Measurement w polskiej wersji językowej do zbioru polskich dokumentów normalizacyjnych. W przewodnikach zawarte są ogólne zasady wyznaczania i wyrażania niepewności pomiaru.
- 12.04 → **100-LECIE ADMINISTRACJI MIAR – OBCHODY REGIONALNE W SZCZECINIE**
 W Sali Rycerskiej Zachodniopomorskiego Urzędu Wojewódzkiego w Szczecinie, z udziałem przedstawicieli władz lokalnych, GUM i pracowników OUM w Szczecinie, odbyły się regionalne obchody 100-lecia Głównego Urzędu Miar. Obchody zostały objęte patronatem honorowym Wojewody Zachodniopomorskiego oraz Wojewody Lubuskiego.
- 26.04 → **OBCHODY REGIONALNE 100-LECIA GUM W BYDGOSZCZY**
 W bydgoskim Klubie Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych odbyły się regionalne uroczystości jubileuszu 100-lecia Głównego Urzędu Miar. W jubileuszu wzięli udział przedstawiciele Kierownictwa GUM, wojska, lokalnych instytucji i placówek naukowych, a zasłużonym pracownikom administracji miar i administracji probierczej wręczano okolicznościowe medale. Uroczystość miała niezwykle podniosły charakter, odbywała się w asyście wojskowego pocztu sztandarowego. Podczas występów artystycznych solistom towarzyszyła orkiestra wojskowa. Otwarto również historyczną wystawę.

Wystąpienie Macieja Dobieszewskiego, p.o. Prezesa GUM, otwierające uroczystość 100-lecia GUM w Sali Pod Kopułą Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii 1 kwietnia 2019 r.

Dostojni goście, drodzy przyjaciele, metrolożki i metrology

Spotykamy się na wyjątkowej uroczystości. Jest z nami bardzo wiele niezwykle ważnych osób. Wymienianie wszystkich z osobna nie byłoby możliwe, dlatego pozwólcie, że będę witał różne środowiska, a tylko w kilku specjalnych przypadkach pozwolę sobie na osobiste przedstawienie gości.

Pierwszą taką osobą, którą chciałbym szczególnie gorąco przywitać i poprosić o owację, jest **nasz gość specjalny, laureat Nagrody Nobla pan prof. Klaus Von Klitzing**.

Witam przedstawicieli Międzynarodowego Biura Miar, międzynarodowych i regionalnych organizacji metrologicznych oraz przedstawicieli narodowych instytucji metrologicznych (NMI) z całego świata. Nasza społeczność i współpraca są wspaniałym przykładem pokojowego współdziałania różnych, czasami podzielonych w innych sprawach, państw i narodów dla dobra i interesu całej ludzkości, czego spektakularnym wyrazem było jednogłośnie przeprowadzenie redefinicji układu SI w listopadzie zeszłego roku.

Witam przedstawicieli Kancelarii Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, z panią minister Haliną Szymańską, Szefową KPRP. Chciałbym szczególnie podziękować Panu Prezydentowi za objęcie obchodów 100-lecia patronatem i za odznaczenia przyznane najbardziej zasłużonym polskim metrologom. Nigdy w historii tak wiele osób związanych z GUM nie zostało wyróżnionych odznaczeniami państwowymi, za chwilę pięciu wybitnym metrologom uroczyste wręczone zostaną te najwyższe odznaczenia, Ordery Odrodzenia Polski (to drugie najwyższe odznaczenie państwowe, po Orderze Orła Białego), ale osób uhonorowanych jest znacznie więcej.

Witam Pana Ministra Marcina Ociepę, Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Przedsiębiorczości i Technologii. Panie Ministrze, dziękujemy za Pana obecność, dziękujemy też Ministerstwu, którego uprzejmości zawdzięczamy możliwość celebrowania dzisiejszej uroczystości w pięknej reprezentacyjnej Sali pod Kopułą.

Witam szefów centralnych urzędów i instytucji państwowych oraz samorządowych; szczególne pozdrowienia kieruję do przyjaciół z Kielc i województwa świętokrzyskiego, z którymi jesteśmy od pewnego czasu szczególnie związani.

Witam członków Rady Metrologii; Rada jest nową, ale niezwykle ważną instytucją polskiego systemu metrologicznego. Można powiedzieć, że czekaliśmy na jej powołanie prawie 100 lat, bo była ona już zamysłem twórcy polskiej metrologii państwowej Zdzisława Rauszera. Bardzo dziękuję członkom Rady za wsparcie GUM, szczególne słowa podziękowania kieruję do przewodniczącej, pani prof. Ewy Bulskiej. Naprawdę nie mogliśmy sobie wyobrazić lepszej osoby, jako pierwszego przewodniczącego Rady niż pani profesor, zarówno jeśli chodzi o kompetencje, jak i o osobowość.

Witam naszych głównych partnerów i klientów, przedstawicieli polskiego przemysłu i handlu, oraz przedstawicieli nauki – wyższych uczelni, instytutów naukowych.

Przede wszystkim witam obecnych i byłych pracowników GUM i terenowej administracji miar oraz terenowej administracji probierczej, w tym obecnych i byłych prezesów oraz wiceprezesów GUM. **Są z nami wszyscy prezesi GUM po 1990 roku**. Bardzo Państwu dziękuję – to pokazuje ciągłość instytucji i państwa. Krzysztof Mordziński, pierwszy prezes reaktywowanego w 1993 roku pod historyczną nazwą Głównego Urzędu Miar, prezes Włodzimierz Sanocki, pani prezes Janina Popowska. Szczególnie gorąco chciałbym powitać prezesa Włodzimierza Lewandowskiego, który dla wielu osób na tej sali, w tym dla mnie osobiście, jest największym autorytetem metrologicznym, nauczycielem, mentorem. To prezes Lewandowski jest pomysłodawcą budowy Kampusu Laboratoryjnego GUM w Kielcach. Dziś zostanie Pan uhonorowany najwyższym odznaczeniem państwowym, jakie według mojej wiedzy otrzymała osoba związana z GUM – Krzyżem Orderu Odrodzenia Polski, podobne odznaczenie otrzymał w 1923 roku Zdzisław Rauszer, twórca GUM i jego pierwszy dyrektor. To piękna klamra spinająca tamte czasy i teraźniejszość.

Dokładnie 100 lat temu, 1 kwietnia 1919 roku, wraz z powołaniem Zdzisława Rauszera na stanowisko dyrektora, zaczął funkcjonować Główny Urząd Miar – jedna z pierwszych, a zarazem emblematycznych instytucji odrodzonego polskiego państwa, odgrywająca ogromną rolę nie tylko w ujednoceniu systemu miar, ale również w szerszym sensie budowania państwowości tak zróżnicowanego i podzielonego pod każdym względem organizmu, jakim była II Rzeczpospolita.

Przez następne sto lat, w różnych warunkach społeczno-gospodarczych, pod różnymi nazwami i w ramach różnie definiowanej polskiej państwowości, GUM budował i rozwijał w Polsce system pomiarowy, który stanowi fundament organizacji państwa i życia społecznego, a w dzisiejszym świecie – również jeden z motorów postępu technologicznego i innowacji. Jako osoba szczególnie związana z terenową służbą miar muszę podkreślić, że GUM to przy tym w równym stopniu centralny urząd w Warszawie, odpowiadający za wzorce najwyższego rzędu, prace badawczo-rozwojowe, współpracę międzynarodową, koordynację systemu, jak i cała struktura terytorialna, licząca obecnie 10 okręgowych urzędów miar z 50 wydziałami zamiejscowymi, a także 2 okręgowe urzędy probiercze z 8 wydziałami zamiejscowymi, które w codziennej praktyce odpowiadały i odpowiadają za jednolitość i wiarygodność pomiarów na terytorium Polski. Ten dorobek, tradycja i piękny jubileusz to powód do wielkiej dumy. Myślę, że można bez żadnej przesady powiedzieć, iż **GUM jest jedną z najbardziej zasłużonych instytucji polskiego państwa.**

Jubileusz to oczywiście okazja do celebracji i wspomnień. Ale powinna to być również, a może przede wszystkim, okazja do spojrzenia w przyszłość. Otwieramy drugie stulecie GUM i polskiej metrologii i tak się składa, że robimy to w wyjątkowym dla naszej instytucji, ale też dla całej światowej metrologii, czasie.

Dziesięć lat temu polski rząd zlecił wieloletniemu Dyrektorowi Międzynarodowego Biura Miar (BIPM) i zarazem jednemu z największych w świecie autorytetów naszej dziedziny – Terry’emu Quinnowi, przeprowadzenie oceny i sporządzenie raportu nt. instytucjonalnych aspektów rozwoju polskiego systemu metrologicznego. Miałem zaszczyt być jednym z inicjatorów tego pomysłu i organizatorów pobytu Terry’ego Quinna w Polsce, w maju 2009 roku. Terry’ego nie ma dzisiaj na sali, ale wiem, że jest z nami myślami i duchem. W raporcie Quinna sformułowany został szereg rekomendacji odnośnie do reformy systemu. Dotyczyły one m.in. redefinicji zadań GUM,

intensyfikacji współpracy z przemysłem i nauką, powołania Rady Metrologii, wprowadzenia strategicznego planowania działalności, aktywnego pozyskiwania zewnętrznego finansowania (zwłaszcza fundusze i programy europejskie), wreszcie – budowy nowej siedziby dla laboratoriów. Dzisiaj w zasadzie wszystkie te rekomendacje są konsekwentnie wdrażane.

Oczywiście najbardziej spektakularnym tego wyrazem jest projekt budowy nowego Kampusu Laboratoryjnego GUM w Kielcach. W grudniu 2018 roku podpisana została umowa w sprawie finansowania tej wyjątkowej inwestycji ze środków funduszy europejskich, w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego. Budowa kampusu laboratoryjnego to wielka szansa dla instytucji, wielki projekt, którego pierwszy etap rozpoczynamy, ale który będzie rósł i rozwijał się przez wiele lat i który może być dla GUM przepustką do światowej elity narodowych instytutów metrologicznych.

Jednocześnie uczestniczymy w najważniejszym procesie ostatnich dziesięcioleci w metrologii światowej. **W maju 2019 roku wejdzie w życie redefinicja układu SI,** uchwalona na XXVI Generalnej Konferencji Miar. Ostatecznie żegnamy wzorce jednostek miar w postaci fizycznych artefaktów, robiąc milowy krok w kierunku metrologii, opartej na stałych podstawowych i zjawiskach fizycznych, metrologii odwołującej się do fundamentalnych praw opisujących wszechświat – teorii względności i mechaniki kwantowej, metrologii będącej swoistym pomostem między prawami natury a rozwojem cywilizacji.

Te historyczne i przełomowe wydarzenia będą w dużej mierze definiowały naszą działalność w najbliższych dziesięcioleciach, a nawet – nie wahajmy się tych słów – w następnym stuleciu GUM. **GUM, który jest dziś instytucją dumną ze swej tradycji, ale patrzącą przede wszystkim w przyszłość.**

Szanowni Państwo,
dziękując za te minione już 100 lat, proszę wszystkich pracowników i przyjaciół GUM i polskiej służby miar o dalszy udział w tej przygodzie, jaką jest budowa polskiej metrologii i o wspólną pracę na rzecz jej rozwoju w latach, które przed nami.

Szanowni Państwo,
drugie stulecie Głównego Urzędu Miar ogłaszam za otwarte.





niepodległa

POLSKA
STULECIE ODZYSKANIA
NIEPODLEGŁOŚCI



Dokładnie 100 lat – jubileusz Głównego Urzędu Miar

Były gratulacje od przedstawicieli władz państwowych i gości zagranicznych, najwyższe odznaczenia prezydenckie, występy artystyczne, a nawet tort. Tak Główny Urząd Miar uczcił 100-lecie istnienia w Sali pod Kopułą w Ministerstwie Przedsiębiorczości i Technologii.



Pierwszego kwietnia 2019 r. Sala pod Kopułą zamieniła się w centrum wydarzeń, związanych z jubileuszem Głównego Urzędu Miar – instytucji od 100 lat stojącej na straży jednolitości miar w Polsce. W uroczystej konferencji wzięli udział przedstawiciele Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii, Kancelarii Prezydenta RP, wielu instytucji związanych z nauką i przemysłem, reprezentanci europejskich krajowych instytucji metrologicznych oraz światowych organizacji, zajmujących się metrologią. Na zaproszenie Kierownictwa GUM przybyli również naukowcy, emerytowani i obecni pracownicy GUM, a także byli członkowie Kierownictwa, w tym



prezesa urzędu. Z ust wszystkich obecnych można było usłyszeć życzenia kolejnych 100 lat owocnej działalności, pozostającej w silnym związku z nauką, nowoczesnymi technologiami i sektorem przemysłowym. Listy gratulacyjne z tej okazji przesłali na ręce prezesa Macieja Dobieszewskiego Prezes Rady Ministrów Mateusz Morawiecki, Marszałek Sejmu Marek Kuchciński, Wojewoda Mazowiecki Zdzisław Sipiera oraz Dyrektor NIST (amerykańskiego Narodowego Instytutu Wzorców i Technologii) dr Walter G. Copan. Nie zabrakło również wystąpień gości zagranicznych, reprezentujących europejskie krajowe instytucje metrologiczne oraz światowe organizacje.

Podczas wystąpienia otwierającego konferencję **p.o. Prezesa GUM Pan Maciej Dobieszewski** powiedział, że *Metrologia 100 lat temu miała przede wszystkim zapewnić bezpieczeństwo techniczne jednolitości obrotu gospodarczego.*

Natomiast w dzisiejszych czasach to jest w coraz większym stopniu jeden z motorów postępu technologicznego i innowacji.

Ważnym momentem konferencji było wręczenie przez **Szefa Kancelarii Prezydenta RP Halinę Szymańską** wysokich odznaczeń państwowych zasłużonym byłym pracownikom urzędu.

Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski odznaczeni zostali **dr inż. Andrzej Gizmajer** i **dr inż. Włodzimierz Lewandowski**.

Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski uhonorowano **Magdalenę Klarner-Śniadowską** i **Ewę Mączewską**.





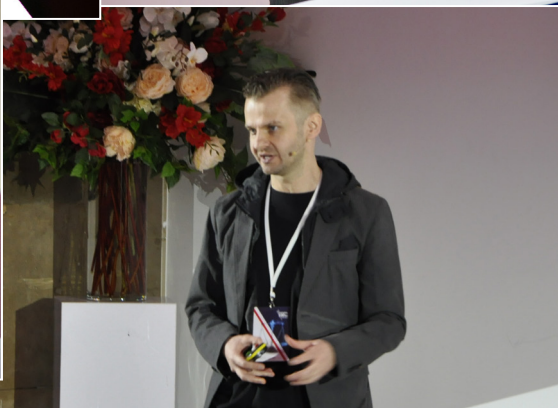
Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski otrzymała również **prof. Ewa Bulska** z Uniwersytetu Warszawskiego, Przewodnicząca Rady Metrologii.

Dla wszystkich gości przygotowano zestaw okolicznościowych publikacji, wydanych specjalnie na jubileusz 100-lecia: „Słownik biograficzny pracowników Głównego Urzędu Miar” Magdaleny Klarner-Śniadowskiej i Barbary Piotrowskiej, „100 lat Głównego Urzędu Miar” dr. Andrzeja Barańskiego i broszurę „Zeszyt Historyczny” z artykułami kilkunastu autorów – głównie pracowników polskiej administracji miar.

W sesji metrologicznej zebrani goście wysłuchali następujących referatów:



- *Kwantowy efekt Halla i redefinicja SI* – **prof. Klaus von Klitzing**, Instytut Maxa Plancka, laureat nagrody Nobla.
- *Metrologia a gospodarka* – prezentacja pokazująca relację inwestycji w metrologię vs. zysk finansowy dla kraju: **Erkki Ikonen**, VTT – Euramet – EMPIR.
Z referatami wykraczającymi poza ramy klasycznej metrologii wystąpili:
- *Granice technologii i sztucznej inteligencji* – **dr Aleksandra Przegalińska** – Massachusetts Institute of Technology (MIT) / Akademia Leona Koźmińskiego.
- *Fizyka kwantowa – Najdziwniejsza litera na świecie: h* – **dr hab. Andrzej Dragan** – Uniwersytet Warszawski.

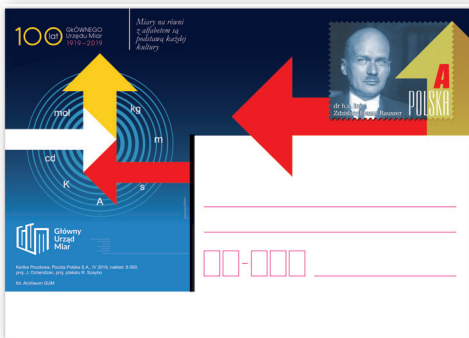




W części artystycznej wystąpili skrzypaczka Agnieszka Flis (Agnes Violin) oraz czteroosobowa grupa taneczna Patman Crew.



Główny Urząd Miar jest w gronie instytucji, które uczestniczą w akcji „Niepodległa”, a więc informują za pomocą strony prowadzonej przez MKiDN o organizowanych wydarzeniach. Znajduje się tam „Kalendarz oficjalnych obchodów stulecia odzyskania przez Polskę niepodległości.” Obchody 100-lecia GUM zostały wpisane w ogólnonarodowe obchody setnej rocznicy odzyskania przez Polskę niepodległości.



29 marca 2019 r., kilka dni przed konferencją z okazji 100-lecia GUM, miały miejsce szczególne symboliczne wydarzenia, upamiętniające dostojny jubileusz i ludzi, którzy zapisali się w historii administracji miar.

Rano przedstawiciele Kierownictwa GUM złożyli kwiaty na grobie pierwszego dyrektora Głównego Urzędu Miar – dr. inż. Zdzisława Rauszera. Tego samego dnia, w Kościele św. Antoniego z Padwy przy ul. Senatorskiej 31 odbyła się msza św. z okazji 100-lecia GUM. W mszy św. uczestniczyli aktualni oraz byli pracownicy Urzędu, jak również przyjaciele GUM.

Po mszy, w siedzibie Głównego Urzędu Miar odbyło się spotkanie byłych pracowników GUM z przedstawicielami Kierownictwa Urzędu. Emerytowanym pracownikom GUM wręczono komplet publikacji wydanych z okazji 100-lecia: „Słownik biograficzny pracowników GUM”, „Zeszyt historyczny” i „100 lat Głównego Urzędu Miar”.

Choć główna uroczystość jubileuszu 100-lecia GUM jest już za nami, to 20 maja, w Światowym Dniu Metrologii, planowany jest piknik dla pracowników GUM, administracji miar i administracji probierczej.



Obchody regionalne 100-lecia administracji miar

8 lutego	OUM w Krakowie	10 maja	OUM w Poznaniu
22 lutego	OUM we Wrocławiu	24 maja	OUM w Gdańsku
12 kwietnia	OUM w Szczecinie	31 maja	OUM w Katowicach
26 kwietnia	OUM w Bydgoszczy	7 czerwca	OUM w Łodzi
		14 czerwca	OUM w Białymstoku i OUM w Warszawie

8 lutego



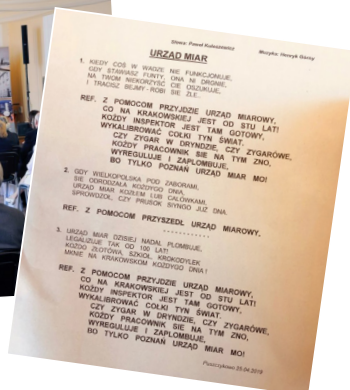
22 lutego



12 kwietnia



26 kwietnia



10 maja



Analiza strategiczna polskiego projektu wagi Kibble'a

Strategic analysis of the Polish project of Kibble balance

Tadeusz Szumiata, Maciej Dobieszewski, Andrzej Hantz, Wojciech Wiśniewski, Jerzy Szutkowski, Arkadiusz Podgórn, Mariusz Janeczko

Główny Urząd Miar, w wyniku konsultacji z polskim środowiskiem przemysłowym i akademickim, podjął decyzję o powstaniu zespołu roboczego, którego głównym celem było przeprowadzenie analizy celowości budowy w Polsce wagi Kibble'a wg niezależnego projektu. Inicjatywa ta nawiązuje bezpośrednio do postanowień BIPM, których celem jest ostateczne odejście od dotychczasowego wzorca masy, będącego materialnym artefaktem i zastąpienie go wzorcem opartym na zjawiskach fizyki klasycznej i kwantowej. Zespół wskazał główne argumenty przemawiające za bezpośrednim zaangażowaniem się w prace związane ze skutkami redefinicji kilograma. Za główny powód uznano oczywiste przekonanie, że nowoczesna metrologia jest motorem rozwoju gospodarki narodowej. Poza tym Polska, uznawana za kraj będący liderem regionu Europy Środkowo-Wschodniej i jeden z filarów Unii Europejskiej, nie może pozostawać w tyle za krajami wysoko rozwiniętymi i rozwijającymi się na różnych kontynentach, które już zaczęły opracowywać własne projekty wag Kibble'a. Przeprowadzona analiza strategiczna polskiego projektu obejmowała wybór właściwej koncepcji, sporządzenie szacunkowego kosztorysu i terminarza działań, wskazanie najistotniejszych wyzwań technicznych oraz potencjalnych źródeł finansowania projektu, jak również zarysowała perspektywy realizacji tego przedsięwzięcia w oparciu o przemysł krajowy i współpracę międzynarodową.

The Central Office of Measures, after consultations with Polish industrial and academic environment, decided to create a working team whose main goal is to analyse the purposefulness of constructing the Kibble balance in Poland according to an independent project. This initiative refers directly to the provisions of the BIPM, the aim of which is to definitively move away from the existing mass standard, which is a material artefact, and replace it with a model based on the phenomena of classical and quantum physics. The team pointed out the main arguments for direct involvement in work related to the effects of the kilogram redefinition. The main reason is the obvious conviction that modern metrology is the driving force for the development of the national economy. In addition, Poland, considered as a country that is a leader of Central and Eastern Europe and one of the pillars of the European Union, can not be left behind highly developed and developing countries on various continents that have already started to develop their own Kibble balances. The strategic analysis of the Polish project includes the choice of the right concept, preparation of an costing estimate and schedule of activities, an indication of the most important technical challenges and potential sources for the project financing as well as outlining the perspectives for the implementation of this project based on domestic industry and international cooperation.

Wprowadzenie

Konieczność zastąpienia dotychczasowego wzorca kilograma, w postaci artefaktu, jest już niekwestionowanym paradygmatem w międzynarodowym środowisku metrologicznym. Pierwotną motywacją do tego radykalnego zwrotu w podejściu do metrologii masy stał się fakt wykrycia znaczących fluktuacji masy Międzynarodowego Prototypu Kilogramu IPK (International Prototype of the Kilogram), utrzymywanego w Międzynarodowym Biurze Miar BIPM (Bureau International des Poids et Mesures)

w Sèvres pod Paryżem. Ten platynowo-irydowy walec (Le Grand K), o wysokości równej średnicy wynoszącej ok. 39 mm, zaczął wykazywać odmienne trendy zmiany masy niż inne kopie porównawcze [1, 2]. Było to sygnałem ostrzegawczym, motywującym do rozpoczęcia prac nad nowym wzorcem kilograma, który docelowo opierałby się na zjawiskach i stałych fizycznych, a nie na jednym, nadrzędnym obiekcie materialnym. Pierwsza poważna rekomendacja tego typu działań pojawiła się podczas 23. Generalnej Konferencji Miar CGPM (General Conference on Weights and Measures) w 2007 roku [2].

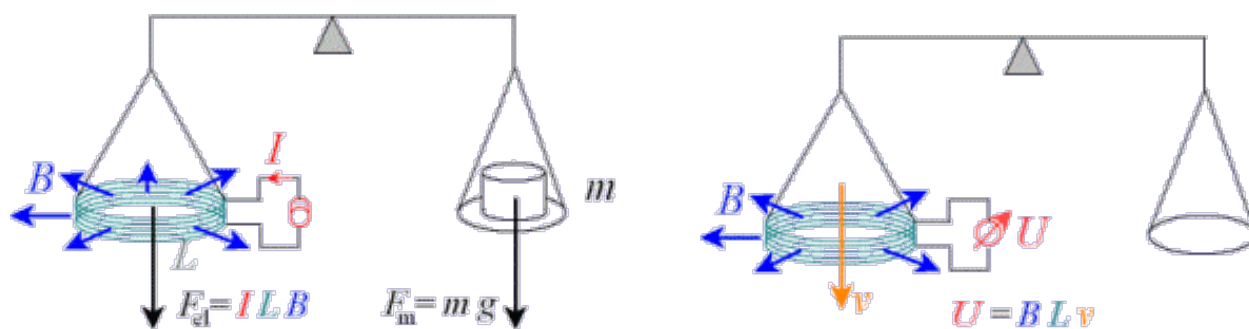
Warunki strategii metrologicznej dochodzenia do redefinicji wzorca kilograma ustalono podczas 12. posiedzenia CCM BIPM (Consultative Committee for Mass and Related Quantities) w 2010 roku [3]. W wyniku analiz i dyskusji zrodziły się dwie alternatywne koncepcje realizacji nowego wzorca kilograma: jedna odnosząca się do stałej Plancka h , a druga – do stałej Avogadro N_A [2]. Po kilku latach prób i weryfikacji zwyciężyło przekonanie, że tzw. „projekt Avogadro” jest mniej perspektywiczny, ponieważ po części opiera się wciąż na artefakcie – w tym przypadku w postaci precyzyjnie wykonanej kuli krzemowej, przy czym barierą nie do pokonania okazało się uzyskanie odpowiedniej czystości izotopowej krzemu oraz jednorodności struktury krystalicznej monokryształu. Z tego względu zdecydowano, by skoncentrować się przede wszystkim na pierwszej idei, której skonkretyzowaną formą jest konstrukcja tzw. wagi Kibble’a (zgodnie z zaleceniami BIPM dawna nazwa watt balance została zastąpiona nazwą Kibble balance, na cześć niezjącego twórcy tego rozwiązania Bryana Kibble’a z National Physical Laboratory w Wielkiej Brytanii). Jej działanie opiera się na elementarnych prawach mechaniki (równowaga sił) i elektrodynamiki (siła elektrodynamiczna oraz prawo indukcji Faradaya). Dla zapewnienia odpowiedniej precyzji pomiarów praktyczna realizacja wagi Kibble’a wymaga wykorzystania kwantowych wzorców wielkości elektrycznych (w oparciu o efekt Josephsona i kwantowy efekt Halla [4]). Takie wzorce istnieją od dawna i są powszechnie wykorzystywane w praktyce metrologicznej. Stąd wynika kolejna motywacja do prac nad nowym wzorcem kilograma. Jeśli bowiem odniesiemy go do kwantowych wzorców wielkości elektrycznych (napięcia, oporu elektrycznego czy prądu), to zapewnimy spójność metrologiczną jednostek mechanicznych i elektrycznych. A zatem redefinicji kilograma towarzyszy redefinicja znacznej części układu jednostek SI [5]. Wspomniane zmiany zostały już usankcjonowane podczas historycznej 26. Generalnej Konferencji Miar CGPM, która odbyła się

w Wersalu w dniach 13–16 listopada 2018 roku. W ostatnim dniu obrad, 16 listopada przegłosowano rezolucję redefiniującą układ SI. Dokument, zredagowany w języku francuskim i angielskim [6], nie narzuca sposobu realizacji jednostek miar, ale wiąże je z ustalonymi wartościami kilku głównych stałych podstawowych. Jednostka masy kilogram została powiązana ze stałą Plancka h (podstawową stałą fizyki kwantowej), chociaż w rzeczywistości konieczne jest też odniesienie jej do innych stałych (między innymi do prędkości światła c oraz częstości cezowej $\Delta\nu_{Cs}$).

Zachodzące obecnie rewolucyjne zmiany w światowej metrologii nie powinny być biernie obserwowane przez polskie środowisko metrologiczne. Z tego względu Główny Urząd Miar, w porozumieniu z przedstawicielami polskiego przemysłu oraz polskich uczelni i instytutów badawczych, podjął decyzję o powołaniu Zespołu Roboczego, którego celem jest strategiczna analiza celowości opracowania polskiego projektu wagi Kibble’a. Pozytywna rekomendacja będzie równoznaczna z przekształceniem się Zespołu w grupę nadzorującą realizację projektu. Wyniki analizy strategicznej projektu zostały przedstawione w dalszej części artykułu. Analiza obejmowała m.in. przegląd analogicznych projektów już realizowanych na świecie, sprecyzowanie założeń projektu polskiego, sporządzenie szacunkowego kosztorysu, wstępnego harmonogramu działań oraz wskazanie źródeł finansowania. Sporządzono krytyczną ocenę celowości i wykonalności projektu oraz sformułowano rozstrzygające konkluzje.

Projekty na świecie – przegląd

Ogólny schemat działania wagi Kibble’a przedstawia rys. 1 w jej dwóch trybach pomiarowych (na stronie internetowej BIPM określanych jako weighing i moving), które zostaną szczegółowo omówione poniżej.



Rys. 1. Schemat działania wagi Kibble’a w dwóch trybach pomiarowych (weighing i moving).
 Ilustracja ze strony internetowej BIPM
<https://www.bipm.org/en/bipm/mass/watt-balance/>



Projekt NIST (amerykański)

Jeden z najbardziej zaawansowanych i najlepiej udokumentowanych projektów wagi Kibble'a jest realizowany w National Institute of Standards and Technology (NIST) w USA. Na jego przykładzie przedstawiona zostanie istota działania wagi, bazująca na pomysle Bryana Kibble'a z 1975 r. [7, 8].

W uproszczeniu zasada działania układu amerykańskiego opiera się na równoważeniu się siły grawitacyjnej, powstałej na skutek położenia masy badanej, z siłą elektrodynamiczną, wytworzoną w elektromagnesie przymocowanym do drugiego ramienia wagi, co pokazuje równanie (1), stanowiące ilościowy opis działania urządzenia w pierwszym trybie pomiarowym. W równaniu tym m jest masą badaną, g jest przyspieszeniem ziemskim, B natomiast indukcją magnetyczną pola magnetycznego, wytwarzanego przez układ magnesów stałych lub elektromagnes, a L jest długością uzwojenia cewki. Iloczyn $B \cdot L$ wyznacza się w drugim trybie pomiarowym, podczas którego mierzy się napięcie indukowane w cewce na skutek jej ruchu względem magnesu. Zmierzone w ten sposób napięcie jest dane wzorem (2), w którym v oznacza prędkość cewki wewnątrz magnesu. Wstawiając jeden wzór do drugiego, otrzymujemy finalną formułę (3) na masę badaną [9].

$$mg = BL \cdot I \quad (1)$$

$$U = BL \cdot v \quad (2)$$

$$m = \frac{U \cdot I}{g \cdot v} \quad (3)$$

Projekt ten z biegiem lat ulegał zmianom i rozwojowi, jednak Amerykanie przyjęli strategię, aby każdą głębszą zmianę wprowadzać w wybudowanym od nowa urządzeniu, którym zajmował się nowy zespół, utrzymując przy tym wersję poprzednią [10]. W ten sposób powstało kilka generacji amerykańskiej wagi Kibble'a, różniących się szczegółami i zespołem ludzi, opiekujących się nimi. Najnowszą, powstałą w 2014 roku, jest wersja czwarta o nazwie NIST-4, która przed budową była projektowana przez trzy lata [11]. Zespół amerykański w kolejno wydawanych publikacjach opisywał nie tylko szczegóły konstrukcyjne fragmentów projektu poszczególnych generacji oraz ich osiągi, ale również odnosił się do takich kwestii, jak:

- analiza zmian krótko- i długofalowych przyspieszenia ziemskiego w bezpośrednim otoczeniu badanej masy, w celu uzyskania niepewności jej pomiaru w czasie działania wagi nie większej niż 45 nm/s^2 [12], wraz z teoretycznym modelowaniem jego rozkładu w zależności od rozmieszczenia komponentów wagi [13];

- wpływ wibracji mechanicznych podłoża i silników o częstotliwości rzędu 30 Hz na aparaturę poprzez pomiar częstotliwości rezonansowej mechanicznych drgań własnych, co wymusiło próbkowanie sygnałów mierzonych (napięcie i prędkość) z częstotliwością nie mniejszą niż 120 Hz [11];
- wzorcowanie użytych rezystorów (dla NIST-4 są to 100 Ω oporniki), wychodząc od kwantowego efektu Halla i minimalizując niepewność tego procesu tak, aby finalnie otrzymać standardową niepewność względną nie większą niż $5 \cdot 10^{-9}$ [14];
- opis programowalnych bipolarnych źródeł prądowych w NIST-3 i NIST-4, izolowanych galwanicznie od potencjału ziemi (rezystancja $>10^{12} \Omega$; zakres regulacji $\pm 20 \text{ mA}$ przy napięciu 18 V; szum prądowy na poziomie nie większym niż 100 pA $\sqrt{\text{Hz}}$ przy 1 Hz, gdy prąd nominalny wynosi 10 mA [15]);
- maksymalne uproszczenie konstrukcji w celu zminimalizowania liczebności personelu niezbędnego do obsługi, łatwego zrozumienia działania urządzenia i prostego sposobu powielania wzorca (powodem tych starań jest ułatwienie jego wytwarzania i zastosowania na całym świecie po zatwierdzeniu redefinicji kilograma [16]).

Kluczowymi elementami wagi w wersji NIST-4 są:

- jednorodny, jednoczęściowy, trójpalczasty aluminiowy „pająk” (spider), który został rotacyjnie oddzielony od drugiej strony wagi poprzez diamentowo szlifowane (diamond-turned) aluminiowe koło równoważące;
- koło równoważące o średnicy 609,6 mm (w wersji poprzedniej o nazwie NIST-3 koło to miało średnicę 610 mm), które wykonuje ruchy wahadłowe na krawędzi noża z węgliku wolframu, połączonego z elementem o nazwie Extremely Large Flexure (ELF), wykonanym z odpowiedniego materiału konstrukcyjnego; element ten jest jednorodny i zapewnia precyzyjny ruch postępowy w kierunkach X-Y, który jest niezbędny do dokładnego pozycjonowania cewki wewnątrz magnesu, natomiast środek masy koła jest ustawiony tak, aby znajdował się dokładnie pod krawędzią noża; nominalna prędkość liniowa cewki ruchomej to $975 \mu\text{m/s}$, na drodze 78 mm [17];
- główne strzemie, które jest zawieszone do środkowego punktu „pajaka”, obraca się niezależnie od zespołu pajaka i cewki – służy jako platforma do załadunku i rozładunku masy głównej i pomocniczej w obu trybach pracy;
- cewka miedziana z 928 zwojami o średnicy 0,435 m, która jest podwieszona na trzech identycznych sparowanych systemach „zagięć” (flexures) X-Y; cewka ta jest zawieszona w szczelinie powietrznej

o szerokości 30 mm i ma możliwość przesunięcia w pionie o ± 40 mm od pozycji ważenia wewnątrz magnesu;

- symetryczny w płaszczyźnie góra-dół magnes stały wraz z jarzmem, które umożliwia działanie magnesu w stanie „otwartym” i „zamkniętym”; dzięki symetrii magnesu gradient składowej radialnej pola magnetycznego zanika w płaszczyźnie symetrii. Wartość iloczynu indukcji magnesu i długości cewki równa $700 \text{ T} \cdot \text{m}$ została dobrana tak, aby minimalizować niepewność pomiaru. Więcej szczegółów dotyczących magnesu, w tym pełny opis jego konstrukcji (również opcji z magnesem nadprzewodzącym), można znaleźć w [18].

Cewka ruchoma w NIST-3 miała średnicę 70 cm i około 2400 zwojów, co powodowało, że jej masa wynosiła aż ok. 23 kg. Wersja NIST-4 ma cewkę o średnicy 43,5 cm i 928 zwojów (czyli około 1,4 km drutu), co znacząco zmniejsza jej masę. Zmniejszone gabaryty nowej cewki wymagają umieszczenia jej relatywnie dużej wartości indukcji pola (powyżej 0,5 T), co obecnie można łatwo osiągnąć dzięki nowoczesnym materiałom z magnesami trwałymi, takim jak Sm-Co lub Nd-Fe-B.

Jakość nowego wzorca masy w postaci wagi Kibble’a testuje się kładąc na niej dotychczasowe wzorce masy i wyznaczając wartości stałych Plancka h , które wynikają z zasady działania wagi oraz ze specyfiki kwantowych wzorców napięcia i rezystancji. Oficjalnie Amerykanie uzyskali, jak do tej pory, następujące wyniki pomiarów wartości stałej Plancka dla poszczególnych wersji wagi Kibble’a [17, 19]:

$$1) \quad h_{\text{NIST-2}} = 6,626\,068\,91 (58) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

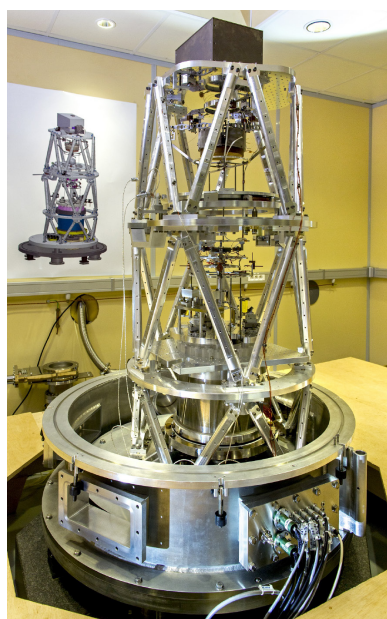
$$2) \quad h_{\text{NIST-3}} = 6,626\,069\,36 (37) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$3) \quad h_{\text{NIST-4}} = 6,626\,069\,934 (89) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Ostatni wynik, uzyskany za pomocą NIST-4, oparty jest na ponad 10 000 ważeniach mas o wartościach nominalnych od 0,5 kg do 2 kg wykonanych w ciągu dwóch lat, dzięki czemu jego względna niepewność standardowa to $13,5 \cdot 10^{-9}$. Oznacza to, że spełnia on wymogi narzucone przez Międzynarodowy Komitet Miar, a które uznano za niezbędne do przyjęcia redefinicji kilograma. Autorzy tego wyniku szacują, że po redefinicji niepewność względna pomiaru masy z użyciem ich sprzętu, wykonanego ze znacznie mniejszą ilością powtórzeń (równą typowej dla pomiarów w laboratoriach akredytowanych), będzie wynosić nie więcej niż $25 \cdot 10^{-9}$. Pełny budżet niepewności wyniku uzyskanego przez NIST-4 można znaleźć w [17].

Projekt BIPM (międzynarodowy)

Ze względu na szczególną rolę oddziaływania na światową metrologię Międzynarodowego Biura Miar (BIPM) w Sèvres pod Paryżem (Bureau International des Poids et Mesures) powstający tam projekt wagi Kibble’a jest niezmiernie ważnym punktem odniesienia w stosunku do pozostałych projektów. W odróżnieniu od projektu amerykańskiego BIPM zdecydował się na osiową, jednoramienną geometrię wagi Kibble’a, co upraszcza konstrukcję, ale generuje problemy z mechanicznym zrównoważeniem układu. Wybrana geometria ułatwia opcjonalne umieszczenie wagi w komorze próżniowej (rys. 2).



Rys. 2. Ogólny widok na wagę Kibble’a skonstruowaną w BIPM.
Zdjęcie ze strony internetowej BIPM
<https://www.bipm.org/en/bipm/mass/watt-balance/>

Konstruktorzy z BIPM informują ponadto o innowacyjnej koncepcji projektu, polegającej na symultanicznym realizowaniu obu trybów działania wagi [20], jednak szczegóły tego rozwiązania nie zostały podane w kompletnej formie. Zasygnalizowano przy tym, że obydwie, alternatywne koncepcje wagi Kibble’a (dwufazowa i symultaniczna) mają swoje specyficzne ograniczenia, a wciąż trwające porównywanie budżetów niepewności może przynieść jeszcze różne nieoczekiwane rozstrzygnięcia. Niewątpliwie godnymi uwagi są materiały internetowe na stronie BIPM, które ukazują detale, dotyczące projektu zoptymalizowanego obwodu magnetycznego, dedykowanego wadze Kibble’a [20, 21]. Dzięki zastosowaniu dwóch wysokiej klasy magnesów samarowo-kobaltowych w kształcie dysków oraz jarzma z miękkiego magnetycznie stopu Fe-Ni (zamiast stali) osiągnięto dużą jednorodność radialną pola magnetycznego w szczelinie (rzędu 10^{-4} na długości

ok. 40 mm), jego relatywnie wysoką wartość (rzędu 0,5 T), jak również stabilność termiczną oraz odporność na pola zewnętrzne (dzięki ekranowaniu). W opublikowanych niedawno artykułach [22, 23] częściowo wyjaśnia się kwestia, czym w praktyce może być wzmiankowany uprzednio symultaniczny cykl pracy. Otóż w rzeczywistości waga pracuje w dwóch trybach pomiarowych osobno, tylko że przez cewkę płynie prąd o tej samej wartości. Dzięki temu w obydwu przypadkach wpływ pola magnetycznego, pochodzącego od prądu cewki, na obwód magnetyczny, jest taki sam, co znacząco wpływa na dokładność pomiaru. Inną cechą wyróżniającą ten projekt jest zastosowanie siłowników elektrostatycznych do poruszania cewką. Dzięki temu uzyskano nie tylko wyjątkową precyzję ruchu cewki, ale również wyeliminowano wpływ pól magnetycznych, które wytwarzane są przez konwencjonalne silniki cewkowe. Również w przypadku układu optycznego do śledzenia położenia i prędkości cewki zdecydowano się na zastosowanie najbardziej zaawansowanych technicznie interferometrów laserowych.

Projekt UME (turecki)

Krajowy Instytut Metrologiczny w Turcji (National Metrology Institute / Ulusal Metroloji Enstitüsü, UME) zastosował specyficzne, innowacyjne podejście do projektu wagi Kibble’a. System kompensacji siły składa się z pełnozakresowej wagi Mettler Toledo PR 10003 oraz szalki zaprojektowanej tak, by wkładać wzorce odniesienia [24]. Do wagi przymocowana jest nieruchoma cewka umieszczona w polu magnetycznym. Cewka połączona jest z ramą wspornika za pomocą trzech niemagnetycznych pręcików, które są rozmieszczone w jednakowych odległościach dookoła karkasu cewki.

W przedstawionych poprzednio projektach wag Kibble’a z ruchomym elementem była cewka, natomiast w tej wersji jest nią magnes, a ściślej obwód magnetyczny z magnesami stałymi. Jest to zoptymalizowany obwód magnetyczny typu zamkniętego, promieniście symetryczny. Zaprezentowana w publikacji [25] konfiguracja obwodu jest analogiczna do tej, zastosowanej w projekcie amerykańskim NIST-4, z jedną znaczną różnicą – wymiary we wszystkich kierunkach przestrzennych zostały zredukowane 3-krotnie. Przeskalowanie geometrii obwodu zostało zrealizowane w taki sposób, żeby zachować w obwodzie z projektu UME takie same wartości pól magnetycznych, jak w obwodzie z projektu amerykańskiego NIST-4, który wytwarza radialne pole magnetyczne o indukcji $B = 0,55$ T w środku szczeliny powietrznej. Geometria wagi Kibble’a w projekcie UME ma liczne zalety, ponieważ jedynym elementem ruchomym jest obwód magnetyczny sprzężony z siłownikiem. Na obecnym etapie rozwoju

projektu UME waga Kibble’a przystosowana jest do realizacji wzorca 0,1 kg.

Projekt NPL (brytyjski)

Już w pierwszych latach XXI wieku w National Physical Laboratory (NPL) w Wielkiej Brytanii rozpoczęło pracę nad wagą Kibble’a w ramach projektu Mark II. Waga ta charakteryzowała się bardzo solidną, wielkobarytową konstrukcją w konfiguracji dwuramiennej i została wyposażona w komorę próżniową [26]. W 2009 roku NPL podjął decyzję o przekazaniu swojej wagi Mark II do kanadyjskiego National Research Council – Institute for National Measurement Standards (NRC-INMS) w Ottawie. Dzięki temu nowy, niezależny zespół naukowców i inżynierów mógł przejąć rozpoczęty projekt i realizować go, wnosząc dodatkowe metody oraz rozwiązania techniczne, które mają zapewnić pożądany poziom powtarzalności i odtwarzalności wzorca 1 kg.

W ostatnich latach zarząd NPL zdecydował się na całkowitą zmianę strategii projektowej, dotyczącej wagi Kibble’a. Inspiracją stała się praca [8] opublikowana w roku 2014, której współautorem był Bryan Kibble. Jej tytuł “Principles of a new generation of simplified and accurate watt balances”, w pełni oddaje istotę nowego podejścia. Przewiduje ono maksymalne uproszczenie konstrukcji, obniżenie kosztów wytwarzania oraz komercjalizację wagi Kibble’a, jako produktu handlowego. Do niedawna szczegóły techniczne projektu nie były publicznie ujawniane. Jednak wiosną 2018 roku projekt został zaprezentowany oficjalnej delegacji GUM wizytującej NPL. Ponadto, w tym samym czasie NPL przedstawił swój projekt na Międzynarodowej Konferencji Metrologicznej i wystawie Euspen 2018 w Wenecji. Dzięki uczestnictwu w tej konferencji pracowników Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, możliwe było uzyskanie szczegółowego opisu demonstracyjnej wersji kompaktowej wagi Kibble’a z NPL w materiałach konferencyjnych [27]. Całkowita wysokość wagi wynosi ok. 45 cm, a jej głównego mechanizmu – 30 cm. Waga pracuje w konfiguracji pionowej, ma geometrię osiową i nie wymaga użycia komory próżniowej. Zastosowanie cewek ze zdwojonym uzwojeniem (bi-filar winding) pozwoliło na prawie jednoczesny pomiar prądu równoważenia i napięcia indukcji w fazie ruchu pomiarowego (single-mode, dual-phase). Najprawdopodobniej, to rozwiązanie pozwoliło również na uniknięcie konieczności zastosowania dodatkowego komparatora masy do wstępnego tarowania (równoważenia) masy ruchomego mechanizmu pionowego. Ponadto stabilność jego ruchu, a zwłaszcza wyeliminowanie poziomej składowej prędkości, uzyskano optymalizując konstrukcję sprężynowych

przewodnic planarnych (flexure strips) metodą elementów skończonych.

Na obecnym etapie rozwoju miniaturowej wersji wagi Kibble'a z NPL typowy zakres komparacji masy to (100–200) g. Jednym z powodów braku możliwości komparacji pełnego kilograma było zastosowanie, konieczne z powodów konstrukcyjnych, lekkiego tworzywa sztucznego typu PEEK (polieteroeteroketon) do wykonania uchwytu na odważniki. Dzięki temu układ został znacząco odciążony oraz zmniejszona została jego efektywna podatność magnetyczna, ale użyty materiał okazuje się zbyt miękki, by móc dostatecznie precyzyjnie określać położenie mechanizmu pionowego. Zgodnie z wcześniejszymi zapewnieniami zespołu NPL, który pracuje nad projektem, w nieodległej przyszłości (około roku 2020) będzie jednak możliwe „przeskalowanie” konstrukcji zarówno na obszar większych mas (w tym 1 kg), jak i zakres mikro-mas i mikro-sił [28]. Zapewnienia te nie zostały jednak potwierdzone podczas ostatnich wizyt roboczych przedstawicieli polskiego środowiska metrologicznego w NPL. Ponadto podczas historycznej konferencji CGPM 2018 w Wersalu (Conférence Générale des Poids et Mesures), redefiniującej układ SI, została zaprezentowana kolejna wersja wagi Kibble'a z NPL, jeszcze bardziej kompaktowa niż poprzednie. Nie znane są jednak jej parametry, a zwłaszcza budżet niepewności i zakres pomiaru masy. Nie wiadomo też, czy docelowe parametry waga osiągać będzie w powietrzu czy w próżni. Nie jest też pewne, czy w ogóle do tego modelu wagi będzie można dorobić komorę próżniową oraz w jakim stopniu NPL będzie skłonny udostępniać technologiczny know-how i udzielać zgodę na działania komercjalizacyjne.

Projekt LNE (francuski)

Francuski Krajowy Instytut Metrologiczny LNE (Laboratoire National de Métrologie et d'Essais) w Trappes pod Paryżem realizuje swój własny projekt wagi Kibble'a na potrzeby francuskiej metrologii masy. Koncepcja konstrukcyjna urządzenia bardzo przypomina projekt z BIPM, więc nie będą tu przytaczane szczegółowe opisy, zdjęcia i schematy – dostępne m.in. w [28, 29]. Warto jednak podkreślić kilka cech charakterystycznych tego projektu. Otóż w celu wstępnego wytarowania ciężaru zawieszenia wagi stosuje się prostą, mechaniczną belkę dwustronną i odpowiednią „przeciwmasę” – zamiast układu z próżniowym komparatorem masy (jak w BIPM). W drugim trybie pomiarowym usztywnia się belkę, która tym samym staje się jedną całością układu wykonującego ruch wahadłowy wraz z cewką. Konstrukcja została zoptymalizowana na zakres ważenia 0,5 kg, co nie stanowi istotnego problemu, gdyż jest to wciąż oczekiwany rząd wielkości. Ze względu na wciąż trwające prace, które mają

zapewnić tej wadze prawidłowe funkcjonowanie w próżni, do tej pory przeprowadzono w LNE pomiary jedynie w powietrzu w warunkach stałego ciśnienia, osiągając rekordowo małe niepewności [28]. Jednakże realizacja tego eksperymentu w komorze stałociśnieniowej wymagała użycia niezmiernie precyzyjnych i drogich przyrządów do monitorowania parametrów gazu (temperatury, ciśnienia, wilgotności itp.), które zapewniały stabilną pracę interferometru mierzącego położenie i prędkość cewki.

Wizyty robocze, które odbył jeden z autorów niniejszego opracowania (T. Szumiata), zarówno w BIPM, jak i w LNE (kilka dni po zakończeniu 26. CGPM) pozwoliły ustalić wiele istotnych szczegółów technicznych dotyczących różnych aspektów działania wag Kibble'a w obydwu ośrodkach. Niektóre z przytoczonych wniosków i informacji częściowo weryfikują wiedzę dostępną w literaturze i przedstawioną w niniejszym artykule, zwłaszcza w odniesieniu do projektu z BIPM.

- Wspomniano wcześniej, że w wadze BIPM stosowany był dotychczas siłownik elektrostatyczny, który dzięki braku pola magnetycznego miał być neutralny dla mechanizmu ważącego. Niestety okazało się, że jest on zbyt słaby, za bardzo nieliniowy i niewygodny ze względu na konieczność sterowania wysokim napięciem. Wobec tego zarówno w BIPM, jak i w LNE wagi Kibble'a są obecnie przystosowywane do pracy z elektromagnetycznymi silnikami krokowymi lub liniowymi.
- Pozyskano wiedzę, że do prawidłowego i wygodnego funkcjonowania wagi Kibble'a potrzebny jest osobny, dedykowany (np. z NIST) wzorzec kwantowy napięcia elektrycznego (oparty na matrycy złącz Josephsona w kriostacie z ciekłym helem). Do obwodu prądowego nie stosuje się jednak osobnego wzorca kwantowego oporu elektrycznego (opartego na kwantowym efekcie Halla), ze względu na konieczność stosowania niższych temperatur od ciekłego helu i bardzo silnych pól magnetycznych z magnesów nadprzewodzących. Silne pola magnetyczne są trudne do długiego utrzymywania i mają niekorzystny wpływ na funkcjonowanie samej wagi Kibble'a. W tym przypadku lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie opornika wzorcowego, utrzymanego w komorze klimatyzowanej. Oczywiście potrzebne jest dedykowane, wysokostabilne źródło prądowe (np. z NIST) i drugi, kwantowo-kriogeniczny wzorzec napięcia do pomiaru różnicy potencjału na oporniku. Należy podkreślić, że wystarczająco stabilną częstotliwość odniesienia dla mierników częstotliwości przy złączach Josephsona oferuje składowa 10 MHz ze standardowego sygnału GPS.
- W wadze Kibble'a z BIPM stosuje się tzw. równoległy tryb pracy, tzn. pomiaru napięcia indukcji dokonuje



się przy płynącym prądzie cewki o wartości takiej samej w obu fazach pomiarowych. Dzięki temu wpływ pola magnetycznego od cewki na obwód magnetyczny z magnesami stałymi jest taki sam. Trudnością w tym przypadku jest jednak precyzyjne odróżnienie napięcia na oporze omowym cewki od napięcia indukcji. Z tego względu w projekcie z LNE zrezygnowano z takiego rozwiązania technicznego.

- Pomiar, teoretycznie stałego, napięcia indukcji wymaga jednak odseparowania składowej zmiennej, wynikającej z niejednorodności składowej radialnej pola magnetycznego i niejednostajności ruchu cewki. Wykorzystuje się do tego celu precyzyjny woltomierz AC.
- Ze względu na dużą stabilność temperatury w komorze próżniowej wagi Kibble'a w obwodach magnetycznych wystarczy zastosować standardowe magnesy Sm-Co bez dodatku Gd lub innych ziem rzadkich (zapewniających lepszą stabilność temperaturową remanencji dzięki współzawodnictwu oddziaływań ferromagnetycznych i antyferromagnetycznych). Nie ma też konieczności stosowania bocznikowania magnetycznego ani dedykowanych, miękkich materiałów magnetycznych o podwyższonej stabilności temperaturowej przenikalności magnetycznej do konstrukcji korpusu obwodu magnetycznego (wystarczy odlewane żelazo lub stop żelaza z niklem).
- Zmniejszenie wpływu drgań zewnętrznych na wagę Kibble'a w BIPM realizuje się poprzez umieszczenie jej na bloku betonowym odizolowanym od spodniej części fundamentu warstwą piasku. Rozwiązanie to może w przyszłości okazać się niewystarczające ze względu na planowaną budowę linii metra pod wzgórzem Sèvres. W LNE-Trappes zbudowano osobny, odizolowany fundament dla wagi Kibble'a w postaci płyty z czterema filarami o długości 12 m. System potrójnych ścian („pomieszczenia w pomieszczeniach”) oraz nieturbulentny przepływ powietrza w rurach klimatyzacyjnych o bardzo dużej średnicy redukują drgania przedostające się przez środowisko gazowe. Fundament i pozostałe rozwiązania antywibracyjne w LNE-Trappes potwierdzają swoją skuteczność poprzez fakt, że nie obserwuje się istotnego wpływu ruchliwej ulicy i linii kolejowej, znajdującej się stosunkowo blisko.
- Nieodzowność pomiaru dokładnej wartości (jak i niejednorodności przestrzennej oraz ewolucji czasowej) przyspieszenia ziemskiego w pobliżu wagi Kibble'a w BIPM zapewnia grawimetria realizowana przez podmioty zewnętrzne. Grawimetr ustawiany jest w sąsiednim pomieszczeniu, niestety z konieczności na bloku betonowym o mniejszych gabarytach niż ten pod wagą Kibble'a. W przypadku LNE jest to

dokładnie bliźniacze pomieszczenie z identycznym fundamentem, na którym cały czas spoczywa bezwzględny grawimetr nowej generacji oparty na spadku swobodnym zimnych atomów. Do pomiaru gradientów pola grawitacyjnego stosuje się ultraczułe, względne grawimetry nadprzewodnikowe. W celu uzyskania dostatecznej precyzji pomiarów uwzględnia się poprawki pływowe zależne od czasu oraz „samoprzyciąganie” grawitacyjne ciężkich elementów konstrukcji wagi.

- Jak już wspomniano, zarówno w BIPM jak i w LNE, pomiaru prędkości ruchu i położenia cewki dokonuje się metodą interferometrii optycznej o podwyższonej precyzji, przy czym w samej wadze Kibble'a instaluje się jedynie zwierciadełko, natomiast światło doprowadzane jest i odprowadzane światłowodami. Pozostałe elementy interferometru znajdują się w sąsiednim pomieszczeniu. Na uwagę zasługuje zwłaszcza laser Nd:YAG z linią zieloną (druga harmoniczna), którego układ optyczny (m.in. wraz z modulatorami elastoptycznymi i mieszaczem heterodynowym do interferometru) jest dedykowaną konstrukcją wieloelementową na osobnym stole optycznym. W celu kontroli ruchu w trzech kierunkach stosuje się trzy tory interferometryczne.
- Jednorodność odczuwanej przez cewkę radialnej składowej pola magnetycznego w szczelinie obwodu magnetycznego wymaga niezmiernie precyzyjnego pozycjonowania osi zawieszenia cewki i osi obwodu magnetycznego (z dokładnością do mikroradianów). Uzyskuje się to poprzez układ laserowy oraz zestaw małych obciążników równoważących.

Projekt PTB (niemiecki), czyli waga Plancka

Bardzo interesującym podejściem do redefinicji wzorców masy jest idea skonstruowania tzw. wagi Plancka wg projektu rozwijanego w ostatnim czasie przez niemiecki instytut metrologiczny PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) oraz Politechnikę w Ilmenau [30–33]. Nowatorska koncepcja polega na wykorzystaniu i zaadaptowaniu istniejącego siłownika elektromagnetycznego z komparatora masy. Mechanizm musi być jedynie uzupełniony o siłownik, który realizował będzie tryb autokalibracji indukcyjnej komparatora (tak, by stał się prawdziwą wagą Kibble'a). Amplituda ruchu musi być niewielka, ponieważ mechanizmy ważące komparatorów i obwodów magnetycznych nie są przystosowane do ruchu cewki daleko od położenia równowagi. Projekt przewiduje budowę szeregu „wag Plancka” na zakresy od 1 mg do 1 kg. Waga Plancka ma pracować w powietrzu, a nie w próżni, tak jak wyjściowy komparator, na bazie którego została wykonana. Powinien on być rozwiązaniem wyjątkowo

ekonomicznym i łatwym do komercjalizacji. Docelowa cena wagi Plancka może być nawet kilkaset razy mniejsza od tradycyjnej wagi Kibble'a dla 1 kg. Redukcja kosztów wynika nie tylko z wykorzystania mechanizmu komercyjnych komparatorów masy, ale również m.in. z braku konieczności stosowania kwantowych, kriogenicznych wzorców wielkości elektrycznych. Wystarczą standardowe wzorce wtórne dobrej klasy (wywzorcowane uprzednio w NMI). Redukcja wymagań technicznych wobec wagi Plancka jest możliwa dlatego, że z samego założenia nie ma być ona wykorzystywana do odtwarzania jednostki masy w krajowych instytutach metrologicznych, a jedynie do wzorcowania odważników (do klasy E1 włącznie). Jest urządzeniem atrakcyjnym dla producentów odważników, jak również dla lokalnych oddziałów krajowych urzędów miar i komercyjnych laboratoriów metrologicznych. Oznacza to także perspektywę dużego popytu na produkt. Cenę wagi Plancka zmniejsza również fakt, że do monitoringu ruchu cewki nie jest potrzebny wysokiej klasy interferometr laserowy, a nawet można sobie wyobrazić konstrukcję bez interferometru, tylko z indukcyjnym sprzężeniem zwrotnym (jak np. w standardowych wibratorach używanych w spektrometrii efektu Mössbauera). Przy założonym poziomie dokładności nie jest też konieczne posiadanie grawimetru. W zasadzie wystarczy jednorazowe wyznaczenie wartości lokalnej g w laboratorium.

Projekt polski – założenia

W przypadku podjęcia strategicznej decyzji o realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a stanie się konieczne podjęcie wielu decyzji szczegółowych, określających założenia realizacji tego projektu. Będą to kwestie dotyczące wyboru koncepcji technicznej, docelowej lokalizacji laboratorium masy, kosztorysu, harmonogramu roboczego oraz działań perspektywicznych.

Wybór koncepcji

Przegląd już realizowanych projektów wag Kibble'a w wiodących instytutach metrologicznych na świecie pokazuje różnorodność wariantów koncepcyjnych realizacji wag Kibble'a praktycznie w każdym aspekcie konstrukcyjnym (mechanicznym, geometrycznym, elektromagnetycznym, optycznym). Przystępując do projektu polskiego będzie trzeba rozstrzygnąć m.in. czy konstrukcja wagi powinna być dwuramienna, czy jednoramienna (osiowa). Wnioski wynikające z porównania koncepcji amerykańskiej i francuskiej nie są jednoznaczne. Amerykańska konstrukcja dwuramienna jest łatwa do wstępnego zrównoważenia mechanicznego dzięki dwuramienności realizowanej poprzez mechanizm kołowy

i dzięki przeciwmacie. W przypadku projektu francuskiego i tureckiego zasadniczy mechanizm ma jednoramienną geometrię osiową, co uniemożliwia bezpośrednią kompensację masy części ruchomej wagi. W tym przypadku kompensacja jest realizowana poprzez sprzężenie wagi Kibble'a z komparatorem masy. Jednakże geometria osiowa ma swoje zalety, ponieważ upraszcza konstrukcję i ułatwia pionizację. Ten argument można uznać za przesądający przy wyborze koncepcji. Godną rozpatrzenia jest wspomniana już francuska koncepcja symultanicznej pracy wagi Kibble'a. Należy zwłaszcza zastanowić się, czy przepuszczanie prądu przez cewkę faktycznie poprawi dokładność wzorcowania, bo choć prowadzi to do kompensacji efektów oddziaływania pola cewki na obwód magnetyczny, to jednocześnie utrudnia pomiar napięcia indukcji elektromagnetycznej. Kolejna kwestia to górna granica zakresu wzorców masy. Warto podkreślić, że projekt turecki obecnie obejmuje wyłącznie realizację wzorca 100 g. Nie jest to akceptowalna perspektywa docelowa, przy czym wariant ten może być potraktowany jako etap wstępny (przejściowy) w ramach polskiego projektu wagi Kibble'a, która powinna realizować finalnie wzorzec pełnego kilograma. Należy również wziąć pod rozwagę pewne szczególne rozwiązanie zaproponowane w projekcie tureckim. Otóż, jak już wspomniano w opisie tego projektu, w przeciwieństwie do wszystkich innych konstrukcji wag Kibble'a, w tym przypadku zrezygnowano z ruchomej cewki na rzecz ruchomego magnesu stałego (obwodu magnetycznego z magnezem stałym). Dzięki temu posunięciu masa części ruchomych zmniejszyła się, co pozwoliło znacząco zwiększyć prędkość ruchu cewki. W praktyce oznacza to większe napięcie indukcji i bardziej precyzyjny pomiar. Wydaje się jednak, że w przypadku pełnego zakresu wagi Kibble'a (do 1 kg) masa własna poruszanego obwodu magnetycznego byłaby na tyle duża, że nie dałoby się skorzystać z walorów wspomnianej koncepcji. Ostateczna decyzja o skorzystaniu lub odrzuceniu tej opcji zapadnie w wyniku dalszego rozeznania problemu i konsultacji z partnerami zagranicznymi. Konsultacje te będą dotyczyły również wielu innych kwestii technicznych, takich jak np. rodzaj zawieszania mechanizmu, układu do tłumienia drgań mechanicznych, jak również celowość adaptacji wagi Kibble'a do pracy w próżni. W przypadku doboru interferometrów laserowych, konieczne będzie ustalenie, czy do celów realizacji projektu wystarczy ich standardowa wersja (lekko zmodyfikowana), czy też pojawi się konieczność zastosowania zaawansowanych technicznie interferometrów.

Skrajnie odmiennym podejściem byłoby oparcie się o projekt brytyjskiego NPL (National Physical Laboratory), opisanym we wcześniejszej części niniejszego opracowania. Zgodnie z ofertą przedstawioną ostatnio przez NPL [34] istnieje możliwość zakupu gotowej, miniaturowej



wersji wagi Kibble'a w pakiecie z wielomiesięcznymi stażami szkoleniowymi dla dwóch osób. Koszt takiego rozwiązania wyniósłby około 3 mln złotych i pozornie wyeliminowałby potrzebę realizacji jakiegokolwiek polskiego projektu. Niestety, jak już wspomniano, obecnie w NPL dostępna jest jedynie waga na zakres subkilogramowy (100–200) g i nie ma żadnej pewności, czy w najbliższych latach NPL będzie w stanie zaoferować komercyjną wagę kilogramową oraz że cena będzie zbliżona do wagi subkilogramowej. Niewątpliwie wartościowym posunięciem byłoby odbycie stażu w NPL, podczas którego wnikliwie można by poznać wiele szczegółów technicznych działania wagi Kibble'a (w tym wielu wspólnych dla wszystkich dotychczasowych koncepcji). Niestety wymieniona kwota za staż z wymuszonym zakupem demonstracyjnej wagi może zostać uznana za zbyt wysoką, zwłaszcza, że za kilka lat konieczne byłoby wyasygnowanie zapewne jeszcze większej kwoty na docelową wagę kilogramową i docelowe szkolenie. Nawet gdyby uznać zakres masy (100–200) g za dogodny, to wciąż nie wiadomo, jaki będzie ostateczny budżet niepewności kolejnych, coraz bardziej kompaktowych rozwiązań z NPL i czy zajdzie konieczność eksploataowania oferowanej wagi w komorze próżniowej.

Nie można pomijać argumentów świadczących przeciw realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a na cały kilogram (lub zakres do niego zbliżony), ponieważ w tym przypadku wymagania technologiczne są ekstremalnie wysokie. Wiodące ośrodki metrologiczne na świecie zmagają się z tym zagadnieniem od ponad 10 lat i zbudowane do tej pory wagi Kibble'a nie są w stanie działać prawidłowo w sposób ciągły. Ponadto koszty, które pochłonęłyby prace rozwojowe, są trudne do oszacowania, ale mogą sięgać nawet kilkudziesięciu milionów euro. Polska zapewne nie byłaby w stanie wyasygnować takich środków, nie posiada dostatecznie doświadczonej kadry, a poza tym nie może sobie pozwolić na start od zera, mając kilkustoletnie opóźnienie. Dlatego rozsądnym rozwiązaniem jest, z jednej strony korzystanie z wag Kibble'a w wiodących ośrodkach na świecie, a z drugiej strony budowa polskich wag Kibble'a na zakres gramów i miligramów, co zapewniłoby znacznie lepszą dokładność realizacji wzorców. Taką sugestią sformułowało zarówno kierownictwo BIPM w Sèvres jak i LNE w Trappes. Wspomniany projekt najprawdopodobniej dałoby się zrealizować w okresie 5 lat, a jego koszt byłby nieporównywalnie mniejszy niż w przypadku wagi Kibble'a do 1 kg. Mimo to, nie jest to proste zadanie, zwłaszcza, gdy nie posiada się stałego, doświadczonego zespołu ludzkiego, który mógłby zajmować się wyłącznie tym problemem. Z tego też powodu nawet LNE przy realizacji swojego projektu będzie korzystało z kontaktów międzynarodowych, m.in. z NIST, w którym prowadzone są już zaawansowane prace

nad wagą Kibble'a dla małych mas. Dzięki wizycie przedstawiciela NIST z oddziału w Boulder (USA) w GUM, w październiku 2018 r. (w ramach spotkania Komitetu Technicznego Wielkości Elektrycznych), współautor artykułu, Tadeusz Szumiata, nawiązał robocze kontakty z oddziałem NIST w Gaithersburgu, gdzie mieści się amerykańska waga Kibble'a NIST-4 do realizacji 1 kg oraz tworzony jest zespół, który obecnie koordynować będzie prace nad wagami na mniejsze zakresy. Godną uwagi jest perspektywa wzajemnej wymiany doktorantów i doktorów między francuskim LNE a GUM. Ze strony LNE padła obecnie propozycja, żeby Polska włączyła się do wspólnego projektu małych wag Kibble'a na zasadzie oddelegowania np. 2–3 doktorantów lub młodych stażem doktorów z wiodących polskich uczelni. Stypendia powinna zapewnić strona Polska, natomiast strona francuska zapewni dostęp do wiedzy i doświadczenia, które Polska będzie mogła wykorzystać na swoim gruncie. Oznacza to przyzwolenie na budowę podobnych rozwiązań w Polsce oraz na korzystanie z urządzeń francuskich do celów wzorcowań. Główny Urząd Miar koordynowałby konkursową procedurę wstępnej rekrutacji doktorantów i doktorów, natomiast docelową grupę (najprawdopodobniej 3 osób) wyłoniłaby strona francuska. Wybrane osoby byłyby niezmiennie związane ze swoimi macierzystymi uczelniami w Polsce, natomiast badania wykonywałyby w LNE. Szacunkowe koszty czteroletnich stypendiów dla takiej grupy wyniosłby ok. 1,5 mln złotych. W pozyskiwaniu środków na stypendia aktywną rolę odgrywałby GUM. Finanse mogłyby pochodzić z rozszerzonego budżetu Urzędu, ale przede wszystkim z programów rządowych i unijnych (np.: Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowships oraz Marie Skłodowska-Curie Research and Innovation Staff Exchange).

Lokalizacja

Z pozoru oczywistą kwestią jest zlokalizowanie przyszłego układu polskiej wagi Kibble'a w Samodzielnym Laboratorium Masy GUM. Jednakże „środek ciężkości” metrologicznej realizacji nowego wzorca kilograma przesuwają się w kierunku laboratoriów wzorców wielkości elektromagnetycznych. W przypadku GUM jest to Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu z pracownią kwantowych wzorców wielkości elektrycznych. Poza tym funkcjonowanie wagi Kibble'a wymaga precyzyjnych pomiarów optycznych (interferometria) i grawimetrycznych. A zatem, nie tyle formalna lokalizacja laboratorium z nowym wzorcem kilograma jest najważniejsza, a harmonijna współpraca między poszczególnymi jednostkami. Niewątpliwie jednak wybór fizycznego miejsca, w którym ma pracować waga Kibble'a, powinien być trafny i przemyślany. Zwłaszcza istotna jest izolacja

od drgań mechanicznych i zakłóceń elektromagnetycznych oraz stabilność grawimetryczno-tektoniczna. Tym wymogom wyszła naprzeciw decyzja o przeniesieniu większości laboratoriów Urzędu do kampusu świętokrzyskiego. Podczas sesji Rady Miejskiej w Kielcach radni przegłosowali przekazanie gruntu na rzecz Skarbu Państwa, w drodze darowizny nieruchomości gruntowych położonych w Kielcach na powierzchni 11 hektarów, z przeznaczeniem na potrzeby Kampusu Laboratoryjnego Głównego Urzędu Miar. Po dokonaniu odwiertów geologicznych zostanie wskazane dokładne położenie poszczególnych budynków i laboratoriów. Generalnie umiejscowienie nowego kampusu u podnóża Gór Świętokrzyskich należy uznać za bardzo trafną koncepcję nie tylko ze względu na korzystne warunki geologiczne, ale i na realizację priorytetów polityki zrównoważonego rozwoju regionalnego. Warto podkreślić, że rektorzy Politechniki Świętokrzyskiej i Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach podpisali umowę o współpracy z GUM, przy czym Politechnika planuje uruchomienie nowych specjalizacji, związanych z metrologią. Obydwie uczelnie będą stanowić naturalne źródło pozyskania przyszłych kadr dla Kampusu. Należy podkreślić, że zostały wdrożone bardzo rygorystyczne procedury konkursowe, w celu zapewnienia wyboru najlepszego projektu kampusu laboratoryjnego, tak pod względem architektonicznym, jak i funkcjonalnym (technicznym). Propozycję pomocy w projektowaniu i wykonawstwie pomieszczeń labora-

toryjnych, specjalistycznych instalacji klimatyzacyjnych oraz zabezpieczeń antywibracyjnych złożyło ostatnio francuskie LNE.

Harmonogram działań

Tabela 1 przedstawia przykładowy harmonogram przewidywanych działań, związanych z realizacją polskiego projektu kompaktowej wagi Kibble'a na zakres subkilogramowy (gramowy lub miligramowy) w okresie 5 lat od momentu rozpoczęcia przedsięwzięcia.

Zadania perspektywiczne

Wymienione w harmonogramie działania to trzon zasadniczego projektu kompaktowej, subkilogramowej wagi Kibble'a. Złożoność materii merytorycznej i organizacyjnej przy konstruowaniu wagi Kibble'a jest tak znacząca, że zapewne pojawią się jeszcze dodatkowe potrzeby działań uzupełniających lub nawet korygujących przyjętą wcześniej strategię. Tak dzieje się i w największych, najbardziej zaawansowanych ośrodkach metrologicznych na świecie, a np. w amerykańskim NIST kilka zespołów pracuje niezależnie nad kilkoma alternatywnymi koncepcjami, choć jedna z nich ma status wiodącej. Konieczność bieżącej weryfikacji słuszności obranej strategii i modyfikacji niektórych założeń technicznych może powodować wydłużenie czasu realizacji projektu.

Tab. 1. Harmonogram przewidywanych działań

Lp.	Zadanie	Okres (lata)
1	Konsultacje z wiodącymi ośrodkami metrologicznymi, realizującymi projekty kompaktowych wag Kibble'a (LNE, NIST) i kontakt z oddelegowanymi doktorantami	0–2
2	Wybór koncepcji konstrukcyjnej wagi Kibble'a (m.in. wg sugestii doktorantów oddelegowanych do LNE i NIST) i powołanie w GUM stałego zespołu wykonawczo-koordynacyjnego w liczbie ok. 3 osób	1–2
3	Adaptacja tymczasowego pomieszczenia w budynku GUM w Warszawie, na potrzeby układu wagi Kibble'a	0–1
4	Lokalizacja i budowa docelowej bazy lokalowej w kampusie świętokrzyskim	0–5
5	Zaprojektowanie głównego szkieletu konstrukcji, zawieszenia i układu do tłumienia drgań	2–3
6	Zaprojektowanie i wykonanie siłownika elektromagnetycznego wagi Kibble'a i sprzężenie go z komparatorem masy	2–3
7	Zaprojektowanie i skonstruowanie napędu do poruszania cewki	2–3
8	Zaprojektowanie i wykonanie dedykowanych interferometrów laserowych do pomiaru prędkości	2–3
9	Zorganizowanie laboratorium grawimetrii (z optycznym grawimetrem bezwzględny z grzebieniem częstotliwości)	3–4
10	Uzupełnienie zasobów laboratorium z kwantowymi wzorcami wielkości elektrycznych o wtórne wzorce wielkości elektrycznych, dedykowane do pracy z wagą Kibble'a	2–3
11	Wstępne testy poszczególnych podzespołów wagi Kibble'a (dołączenie do stałego zespołu w GUM doktorantów z LNE i/lub NIST)	2–3
12	Docelowe testy wagi Kibble'a, porównanie działania z wagami Kibble'a, działającymi na świecie oraz realizacja działań korekcyjno- optymalizacyjnych	4–5

Naturalnym posunięciem wydaje się również wskazanie takich działań, które można (i na pewno warto) zrealizować już po zakończeniu zasadniczego, ok. pięcioletniego projektu. Należą do nich m.in. następujące przedsięwzięcia:

- 1) integracja wagi Kibble'a z komparatorem próżniowym lub ciśnieniowym,
- 2) ustalenie wzorców wtórnych (np. metalowe czy krzemowe),
- 3) aktualizacja budżetu niepewności dla standardowych metod pomiarowych,
- 4) automatyzacja komparacji poprzez zastosowanie zasobnika bębnowego lub zrobotyzowanego podajnika,
- 5) ocena szans komercjalizacji projektu,
- 6) nakreślenie perspektyw ewentualnego przyszłego projektu kilogramowej wagi Kibble'a na podstawie doświadczenia i wiedzy zdobytej przy realizacji projektu subkilogramowej wagi Kibble'a.

Szacunkowy kosztorys

W tabeli 2 zamieszczono oszacowanie kosztów realizacji projektu subkilogramowej wagi Kibble'a. Kosztorys nie uwzględnia kwot stypendiów doktorskich

i podoktorskich we francuskim LNE lub amerykańskim NIST (podanych wcześniej). Nie obejmuje również zakupu osobnych kwantowych wzorców napięcia i oporu elektrycznego, ponieważ najprawdopodobniej w przypadku wagi subkilogramowej wystarczająco dokładne okażą się wzorce wtórne, kalibrowane przy pomocy wzorców kwantowych.

Źródła finansowania

Ze względu na kompleksowość, interdyscyplinarność i dość wysokie koszty projektu właściwą strategią wydaje się poszukiwanie wielu różnych źródeł finansowania. W naturalny sposób projekt wagi Kibble'a łączy się z projektem budowy świętokrzyskiego kampusu laboratoryjnego dla GUM. Dzięki temu w kosztorysie projektu wagi Kibble'a nie uwzględniono kosztów lokalizacji i postawienia budynków, a jedynie koszty adaptacji pomieszczenia, w którym ma znajdować się docelowo ta waga. Warto podkreślić, że Rada Miejska w Kielcach w formie darowizny przekazała nieruchomości gruntowe, położone w Kielcach na powierzchni 11 hektarów, z przeznaczeniem na potrzeby Kampusu Laboratoryjnego Głównego Urzędu Miar. Dalsze kroki wymagają opracowania dokumentacji konkursowej projektu Kampusu, zgodnie

Tab. 2. Koszty realizacji projektu

Lp.	Specyfikacja kolejnych pozycji kosztorysu za okres 5 lat	Szacunkowa kwota brutto (PLN)
1	Adaptacja tymczasowego pomieszczenia na laboratorium z wagą Kibble'a w dotychczasowym budynku GUM	100 000
2	Przygotowanie docelowego pomieszczenia na laboratorium z wagą Kibble'a w kampusie świętokrzyskim	100 000
3	Koszty delegacji krajowych (konsultacje, konferencje)	100 000
4	Koszty delegacji zagranicznych (konsultacje, konferencje)	400 000
5	Koszty pracy zespołu	500 000
6	Usługi zewnętrzne	1 000 000
7	Materiały konstrukcyjne	500 000
8	Komercyjny komparator masy zaadoptowany do wagi Kibble'a	300 000
9	Wtórne wzorce napięcia i prądu	400 000
10	Wysokiej klasy oscyloskop 24-bitowy	200 000
11	Interferometry laserowe × 3	900 000
12	Wieloprocessorowe stacje robocze do symulacji × 2	100 000
13	Laboratoryjny i mobilny osprzęt komputerowy	100 000
14	Stacjonarne licencje komercyjne programów typu CAD, CAS, MES-FEM (mechanika, elektromagnetyzm)	400 000
SUMA:		5 000 000

z wymogami Działania 1.1 Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego na lata 2014–2020, do którego projekt został zakwalifikowany decyzją Urzędu Marszałkowskiego. Projekt polskiej wagi Kibble’a jest dodatkowym przedsięwzięciem, więc wymaga znalezienia komplementarnych, niezależnych źródeł finansowania. Warto jednak raz jeszcze podkreślić, że planowana zbieżność w czasie realizacji obydwu projektów jest niezmiernie korzystnym i oszczędnym rozwiązaniem. Projekt Kampusu to nie tylko budynki i pomieszczenia, ale również nowa baza aparaturowa. Z punktu widzenia polskiego projektu wagi Kibble’a szczególnie istotne są plany powstania nowoczesnego laboratorium grawimetrii. Dzięki temu będzie można ultraprecyzyjnie zmierzyć wartość przyspieszenia ziemskiego w najbliższym otoczeniu wagi Kibble’a. Zorganizowanie takiego laboratorium zostało wpisane do harmonogramu projektu polskiej wagi Kibble’a, ale nie obciąża budżetu tego przedsięwzięcia, ponieważ należy do całościowego projektu Kampusu.

Naturalnym źródłem finansowania polskiego projektu wagi Kibble’a mógłby być grant z NCBiR (Narodowego Centrum Badań i Rozwoju). Oferta konkursów NCBiR szybko się zmienia, co oznacza konieczność ciągłej aktualizacji wiedzy o pojawiających się ścieżkach konkursowych i strumieniach finansowania. Pewną trudnością w aplikowaniu o środki w NCBiR jest fakt, że specyficzne cechy poszczególnych konkursów i rodzaje beneficjentów określane są na poziomie rządowym i odpowiadają przyjętym priorytetom badawczo-rozwojowym. Rozwój nowoczesnej metrologii do tej pory nie był zazwyczaj doceniany, wobec powyższego trudno jest znaleźć w ofercie NCBiR taki konkurs, który byłby optymalny do finansowania i realizowania polskiego projektu wagi Kibble’a. Wobec tego nieodzowną koniecznością wydaje się ubieganie się o dedykowany konkurs celowy, którego beneficjentami byłiby: Główny Urząd Miar, przedsiębiorstwa innowacyjne z branży metrologicznej oraz uczelnie i instytuty badawcze. Dzięki projektowi, w ramach takiego konkursu powinno stać się możliwe korzystanie ze środków europejskich przypisanych do Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, będącego największym w Unii Europejskiej programem na rzecz rozwoju badań i tworzenia innowacji. Należy mieć przy tym nadzieję, że perspektywa finansowa tego programu, kończąca się w 2020 roku, zostanie przesunięta na dalsze lata. W celu skonkretyzowania reguł i ram konkursu dedykowanego konieczny będzie bezpośredni kontakt GUM z Ministerstwem Przedsiębiorczości i Technologii oraz Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Biorąc pod uwagę fundamentalność naukowo-techniczną całokształtu zagadnień związanych z konstrukcją wagi Kibble’a (w tym kontekst redefinicyjny całego układu

jednostek miar w układzie SI), adekwatnym podmiotem do sfinansowania przedsięwzięcia wydaje się również NCN (Narodowe Centrum Nauki). W oferowanej palecie konkursów można dość łatwo znaleźć te, które w znacznym stopniu odpowiadają specyfice projektu. Najbardziej adekwatnym typem konkursu wydaje się w tym przypadku OPUS, tj. konkurs na projekty badawcze, w tym finansowanie zakupu lub wytworzenia aparatury naukowo-badawczej, niezbędnej do realizacji tych projektów. Alternatywnym rozwiązaniem może być aplikowanie do konkursu TANGO, który obejmuje projekty zakładające wdrażanie w praktyce gospodarczej i społecznej wyników uzyskanych w rezultacie badań podstawowych. Zarówno w przypadku konkursów OPUS, jak i TANGO, pojawiła się zapowiedź otwarcia przez NCN ich nowych edycji, chociaż nie wskazano na razie żadnego terminu.

Mając na uwadze perspektywę realizacji polskiego projektu wagi Kibble’a, GUM, jako jednostka podległa Ministerstwu Przedsiębiorczości i Technologii, może ubiegać się o zwiększenie budżetu na działalność statutową oraz o fundusze celowe. Wymaga to jednak działań z dużym wyprzedzeniem, ponieważ wspomniane środki muszą być najpierw przewidziane w budżecie centralnym, który uchwała Sejm. Oznacza to konieczność uzyskania odpowiedniego konsensusu i zrozumienia w środowisku polskich parlamentarzystów oraz kręgach rządowych. Nie będzie to możliwe bez prowadzenia odpowiedniej polityki informacyjnej.

Wytyczając strategię finansowania projektu należy również brać pod uwagę możliwość bezpośredniego skorzystania z funduszy i programów międzynarodowych, a zwłaszcza europejskich. Jednym z takich programów jest EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research), ustanowiony na rzecz innowacji i badań w dziedzinie metrologii przez EURAMET (The European Association of National Metrology Institutes). Decyzją Parlamentu Europejskiego i EURAMET od 2014 roku program EMPIR jest współfinansowany z unijnej perspektywy „Horyzont 2020” oraz przez państwa uczestniczące w programie.

Poszukując źródeł finansowania projektu polskiej wagi Kibble’a należy również zapoznać się z koncepcją i ofertą Europejskiej Rady ds. Innowacji (European Innovation Council – EIC) na lata 2018–2020, sprzężonej z Programem Ramowym Horyzont 2020. Europejska Rada ds. Innowacji (EIC) powstała z inicjatywy Komisji Europejskiej i ma wspierać najbardziej obiecujących europejskich innowatorów w realizowaniu pomysłów o znaczeniu międzynarodowym. Swoją pomocą obejmuje przede wszystkim przedsiębiorców, małe i średnie firmy, duży przemysł oraz naukowców. Zadania Rady są realizowane głównie poprzez instrumenty programu Horyzont 2020, takie jak: SME Instrument, Fast Track to Innovation, FET Open czy



EIC Horizon Prizes. EIC ma do dyspozycji 2,7 miliarda euro na realizację ponad 1000 innowacyjnych projektów. EIC ma także stanowić jeden z filarów nowego programu ramowego po 2020 roku.

W przypadku przygotowywania wniosku grantowego preferowaną okolicznością byłoby stworzenie konsorcjum obejmującego GUM, współpracujące uczelnie i te firmy innowacyjne, które będą bezpośrednio związane z realizacją kluczowych zadań w ramach grantu związanego z polskim projektem wagi Kibble'a. Jednostki nie wchodzące w skład konsorcjum, ale niezbędne przy realizacji projektu, byłyby zaangażowane, jako wykonawcy zewnętrzni projektu. Przy tej okazji warto podkreślić, że wkład polskich firm z sektora zaawansowanych technologii może mieć wymiar nie tylko czysto materialny, ponieważ regułą jest, że dzielą się one znacznie chętniej swoim know-how i poświęcają więcej czasu na realizację nietypowych rozwiązań niż duże korporacje zagraniczne.

Aplikując o fundusze na polski projekt wagi Kibble'a należy liczyć się z możliwymi trudnościami w otrzymaniu pełnej kwoty na jego realizację, szacowanej na ok. 5 mln złotych, z jednego źródła finansowania. Prawdopodobne jest sięganie stopniowo po mniejsze pule środków pieniężnych. W takim przypadku konieczne będzie podzielenie projektu na kilka etapów i sporządzenie dla każdego z nich osobnych harmonogramów i kosztorysów cząstkowych.

Ocena celowości projektu

Alternatywy dla projektu i działania komplementarne

Podstawą krytycznej analizy celowości projektu jest wskazanie alternatywnych rozwiązań i możliwości. I tak, w świetle pierwotnej strategii procesu redefinicji wzorca kilograma zarysowanej przez BIPM, można wyobrazić sobie funkcjonowanie krajowego systemu metrologicznego w dziedzinie masy bez posiadania własnej wagi Kibble'a. Wobec wciąż istniejących kłopotów z odtwarzalnością wyników uzyskiwanych na tych wagach, skonstruowanych w wiodących ośrodkach na świecie oraz wielkiej złożoności technologicznej realizowanych tam już od wielu lat projektów, nie byłoby rozsądne angażowanie się Polski w niezależne budowanie wagi Kibble'a na zakres 1 kg. Główny Urząd Miar będzie mógł, a nawet powinien, przygotowywać się do finalnej redefinicji kilograma, nie realizując własnego projektu wagi Kibble'a, na dowolny zakres masy.

Działania przygotowawcze w Głównym Urzędzie Miar zostały już rozpoczęte. Ich efektem jest m.in. dokonana instalacja komparatora próżniowego z systemem

„load-lock” do umieszczania i porównywania wzorców masy przechowywanych w próżni. Jest to najbardziej profesjonalna procedura realizacji przyszłościowej ścieżki przekazywania jednostki masy pomiędzy ośrodkami dysponującymi wagą Kibble'a a krajowymi instytucjami metrologicznymi w państwach, które nie będą posiadały takich urządzeń. Ścieżka ta zakłada, że kalibracja wzorca masy przy użyciu wagi Kibble'a (np. w BIPM) odbywa się w próżni. Niestety, zarówno w BIPM jak i w LNE, wagi Kibble'a nie dysponują aktualnie systemem „load-lock”, co wymusza napowietrzanie komory próżniowej wagi przy wkładaniu i wyjmowaniu wzorca. Jest prawdopodobne, że w przyszłości sytuacja ta ulegnie zmianie. Silną motywacją powinny być tu wyniki badań [35–38], które jednoznacznie wskazują na to, że każdorazowe napowietrzanie wzorca kilogramowego ze stali lub stopu Pt-Ir oznacza absorpcję dodatkowej masy o wartości rzędu kilkudziesięciu mikrogramów. W przypadku wzorca krzemowego (o znacznie mniejszej gęstości) można spodziewać się odpowiednio większego efektu.

W związku z powyższym, niezależnie od innych działań i programów dotyczących redefinicji kilograma, należałoby już teraz zacząć realizować polski projekt kontenera próżniowego. Obejmowałby on zaprojektowanie przenośnego, poręcznego pojemnika próżniowego do przenoszenia wzorców masy. Masa własna kontenera walizkowego nie powinna być zbyt duża, a jego cechy konstrukcyjne powinny uwzględniać certyfikację bezpieczeństwa w transporcie lotniczym. Pojemnik powinien również zapewniać kompatybilność z systemami „load-lock” komparatora próżniowego w GUM i docelowych wag Kibble'a w wiodących ośrodkach metrologicznych na świecie. Oprócz tego projekt powinien przewidywać zakup po kilka kilogramowych wzorców wtórnych, wykonanych z różnych materiałów (niemagnetyczna stal nierdzewna, stop Pt-Ir, kula krzemowa), jak również małych próbek tych materiałów w postaci płytek i krążków. Dzięki temu można by kontynuować i rozwijać prowadzone już od kilku lat badania w NPL [35–38] nad wpływem transferu próżnia-powietrze-próżnia na masę wzorców, a w szczególności stopień nieodwracalności zmiany masy po wielu cyklach transferu. Warto byłoby nakreślić program badań stanu powierzchni wzorców stalowych przechowywanych w próżni, powietrzu i azocie. W komparatorze próżniowym w GUM badana byłaby zmiana masy. Konieczny też byłby zakup przez GUM pojemników, które zapewniałyby długookresowe przechowywanie wzorców w stabilnych warunkach środowiskowych (skład gazu, ciśnienie, wilgotność, temperatura). W poznaniu zjawisk odpowiedzialnych za zmianę masy wzorców kluczowe byłyby badania składu pierwiastkowego metodą SEM-EDS (energetyczna mikroanaliza rentgenowska w elektronowym mikroskopie skaningowym w środo-

wisku próżniowym). Dodatkową, przydatną metodą badawczą, która pozwoliłaby na detekcję śladowych ilości związków chemicznych na powierzchni wzorców, mogłaby okazać się spektroskopia fotoelektronów emitowanych pod wpływem promieniowania rentgenowskiego (XPS). W tej metodzie badane próbki materiałów również znajdują się w próżni. W przypadku wzorców stalowych, które zawierają żelazo, dałoby się też zastosować najbardziej czułą metodę do określania związków chemicznych i faz krystalicznych z Fe na powierzchniach próbek, jaką jest spektroskopia mössbauerowska elektronów konwersji CEMS. Pewnym ograniczeniem tej metody jest długi czas pomiaru (2–3 dni) i niepróżniowa atmosfera w detektorze ($\text{He} + 4\% \text{CH}_4$) oraz konieczność zmiany próbek w powietrzu. W związku z tym metoda nie nadaje się do badania efektów krótkotrwałego napowietrzania, lecz do analizowania wpływu przechowywania w określonych warunkach przez okres około miesiąca lub dłużej. Wymienione metody badawcze są profesjonalnie rozwijane i stosowane w dwóch radomskich ośrodkach badawczych, tj. w Instytucie Technologii Eksploatacji w Radomiu oraz w Katedrze Fizyki na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu. Bardzo korzystnym rozwiązaniem byłoby wspólne opracowanie konsorcjalnego wniosku o grant na badania dotyczące wyżej opisanej tematyki. Szacunkowy koszt takiego projektu mógłby wynieść ok. 1–2 mln złotych. Podobny budżet konieczny byłby do realizacji wspomnianego projektu pojemnika próżniowego, przy czym w jego szacowaniu zawsze należy uwzględniać istotne koszty delegacji związanych z komparacją wielu wzorców krajowych ze wzorcami międzynarodowymi (z nowymi i z dotychczasowymi).

Jeszcze innym pomysłem na włączenie się Polski w działania związane z redefinicją kilograma jest omówiona już w pierwszej części opracowania idea konstrukcji tzw. wagi Plancka. Ze względu na fakt, że konstrukcja tego urządzenia bazuje na siłowniku do komercyjnego komparatora masy, jego koszty są relatywnie niskie i stosunkowo łatwe do oszacowania. Poza tym jest to rozwiązanie, które najłatwiej można skomercjalizować. Oryginalnie waga Plancka to koncepcja niemiecka (PTB, Politechnika w Ilmenau), ale ze względu na brak opatentowania samej idei, możliwa byłaby realizacja tego projektu przez polskie firmy. Projekt miałby charakter rozwojowo-wdrożeniowy i finalnie powinien przynieść pozytywny rezultat komercjalizacyjny. Mogłyby w nim uczestniczyć też uczelnie wymienione w dalszej części opracowania. Warto dodać, że np. na Wydziale Mechanicznym UTH Radom realizowane są już prace doktorskie tematycznie powiązane z zagadnieniem dotyczącym wagi Plancka (jak również nad nowymi wzorcami małych mas). Przed rozpoczęciem projektu należałoby

jednak wykonać bardzo staranną analizę popytu, wiedząc, że oferta nie dotyczy realizacji wzorców krajowych, tylko klasy E1 odważników wzorcowych. Nie wiadomo, czy dla producentów odważników i terenowych laboratoriów metrologicznych atuty tego urządzenia będą wystarczające.

Wpływ na polską metrologię

Jedną z podstawowych przesłanek, uzasadniających korzyści z posiadania własnej wagi Kibble'a, jest długoterminowa perspektywa procesu realizacji wzorca kilograma. Docelowo wzorec ten powinien być jednoznacznie odtwarzalny w każdym zaawansowanym instytucie metrologicznym, ponieważ opiera się na zjawiskach fizycznych i określonej procedurze metrologicznej. W dużych krajach o wysokorozwiniętej gospodarce można sobie nawet wyobrazić sytuację, że poszczególne jednostki administracji terytorialnej, a nawet prywatne centra metrologiczne będą zainteresowane posiadaniem swoich własnych, pierwotnych wzorców masy.

Drugim wyróżnikiem docelowej redefinicji wzorca kilograma będzie wyeliminowanie złożonych procedur przekazywania jednostek o masach, będących wielokrotnościami i podwielokrotnościami kilograma, które zawsze prowadzą do poważnego wzrostu względnej niepewności wzorcowania. Procedury takie wymagają użycia najwyższej klasy komparatorów automatycznych, najlepiej w wersji próżniowej lub z komorą izobaryczną. W przyszłości te procedury przestaną być potrzebne, ponieważ będzie można konstruować dedykowane wagi Kibble'a do realizacji wzorców masy o określonej wartości, przy jednoczesnym zapewnieniu jak najmniejszych niepewności pomiarowych.

Dodatkową korzyścią z włączenia się Polski w prace nad projektem jest z całą pewnością zdobycie wiedzy i doświadczenia metrologicznego, które nie byłyby możliwe do pozyskania w przypadku zlecenia procedur wzorcowania podmiotom zewnętrznym (zagranicznym) lub nawet ewentualnego zakupu gotowej wagi Kibble'a. Włączenie się Polski w twórczy proces poszukiwania innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych, pozwoli wspólnie z międzynarodową społecznością metrologiczną zmniejszyć docelową niepewność wzorca kilograma, jak również zredukować koszty wytworzenia i utrzymania nowego wzorca masy.

Należy podkreślić, że istnieje daleko idąca zgodność pomiędzy ideą uruchomienia projektu polskiej wagi Kibble'a a zasadniczymi planami i zamierzeniami GUM, które zostały ujęte w prognostycznym opracowaniu pt. „Czteroletni strategiczny plan działania GUM 2018–2021” [39]. W załączniku 5 (Perspektywy rozwoju dziedzin pomiarowych GUM) została podana informacja,



że w dziedzinie nr 7 (Masa i wielkości pochodne) przewidziano (w punkcie nr 8 sekcji Działalność) udział GUM we współpracy krajowej i zagranicznej w ramach innowacyjnych projektów z zakresu metrologii masy. Ponadto w punkcie nr 1 (sekcji Planowane działania) przewidziano budowę infrastruktury metrologicznej, zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie masy po redefinicji kilograma. Jako konkretny przykład zapisano zakup automatycznego komparatora próżniowego, ale nie wykluczono też innych niezbędnych inwestycji aparaturowych. Generalnie analizowany udział GUM w polskim projekcie wagi Kibble'a wychodzi też naprzeciw ogólnej wizji i misji wspomnianego planu czteroletniego GUM. W rozdziale 3 tego opracowania odnajdujemy m.in. bezpośrednie odniesienia do implementacji *definicji podstawowych jednostek miar Międzynarodowego Układu Jednostek Miar (SI) opartych na zjawiskach kwantowych*. Całokształt sugerowanych działań wpisuje się w trendy rozwojowe wyznaczone przez międzynarodowe organizacje metrologiczne, takie jak EURAMET, NIST, NPL czy PTB.

Wpływ na polską gospodarkę

Zaangażowanie Polski w projekt wagi Kibble'a może mieć wieloaspektowe, pozytywne znaczenie dla polskiej gospodarki. Po pierwsze dostępność najwyższej klasy metrologii dla rodzimego przemysłu jest warunkiem poprawy stopnia jego innowacyjności i międzynarodowej konkurencyjności. Ten być może dość oczywisty, choć wciąż niedoceniany, fakt został ujęty w przywoływanym już czteroletnim planie rozwojowym GUM [39] w postaci obrazowego cytatu: *Metrologia, współtworząc postęp technologiczny, jest motorem rozwoju wszystkich dziedzin współczesnej gospodarki. Wychodzi naprzeciw wyzwaniom dynamicznie zmieniającego się świata, zapewniając precyzyjne i dokładne pomiary*. Ponadto, w ostatnim czasie GUM powołał do życia tzw. Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne (KZM), których głównym zadaniem jest identyfikowanie potrzeb krajowego przemysłu w zakresie technologii pomiarowych [40]. Potrzeby polskiego przemysłu, związane z nowoczesną metrologią, są też rozpoznawane przez wiele innych grup eksperckich, w tym pracowników-wykładowców wyższych uczelni oraz pracowników laboratoriów badawczo-rozwojowych polskich firm innowacyjnych. Na potrzeby niniejszego opracowania udało się jednoznacznie ustalić, że nowoczesna metrologia masy (w tym posiadanie własnego wzorca masy nowej generacji) może bardzo skutecznie stymulować rozwój polskich firm zajmujących się m.in. produkcją najwyższej klasy wag i komparatorów masy, jak również firm farmaceutycznych oraz podmiotów, których zadaniem jest sprawny monitoring stanu środowiska naturalnego, w tym jakości powietrza (w kontekście palącej potrzeby walki

ze smogiem). Przedsiębiorstwa ze wspomnianych obszarów są bardzo często liderami polskiego eksportu i ich konkurencyjność na rynkach światowych bezpośrednio zależy od ich wiarygodności i aktualności metrologicznej (w sensie zarówno technicznym jak i prawno-legalizacyjnym).

Zgodnie z przyjętą przez polski rząd już w 2012 r. „Strategią Rozwoju Kraju 2020” [41]: *Okres do 2020 r. będzie dla światowego systemu społeczno-gospodarczo-politycznego czasem intensywnego poszukiwania modeli rozwoju, które uwzględniałyby doświadczenia kryzysu gospodarczego oraz globalne wyzwania związane z potrzebą dynamizowania potencjału innowacyjnego gospodarki i zapewnieniem stabilnych podstaw wzrostu*. Przytoczone już wcześniej argumenty pokazują, że nie będzie to możliwe bez nadążania za rozwojem współczesnej metrologii, a zwłaszcza metrologii masy, która znajduje się w przededniu swoistej rewolucji redefinicyjnej. W szczególności polski projekt wagi Kibble'a doskonale koresponduje z następującymi celami II Obszaru Strategicznego (Konkurencyjna gospodarka) strategii [42]:

Cel II.2. Wzrost wydajności gospodarki

II.2.1. Zwiększenie produktywności gospodarki

II.2.2. Wzrost udziału przemysłów i usług średnio i wysoko zaawansowanych technologicznie

Cel II.3. Zwiększenie innowacyjności gospodarki

II.3.1. Wzrost popytu na wyniki badań naukowych

II.3.2. Podwyższenie stopnia komercjalizacji badań

II.3.3. Zapewnienie kadr dla B+R

II.3.4. Zwiększenie wykorzystania rozwiązań innowacyjnych

W strategii odnajdujemy m.in. informację, że w 2009 roku udział przemysłów średniej i wysokiej technologii w produkcji sprzedanej w przemyśle wyniósł jedynie 31,7 % oraz, że ten wskaźnik należy bezwzględnie poprawić, przy zastosowaniu różnego rodzaju programów celowych oraz instrumentów inżynierii finansowej. Analizowany projekt wagi Kibble'a doskonale wpisuje się w tą strategię, gdyż sam wymaga zaangażowania firm zaawansowanych technologicznie, jak i służy rozwojowi firm innowacyjnych. Niestety „Perspektywa 2020” niedługo dobiega końca, a wszelkie środki unijne zostały już w większości przypadków rozdysponowane. W związku z powyższym naturalnie wydaje się obecnie odniesienie do nowszego dokumentu, który został przyjęty przez polski rząd w roku 2017, tj.: „Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)” [42]. W jego wstępie Premier Mateusz Morawiecki zapowiedział m.in. że *w wyniku prac rządowych, eksperckich i konsultacyjnych wypracowaliśmy*

śmiałą wizję rozwojową połączoną z ekonomicznym pragmatyzmem, której celem jest wzmocnienie i unowocześnienie polskiej gospodarki, wyrwanie jej z peryferii rozwojowych oraz znaczące podniesienie konkurencyjności produktów i usług oferowanych przez polskie firmy. Służą temu, stworzone w ramach naszej Strategii, nowe instrumenty rozwoju (produkty finansujące i programy wsparcia) dla tak priorytetowych obszarów jak: ekspansja międzynarodowa, przemysł przyszłości, rozwój małych i średnich przedsiębiorstw, partnerstwo publiczno-prywatne, partnerstwo inwestycyjne z samorządami, rozwój rynku venture capital w Polsce, czy rozwój zrównoważony terytorialnie, ze szczególnym uwzględnieniem specjalnych stref oraz inwestycji w obszarach dotychczas zaniedbanych. Taka deklaracja w pewnym sensie daje zielone światło dla projektów takich jak polska waga Kibble'a. Dodatkowy argument za wsparciem projektu dostarcza pogłębiona analiza innowacyjności polskich przedsiębiorstw zawarta w strategii [42]. Jeżeli zastosuje się restrykcyjną miarę innowacyjności firmy nie jako sam stopień zaawansowania technologicznego, ale jako jego dynamikę, to okaże się, że w roku 2014 jedynie 8,8 % wartości produkcji polskich przedsiębiorstw zasługiwała na miano innowacyjnej, a jedynie połowa z tej wartości pochodziła z eksportu. Założona strategia przewiduje wzrost wartości produkcji innowacyjnej do poziomu 14 % w roku 2030. Żeby to zadanie osiągnąć, w części strategii „Rozwój innowacyjnych firm” obecny rząd RP przewiduje m.in. kierunek interwencji o nazwie „Mobilizacja kapitału prywatnego na rzecz prowadzenia działalności B+R+I, zwiększenie potencjału rynkowego prowadzonych badań oraz stopnia komercjalizacji wyników prac B+R”. Zapisane są przy tym m.in. następujące, konkretne działania interwencyjne:

- współfinansowanie z publicznych środków projektów B+R, realizowanych przez podmioty gospodarcze,
- silne wsparcie dla rozwiązań innowacyjnych, które dodatkowo mają pozytywny wpływ na środowisko naturalne,
- animowanie współpracy między sektorem nauki a biznesem oraz powstawania strategicznych partnerstw biznesowych.

Odwołując się bezpośrednio do tekstu strategii warto zwrócić uwagę, że *po 2020 r. fundusze unijne będą nadal stanowiły istotne źródło finansowania inwestycji rozwojowych w Polsce, ale ze względu na wzrost zamożności polskich regionów, ich udział w całkowitej puli środków rozwojowych i znaczenie będą relatywnie mniejsze (realna waga tych środków będzie mniejsza w relacji do PKB i do ogółu środków rozwojowych)*. Pomimo tej zmiany nowa perspektywa unijna i prognozy dynamiki rozwoju naszego kraju są korzystne w kontekście konstrukcji i realizacji takich projektów jak waga Kibble'a, ponieważ lokują je

pośród priorytetów wspierających innowacyjność przemysłowo-gospodarczą.

Oddziaływanie międzynarodowe

Mimo, że niniejsza analiza dotyczy polskiego projektu wagi Kibble'a, nie sposób rozpatrywać ją w oderwaniu od kontekstu międzynarodowego. Wiele aspektów międzynarodowych już zostało wymienionych, m.in. idea i geneza konstrukcji wagi Kibble'a, finansowanie unijne, chęć zwiększenia konkurencyjności na rynkach międzynarodowych. Jednak na szczególną uwagę zasługują potencjalne interakcje polskiej metrologii z państwami ościennymi w obliczu redefinicji jednostki miary masy SI. Część krajów naszego regionu jest znacznie słabiej rozwinięta technologicznie i wytwarza wyraźnie mniejsze PKB per capita niż Polska. Jest zatem mało prawdopodobne, że kraje te zdecydują się na samodzielne projekty związane z budową wag Kibble'a. Tym bardziej więc, rola Polski jako lidera regionu, predestynuje nasz kraj do podjęcia się niewątpliwie złożonego i trudnego wyzwania, jakim jest budowa wagi Kibble'a. Zainteresowanie wykorzystaniem docelowych efektów polskiego projektu zadeklarowały już m.in. Litwa, Łotwa, Ukraina i Białoruś. Do kręgu państw zainteresowanych można zaliczyć również Czechy, Słowację, Węgry i Rumunię oraz kraje półwyspu bałkańskiego. Tak silny odzew międzynarodowy stanowi szczególnie mocne i wymowne uzasadnienie celowości analizowanego projektu, jak również otwiera perspektywę osiągania przez Polskę dochodów finansowych, wynikających ze świadczenia w przyszłości usług metrologicznych, na najwyższym światowym poziomie. Biorąc jednak pod uwagę realia technologiczne i ekonomiczne, polski projekt wagi Kibble'a obejmował będzie zakres subkilogramowy (najprawdopodobniej 1 grama).

Ocena wykonalności projektu

Istniejące zasoby GUM

1. Pracownia Wag i Wzorców Masy

Państwowym wzorcem jednostki masy w Polsce jest prototyp 1 kg nr 51, którego masa została wyznaczona w wyniku porównania z wzorcem pierwotnym w roku 1990, utrzymywanym w Międzynarodowym Biurze Miar. W dniu 14 czerwca 1990 roku wynosiła:

$$m = 1 \text{ kg} + 227 \text{ } \mu\text{g}.$$

Złożona niepewność standardowa wyznaczenia wartości masy prototypu wynosi:

$$u_c = 2,3 \text{ } \mu\text{g}.$$

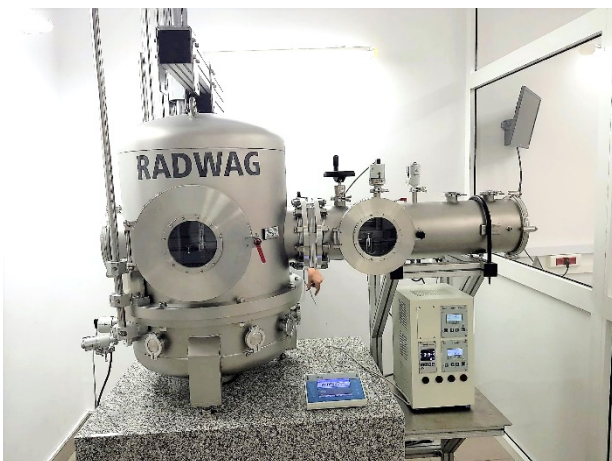
Od roku 1889 definicja i realizacja jednostki masy opiera się na materialnym wzorcu kilograma, znajdującym



się w Międzynarodowym Biurze Miar (BIPM) w Sèvres pod Paryżem. Kopie międzynarodowego wzorca wykonane z tego samego materiału (stop 90 % platyny i 10 % irydu) o takich samych wymiarach i takich samych właściwościach powierzchniowych są używane do przekazywania jednostki masy na najwyższym poziomie spójności pomiarowej (hierarchicznego układu sprawdzeń).

Pracownia Wag i Wzorców Masy jest zainteresowana wieloma aspektami prac w obszarach redefinicji kilograma. Przed redefinicją międzynarodowy prototyp kilograma o masie 1 kg przekazuje jednostkę masy wzorcom wtórnym, aby w trakcie porównań (wagi Kibble'a) określić jak najdokładniej wartość liczbową stałej Plancka h .

W ostatnim czasie, w Pracowni Wag i Wzorców Masy zbudowano (aktualnie jest na etapie testów) nowe stanowisko kilograma wzorca państwowego wyposażone w próżniowy, automatyczny komparator masy (rys. 3) pro-



Rys. 3. Automatyczny, próżniowy komparator masy AVK-1000 (z systemem „load-lock”) w GUM

dukcyj polskiej [43] o obciążeniu maksymalnym 1 kg, z działką elementarną 0,1 μg . Urządzenie oferuje prowadzenie pomiarów w próżni o wartości 10^{-6} mbar lub w atmosferze gazów szlachetnych i neutralnych. Po zakończonym etapie testów możliwe będzie wykonanie pomiarów masy z jeszcze wyższą dokładnością. Precyzyjność i dokładność pomiarów może zostać wykorzystana w przyszłości w etapie realizacji projektu wagi Kibble'a.

2. Pracownia Wzorców Wielkości Elektrycznych Samodzielnego Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu

Pracownia Wzorców Wielkości Elektrycznych Samodzielnego Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu realizuje, oparte na stałych podstawowych, kwantowe wzorce wielkości elektrycznych [4]. Niezbędne dla konstrukcji wagi Kibble'a wzorce napięcia elektrycznego

stałego oraz rezystancji są utrzymywane w GUM. Stanowią one wzorce pierwotne, bazujące odpowiednio na zjawisku Josephsona oraz kwantowym zjawisku Halla.

Układ odtwarzający jednostkę napięcia elektrycznego JVS (Josephson Voltage Standard) w 2003 roku ustanowiony został Państwowym Wzorcem Jednostki Miary Napięcia Elektrycznego Stałego. W skład tego układu pomiarowego wchodzi m.in. matryca złącz Josephsona o napięciu znamionowym wynoszącym 10 V, oscylator na bazie diody Gunna, częstotściomierz z pętlą PLL i multiplexer MUX. Napięcie wzorcowe, otrzymywane na matrycy złącz Josephsona, wykorzystywane jest w kolejnym etapie do wzorcowania, opartych na diodach Zenera, wzorcowych źródeł odtwarzających napięcie elektryczne stałe. Wzorzec napięcia stałego w GUM umożliwia realizację jednostki z zakresu od -10 V do 10 V z rozszerzoną niepewnością względną wynoszącą $5 \cdot 10^{-9}$.

Stanowisko odtwarzające jednostkę rezystancji w GUM oparte jest na kwantowym zjawisku Halla obserwowanym w heterostrukturach GaAs/AlGaAs. Wykorzystanie drugiego i czwartego charakterystycznego plateau funkcji $R_{xy}(B)$ pozwala na odtworzenie wartości rezystancji, wynoszącej odpowiednio 12 906,4035 Ω oraz 6453,201 75 Ω . Stanowisko pomiarowe składa się między innymi z komory kriogenicznej z próbką hallowską, elektromagnesu nadprzewodzącego z układem zasilającym, źródła prądowego oraz układu mierzącego rezystancję, bazującego na multimetrze cyfrowym. W 2016 roku system ten ustanowiony został Państwowym Wzorcem Jednostki Miary Rezystancji. Niepewność rozszerzona względna odtwarzania jednostki sięga $6,8 \cdot 10^{-10}$. Stosowany w GUM specjalistyczny komparator prądowy umożliwia bezpośrednie przekazanie jednostki z wzorca kwantowego na rezystory o wartości nominalnej 100 Ω z niepewnością względną rzędu 10^{-8} .

3. Samodzielne Laboratorium Czasu i Częstotliwości

Zdolności pomiarowe Samodzielnego Laboratorium Czasu i Częstotliwości GUM, formalnie na poziomie $< 2 \cdot 10^{-14}$ niepewności standardowej względnej, są obecnie o 4–5 rzędów wielkości wyższe niż wymagania wagi Kibble'a dla pomiarów poszczególnych wartości wielkości mierzonych i nie stanowią ograniczenia w zakresie możliwości zapewnienia spójności pomiarowej dla pomiarów grawimetrycznych, prędkości i częstotliwości poprzez wzorcowanie w odniesieniu do Państwowego Wzorca Jednostek Miar Czasu i Częstotliwości lub dostarczenie wzorcowych sygnałów częstotliwości. Jako lokalne źródło wzorcowego sygnału częstotliwości i sygnału synchronizującego pracę poszczególnych elementów wagi Kibble'a może być użyty wywzorcowany wzorcowy generator rubidowy, którego odtwarzalność oraz

krótko- i długoterminowe wahania częstotliwości w praktyce nie powinny przekraczać 10^{-11} wartości względnej. W zależności od lokalizacji wagi Kibble'a, możliwe też jest bezpośrednie wykorzystanie wzorcowych sygnałów częstotliwości z Państwowego Wzorca Jednostek Miar Czasu i Częstotliwości, przesyłanych lokalnie lub za pośrednictwem sieci światłowodowej.

4. Pracownia Długości

Pierwotnym wzorcem w obszarze długości jest stanowisko pomiarowe, składające się z syntezy (grzebień) częstotliwości optycznych oraz lasera helowo-neonowego stabilizowanego jodem, stanowiące Państwowy Wzorec Jednostki Miary Długości. Syntezer częstotliwości optycznych jest układem pomiarowym odtwarzającym wzorcowe długości fal promieniowania laserowego z wykorzystaniem lesera femtosekundowego i światłowodów mikrostrukturalnych. Cały układ pomiarowy zsynchronizowany jest z sygnałem Państwowego Wzorca Jednostek Miar Czasu i Częstotliwości. Stanowisko zapewnia spójność pomiarową w dziedzinie długości poprzez wzorcowanie stabilizowanych laserów metrologicznych, głowic interferometrów laserowych oraz laserów helowo-neonowych stabilizowanych jodem w zakresie długości fali promieniowania ($532 \div 1064$) nm, wykorzystując metodę zdudnienia optycznego z niepewnością względną 10^{-13} . Stanowisko pomiarowe umożliwia wyznaczenie wartości częstotliwości oraz jej stabilności dla głowicy interferometru laserowego wykorzystanego w układzie pomiarowym wagi Kibble'a. Dodatkowo Pracownia Długości prowadzi również prace nad rozwojem metod pomiaru współczynnika załamania światła w powietrzu, a tym samym umożliwia wzorcowanie kompensujących układów pomiarowych interferometrów laserowych.

Współpraca z polskimi firmami

Podstawą powodzenia realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a jest zaangażowanie się polskich firm, reprezentujących szczególnie wysoki poziom zaawansowania technologicznego swojej produkcji i usług. Fakt ten jest podkreślany wielokrotnie w niniejszej analizie. W tym miejscu zostaną podane informacje, które będą czytelnym uzasadnieniem wyboru głównych uczestników przyszłego konsorcjum. Realizacja projektu wydaje się całkowicie niemożliwa bez udziału wiodącej krajowej firmy, która jest jedyną w Polsce i tylko jedną z trzech na świecie producentów komparatorów do krajowych wzorców masy. Z tego względu firma ta mogłaby zostać naturalnym dostawcą dedykowanego komparatora kompensacyjnego do wagi Kibble'a. Przewaga rodzimej firmy przejawia się

w większej elastyczności i gotowości do przeprojektowania urządzeń dostępnych katalogowo w przypadku niestandardowych potrzeb rozwojowych. Warto dodać, że w tym przypadku konieczne będzie nie tylko wykonanie nietypowego komparatora masy, ale również jego sprzężenie z zasadniczym mechanizmem wagi Kibble'a. Ponadto główny ciężar zaprojektowania siłownika wagi Kibble'a (w tym cewki i obwodu magnetycznego z magnesami stałymi) również spocząłby na konstruktorach z tej firmy, ze względu na to, że jako jedyna w Polsce ma doświadczenie w tym zakresie, a firmy zagraniczne niechętnie przyjmują niestandardowe zlecenia, dyktując ceny zaporowe. Firma ta będzie również brana pod uwagę, jako potencjalny wykonawca głównego szkieletu i obudowy wagi, a w dalszej przyszłości może też wykonać konstrukcję wagi Kibble'a do pomiarów masy w warunkach próżniowych. Przesłanką do takiego wskazania jest duże osiągnięcie technologiczne firmy, które zaowocowało w ostatnim czasie wdrożeniem do produkcji komparatora próżniowego, zbudowanego wg własnego projektu.

Innym przykładem polskiej firmy innowacyjnej jest firma, która może odegrać ważną rolę w realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a. Specjalizuje się ona w niszowej produkcji urządzeń do spektrometrii mösbauerowskiej, która jest naturalną metodą jądrową, stosowaną do badań m.in. nanomateriałów magnetycznych na bazie żelaza. Szczególna przydatność tej firmy w realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a wynika z faktu, że jako jedyna na świecie, spośród producentów spektrometrów mösbauerowskich, specjalizuje się w produkcji kalibratorów laserowych do napędów wibracyjnych. Zarówno wspomniane kalibratory z interferometrami laserowymi, jak i same napędy, mogłyby być wykorzystane w wadze Kibble'a. Istnieje szansa, że wymagana będzie jedynie niewielka rekonfiguracja urządzeń. Gdyby jednak okazało się, że wymagane będzie gruntowne przeprojektowanie układu, firma jest do tego przygotowana. Warto podkreślić, że firma ta od podstaw potrafi konstruować układy optyczne interferometrów, dzięki czemu jest w stanie dostosować je do ściśle określonych potrzeb (np. dotyczących miniaturyzacji czy też pracy w warunkach próżniowych). Poza tym, eliminując konieczność korzystania z komercyjnych, gotowych interferometrów, firma redukuje znacząco koszty docelowych urządzeń. Ma również doświadczenie w projektowaniu obwodów magnetycznych z magnesami stałymi do precyzyjnych napędów oraz jest w stanie koordynować montaż układów mechatroniczno-optycznych, a więc takich, jakie występują w wadze Kibble'a.

Przykładów polskich firm, które mogą pomóc w realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a, jest znacznie więcej. Oczywiście krąg potencjalnych wykonawców nie ogranicza się jedynie do polskich przedsiębiorstw

innowacyjnych. Przed podjęciem decyzji o ostatecznym wyborze wykonawców zostaną wdrożone wszelkie niezbędne i wymagane prawnie procedury ewaluacji ofert, zgodnie z wymogami adekwatnymi dla określonych źródeł finansowania.

Współpraca z polskimi uczelniami

Realizacja polskiego projektu wagi Kibble'a nie będzie możliwa bez udziału polskich uczelni, które w ostatnich latach coraz chętniej współpracują z przemysłem i partycypują w pracach wdrożeniowych. Poza tym są motorem innowacyjności w podstawowych gałęziach techniki, do których bez wątpienia zalicza się współczesna metrologia.

Jedną z uczelni bardzo silnie zaangażowanych w strategiczną analizę polskiego projektu wagi Kibble'a jest Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu (dawniej Politechnika Radomska). Pracownicy Katedry Fizyki na Wydziale Mechanicznym posiadają bogate doświadczenie we współpracy z przemysłem w zakresie metrologii, technik próżniowych i kriogenicznych oraz ultrastabilnych temperaturowo materiałów magnetycznych do wag analitycznych i komparatorów masy. Kolejnym obszarem kompetencji pracowników Katedry Fizyki są symulacje metodą elementów skończonych (MES-FEM) obwodów magnetycznych z magnesami stałymi (niezbędnych m.in. do siłownika wagi Kibble'a). Poza tym Wydział Mechaniczny posiada też wyspecjalizowaną kadrę w zakresie mechanicznych symulacji FEM-MES, komputerowego projektowania CAD-CAE, programowania obrabiarek CNC oraz zaawansowanych metod statystycznych w metrologii. Jeden z pracowników Katedry Fizyki podjął się merytorycznego nadzoru nad realizacją całokształtu polskiego projektu wagi Kibble'a.

Kolejną uczelnią, która może okazać się pomocna w realizacji projektu polskiej wagi Kibble'a, jest Politechnika Świętokrzyska w Kielcach. Jak już wspomniano, docelową lokalizacją laboratorium nowego wzorca masy będzie powstający w Kielcach świętokrzyski kampus laboratoryjny Głównego Urzędu Miar. Rektor Politechniki Świętokrzyskiej zadeklarował w ostatnim czasie, że na tej kieleckiej uczelni technicznej zostaną uruchomione nowe kierunki kształcenia, związane z metrologią. Najbardziej predystynowane do utworzenia tego typu kierunków kształcenia i specjalności metrologicznych są: Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki oraz Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn. Politechnika Świętokrzyska już w 2020 roku może stać się naturalnym dostawcą wyspecjalizowanej kadry do świętokrzyskiego kampusu laboratoryjnego GUM. Oznacza to, że absolwenci tej uczelni mogą

być pracownikami laboratorium nowego wzorca masy, bazującego na polskiej wadze Kibble'a oraz uczestniczyć w jego sukcesywnym rozwoju.

Uczelnią, która już od wielu lat współpracuje z Głównym Urzędem Miar w Warszawie, jest Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu. Najbardziej zaangażowanym w tą współpracę jest Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Na tym wydziale, w Instytucie Fizyki funkcjonuje Krajowe Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (KL FAMO), które jest ogólnopolską międzyuczelnianą jednostką badawczą, utworzoną w celu umożliwienia prowadzenia w Polsce doświadczalnych badań na światowym poziomie z zakresu fizyki atomowej, molekularnej i optycznej. Istotną rolą KL FAMO jest integracja polskiego środowiska fizyków atomowych, molekularnych i optycznych oraz wzmacnianie ich udziału w europejskiej współpracy naukowej. Z punktu widzenia praktycznej metrologii najważniejszym i najbardziej innowacyjnym układem w tym laboratorium jest Polski Optyczny Zegar Atomowy sprzężony ze wzorcem czasu UTC, realizowanym w Obserwatorium Astrogeodynamicznym PAN w Borowcu pod Poznaniem oraz z urzędowym wzorcem czasu UTC(PL) w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie i odniesiony do uniwersalnego czasu światowego. Polski Optyczny Zegar Atomowy to w rzeczywistości układ dwóch wzorcowych źródeł światła (bazujących na atomach strontu), połączonych z ultrawąskim spektralnie laserem z tzw. optycznym grzebieniem częstotliwości. Doświadczony personel naukowo-techniczny, który pracuje przy tym zaawansowanym układzie optycznym, mógłby być bardzo pomocny przy konstruowaniu i konfigurowaniu laserowych układów interferometrycznych, niezbędnych do pracy wagi Kibble'a.

Ryzyko wykonalności projektu

Jak w przypadku każdego długoterminowego projektu innowacyjnego projekt polskiej wagi Kibble'a jest obarczony ryzykiem zaistnienia okoliczności utrudniających jego realizację. Natura tych czynników ryzyka jest złożona i różnorodna. Obejmuje ona zarówno kwestie techniczne, finansowe, jak i organizacyjne. Przygotowując projekt o charakterze pionierskim nie jest możliwe ścisłe zaplanowanie wszystkich punktów harmonogramu działań, ponieważ nie są do końca znane wszystkie aspekty techniczne zagadnienia. Jak już wspomniano w niniejszej analizie, zespoły międzynarodowe, które już realizują projekty wagi Kibble'a, bardzo często zmieniają koncepcje konstrukcyjne lub pracują nad kilkoma różnymi, alternatywnymi wariantami projektowymi. Zgodnie z informacjami zawartymi w rozdziale dotyczącym wyboru koncepcji, najpoważniejszym dylematem w polskim projekcie

będzie wybór między konstrukcją wagi Kibble'a o konstrukcji z ruchomą cewką a wariantem z ruchomym magnesem. Decyzja rozstrzygająca zapadnie po dalszym, dokładnym rozpoznaniu. Konieczne do tego będą konsultacje z partnerami zagranicznymi oraz ekspertyzy specjalistów z polskich firm i uczelni zaangażowanych w projekt. Nigdy jednak nie ma całkowitej pewności czy wybór będzie trafny, a jego zasadność zostanie zweryfikowana dopiero w praktyce, dzięki testom i eksperymentom. Ewentualna konieczność korekty przyjętych rozwiązań lub całkowitej zmiany koncepcji pociągnie za sobą nieunikniony wzrost kosztów realizacji pionierskiego projektu i wydłuży czas jego wykonania. Ponadto mogą się pojawić zupełnie nieprzewidziane problemy techniczne, które niekoniecznie skłonią do modyfikacji koncepcji, ale niekorzystnie wpłyną na terminowość wykonania oraz na wysokość docelowego budżetu projektu.

Kolejnym zagrożeniem dla projektu polskiej wagi Kibble'a mogą być trudności lub opóźnienia w pozyskaniu środków na jego realizację. Wszelkie procedury konkursowo-grantowe oraz planowanie budżetu GUM rządzą się określonymi regułami, które wymagają działań z dużym wyprzedzeniem. Z racji tego, że projekt polskiej wagi Kibble'a dopiero powstaje, to przy bardzo optymistycznych założeniach, środki na jego realizację będzie można pozyskać najwcześniej za rok. Nie wiadomo też dokładnie, jakiego typu konkursy ogłoszone zostaną przez NCBiR oraz NCN w najbliższym czasie, jakie dodatkowe środki budżetowe na projekt może otrzymać bezpośrednio GUM i jakie formy dystrybucji funduszy unijnych zostaną udostępnione. Wydaje się jednak, że nie istnieje duże ryzyko negatywnej oceny merytorycznej projektu polskiej wagi Kibble'a ze względu na jego innowacyjność i znaczenie strategiczne. Zasadniczą sprawą będzie oczywiście jakość napisania wniosku oraz dobór konsorcjantów i wykonawców. Nie wiadomo jednak, jaki będzie górny limit wysokości dofinansowania przyznawanego w ramach ogłaszanych konkursów grantowych. Całkowity koszt projektu polskiej wagi Kibble'a, oszacowany wstępnie na 5 mln złotych nie wydaje się zbyt wygórowany, biorąc pod uwagę złożoność materii i pionierskość rozwiązań. Warto w tym miejscu dodać, że np. gotowy i seryjnie produkowany przyrząd, jakim jest skaningowy mikroskop elektronowy z emisją polową i mikroanalizą rentgenowską, kosztuje właśnie tyle, ile wynosić ma wstępny budżet polskiej wagi Kibble'a, którą dopiero należy skonstruować. W przypadku trudności w pozyskaniu całości środków na projekt z jednego źródła finansowania, można projekt podzielić na etapy i występować kolejno o częściowe dofinansowania z różnych źródeł i konkursów. To rozwiązanie, choć nieco komplikowałoby i wydłużyło proces realizacji projektu, miałoby też zaletę, polegającą na tym, że przy takim podejściu budżet projektu nie jest odgórnie domknięty

i ograniczony. Dzięki temu, w sytuacji przekroczenia wstępnie szacowanych kwot kosztorysowych, w uzasadnionych przypadkach można byłoby występować o kolejne transe na zasadzie dodatkowych konkursów lub innych dofinansowań. Warto też podkreślić, że zaproponowana w niniejszej analizie całkowita wysokość środków na projekt polskiej wagi Kibble'a dotyczy prototypowej wersji urządzenia. Biorąc pod uwagę doświadczenia innych zespołów międzynarodowych, już od kilku lat pracujących nad konstrukcją wag Kibble'a, konstrukcja prototypowa wymaga wielu dalszych działań korekcyjno- optymalizacyjnych, zwłaszcza gdy zależy nam na sprawnej, powtarzalnej produkcji wielu egzemplarzy wagi. W szczególności konieczne będą projekty dotyczące realizacji wzorców masy mniejszych niż jeden kilogram. Wobec powyższego, po realizacji projektu polskiej wagi Kibble'a w wersji prototypowej celowym stanie się występowanie o środki na kolejne wnioski związane z realizacją wersji docelowej takiej wagi dla wzorca kilograma oraz wag dla wzorców subkilogramowych.

Współpraca zagraniczna

W dotychczasowej analizie projektu już po wielokroć przewijały się różnego rodzaju aspekty międzynarodowe. W tym miejscu chcielibyśmy jednak uwypuklić kwestię perspektywy realnej współpracy międzynarodowej podczas realizacji poszczególnych etapów projektu. I tak, w fazie wstępnej (rozpoznawczej), która w zasadzie już się rozpoczęła, zespół roboczy intensywnie wykorzystuje swoje kontakty z międzynarodowymi środowiskami metrologicznymi. Celem tych kontaktów jest pozyskanie wiedzy i doświadczenia, którym dysponują i chcą się podzielić zagraniczne ośrodki już od lat zaangażowane w analogiczne projekty. Na uwagę zasługują zwłaszcza robocze spotkania i rozmowy konferencyjne z przedstawicielami laboratorium masy oraz kwantowych wzorców elektrycznych w BIPM w Sèvres. Jednakże specjalnego znaczenia nabierają niedawno zapoczątkowane (i w ostatnim czasie bardzo zintensyfikowane) relacje między GUM a Krajowym Instytutem Metrologicznym w Turcji (National Metrology Institute / Ulusal Metroloji Enstitüsü, UME). Instytut ten funkcjonuje dzięki bezpośredniemu wsparciu finansowemu tureckiej agencji rządowej, odpowiedzialnej za rozwój innowacyjnych technologii (Scientific and Technological Research Council of Turkey, Türkçe Scientific and Technological Research Council of Turkey, TÜBİTAK). Należy podkreślić, że współpraca z tureckim Krajowym Instytutem Metrologicznym została ostatnio zinstytucjonalizowana dzięki międzynarodowym umowom partnerskim. Strona turecka nie ogranicza się jedynie do kooperacji z samym GUM, gdyż prowadzi ożywioną współpracę z polskimi firmami zajmującymi



się metrologią masy na najwyższym poziomie. Ta współpraca dotyczy m.in. zagadnień związanych z próżniowymi komparatorami masy, jak również tureckiego projektu wagi Kibble'a. Dzięki tym interakcjom pojawiła się realna szansa na to, by część polskiego i tureckiego projektu realizować wspólnie. Jak już wspomniano w sekcji dotyczącej wyboru koncepcji, turecki pomysł na wagę Kibble'a bez ruchomej cewki, lecz z ruchomym magnesem wydaje się atrakcyjny pod względem technologicznym, chociaż ma też swoje ograniczenia. Być może częściowe uwspólnienie realizacji projektu tureckiego i polskiego zaowocuje wypracowaniem nowego, zoptymalizowanego rozwiązania. Obydwu stronom tego partnerstwa zależy na dobrej, owocnej współpracy, gdyż jej finalny sukces może przyczynić się do zwiększenia wzajemnej pozycji w obszarach leżących wyraźnie poza regionami dotychczasowego oddziaływania.

Wnioski

Zgodnie z zapowiedzią zawartą we Wprowadzeniu, zasadniczym powodem przeprowadzenia niniejszej analizy było stworzenie podstawy do podjęcia decyzji o rozpoczęciu realizacji polskiego projektu wagi Kibble'a. Rozpatrywana materia okazała się szczególnie złożona, zarówno pod względem merytorycznym, jak i organizacyjno-strategicznym. Mimo to udało się zebrać i uporządkować fakty oraz argumenty, które umożliwiają sformułowanie finalnych konkluzji. We wszystkich aspektach analizy celowości projektu pojawiają się wskazania przemawiające za podjęciem jego realizacji.

Kluczowa konkluzja dotyczy wyboru odpowiedniego wariantu projektu. Doświadczenia najbogatszych i zaawansowanych technologicznie krajów na świecie sugerują, że Polska niekoniecznie powinna angażować się w projekt wagi Kibble'a na jeden kilogram. Jednak biorąc pod uwagę perspektywę długookresową wykazano, że całkowite zaniechanie projektu mogłoby bardzo negatywnie wpłynąć na polską metrologię oraz gospodarkę, której stopień innowacyjności jest wciąż niedostateczny. Taka postawa pozostawałaby w wyraźnej sprzeczności ze strategiami rozwoju kraju, uchwalanymi przez kolejne ekipy rządowe. Zwłaszcza w świetle perspektywy rozwojowej do roku 2030, nakreślonej ostatnio przez premiera Mateusza Morawieckiego, rezygnacja z realizacji takiego projektu jak polska waga Kibble'a, byłaby poważnym błędem strategicznym.

Wobec powyższych argumentów wskazano kilka projektów alternatywnych, które mają duże szanse na realizację. Projekt zasadniczy (dla którego opracowano kompletny harmonogram i kosztorys) to polska kompaktowa waga Kibble'a na zakresy małych mas (gramy, miligramy). Projektu tego nie należy traktować jako „namiastki”

projektu wagi Kibble'a na 1 kg. Jego realizacja staje się koniecznością w świetle rezolucji redefinicyjnej 26. Generalnej Konferencji Miar. Należy więc zbudować dedykowany wzorzec pierwotny jednostki masy w postaci kompaktowej wagi Kibble'a. Jednakże realizacja polskiej edycji tego projektu wymagałaby bardzo ścisłej współpracy z dwoma ośrodkami na świecie (LNE we Francji i NIST w USA), które uwspólniają działania i zapraszają Polskę do częściowej partycypacji w ich projekcie na zasadzie wymiany doktorantów i doktorów. Kolejną możliwością to zakup zminiaturyzowanej wersji wagi Kibble'a z brytyjskiego NPL na zakres 100 gramów. Oferta wydaje się korzystna cenowo (zwłaszcza, że połączona jest z kilkumiesięcznym szkoleniem), ale niestety do tej pory nie ma kompletnej specyfikacji technicznej urządzenia. Za działanie komplementarne uznano już rozpoczęty projekt kontenera próżniowego, którego celem jest zapewnienie próżniowego transportu wzorców materialnych do międzynarodowych instytutów metrologicznych, posiadających wagi Kibble'a. Pierwszym, wykonanym już przez GUM, krokiem w tym kierunku jest zakup komparatora próżniowego z systemem „load-lock”. Rozwinięciem tych działań mógłby być też naukowy projekt badań nad wpływem transferu próżnia-powietrze na masę i na stan powierzchni wzorców masy wykonanych z różnych materiałów. Warty wzięcia pod uwagę jest też projekt tzw. wagi Plancka (z niemieckiego PTB), opartej na komercyjnym komparatorze masy, a więc łatwej do komercjalizacji.

Istotną motywacją do podjęcia się przez Polskę realizacji jednego z wariantów projektu wagi Kibble'a są przewidywane efekty jego oddziaływania międzynarodowego. Polska ma szansę stać się prawdziwym liderem metrologii w naszym regionie oraz wypracować sobie znaczącą pozycję również pośród partnerów z innych obszarów geograficznych, np. takich jak Turcja. Jednocześnie przy realizacji projektu polskiego wskazano na konieczność ścisłej współpracy z tymi instytutami metrologicznymi na świecie, których realizowane projekty są już w fazie znacznego zaawansowania (zwłaszcza francuskiego LNE, amerykańskiego NIST oraz brytyjskiego NPL).

Ocena wykonalności projektu sygnalizuje potencjalne zagrożenia, które mogą utrudniać realizację projektu, zwłaszcza, że w tak innowacyjnej materii nie wszystko da się przewidzieć z odpowiednim wyprzedzeniem. W szczególności można spodziewać się opóźnień w pozyskiwaniu niezbędnych środków finansowych na projekt oraz trudności w terminowej realizacji poszczególnych działań wymienionych w harmonogramie. Mimo to pięcioletnia perspektywa projektu wydaje się wystarczająca, przynajmniej do skonstruowania prototypowej wersji wagi Kibble'a na zakres małych mas. Podobnie jak inne zespoły w zagranicznych instytutach metrologicznych, które zaczęły już pracę nad wagą Kibble'a, również polskie

środowisko metrologiczne powinno być gotowe do stawienia czoła wyzwaniom natury zarówno technicznej, jak i finansowo-organizacyjnej. W analizie wykonalności wykazano, że właściwym sposobem radzenia sobie ze spodziewanymi problemami jest ścisła współpraca GUM z firmami-liderami polskiej branży metrologicznej, jak również z polskimi ośrodkami akademickimi. Kolejną optymistyczną przesłanką jest aktualny stan posiadania GUM kwantowych wzorców elektrycznych, jak i atomowych wzorców czasu oraz nakreślone perspektywy rozbudowy GUM w ramach kampusu świętokrzyskiego. Dodatkowego wsparcia w realizacji projektu można się spodziewać ze strony zagranicznych partnerów GUM.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyniki analizy strategicznej, Zespół jednoznacznie rekomenduje realizację polskiego projektu wagi Kibble'a na zakres małych mas oraz kilka mniejszych projektów komplementarnych. Autorzy analizy żywią nadzieję, że niniejsza rekomendacja będzie czynnikiem skutecznie motywującym zarówno polskie środowisko metrologiczne, akademickie, jak i polski przemysł innowacyjny oraz polskie władze do podjęcia i wspierania prac związanych z projektem. Oczywistym warunkiem powodzenia tego przedsięwzięcia jest zapewnienie odpowiednich środków finansowych (głównie budżetowych i unijnych).

Podziękowania

Autorzy artykułu pragną złożyć podziękowania Panu Michałowi Soleckiemu oraz Pani Agnieszce Żukowskiej za pomoc w jego opracowaniu. Szczególne uznanie autorzy wyrażają Panu Włodzimierzowi Lewandowskiemu, za twórczą inspirację, która doprowadziła do powstania artykułu.

Literatura

- [1] Mills I., Mohr P., Quinn T., Taylor B., Williams E., Redefinition of the kilogram: a decision whose time has come. *Metrologia*, vol. 42 (2005), s. 71–80.
- [2] Ossowski R., Przegląd aktualnej wiedzy na temat prowadzonych badań nad redefinicją jednostki masy (stan na koniec 2013 r.). *Biuletyn GUM*, nr 1-2 (2014), s. 25–29.
- [3] Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM): Report of the 12th meeting (26 March 2010) to the International Committee for Weights and Measures. Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.
- [4] Dudek E., Mosiądz M., Orzepowski M., Wzorce wielkości elektrycznych oparte na zjawiskach kwantowych. *Biuletyn GUM*, nr 3 (2009), s. 3–16.
- [5] Zięba A., Kwantowy układ SI – podstawy fizyczne i perspektywy przyjęcia. *Biuletyn GUM*, nr 1-2 (2015), s. 14–19.
- [6] Resolutions of the 26th CGPM. Versailles, 13–16 November 2018.
- [7] Steiner R., Newell D., Williams E., A result from the NIST watt balance and an analysis of uncertainties. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 48 (1999), s. 205–208.
- [8] Kibble B., Robinson I., Principles of a new generation of simplified and accurate watt balances. *Metrologia*, vol. 51 (2014), s. S132–S139.
- [9] Haddad D., Seifert F., Chao L., Li S., Newell D., Pratt J., Williams C., Schlamminger S., Invited Article: A precise instrument to determine the Planck constant, and the future kilogram. *Review of Scientific Instruments* 87 (2016), 061301.
- [10] Steiner R., Newell D., Williams E., Details of the 1998 watt balance experiment determining the Planck constant. *Journal Research of the NIST*, vol. 110 (2005), s. 1–26.
- [11] Haddad D., Seifert F., Chao L., Cao A., Sineriz G., Pratt J., Newell D., Schlamminger S., First measurements of the flux integral with the NIST-4 watt balance. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64 (2015), s. 1642–1649.
- [12] Seifert F., Newell D., Chao L., Haddad D., Pratt J., Schlamminger S., Monitoring gravity for the NIST-4 watt balance. *Proc. of IEEE 2016 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)*, 2016, 1–2.
- [13] Leaman E., Haddad D., Seifert F., Chao L., Cao A., Pratt J., Schlamminger S., Newell D., A determination of the local acceleration of gravity for the NIST-4 watt balance. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64 (2015), s. 1663–1669.
- [14] Jarrett D., Elmquist R., Kraft M., Quantum Hall Resistance Traceability for the NIST-4 Watt Balance. *Proc. of IEEE 2016 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) 2016*.
- [15] Haddad D., Waltrip B., Steiner R., Low Noise Programmable Current Source for the NIST-3 and NIST-4 Watt Balance. *Proc. of IEEE 2012 Conference on Precision electromagnetic Measurements*, 2012.
- [16] Chao L., Seifert F., Cao A., Haddad D., Newell D., Schlamminger S., Pratt J., The Design of the New NIST-4 Watt Balance. *Proc. of IEEE 29th Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)*, 2014.
- [17] Haddad D., Seifert F., Chao L., Possolo A., Newell D., Pratt J., Williams C., Schlamminger S., Measurement of the Planck constant at the National Institute of Standards and Technology from 2015 to 2017. *Metrologia*, vol. 54 (2017), s. 633–641.
- [18] Schlamminger S., Design of the permanent-magnet system for NIST-4. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 62 (2013), s. 1524–1530.
- [19] Schlamminger S., Steiner R., Haddad D., Newell D., Seifert F., Chao L., Liu R., Williams E., Pratt J., A summary of the Planck constant measurements using a watt balance with a superconducting solenoid at NIST. *Metrologia*, vol. 52 (2015), s. L5–L8.
- [20] <https://www.bipm.org/en/bipm/mass/watt-balance/>
- [21] Improved understanding of Kibble balance magnets <https://www.bipm.org/en/news/full-stories/2018-01-kibble.html>



- [22] Li S., Bielsa F., Stock M., Kiss A., Fang H., A permanent magnet system for Kibble balances. *Metrologia*, vol. 54 (2017), s. 775–783.
- [23] Li S., Bielsa F., Stock M., Kiss A., Fang H., Coil-current effect in Kibble balances: analysis, measurement, and optimization. *Metrologia*, vol. 55 (2018), s. 75–83.
- [24] Ahmedov H., Korutlu B., Özgür B., Yaman O., Alignment in UME oscillating-magnet Kibble balance experiment. *UME Reports* 2017.
- [25] Ahmedov H., Babayiğit Aşkın N., Korutlu B., Orhan R., Preliminary Planck constant measurements via UME oscillating magnet Kibble balance. *Metrologia*, vol. 55 (2018), s. 326–333.
- [26] Robinson I., Towards the redefinition of the kilogram: a measurements of the Planck constant using the NPL Mark II watt balance. *Metrologia*, vol. 49 (2012), s. 113–156.
- [27] Davidson S., Robinson I., Lovelock P., Jarvis C., The development of a next-generation Kibble balance for the realization of the unit of mass following the revision of the SI. *Euspen's 18th International Conference & Exhibition*, Venice, June 2018.
- [28] Pinot P., Macé S., Geneves G., Gournay P., Haddad D., Lecollinet M., Villar F., Himbert M., Study of flexure strips made of copper-berilium alloy to be used for French watt balance experiment. *Revue Française de Métrologie* 21 (2010), s. 9–21.
- [29] Thomas M., Ziane D., Pinot P., Karcher R., Imanaliev A., Pereira Dos Santos F., Merlet S., Piquemal F., Espel P., A determination of the Planck constant using the LNE Kibble balance in air. *Metrologia*, vol. 54 (2017), s. 468–480.
- [30] Researchers developing a new balance for the new kilogram. *Technische Universität Ilmenau* (2017) <https://phys.org/news/2017-06-kilogram.html>
- [31] Rothleitner Ch., Schleichert J., Günther L., Vasilyan S., Rogge N., Knopf D., Fröhlich T., Härtig F., The Planck-Balance – a self-calibrating precision balance for industrial applications. *59th ILMENAU SCIENTIFIC COLLOQUIUM*, Technische Universität Ilmenau, 11–15 September 2017.
- [32] Rothleitner C., Schleichert J., Rogge N., Günther L., Vasilyan S., Hilbrunner F., Knopf D., Fröhlich T., Härtig F., The Planck-Balance – using a fixed value of the Planck constant to calibrate E1/E2-weights. *Measurement Science and Technology*, vol. 29 (2018), 074003.
- [33] Günther L., Rothleitner C., Schleichert J., Rogge N., Vasilyan S., Härtig F., Fröhlich T., The Planck-Balance – primary mass metrology for industrial applications. *Journal of Physics: Conf. Series* 1065 (2018) s. 042021-1– 042021-4.
- [34] Collaboration on the design and construction of the next generation of Kibble balances. *National Physical Laboratory*, July 2018.
- [35] Davidson S., Determination of the effect of transfer between vacuum and air on mass standards of platinum-iridium and stainless steel. *Metrologia*, vol. 47 (2010), s. 487–497.
- [36] J. Berry, S. Davidson: Effect of pressure on the sorption correction to stainless steel, platinum/iridium and silicon mass artefacts. *Metrologia*, vol. 51 (2014), s. S107–S113.
- [37] P. Fuchs, K. Marti, S. Russi: Traceability of mass in air to mass in vacuum: results on the correlation between the change in mass and the surface chemical state. *Metrologia*, vol. 51 (2014), s. 376–386.
- [38] Davidson S., Berry J., Abbott P., Marti K., Green R., Malengo A., Nielsen L., Air–vacuum transfer; establishing traceability to the new kilogram. *Metrologia*, vol. 53 (2016), s. A95–A113.
- [39] *Czteroletni strategiczny plan działania GUM 2018–2021*. Wydawnictwo GUM, Warszawa 2017.
- [40] *Współpraca z Przemysłem i Nauką*. Wydawnictwo GUM, Warszawa, 2017.
- [41] *Strategia Rozwoju Kraju 2020*. Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, Departament Koordynacji Polityki Strukturalnej. Warszawa 2012.
- [42] *Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)*. Dokument przyjęty uchwałą Rady Ministrów w dniu 14 lutego 2017 r. w Warszawie.
- [43] Pierwszy w Polsce próżniowy komparator masy będzie pracował w GUM. Artykuł w *Biuletynie GUM*, nr 1 (2018), s. 5.

Bezpieczeństwo cyfrowe a rzetelność pomiaru

Digital security and measurement reliability

Michał Mosiądz, Janusz Sobiech, Jacek Wójcik (Główny Urząd Miar)

Zadaniem metrologii jest zapewnienie wiarygodności pomiarów. Nowoczesne przyrządy pomiarowe używają oprogramowania sterującego. Oprogramowanie ma wpływ na rzetelność i jakość pomiaru. Ryzyko obniżenia wiarygodności pomiarów powoduje konieczność stosowania zasad bezpieczeństwa cyfrowego w metrologii. Wytyczne dotyczące przyrządów pomiarowych powinny uwzględniać te zasady.

The goal of metrology is to ensure the reliability of measurements. Modern measuring instruments use control software. The software affects the reliability and quality of measurement. The risk of lowering the reliability of measurements requires the use of digital security principles in metrology. Guidelines for measuring instruments should include these principles.

Wstęp

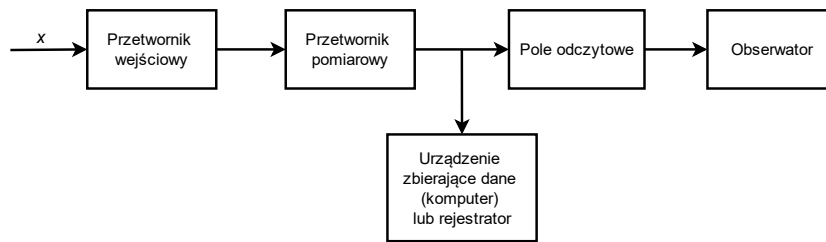
Wszystkie przyrządy pomiarowe, niezależnie od sposobu ich konstrukcji i zastosowanych technologii, muszą zapewnić wiarygodność pomiaru. Znajduje to odzwierciedlenie w budowie i wykonaniu przyrządu, który ma z zamierzoną dokładnością zapewnić wskazanie wartości wielkości fizycznej, która została zmierzona. Przyrząd, gwarantując akceptowalną zgodność kolejnych wyników pomiaru w tych samych oraz zmienionych warunkach pomiarowych, poza wynikiem pomiaru, powinien również miarodajnie rejestrować inne dane pozwalające na identyfikację procedury pomiarowej, poprzez wskazanie m.in. czasu, miejsca, egzemplarza przyrządu bądź układu pomiarowego, osoby mierzącej.

Celem artykułu jest przedstawienie problematyki, związanej z wpływem rozwiązań informatycznych (w szczególności szeroko rozumianego oprogramowania) na rzetelność pomiaru w przyrządach i systemach pomiarowych. Począwszy od przedstawienia wpływu oprogramowania na środowisko i proces pomiarowy, autorzy pokazują problem wiarygodności pomiaru w związku z trudnością rzetelnego oszacowania poziomu ryzyka cyfrowego. W artykule zostaną pokrótce przedstawione wypracowane metody szacowania ryzyka informacyjnego oraz standardy bezpieczeństwa cyfrowego, ze szczególnym uwzględnieniem wytycznych, dotyczących przyrządów pomiarowych, w których zastosowano rozwiązania teleinformatyczne. W końcowej części przedstawiono ogólnie nowe tendencje wykorzystania nowoczesnej informatyki w metrologii.

Oprogramowanie w urządzeniach pomiarowych

Na kluczową rolę oprogramowania w komputerowych systemach pomiarowych zwracano już uwagę w latach 90., kiedy to opisywano rozwój metrologii. Zastosowanie informatyki w metrologii ukazywano wtedy jako odrębną fazę rozwoju, która nastąpiła po okresie stosowania metod pomiarowych, opartych na bezpośrednim porównaniu i korzystaniu z mierników mechanicznych, elektromechanicznych oraz po etapie rozwoju przyrządów elektronicznych. Zastosowanie czujników elektrycznych oraz przetworników analogowo-cyfrowych do pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych umożliwiło późniejszą cyfryzację pomiarów. Opisując fazę wprowadzenia informatyki do metrologii stwierdzono: *Umożliwiło to włączenie do pomiaru praktycznie dowolnie skomplikowanych operacji obliczeniowych oraz automatyczne sterowanie pomiarem; [...] Komputerowy system pomiarowy może bowiem spełnić wiele złożonych funkcji związanych zarówno z przetwarzaniem informacji pomiarowej, jak i z obsługą obiektu pomiaru – z jednej strony – oraz odbiorcy wyników pomiaru – z drugiej [1].* Przedstawiając możliwości, jakie daje zastosowanie technologii informatycznych w metrologii, w następujący sposób zwracano uwagę na znaczenie oprogramowania: *O jego [komputerowego systemu pomiarowego] możliwościach w coraz większym stopniu decyduje oprogramowanie (software), w mniejszym zaś – konstrukcja (hardware). Opisane przemiany w dziedzinie instrumentacji umożliwiły podjęcie przez metrologię nowych zadań. [...] Pojawiła się potrzeba równoczesnego mierzenia wielu współzależnych wielkości opisujących obiekty i zjawiska*





Rys. 1. Dawny schemat funkcjonalny przyrządu pomiarowego

fizyczne. Pomiar wyszedł poza ramy inżynierii, nauk ścisłych i wymiany towarów. Pomiary zaczęto wykorzystywać do celów nietechnicznych (przykładem: złożone pomiary w medycynie). [...] Rewolucja komputerowa w metrologii [...] co prawda zmniejszyła różnorodność stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, ale w jej miejsce wprowadziła nieporównywalnie większą różnorodność oprogramowania [1].

Opisywane przemiany wynikają również z dynamicznego rozwoju metrologii ogólnej, która dawniej nazywana miernictwem, stała się interdyscyplinarną dziedziną nauki [1, 2].

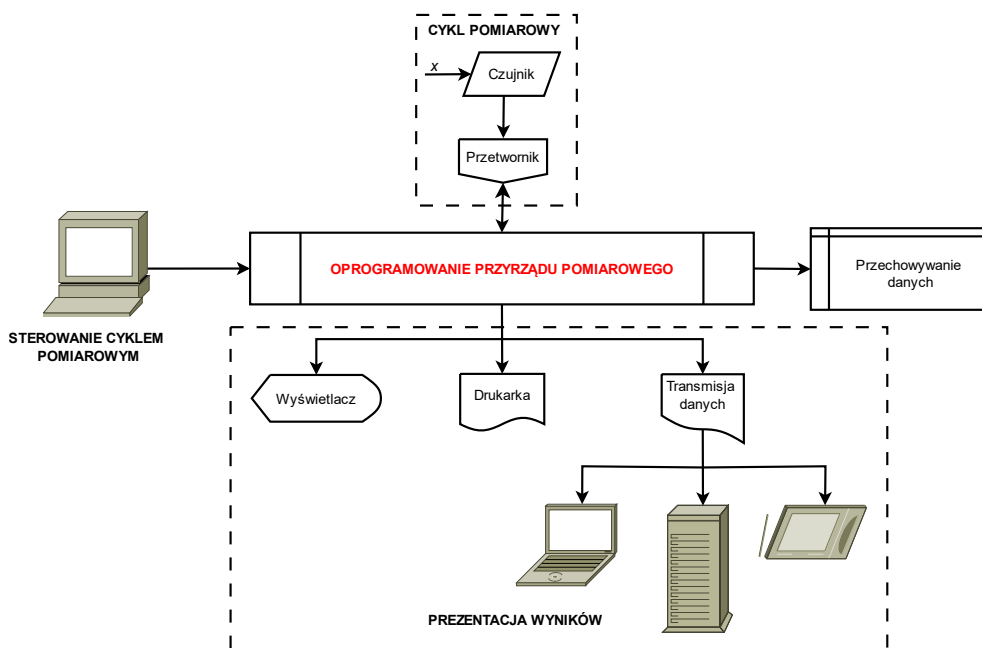
Początkowo rolę komputera sprowadzano do urządzenia zbierającego dane i biorącego udział w opracowaniu wyników lub do urządzenia, które tylko współpracuje z jedną bądź wieloma specjalistycznymi kartami pomiarowymi (przyrządy wirtualne), a jego monitor pełnił funkcję pola odczytowego (rys. 1) [2].

Z czasem urządzenie zbierające dane (komputer lub rejestrator) zaczęło być traktowane jako część przyrządu pomiarowego, a nie tylko dodatek do niego.

Zmiany wynikające z włączenia do konstrukcji przyrządów pomiarowych zdobyczy informatyki i telekomunikacji sprawiły, że stajemy przed koniecznością innego spojrzenia na przyrząd pomiarowy. Przykładem może być nie tylko włączenie do metrologii technologii informatycznej, ale również implementacja wcześniej niedostępnych rozwiązań technicznych z użyciem techniki światłowodowej, czy zjawisk kwantowych i nadprzewodnictwa. W rezultacie dalszych przemian wspomniane wcześniej oprogramowanie stało się nie tylko elementem składowym przyrządu pomiarowego, ale jego centralną częścią (rys. 2), mającą często krytyczny wpływ na pomiar i jego rzetelność.

Podobnie wcześniej marginalnie traktowany sprzęt komputerowy [1] stał się stałym i ważnym elementem urządzenia lub układu pomiarowego, który ma wpływ na niezawodność przyrządu.

Na rzetelność wyników badań i ich bezpieczeństwo znaczący wpływ ma oprogramowanie, które wraz z czujnikiem i przetwornikiem pomiarowym stanowi jądro przyrządu. Oprogramowanie, pracujące na sprzętowej



Rys. 2. Współczesny schemat blokowy przyrządu pomiarowego na bazie oprogramowania

części przyrządu (hardware), steruje całym cyklem pomiarowym, zarządza danymi odebranymi od przetwornika oraz decyduje o dalszym przetwarzaniu i wykonywaniu obliczeń. Oprogramowanie kontroluje również prezentację wyników oraz zarządza gromadzeniem i przesyłaniem danych pomiarowych.

Proces i rzetelność w nowoczesnych przyrządach

Wpływ oprogramowania i technik teleinformatycznych na metrologiczną wiarygodność powinien być również brany pod uwagę ze względu na prezentowany w literaturze algorytm procesu pomiarowego [2]. Zazwyczaj wyróżnia się w nim trzy podstawowe elementy:

- 1) czynności przygotowawcze,
- 2) realizację techniczną pomiarów (pomiar właściwy i prezentacja wyniku),
- 3) opracowanie i interpretację wyników pomiaru.

W zastosowaniu przyrządów pomiarowych z oprogramowaniem sterującym wpływ ten jest szczególnie istotny na wymienioną realizację techniczną pomiarów (2), a wraz z nią na prezentację wyników. Oprogramowanie może wspomagać też proces opracowywania i interpretacji wyników pomiaru (3). Z tego powodu wymieniony algorytm pomiarowy można bardziej uszczegółowić o takie elementy, jak: przetwarzanie sygnału, rejestrację i wskazanie wyniku, przechowywanie danych pomiarowych oraz ich odtwarzanie i cyfrową transmisję (rys. 3).

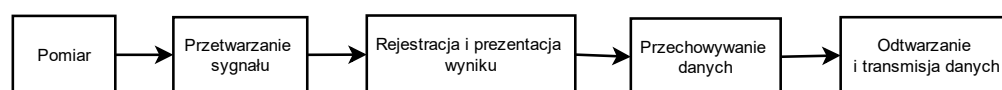
Wymienione składniki biorą udział w pomiarze właściwym i mają istotny wpływ na jego wiarygodność, ponieważ bezpośrednio (choć w niewidoczny dla użytkownika sposób) operują na uzyskanych z przetwornika danych pomiarowych. Ponadto oprogramowanie zazwyczaj steruje częścią lub całością cyklu pomiarowego, będąc realizacją założonego modelu pomiaru we wcześniej zaprojektowanym systemie pomiarowym [1, 3]. W literaturze metrologicznej, przy okazji omawiania realizacji technicznej pomiarów w procesie pomiarowym, coraz częściej mówi się o automatyzacji i cyfryzacji. Przykładowo, w jednej z pozycji pojawia się ogólne stwierdzenie: *Na pomiar właściwy składają się: wybór zakresów pomiarowych, porównanie z wzorcem, odczyt pomiaru. Czynności te coraz częściej wykonywane są automatycznie bez udziału człowieka* [2].

Przy ocenie wiarygodności pomiaru automatyzacja nie zwalnia nas jednak z uwzględniania zachodzących w urządzeniu pomiarowym procesów, które w urządzeniach informatycznych zazwyczaj przebiegają w sposób niewidoczny dla zwykłego użytkownika. Warstwa informatyczna przyrządu bierze bowiem udział w procesie pomiarowym i stanowi część środowiska pomiarowego wraz z zastosowanym w urządzeniu pomiarowym systemem operacyjnym, programem BIOS, sterownikami, interfejsami komunikacyjnymi oraz elementami sprzętowymi i ich stabilnością pracy [3]. Znajduje to również swój wyraz w omówionych dalej zbiorach wymagań i wytycznych dla przyrządów pomiarowych, działających pod kontrolą oprogramowania.

Problem wyznaczenia poziomu bezpieczeństwa informatycznego

Przedstawione rozważania prowadzą do wniosku, że w procesie metrologicznym, przy zapewnieniu wiarygodności pomiaru, konieczne jest uwzględnienie zagadnień bezpieczeństwa cyfrowego i określenia ryzyka, wynikającego z użycia oprogramowania w przyrządach pomiarowych. W różny sposób definiowane bezpieczeństwo cyfrowe jest związane z ogólnym pojęciem bezpieczeństwa informacji. Przykładowo podawane jest, że: *Bezpieczeństwo informacyjne, niejednokrotnie [...] rozważa się jako element systemu informatycznego, jako synonim bezpieczeństwa komputerowego, telekomunikacyjnego, czy bezpieczeństwa sieciowego* [4]. W określaniu bezpieczeństwa cyfrowego używana jest zamiennie różna terminologia, np. bezpieczeństwo komputerowe, bezpieczeństwo sieci i systemów oraz inżynieria bezpieczeństwa. Mają w nim szerokie zastosowanie zagadnienia ogólnie definiowanego bezpieczeństwa informacji.

Pomimo dużego znaczenia problemu, dziedzina bezpieczeństwa informacyjnego na gruncie polskim od wielu lat jest zaniedbana i *zagadnienia bezpieczeństwa informacyjnego nadal nie doczekały się formalnego uznania – z perspektywy nauki polskiej nie są [one] dostrzegalne, a postulat włączenia bezpieczeństwa informacyjnego do dyscypliny naukowej „nauka o bezpieczeństwie” jako odrębnej specjalności naukowej nie został zrealizowany* [5]. Próbuując znaleźć przyczyny takiego stanu rzeczy zauważono, że: *Być może przyczyną trudności ze znalezieniem miejsca w formalnej nauce dla bezpieczeństwa informacyjnego jest*



Rys. 3. Proces pomiarowy w przyrządach z oprogramowaniem sterującym

fakt, że jest to problematyka interdyscyplinarna. Mogłoby się wydawać, że we współczesnym społeczeństwie informacyjnym wszyscy powinni być zainteresowani informacją dobrej jakości, w szczególności informacją bezpieczną. Jednak postrzeganie tego zagadnienia przez techników i nie techników jest znacząco różne [5].

Widzimy więc, że temat ten jest różnie, a nawet selektywnie postrzegany i jak to zostanie dalej przedstawione, problematyka interdyscyplinarności zagadnień dotyczących bezpieczeństwa informacji i uwzględniania ich w metrologii polega faktycznie na trudności z precyzyjnym określeniu poziomu bezpieczeństwa cyfrowego w odniesieniu do urządzeń pomiarowych i samych wyników pomiarów. Liderman zauważa, że *bezpieczeństwo nie jest ani stanem, ani zdarzeniem, ani procesem – to imponderabilia z dziedziny psychologii, co swoje implikacje ma na przykład w możliwościach pomiaru bezpieczeństwa* [5]. Stwierdzenie to wydaje się bardzo trafne, gdyż pomimo tego, że stosuje się różnorodne metody oceny ryzyka cyfrowego, to jednak poziomu bezpieczeństwa informacji nie daje się ani dokładnie zmierzyć, ani obliczyć. Bezpieczeństwo informacyjne (w tym przetwarzanych, przechowywanych i przesyłanych danych pomiarowych) ze względu na cyfryzację i coraz większe wykorzystanie transmisji, przechowywania i przetwarzania danych, a także przez rozbudowane nowoczesne środki techniczne, jest wrażliwe na różnej postaci zagrożenia. Są to znaczne problemy, wiążące się z awarią sprzętu, błędami w oprogramowaniu, w szczególności błędami wynikającymi z niedostatecznego testowania i pośpiesznego jego wdrażania oraz zagrożenia związane z tzw. cyberprzestępczością.

Ocena ryzyka cyfrowego w świetle rzetelności pomiaru

Korzystając z rozwiązań informatycznych w przyrządach pomiarowych i w przetwarzaniu danych cyfrowych, ze względu na konieczność zapewnienia wiarygodności pomiaru, metrologia musi korzystać z wypracowanych przez informatykę rozwiązań na określenie ryzyka. Dodatkowo, metrologia powinna podejmować próby tworzenia nowych metod i testów, które poprzez analizę jakościową, ilościową lub mieszaną pozwoliłyby porównywać ryzyko cyfrowe i uwzględniać je w ocenie wyników pomiaru.

Pojęcie ryzyka w jednej z norm, dotyczących technik informatycznych, ogólnie zdefiniowano jako *wpływ niepewności na cele* [6], co odnosi się również do ryzyka związanego z wykorzystaniem technologii cyfrowej w przyrządach pomiarowych i jego związku z rzetelnością pomiaru.

Jedną z prób usystematyzowania procesu zarządzania ryzykiem w bezpieczeństwie informacji są wytyczne,

dotyczące technik bezpieczeństwa w informatyce, zawarte w normie PN-ISO/IEC 27005. Szacowanie ryzyka podzielono tam na etapy, w których można wyróżnić: identyfikację, analizę i ocenę ryzyka [6]. Dla następstw i prawdopodobieństwa zidentyfikowanych zagrożeń, w zależności od przyjętej metodyki jakościowej lub ilościowej, norma w analizie ryzyka stosuje skale opisowe lub numeryczne, za pomocą których określany jest poziom ryzyka i dokonywana jest ocena. Oceny ryzyka mogą być wielokrotne i jeśli dochodzi się do niesatysfakcjonującego wyniku, proces szacowania jest ponawiany i bardziej uszczegóławiany. Ma to na celu podjęcie dodatkowych działań (postępowań), zmierzających do zminimalizowania ryzyka do ostatecznie akceptowalnego poziomu [6]. Wymieniony standard pozwala na dużą elastyczność w wyborze metodyki. W jej wyniku osiąga się przybliżoną wartość poziomu ryzyka na bazie szacowanych prawdopodobieństw ocen i danych.

Mając na względzie faktyczną niemierzalność opisywanego ryzyka, przy ocenie bezpieczeństwa warto również korzystać z metod opartych na podejściu niesformalizowanej dowolności. Podejście tego typu oferuje doraźne metody ad hoc i eksploracyjne [7], które pozwalają lepiej uwzględnić użycie najnowszych rozwiązań w aparaturze pomiarowej, w obliczu dynamicznych zmian i nowych rozwiązań w technologii informatycznej. Bieżące tworzenie testów na potrzeby badania konkretnego urządzenia daje większą szansę wykrycia poważnych luk bezpieczeństwa i znacząco uzupełnia systemową metodologię badań, opartą na dużo wcześniej przygotowanych założonych testach i procedurach.

Szacowanie ryzyka w metodach opartych na modelowaniu

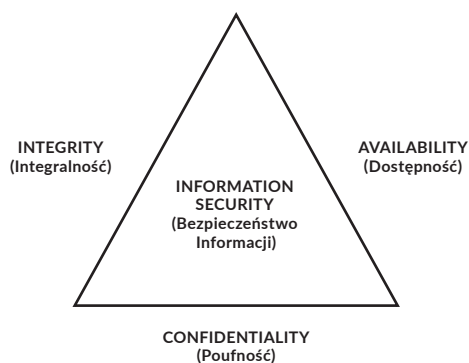
Przy dążeniu do określenia przybliżonego wskaźnika ryzyka często wykorzystywane są również metody oparte na modelowaniu ochrony informacji. Naukowcy z Krajowego Instytutu Metrologicznego w Niemczech (PTB) zwracają uwagę, że wymieniona norma [6] nie narzuca modelu odniesienia do obliczeń poszczególnych liczbowych prawdopodobieństw dla rozpatrywanych zagrożeń i wybór modelu jest pozostawiony użytkownikowi standardu [8]. Wybór i dostosowanie właściwego modelu do zaistniałej badanej sytuacji wydaje się więc kwestią dość istotną i mającą wpływ na wynik szacowania ryzyka. Można również zwrócić uwagę, że samo sięganie po uproszczone modele uzmysławia ukazywaną trudność rzetelnego oszacowania bezpieczeństwa informatycznego, które w praktyce okazuje się zadaniem bardzo złożonym.

Modele tego rodzaju opisują zwykle organizację i sterowanie dostępem do informacji, z czym spotykamy się

w schemacie Grahama–Denninga, operującym na zbiorach podmiotów, obiektów, poleceń i na macierzach dostępu. W opartym na nim innym modelu Harrisona–Ruzzo–Ullmana (HRU) mamy do czynienia ze skupieniem się wyłącznie na zagadnieniu ochrony samej informacji. Kolejny, podobny model BLP (Bella–LaPaduli), poza sterowaniem dostępem, szerzej uwzględnia ochronę danych w zakresie tajności. W systemach komputerowych z kluczową integralnością informacji zazwyczaj wykorzystywane są reguły nakreślone w modelach Biby oraz Clarka–Wilsona. W przemyśle, dla oceny bezpieczeństwa systemów komputerowych stosowany jest model Brewera–Nasha. Jest to model oparty na koncepcji tzw. „chińskiego muru”, w którym uprawnienia dostępu zmieniają się dynamicznie i podlegają weryfikacji po każdej zmianie [5, 9].

W modelowaniu systemów intensywnie korzystających z oprogramowania wymienia się model SRAM (Software Risk Assessment Model) oceniający ryzyko oprogramowania za pomocą rozbudowanego kwestionariusza oraz model SRAEP (Software Risk Assessment and Evaluation Process) bazujący na modelowaniu i identyfikowaniu ryzyka za pomocą drzewa błędów w oprogramowaniu. Wymienione modele są tylko bardziej znanymi przykładami różnorodnych podejść i mają tylko ilustrować złożoność problemu.

Jak widać, dla różnych systemów i specyficznych potrzeb ochrony informacji tworzone są własne, przystosowane modele. Dodatkowo, co stwierdził Liderman, modele formalne mają swe teoretyczne ograniczenia i *same w sobie nie zapewniają bezpieczeństwa, mogą co najwyżej dostarczyć wskazówek, jak to bezpieczeństwo budować* [5]. Podczas szacowania ryzyka najczęściej wychodzi się od ogólnych wyznaczników jakości, związanych z ochroną informacji, takich jak: tajność, integralność, dostępność, rozliczalność, niezaprzeczalność, autentyczność [5]. W celu opisanego podstawowego standardu oceny i wdrażania bezpieczeństwa informatycznego przyjęło się, niezależnie od systemów, stosować tzw. triadę CIA (Confidentiality, Integrity, Availability), określającą zabezpieczenia



Rys. 4. Bezpieczeństwo informacji

informacji w obszarach poufności, integralności (nienaruszalności) i dostępności (rys. 4).

Wymienione atrybuty bezpieczeństwa odnoszą się również do urządzeń pomiarowych z oprogramowaniem, które powinny zapewnić ochronę informacji przed nieautoryzowanym ujawnieniem (poufność), ochronę informacji przed zmodyfikowaniem przez podmioty, które nie mają do nich uprawnień (integralność) oraz umożliwić stabilne korzystanie z danych i zasobów przez osoby uprawnione (dostępność) [10].

Użyteczna w swej prostocie triada jest także opisem pewnego podstawowego modelu, który w zależności od potrzeb może być modyfikowany i uzupełniany [11, 12].

Do powyższego odnosi się praktyka administratorów systemów informatycznych, która wykazuje, że bezpieczeństwo cyfrowe nie jest stabilnym stanem. Jest raczej procesem, w którym wciąż potrzeba wykonywać pewien zespół określonych czynności, co wyrażono następująco: *Z punktu widzenia administratora systemu lub sieci sprawa jest relatywnie prosta, z perspektywy osoby, która zarządza procesem lub działaniem całość staje się bardziej skomplikowana. [...] Do pomocy istnieje wiele narzędzi, zarówno na poziomie administracji, jak i na poziomie zarządzania. [...] Na poziomie zarządzania skorzystać można z literatury i norm opracowanych specjalnie w celu wyznaczenia ram dla procesów bezpieczeństwa oraz aplikacji komputerowych wspomagających zarządzania* [10].

Podobnie Liderman zauważa, że *zapewnienie bezpieczeństwa zawsze będzie sztuką, ale też zawsze powinno być oparte na solidnych podstawach inżynierskich* [5].

Można przyjąć, że szacowanie ryzyka dla przyrządów pomiarowych jest możliwe dwutorowo. Po pierwsze, poprzez analizę potencjalnych zagrożeń, z wykorzystaniem wektorów ataków analogicznych do stosowanych w rozwiązaniach informatycznych, stosowanych w innych obszarach. Przykładem mogą być naruszenia ograniczeń dostępu, ataki obciążeniowe (Denial of Service, DoS), zdobycia uprawnień umożliwiających ingerencję w konfigurację bądź sposób działania przyrządu, a także dostęp do danych poufnych i manipulacja nimi. Zagrożenia takie mogą być analizowane teoretycznie, a wskaźniki ryzyka szacowane na podstawie powszechnie użytkowanych systemów teleinformatycznych, w sposób uwzględniający techniczne, psychologiczne i inne metody włamań.

Po drugie, poprzez analizę ryzyka, na podstawie rzeczywistych incydentów zidentyfikowanych w trakcie czynności kontrolnych służb metrologicznych, analiz rejestrów zdarzeń i obserwacji zachowań użytkowników przyrządów. Oczywiście podejście takie wymaga stworzenia narzędzi rejestrujących incydenty oraz systemu nadzoru nad przyrządami pomiarowymi, uwzględniającego weryfikację zagrożeń cyfrowych.

Połączenie tych dwóch podejść w analizie ryzyka może wskazać pełny obraz sytuacji i zagrożeń, z jakimi mamy do czynienia w środowisku pracy cyfrowych przyrządów pomiarowych. Eliminacja wystąpienia ryzyka o wysokim prawdopodobieństwie bądź wysokim poziomie istotności jest możliwa, ale dopiero na podstawie zgromadzonych długookresowo danych.

Standardy i normy bezpieczeństwa informacyjnego

Wymagany poziom bezpieczeństwa cyfrowego urządzeń metrologicznych można zapewnić poprzez zachowanie ustalonych standardów informatycznych. Standardem można nazwać pewne zdefiniowane uzgodnienia, zatwierdzone albo przez instytucję normalizacyjną, albo przyjęte nieformalnie, poprzez ich znaczące upowszechnienie i uznanie w środowiskach zajmujących się daną dziedziną. Standardy bezpieczeństwa teleinformatycznego zasadniczo można podzielić na dwie grupy [5]. Pierwszą stanowią tzw. „miary gwarantowanej odporności”, do których przypisuje się standardy: Common Criteria (CC) [13] (również jako norma [14]), TCSEC [15], ITSEC [16]. Zazwyczaj służą one certyfikacji systemów i produktów teleinformatycznych.

Drugą grupą są standardy tzw. „dobrych praktyk”, określające cechy bezpiecznych systemów informacyjnych, z których najbardziej znane są następujące: BS 7799 [17, 18] i oparte na nim normy ISO/IEC 2700x, rekomendacje NIST (serii SP-800) [19] oraz dokumenty: CAG/CIS [20], COBIT [21], ITIL [22], SSE-CMM [23], w tym norma ISO/IEC 21827. W tej grupie możemy również wymienić wytyczne, dotyczące przyrządów pomiarowych z oprogramowaniem sterującym, publikowane przez organizacje metrologiczne, jak OIML i WELMEC oraz niektóre opracowania norm PKN, w których uwzględniono aspekty bezpieczeństwa informatycznego dla urządzeń pomiarowych.

Odnosnie do urządzeń metrologicznych, warto zwrócić uwagę na ogólne wymagania dla oprogramowania kontrolującego przyrządy pomiarowe zawarte w dokumencie D31 OIML [24] oraz na odnoszący się do dyrektywy MID [25] przewodnik oprogramowania WELMEC 7.2 [26], jak również na normy branżowe, dotyczące urządzeń pomiarowych (np. wag nieautomatycznych PN EN 45501).

Odzwierciedlenie tych standardów można znaleźć również w krajowych przepisach, dotyczących wymagań technicznych dla poszczególnych rodzajów przyrządów pomiarowych [27].

Nawet krótkie przedstawienie każdego z wymienionych standardów wykracza poza cele i zakres niniejszego artykułu, gdyż są one obszernymi i szczegółowymi

opracowaniami zagadnień, związanych z ochroną i oceną bezpieczeństwa informacji w systemach informatycznych i pomiarowych. W celu zapoznania się z nimi najlepiej bezpośrednio zwrócić się do wymienionych wytycznych oraz dodatkowej literatury.

Przykładowo, odnośnie do przyrządów pomiarowych możemy ogólnie stwierdzić, że dokument D31 OIML podaje wymagania dotyczące takich podstawowych zagadnień, jak: identyfikacja oprogramowania, ochrona przed niewłaściwym użyciem i oszustwami, kontrola prawidłowości zastosowanych algorytmów i funkcji, a także prawidłowe wykrywanie błędów i ich obsługa. Poza tym dokument D31 określa specyficzne wymagania, odnoszące się do konfiguracji i budowy przyrządu, w których uwzględnia się aspekty separacji składowych części oprogramowania i podzespołów, automatycznego zapisu i zabezpieczenia przechowywania danych, zagadnienia związane z bezpieczną transmisją danych pomiarowych oraz weryfikacją i rejestracją aktualizacji oprogramowania.

Zarys wymagań standaryzowany przez Software Guide 7.2 WELMEC przedstawiono w uproszczeniu w tabeli 1, gdzie dodatkowo wyszczególniono ich znaczenie dla wiarygodności pomiaru.

Można zauważyć, że wytyczne przewodnika WELMEC koncentrują się na zabezpieczeniach w trzech kategoriach: bezpieczeństwa oprogramowania, bezpieczeństwa przechowywania danych oraz na zabezpieczeniach transmisji danych pomiarowych, co jest kluczowe dla ochrony oprogramowania i danych w celu zapewnienia rzetelności urządzenia pomiarowego.

Wykorzystanie nowoczesnej informatyki w metrologii

Nawet bardzo ogólne przedstawienie wielu dość złożonych zagadnień, jakie należy uwzględnić, chcąc wykorzystywać zdobycze informatyki i telekomunikacji w dziedzinie metrologii, może powodować wrażenie, że użycie oprogramowania i sprzętu cyfrowego w budowie i wykorzystaniu przyrządów i systemów pomiarowych rodzi wiele trudnych do przezwyciężenia problemów, z którymi należy się zmierzyć. Dlatego, na zakończenie powinno się wspomnieć o szerokich możliwościach wykorzystania tego typu urządzeń w nowoczesnych laboratoriach pomiarowych, przemyśle i możliwościach, które bez informatyki byłyby niedostępne.

Rozwój ICT przyczynił się do praktycznej realizacji koncepcji urządzeń, które za pomocą sieci elektrycznej lub komputerowej mogą bezpośrednio gromadzić, przetwarzać i wymieniać dane (Internet of Things – IoT, Internet of Everything – IoE). Przyrządy pomiarowe wyposażane w interfejsy i oprogramowanie, umożliwiając pracę w sieci i automatyczne przesyłanie danych

Tabela 1. Obszary regulacji w Software Guide 7.2 WELMEC

Wymagania szczegółowe w obszarach regulacji	Wpływ na wiarygodność Cel regulacji
BEZPIECZEŃSTWO OPROGRAMOWANIA – Jednoznacznie identyfikowalne oprogramowanie – Niezależność programu sterującego od innego oprogramowania	OPROGRAMOWANIE Niezmiennosc programu
– Automatyczna aktualizacja oprogramowania z zachowaniem zabezpieczeń – Autoryzacja autentyczności i sprawdzenie integralności aktualizacji – Nieusuwalny rejestr zmian oprogramowania	Zarządzanie aktualizacjami
– Zabezpieczenie przed przypadkowymi zmianami i celową modyfikacją	DANE – Niezmiennosc
– Brak możliwości zmiany i wiarygodna prezentacja wyników – Rozróżnienie wyników pomiaru od informacji dodatkowych	INTERFEJSY Interfejs użytkownika (GUI)
– Brak wpływu na zawartość i działanie programu, konfigurację i dane – Bezpieczna wymiana danych metrologicznych	Zabezpieczenie interfejsów i komunikacji
– Inne oprogramowanie nie może zaburzać pomiaru – Ciągłość pracy programu w sytuacjach awaryjnych i zaburzeń działania – Wewnętrzne zasilanie, zapewniające odpowiednio długą ciągłą pracę	POMIAR Odporność na awarie
– Zabezpieczenie przed nieautoryzowaną zmianą	Parametry konfiguracyjne
BEZPIECZEŃSTWO PRZECHOWYWANIA DANYCH – Przechowywanie wszystkich wymaganych danych – Zabezpieczenie przed przypadkowymi zmianami i celową modyfikacją	DANE Zapewnienie niezmiennosci danych
– Zachowane dane zapewniają identyfikowalność pomiaru – Poufność kluczy kryptograficznych i zabezpieczonych danych	Poufność i uwierzytelnienie danych
– Prezentacja i weryfikacja niezmiennosci zapisanych danych – Automatyczny zapis i odpowiednia pojemność nośnika danych – Okresowa kopia zapasowa danych pomiarowych w pamięci nieulotnej – Brak możliwości skasowania liczników kumulacyjnych	Odtwarzalność danych
– Zapewnienie ciągłego i poprawnego wskazywania wyniku pomiaru	INTERFEJS (GUI)
– Wykrywanie i raportowanie przekroczenia parametrów pracy	POMIAR – Niezawodność
BEZPIECZEŃSTWO TRANSMISJI DANYCH – Przesyłanie wszystkich niezbędnych danych do dalszego przetwarzania – Zabezpieczenie transmitowanych danych przed przypadkowymi zmianami – Zabezpieczenie przed celową modyfikacją przesyłanych danych	DANE Zapewnienie niezmiennosci danych
– Weryfikacja autentyczności przesyłanych danych – Poufność kluczy kryptograficznych i zabezpieczonych danych	Poufność i uwierzytelnienie danych
– Obsługa i uniemożliwienie przetwarzania uszkodzonych danych – Opóźnienie transmisji nie może wpływać na przebieg pomiaru – Zachowanie danych w przypadku niedostępności sieci komunikacyjnej	POMIAR Niezawodność i odporność na awarie

pomiarowych. Powoduje to, że pomimo istniejących zagrożeń cybernetycznych coraz szerzej zaczynają być stosowane sieciowe rozwiązania metrologiczne. Nawet tymczasowe połączenie sprzętu pomiarowego np. ze smartfonem daje ogromne możliwości. Podobnie perspektywę poszerza zbieranie, analizowanie i monitorowanie danych pomiarowych z wielu rozproszonych czujników poprzez sieć teleinformatyczną, oferując tych możliwości jeszcze więcej.

Równocześnie, w przypadku komunikacji z urządzeniami o otwartej architekturze (np. przytoczony smartfon, wyposażony w system operacyjny z rodziny Android), mogą pojawić się dodatkowo nowe i trudne do zdefiniowania ryzyka, mające wpływ na rzetelność pomiaru i wiarygodność wyników, gdyż są to systemy podlegające ciągłym zmianom i dające potencjalną możliwość manipulacji i niezdefiniowanego wpływu na oprogramowanie i na cykl pomiarowy.



W świecie trwają prace nad powszechnym wdrożeniem sieci inteligentnych (Smart Grids) do pomiaru dostarczonej energii i zarządzaniem jej dystrybucją [28]. Przez zastosowanie nowoczesnych liczników (Smart Meters), które umożliwiają dwukierunkową komunikację, następuje przesyłanie wyników pomiaru do centralnych systemów informatycznych. Przykładowo, omawiając temat bezpieczeństwa informatycznego w sieciach inteligentnych, Billewicz zwrócił uwagę, że zwiększenie automatyzacji i komunikacji, przy zastosowaniu tego typu sieci, boryka się z problemem zwiększonej podatności na ataki i możliwej ingerencji cyberprzestępców. Spośród najczęstszych zagrożeń systemów informatycznych wymienił on następujące: *zablokowanie dostępu do usługi, włamanie do infrastruktury systemu informacyjnego, utrata danych, kradzież danych, ujawnienie poufnych danych, zafałszowanie informacji, kradzież kodu oprogramowania, kradzież sprzętu, uszkodzenia systemów komputerowych* [29]. Pomimo pojawiających się trudności w zabezpieczeniach, technologia jest wciąż udoskonalana.

Rozwój technik teleinformatycznych, związanych z wprowadzeniem najnowszych systemów, opartych na Cloud Computing i Big Data, otwiera nowe możliwości również dla metrologii. Pojęciem Cloud Computing określa się skalowalną platformę, zawierającą sprzęt IT wraz z oprogramowaniem, która jest dostępna dla zewnętrznego operatora i jako usługa jest dostarczana za pośrednictwem Internetu. *Cloud Computing oznacza również system rozproszenia, zdolność uruchamiania programu lub aplikacji na wielu połączonych komputerach w tym samym czasie lub dynamiczną obsługę danego żądania, polegającą na przydzieleniu zadania do jednego z dostępnych serwerów* [30]. Użytkownik, przykładowo firma lub instytucja, nie musi posiadać w swoich zasobach urządzeń (np. serwerów) ani oprogramowania, natomiast wszystko podnajmuje od innych firm. Rozwiązanie takie wygląda dość korzystnie i mogłoby mieć zastosowanie również w systemach metrologicznych, o ile udałoby się rozwiązać pojawiające się w związku z tym dylematy (np. prawne). Trzeba byłoby zapewnić właściwą ochronę uwierzytelnienia danych pomiarowych i zagwarantować należyta ochronę oprogramowania pracującego na odległym serwerze, który jest administrowany przez zewnętrznego dostawcę usługi.

Rozwiązania takie opierają się na sposobach zabezpieczeń trudnych do technicznej weryfikacji i opartych na pozametrologicznych standardach bezpieczeństwa, stosowanych w branży ICT. Dodatkowo, fakt osadzenia elementów infrastruktury pomiarowej w lokalizacjach, niepodlegających lokalnym rozwiązaniom prawnym i nadzorowi metrologicznemu, stwarza szereg problemów formalno-prawnych oraz technicznych, związanych z możliwościami weryfikacji zabezpieczeń w stosunku do rozwiązań lokalnych. Związane jest to z rozmytą

odpowiedzialnością za bezpieczeństwo pomiędzy użytkownikiem usługi a jej dostawcą. Środowisko metrologiczne stoi więc przed wielkim wyzwaniem, dotyczącym wiarygodności nowoczesnych technologii IT w urządzeniach i systemach pomiarowych, a także przed wypracowaniem filozofii zaufania i narzędzi, umożliwiających walidację niezawodności i bezpieczeństwa nowoczesnych przyrządów i rozwiązań.

Wydaje się, że czarnoskrzynkowe metody testowania oprogramowania są tutaj optymalnym rozwiązaniem (również ze względu na brak dostępu do szczegółów technicznych konfiguracji tych rozwiązań). Jednakże z uwagi na uwarunkowanie bezpieczeństwa przyrządu od konfiguracji programowo-sprzętowej, zależnej wyłącznie od operatora udostępnianej platformy, konieczne jest oparcie zaufania o pozametrologiczne standardy i system certyfikacji bezpieczeństwa, powszechnie stosowane w środowisku ICT (np. stosowanie standardowych kanałów komunikacji – sieć Internet, kanały VPN, NFC, Bluetooth, RS232). Dylemat ten występuje również w przypadku konieczności oparcia bezpieczeństwa na systemach operacyjnych o odpowiedniej konfiguracji, wysokim stopniu złożoności i nieokreślonym kierunku rozwoju i aktualizacji.

Również rozwiązania dostępne poprzez najnowsze techniki analizy i składowania dużych ilości danych o wysokiej złożoności (Big Data) dają nadzieję na wykorzystanie ich przy zbieraniu i analizie wyników pomiarów w skali dotąd nieosiągalnej. Próbuąc zdefiniować tę nową dziedzinę podaje się, że *Big Data to określenie stosowane dla takich zbiorów danych, które jednocześnie charakteryzują się dużą objętością, różnorodnością, strumieniowym napływem w czasie rzeczywistym, zmiennością, złożonością, jak również wymagają zastosowania innowacyjnych technologii, narzędzi i metod informatycznych w celu wydobycia z nich nowej i użytecznej wiedzy* [30].

W 2013 r. firma IBM, odnosząc się do budowy takich usług, w których należy obsługiwać wiele danych, pochodzących z różnych źródeł i generowanych z dużą prędkością, opisała Big Data za pomocą czterech głównych atrybutów: objętości (volume), szybkości przetwarzania (velocity), różnorodności danych (variety) oraz, na co warto zwrócić uwagę, wiarygodności (veracity) [30]. Wykorzystanie powyższych technologii wiąże się z zamiarem opracowania skutecznych metod przetwarzania Big Data, pochodzących z rozproszonych źródeł, z czego oczekuje się osiągnięcia możliwości reakcji na napływ danych w czasie rzeczywistym. Wydaje się, że metody te mogą znaleźć zastosowanie w rozproszonych systemach pomiarowych i podobnie jak w innych rozwiązaniach, będą wymagały wypracowania przez metrologię odpowiedniego podejścia.

Podsumowanie

Zastosowanie oprogramowania metrologicznego w przyrządach pomiarowych stało się powszechne. Oprogramowanie i elementy realizujące funkcje przetwarzania danych we współczesnych urządzeniach pomiarowych są integralnymi i ważnymi częściami składowymi przyrządów, mającymi wpływ na niezawodność i rzetelność pomiaru. Wykorzystanie rozwiązań informatycznych przyczyniło się do rozszerzenia procesu pomiarowego o cyfrowe i programowe przetwarzanie sygnału, rejestrację i wskazanie wyniku, przechowywanie danych pomiarowych oraz odtwarzanie i transmisję wyników pomiaru.

Mając na uwadze, że istnieje związek bezpieczeństwa informatycznego z rzetelnością pomiaru, należy określić poziom ryzyka cyfrowego. Zadanie to okazuje się dość skomplikowane, gdyż bezpieczeństwa informacji faktycznie nie daje się ani dokładnie zmierzyć, ani obliczyć. Ocena ryzyka cyfrowego wymaga więc opracowywania i zastosowania systemowych metod przybliżonych. Przy tym warto również korzystać z metod doraźnych i eksploracyjnych, gdyż pozwalają na wykrywanie dodatkowych zagrożeń bezpieczeństwa i uzupełniają systemową metodologię badań, opartą na wcześniej opracowanych testach i procedurach. Narzędziem dla przybliżonych metod szacowania poziomu ryzyka cyfrowego są liczne metody oparte na uproszczeniu i modelowaniu, wypracowywane przez instytucje zajmujące się bezpieczeństwem informacji.

Ważną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa informacyjnego i rzetelności urządzeń i systemów pomiarowych pełnią standardy i normy bezpieczeństwa, które w metrologii koncentrują się na bezpieczeństwie oprogramowania i przechowywania danych oraz na zabezpieczeniach transmisji wyników pomiarów. W tej dziedzinie szczególnie użyteczne wydają się wytyczne organizacji metrologicznych, jak OIML i WELMEC oraz szczegółowe normy branżowe, tworzone w oparciu o dostępne standardy.

Wykorzystanie nowoczesnej informatyki w metrologii daje wiele korzyści, pomimo konieczności uwzględniania licznych zagadnień, związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa cyfrowego przyrządów pomiarowych. Są to korzyści, które bez informatyki byłyby niedostępne, dające nowe możliwości i posiadające wiele zalet, takich jak: możliwość gromadzenia dużych ilości danych, ich bieżąca i przyszła analiza oraz użycie sprzętu i oprogramowania w rozproszonych systemach komputerowych.

Literatura

- [1] Jaworski J. M., Morawski R. Z. [et al.], Wstęp do metrologii i techniki eksperymentu, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992, s. 3-5, 153-190.
- [2] Lisowski M., Podstawy metrologii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011, s. 7, 68, 70, 72.
- [3] Winiecki W., Organizacja komputerowych systemów pomiarowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006, s. 256.
- [4] Więcaszek-Kuczyńska L., Zagrożenia bezpieczeństwa informacyjnego, „Obronność. Zeszyty Naukowe” 2014, nr 2(10), s. 210-233.
- [5] Liderman K., Bezpieczeństwo informacyjne: nowe wyzwania, PWN, Warszawa 2017, s. 10, 17-18, 84-137, 318-353.
- [6] PN-ISO/IEC, 27005:2014-01. Technika informatyczna. Techniki bezpieczeństwa. Zarządzanie ryzykiem w bezpieczeństwie informacji, PKN, Warszawa 2014, s. 10, 20-28.
- [7] ISTQB, Słownik wyrażeń związanych z testowaniem. Wersja 2.3 (2014), Stowarzyszenie Jakości Systemów Informatycznych 2014, s. 69, 71.
- [8] Esche M., Thiel F., Software Risk Assessment for Measuring Instruments in Legal Metrology, Łódź 2015, t. 5, s. 1114.
- [9] Stokłosa J., Bilski T., Pankowski T., Bezpieczeństwo danych w systemach informatycznych, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, Poznań 2001.
- [10] Wojsław D., Pojęcie bezpieczeństwa. CIA, <http://websecurity.pl/pojecie-bezpieczenstwa-cia/> [6 listopad 2018 r.].
- [11] Cherdantseva Y., Hilton J., Information Security and Information Assurance. The Discussion about the Meaning, Scope and Goals [w:] Organizational, Legal, and Technological Dimensions of Information System Administrator. Almeida F., Portela, I. (eds.), IGI Global Publishing 2013.
- [12] Wikipedia, Information security, https://en.wikipedia.org/wiki/Information_security [16 listopad 2018 r.].
- [13] Białas i in. A., Zastosowanie wzorców projektowych w konstruowaniu zabezpieczeń informatycznych zgodnych ze standardem Common Criteria, Katowice 2011.
- [14] ISO/IEC 15408, Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security.
- [15] Department of Defense Standard, Trusted Computer System Evaluation Criteria (TCSEC, Orange Book), 15.08.1983 r., <https://csrc.nist.gov/csrc/media/publications/conference-paper/1998/10/08/proceedings-of-the-21st-nissc-1998/documents/early-cs-papers/dod85.pdf> [7 grudzień 2018 r.].
- [16] ITSEC, Information Technology Security Evaluation Criteria (ITSEC). Provisional Harmonised Criteria, https://web.archive.org/web/20060523094527/http://www.ssi.gouv.fr/site_documents/ITSEC/ITSEC-uk.pdf [7 grudzień 2018 r.].



- [17] British Standard Institute, BSI, Code of practice for Information Security Management (BS 7799-1:1995), 1995.
- [18] British Standard Institute, BSI, Specification for Information Security Management Systems (BS 7799-2:1998), 1998.
- [19] National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publications, <https://csrc.nist.gov/publications/sp> [7 grudzień 2018 r.].
- [20] Center for Internet Security, The CIS Critical Security Controls for Effective Cyber Defense, <https://web.archive.org/web/20160919021105/https://www.cisecurity.org/critical-controls/documents/CSC-MASTER-VER61-FINAL.pdf> [7 grudzień 2018 r.].
- [21] Information Systems Audit and Control Association (ISACA), Control Objectives for Information and related Technology (COBIT), <https://www.isaca.org/Knowledge-Center/cobit/Pages/Downloads.aspx> [7 grudzień 2018 r.].
- [22] AXELOS, ITIL – IT Service Management, <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/itil> [7 grudzień 2018 r.].
- [23] SSE-CMM, The Systems Security Engineering Capability Maturity Model, <http://www.sse-cmm.org/model.htm> [7 grudzień 2018 r.].
- [24] OIML, General requirements for software controlled measuring instruments, D 31, https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d031-e08.pdf [7 grudzień 2018 r.].
- [25] MID, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/32/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku przyrządów pomiarowych, <http://www.ce-polska.pl/upload/pictures/2014-32-ue.pdf> [17 grudzień 2018 r.].
- [26] WELMEC, Software Guide, https://www.welmec.org/fileadmin/user_files/publications/WG_07/WELMEC_Guide_7.2_Software_Guide_2018.pdf [7 grudzień 2018 r.].
- [27] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 17 lutego 2014 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać przyrządy do pomiaru prędkości pojazdów w ruchu drogowym, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych.
- [28] Kowalak T., Wybrane wymagania dla liczników odbiorców końcowych oraz liczników bilansujących w kontekście współpracy Infrastruktury AMI z Infrastrukturą Sieci Domowej (d. HAN) oraz potrzeb rozliczeniowych odbiorców końcowych, <http://old.ure.gov.pl/download/1/5634/Wybranewymaganiadlicznikowodbiorcowkoncowychorazlicznikowbilansujacychwkonteks.pdf> [17 październik 2018 r.].
- [29] Billewicz K., Problematyka bezpieczeństwa informatycznego w inteligentnych sieciach, Jurata 2011.
- [30] Tabakow M., Korczak J., Franczyk B., Big Data – definicje, wyzwania i technologie informatyczne, „Informatyka Ekonomiczna Business Informatics” 2014, nr 1(31), s. 141, 147.

Projekty strategiczne Samodzielnego Laboratorium Długości Głównego Urzędu Miar

Strategic projects of the Length Laboratory of the Central Office of Measures

Dariusz Czulek (Główny Urząd Miar)

Omówiono dwa projekty strategiczne realizowane w Samodzielnym Laboratorium Długości: „Udział w projekcie wykorzystania mikroukładów elektromechanicznych do zapewnienia wzorców wymiarów dla użytkowników mikroskopów bliskich oddziaływań i mikroskopów elektronowych” oraz „Udział w projekcie opracowania polskiego kompaktowego laserowego wzorca długości/częstotliwości – elementu składowego interferometru dla celów przemysłowych”.

Two strategic projects realized in the Length Laboratory was discussed: “Participation in the project of using MEMS to provide dimensional standards for users of atomic force microscopes” and “Participation in the project of developing a Polish compact laser length / frequency standard – a part of the interferometer for industrial purposes”.

Wprowadzenie

Działania Samodzielnego Laboratorium Długości Głównego Urzędu Miar na rzecz zagwarantowania zdolności pomiarowych niezbędnych dla zapewnienia rozwoju gospodarki oraz odpowiedniego poziomu jakości życia w Polsce zmierzają m.in. w kierunku podejmowania prac nad tworzeniem nowych wzorców pomiarowych. Nowe stanowiska pomiarowe oraz wzorce odniesienia pozwalają osiągnąć mniejszą niepewność, a tym samym poprawiają dokładność pomiaru.

Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne

Z inicjatywy Prezesa Głównego Urzędu Miar, w roku 2017, w celu zapewnienia stałego dialogu z zewnętrznymi środowiskami gospodarczymi i eksperckimi w określaniu strategicznych priorytetów działania GUM oraz identyfikacji potrzeb polskiego państwa i gospodarki narodowej, oraz określenia zadań stojących przed nowoczesnie zorganizowaną krajową instytucją metrologiczną, powołane zostały Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne. Są to ciała doradcze, w skład których wchodzi osoby związane zarówno z przemysłem, jak i ze światem nauki. Główne oczekiwania, związane z powołaniem zespołów, dotyczy nie tylko ich zaangażowania w powstanie strategii rozwoju polskiej metrologii, ale też wymiany doświadczeń i integracji środowiska metrologicznego, a przede wszystkim korzyści dla polskiej gospodarki.

Przywołane w streszczeniu tematy realizowanych projektów powstały w wyniku prac Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. infrastruktury i zastosowań

specjalnych, w szczególności grupy roboczej ds. nanotechnologii (poruszane zagadnienia: m.in. wzorce dla mikroskopów bliskich oddziaływań i mikroskopów elektronowych) oraz ds. technologii laserowych (poruszane zagadnienia: m.in. laserowe wzorce dla interferometrii, pomiary i stanowiska interferometryczne).

Udział w projekcie wykorzystania mikroukładów elektromechanicznych do zapewnienia wzorców wymiarów dla użytkowników mikroskopów bliskich oddziaływań i mikroskopów elektronowych

Rosnąca miniaturyzacja, a tym samym liczba użytkowników mikroskopów bliskich oddziaływań, powoduje konieczność udoskonalenia, a nawet wynalezienia oraz wytworzenia nowych wzorców odniesienia w skali nano.

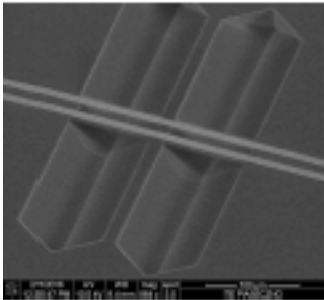
Projekt, którego głównym inicjatorem, a zarazem liderem jest Politechnika Wrocławska, a wykonawcą Instytut Technologii Elektronowych, przewiduje zastosowanie nowej koncepcji dla wzorców mikroskopów bliskich oddziaływań. Wzorec odniesienia oparty będzie na strukturze MEMS [1, 2]. Zasada działania oraz zastosowania polega na umieszczeniu mikromostka w stałym polu magnetycznym B . Podczas przepływu prądu o natężeniu I przez mikromostek wygenerowana zostanie siła Lorentza:

$$\vec{F}_L = \vec{I}(l \times \vec{B})$$

Efekt ten spowoduje ugięcie się belki mikromostka prostopadle do jej długości l o kierunku działającego pola magnetycznego. W takim przypadku możliwe jest



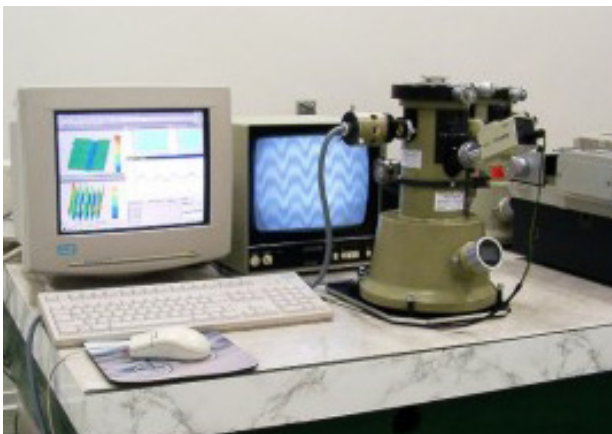
przewidywanie oraz kontrola odkształcenia mikromostka, a tym samym zastosowanie go jako wzorca odniesienia (rys. 1).



Rys. 1. Badania mikromostka produkowanego przez ITE

Do wstępnego eksperymentu zastosowano Mikrointerferometr MII-4, który w Samodzielnym Laboratorium Długości pełni funkcję wzorca odniesienia jednostki miary chropowatości powierzchni. Stanowisko pomiarowe służy do odtwarzania i przekazywania jednostki miary, zgodnie ze schematem spójności pomiarowej oraz do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi, przy porównaniach międzynarodowych. Zautomatyzowany mikrointerferometr dwupromieniowy Linnika (typ MII-4) bazuje na zasadzie działania interferometru Michelsona, lecz jest zaprojektowany i dostosowany do pomiarów w dużym powiększeniu (ok. 500 razy). Stanowisko pomiarowe umożliwia pomiar głębokości nierówności/wysokości schodka oraz następujących parametrów chropowatości: Ra , Rp , Rv , Rm (odpowiednik Ry), Rz oraz RSm . Średnica pola widzenia przyrządu, a co za tym idzie maksymalna długość odcinka pomiarowego zastosowanego do pomiaru, wynosi 0,3 mm.

Układ pomiarowy pokazany został na rys. 2 i składa się z mikrointerferometru MII-4 oraz kamery CCD połączonej z komputerem wraz z systemem akwizycji danych. System pomiarowy docelowo stosowany jest do wzorcowania następujących wzorców:

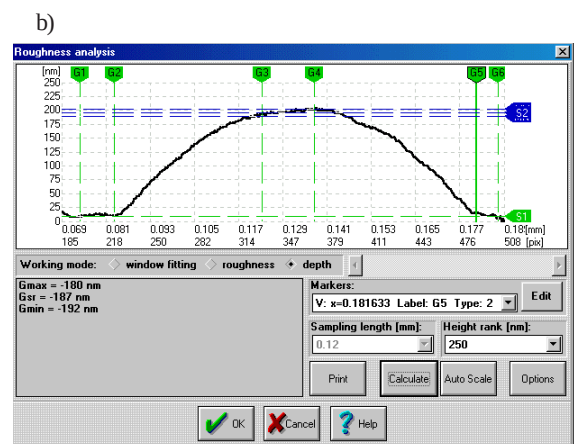
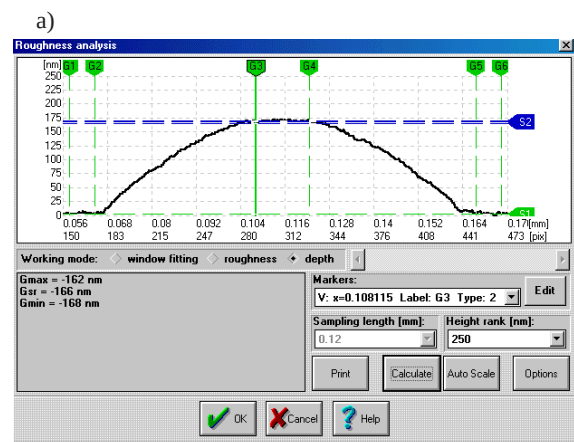


Rys. 2. Mikrointerferometr MII-4

- głębokości nierówności lub wysokości schodka (wzorców typu A1 i A2 wg PN-EN ISO 5436-1) w zakresie wysokości nierówności wysokości $h \leq 1$ mm,
- stanu ostrza (np. wzorców chropowatości typu B1, należących do grupy B wg PN-EN ISO 5436-1) w zakresie parametru $d \leq 1$ mm,
- geometrycznych (wzorców typu C1, C2, C3 i C4 w PN-EN ISO 5436-1, zwanych inaczej wzorcami odstępów).

Podczas pomiaru zastosowano ww. układ pomiarowy z wzorcową długością fali $\lambda = 536,9$ nm oraz zakresem pomiarowym $1 \mu\text{m}$. Pomiary zostały wykonane poprzez zarejestrowanie pięciu obrazów interferencyjnych przesuniętych względem siebie w fazie o $\pi/2$. Przesunięcie realizowane było za pomocą automatycznie kontrolowanego elementu piezoelektrycznego. Zarejestrowany obraz 3D został przeanalizowany za pomocą dedykowanego oprogramowania komputerowego. Poniżej zaprezentowano wstępne wyniki pomiarów.

Otrzymane wyniki pomiarów pozwalają zaobserwować różnicę w ugięciu belki mikromostka przy różnym natężeniu przepływającego prądu (rys. 3). Pokazują też jednak duży wpływ efektu termicznego w zastosowanej



Rys. 3. Wyniki pomiarów dla: $I = 0$ mA (a), $I = 3$ mA (b)

metodzie pomiarowej. Efekt ten może zostać zminimalizowany za pomocą odpowiedniej optymalizacji konstrukcji mikromostka.

Udział w projekcie opracowania polskiego kompaktowego laserowego wzorca długości/częstotliwości – elementu składowego interferometru dla celów przemysłowych

Z listy rekomendowanych źródeł promieniowania świetlnego najbardziej rozpowszechnione w praktyce i stosowane, przy realizacji jednostki długości, są lasery gazowe He-Ne o długości fali promieniowania 633 nm i He-Ne o długości fali promieniowania 532 nm, lampy kadmowe ^{114}Cd (stosowane w pomiarach interferencyjnych), a obecnie również syntezery (grzebień) częstotliwości optycznych [3].

Tendencja rozwoju nowych opracowań podąża w kierunku wykorzystania i rozpowszechnienia syntezerów częstotliwości, w celu realizowania szerokiej gamy pomiarów w pracach badawczych instytucji metrologicznych, a dotyczących pomiarów kwantowych źródeł promieniowania oraz realizowania usług metrologicznych dla wielu dziedzin gospodarki, jak medycyna, wojsko, przemysł telekomunikacyjny, spektroskopia itp.

Rosnące zapotrzebowanie przemysłu wymusza na producentach tworzenie kompaktowych, wytrzymałych oraz przyjaznych dla użytkowników stabilizowanych laserów metrologicznych nowej generacji. Z inicjatywy polskiej firmy Lasertex Sp. z o.o. oraz przy współdziałaniu Wojskowej Akademii Technicznej powstał pomysł stworzenia nowego wzorca odniesienia. Celem projektu jest opracowanie autonomicznego, zasilanego bateryjnie

źródła laserowego dla interferometru pomiarowego do badania geometrii maszyn. Do realizacji wybrane zostanie źródło promieniowania laserowego, pracujące w paśmie 532 nm. Elementem projektu jest również opracowanie narzędzi dla technologii fotonicznych w paśmie 532 nm, w celu umożliwienia rozwoju tej techniki. W ramach projektu opracowane zostaną: system wzorcowy do wzorcowania częstotliwości pracy lasera oraz autonomiczne źródło dla interferometru laserowego w paśmie 532 nm. Oczekiwana stabilność częstotliwości opracowanego źródła będzie na poziomie 10^{-10} , a moc rzędu pojedynczych mW. Dzięki autonomicznemu zasilaniu i małemu poborowi energii możliwe będzie mocowanie lasera bezpośrednio w przestrzeni roboczej badanej maszyny i wykorzystanie prostej konfiguracji pomiarowej. Opracowana głowica interferometru wyznaczy nową jakość na rynku precyzyjnych urządzeń pomiarowych do badań geometrii maszyn.

Podstawowym zadaniem Samodzielnego Laboratorium Długości GUM w ramach projektu będzie stworzenie stanowiska pomiarowego do badań stabilizowanych laserów w paśmie 532 nm, w początkowej fazie projektu o stabilności częstotliwości 10^{-7} , a w końcowej na poziomie 10^{-10} . Układ pomiarowy stworzony zostanie na bazie państwowego wzorca jednostki miary długości, synteza częstotliwości optycznych.

Opracowany układ oraz metoda pomiaru częstotliwości w paśmie 532 nm umożliwi wielokrotne badania laserowego wzorca częstotliwości dla podanej długości fali. W Laboratorium Długości wyznaczona zostanie stabilność częstotliwości i mocy, odtwarzalność długości fali, czas stabilizacji po włączeniu, czas stabilnej pracy (w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach zbliżonych do przemysłowych). Wykonane zostaną badania krótko-



Rys. 4. Syntezery częstotliwości optycznych (pierwotny wzorzec długości)

oraz długoterminowe, w wyniku których potwierdzone zostaną charakterystyki metrologiczne nowego wzorca.

Podsumowanie

Zadania poszczególnych Laboratoriów Głównego Urzędu Miar zostały opisane w czteroletnim planie strategicznym na lata 2018–2021. Laboratorium Długości GUM stara się aktywnie uczestniczyć w pracach badawczych, wynikających z inicjatywy środowisk polskiej gospodarki, co pokazuje zaangażowanie w opisane powyżej projekty naukowe. Udział w projektach naukowych umożliwia dodatkowo rozwój istniejących stanowisk pomiarowych, zwiększenie zdolności pomiarowych oraz poprawienie jakości oferowanych usług.

Literatura

- [1] Dziomba T., Koenders L., Wilkening G., Standardization in dimensional nanometrology: development of a calibration guideline for Scanning Probe Microscopy. Proc. SPIE 5965, Optical Fabrication, Testing, and Metrology II, 59650C (October 19, 2005);
- [2] Moczala M., Majstrzyk W., Sierakowski A., Dobrowolski R., Grabiec P., Gotszalk T., Metrology of electromagnetic static actuation of MEMS microbridge using atomic force microscopy. Micron 84 (2016), s. 1-6.
- [3] Quinn T. J., Practical realization of the definition of the meter, including recommended radiations of the other optical frequency standards (2001) – international report. Metrologia 40 (2003), s. 103-133.

Powyższy artykuł jest tekstem referatu (ze zmianami redakcyjnymi) przedstawionego na XIII konferencji naukowo-technicznej PPM'18, która odbyła się w dniach od 4 do 6 czerwca 2018 roku w Szczyrku.

Weryfikacja wpływu wyników porównań prowadzonych w warunkach zrównoważonego eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego na CMC laboratorium wzorcującego

Verification of the results of comparisons carried out in the conditions of balanced within laboratory experiment impact on CMC of calibration laboratory

Wiesław Gosk (Główny Urząd Miar)

W referacie przedstawiono metodę weryfikacji wpływu wyników porównań wewnątrzlaboratoryjnych na CMC laboratorium wzorcującego, opartą na analizie wariancji wyników eksperymentu, zrealizowanego jako doświadczenie dwuczynnikowe przy założeniu, że czynnikiem zmiennym jest operator wykonujący wzorcowanie oraz czas upływający między kolejnymi cyklami porównań.

Paper presents the method of verifying the impact of the within laboratory comparisons results on the CMC of calibration laboratory, based on the variance analysis of as a two factor experiment results, assuming that the influencing factors are the operator performing the calibration and the time between consecutive comparisons.

Wstęp

Porównania wewnątrzlaboratoryjne są narzędziem potwierdzenia ważności wyników wzorcowań realizowanych przez laboratoria akredytowane. W praktyce można spotkać, w zależności od dziedziny i specyfiki laboratorium, różne sposoby (plany) prowadzenia tych porównań oraz różne, często ustalane arbitralnie przez laboratoria, miary i kryteria akceptacji ich wyników. Nie utrwaliła się natomiast praktyka weryfikacji ewentualnego wpływu wyników porównań wewnątrzlaboratoryjnych na oszacowanie zdolności pomiarowej laboratorium. Tymczasem współcześnie rozumiana zdolność pomiarowa laboratorium wzorcującego CMC (Calibration and Measurement Capability) jest niepewnością wzorcowań, szacowaną w warunkach rutynowego wykonywania pomiarów, a więc w warunkach, w których czynnikami wpływającymi na zmienność wyników mogą być, obok czynników ilościowych, także czynniki jakościowe: kto z personelu wzorcującego wykonuje wzorcowanie oraz kiedy jest ono wykonywane (w sensie upływu czasu od ostatniego cyklu porównań).

Plan eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego

Klasyfikacja czynników wpływających na niepewność wzorcowań wykonywanych przez laboratorium, zgodnie z normą [1], obejmuje: ogólnie pojętą organizację

laboratorium, wyposażenie pomiarowe i jego wzorcowanie, stosowane procedury i przyjęte w nich metody pomiarowe, personel wzorcujący oraz czas specyficzny, rozumiany jako upływ czasu od zdarzenia z życia laboratorium, będącego odniesieniem (potwierdzenie metrologiczne wyposażenia pomiarowego, zrealizowany cykl porównań wewnątrzlaboratoryjnych). Warunki, w których ww. czynniki są stałe podczas wzorcowania, są warunkami powtarzalności. Skrajny przypadek, w którym wszystkie czynniki wpływające (łącznie z organizacją) są zmienne, determinuje warunki odtwarzalności międzylaboratoryjnej. Warunki, w których czynniki zmienne są ograniczone do M czynników wewnątrz laboratorium, są określane jako pośrednie warunki precyzji z M czynnikami zmiennymi [1]. W niniejszym artykule określono je jako warunki odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej, a analizę wpływu czynników zmiennych na wyniki wzorcowania ograniczono do obserwacji wpływu czynnika ludzkiego (zmiany personelu wzorcującego) oraz czynnika wyżej określonego jako czas specyficzny.

Zaplanowano doświadczenie, w którym błędy wybranego obiektu wzorcowania (np. przepływomierza) będą wyznaczone kolejno przez v osób personelu (operatorów), w możliwie krótkim czasie (np. w ciągu 2 dni), przy czym każdy z operatorów wykona równą liczbę n pomiarów. Tak wykonane pomiary będą przez wszystkich operatorów powtarzane r razy, w miarę równomiernych odstępach czasu (np. co 3 miesiące). Wyposażenie pomiarowe, obiekt wzorcowania, procedura wzorcowania, w tym metoda



Tabela 1

	Operator 1	...	Operator j	...	Operator v
Czas 1	$Y_{111}, Y_{112}, \dots, Y_{11n}$	...	$Y_{1j1}, Y_{1j2}, \dots, Y_{1jn}$	...	$Y_{1v1}, Y_{1v2}, \dots, Y_{1vn}$
Czas 2	$Y_{211}, Y_{212}, \dots, Y_{21n}$	...	$Y_{2j1}, Y_{2j2}, \dots, Y_{2jn}$	...	$Y_{2v1}, Y_{2v2}, \dots, Y_{2vn}$
.		
Czas i	$Y_{i11}, Y_{i12}, \dots, Y_{i1n}$	...	$Y_{ij1}, Y_{ij2}, \dots, Y_{ijn}$	...	$Y_{iv1}, Y_{iv2}, \dots, Y_{ivn}$
		
Czas r	$Y_{r11}, Y_{r12}, \dots, Y_{r1n}$	...	$Y_{rj1}, Y_{rj2}, \dots, Y_{rjn}$	...	$Y_{rv1}, Y_{rv2}, \dots, Y_{rvn}$

pomiarowa i określone w niej warunki odniesienia, pozostaną stałe. Wyposażenie pomiarowe powinno być potwierdzone metrologicznie, ale wzorcowanie wyposażenia należy przeprowadzić bezpośrednio przed tak zaplanowanym eksperymentem (wyklucza się wzorcowanie wyposażenia w trakcie trwania eksperymentu).

Wyniki pomiarów dla wybranej wartości wielkości mierzonej (np. błędu wskazań strumienia objętości) zgromadzono w sposób przedstawiony w tabeli 1. Tworzą one tzw. dwukierunkową (podwójną) klasyfikację krzyżową z czynnikami klasyfikacyjnymi: „operator” i „czas”, gdzie operatorzy 1... v i czasy 1... r stanowią klasy tej klasyfikacji. Jest ona ortogonalna, ponieważ w każdej podklasie „czas–operator” liczba n przeprowadzonych pomiarów jest taka sama. W sensie statystycznym, zgodnie z [2], jest ona także zrównoważona, nie dopuszcza się bowiem, aby którakolwiek z podklas była pusta (wszyscy operatorzy muszą być obecni podczas eksperymentu). Może to być kłopotliwe w stosunku do innych planów eksperymentu, zakładających puste podklasy (np. planów hierarchicznych), ale znacznie ułatwia dalszą analizę statystyczną. Planowane w ten sposób doświadczenie określono w niniejszym artykule mianem zrównoważonego eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego.

Model statystyczny eksperymentu

Wzorcowanie obiektu w czasie „i” przez operatora „j” przyniosło następujące wyniki:

$$Y_{ij1}, Y_{ij2}, \dots, Y_{ijk}, \dots, Y_{ijn} \quad (1)$$

Wszystkie wyobrażalne wyniki pomiarów w podklasie „czas i – operator j”, oznaczonej jako T(i)xO(j), tworzą pewną populację generalną. Otrzymane wyniki wzorcowania stanowią zatem realizację obserwowanego w tej populacji n wymiarowego wektora losowego:

$$(Y_{ij1}, Y_{ij2}, \dots, Y_{ijk}, \dots, Y_{ijn}) \quad (2)$$

Eksperymentalny charakter danych (1) pozwala na przyjęcie założenia, że zmienne losowe $Y_{ij1}, Y_{ij2}, \dots, Y_{ijk}, \dots, Y_{ijn}$ są niezależne i mają rozkład normalny. Zakłada się, że

wariancja rozkładu tych zmiennych jest jednakowa dla wszystkich rozpatrywanych podklas, co wyraża się następująco:

$$D^2(Y_{ijk}) = \sigma_{ijk}^2 = \sigma^2; i = 1 \dots r, j = 1 \dots v \quad (3)$$

Założenie (3), z pozoru silne, w rzeczywistości – uwzględniając fakt, że zmienność Y_{ijk} w każdej podklasie T(i)xO(j) jest generowana głównie przez rozrzuty wskazań tego samego wzorca i tego samego obiektu wzorcowania – jest na ogół spełnione i zawsze może być zweryfikowane testem jednorodności wariancji.

Niech model statystyczny, generujący wyniki wzorcowania w podklasie T(i)xO(j), ma postać:

$$Y_{ijk} = m_{ij} + \xi_{ijk}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

W modelu tym:

$$m_{ij} = E(Y_{ijk}) \quad (5)$$

natomiast ξ_{ijk} jest zmienną losową o parametrach rozkładu:

$$E(\xi_{ijk}) = 0 \quad (6)$$

oraz zgodnie z założeniem (3):

$$D^2(\xi_{ijk}) = \sigma^2 \quad (7)$$

Jeżeli wpływy czynników: „czas” i „operator” na wyniki wzorcowania są statystycznie istotne, wówczas wartości przeciętne m_{ij} w każdej podklasie mogą być inne. Zróżnicowanie tych wartości obserwuje się w stosunku do wartości przeciętnej m, określonej w zbiorze populacji odpowiadającej wszystkim, obejmującym zaplanowany eksperyment, podklasom T(i)xO(j):

$$m = \frac{1}{r \cdot v} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^v m_{ij} \quad (8)$$

Wprowadza się obciążenie B_{ij} wyrażające odchylenie m_{ij} od m, spowodowane łącznym wpływem czynników „czas” i „operator” na wyniki wzorcowania w podklasie T(i)xO(j):

$$B_{ij} = m_{ij} - m \quad (9)$$

Wówczas równanie (4) przybiera postać:

$$Y_{ijk} = m + B_{ij} + \xi_{ijk} \quad (10)$$

Rozdzielenie wpływów czynników „czas” i „operator” na wyniki wzorcowania prowadzi do równania:

$$Y_{ijk} = m + B_{i(T)} + B_{j(O)} + B_{ij(TO)} + \xi_{ijk} \quad (11)$$

gdzie:

$B_{i(T)}$ – obciążenie, będące efektem głównym wpływu czasu,

$B_{j(O)}$ – obciążenie, będące efektem głównym wpływu operatora,

$B_{ij(TO)}$ – obciążenie, będące efektem interakcji wpływu czasu i operatora,

ξ_{ijk} – zmienna losowa, reprezentująca efekty oddziaływania czynników przypadkowych w eksperymencie.

Zróznicowanie obciążeń $B_{j(O)}$ w klasie „operator” wynika z różnych, obserwowanych w i -tym czasie, umiejętności technicznych operatorów i ich indywidualnych nawyków w stosowaniu metod pomiarowych.

W zróznicowaniu $B_{i(T)}$ w klasie „czas” może przejawiać się wpływ czasu na fizyczną i psychiczną dyspozycję j -tego operatora, jego indywidualne zaangażowanie w rozwój swoich umiejętności lub przeciwnie – utrwalenie złych nawyków, przy czym w przypadku każdego z operatorów może to przebiegać inaczej.

Ewentualne współdziałanie (interakcja) czynników „operator” i „czas”, gdy brak jest prostej addytywności efektów ich oddziaływania (np. w sytuacji przejawiających się w wynikach pomiarów każdego operatora, zależnych od czasu, dryfów aparaturowych), wyrazi się z kolei zmiennością $B_{ij(TO)}$.

Laboratoria akredytowane często wykonują, w ramach zawartych w normie [4] dyspozycji, dotyczących

monitorowania ważności wyników podejmowanych wzorcowań, eksperyment wewnątrzlaboratoryjny polegający na realizacji porównań w warunkach powtarzalności (j -ty operator wykonuje następujące po sobie w krótkich okresach czasu wzorcowania tego samego obiektu). Należy zauważyć, że w przypadku takich porównań nie jest możliwe uzyskanie jakiegokolwiek informacji dotyczącej wpływu czasu i zmiany operatora na wyniki wzorcowań (w warunkach powtarzalności, czyli dla danej podklasy $T(i) \times O(j)$, obciążenia $B_{j(O)}$, $B_{i(T)}$ i $B_{ij(TO)}$ są stałe).

Analiza wyników eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego

Analizę wyników eksperymentu przeprowadzono metodą jednowymiarowej, dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Estymatory wariancji dla poszczególnych źródeł zmienności wyników wzorcowania przedstawiono w tabeli 2, stanowiącej tzw. tabelę analizy wariancyjnej.

Średnia arytmetyczna zmiennych losowych Y_{ijk} , reprezentujących wyniki wzorcowania w i -tym czasie przez j -tego operatora jest określona jako:

$$\bar{Y}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (12)$$

Średnie arytmetyczne brzegowe zmiennych losowych Y_{ijk} , reprezentujących wyniki wzorcowania uzyskane w i -tym czasie od wszystkich v operatorów albo wyniki wzorcowania uzyskane przez j -tego operatora we wszystkich r porównaniach, przeprowadzonych w eksperymencie, określa się odpowiednio jako:

$$\bar{Y}_{i\cdot} = \frac{1}{v \cdot n} \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad \bar{Y}_{\cdot j} = \frac{1}{r \cdot n} \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (13)$$

Tabela 2

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchylen z próby	Stopnie swobody	Wariancja z próby
1	2	3	4
T	$SS_{(T)} = v \cdot n \sum_{i=1}^r (\bar{Y}_{i\cdot} - \bar{Y})^2$	$(r - 1)$	$S_{(T)}^2 = \frac{SS_{(T)}}{r - 1}$
O	$SS_{(O)} = r \cdot n \sum_{j=1}^v (\bar{Y}_{\cdot j} - \bar{Y})^2$	$(v - 1)$	$S_{(O)}^2 = \frac{SS_{(O)}}{v - 1}$
T x O	$SS_{(TO)} = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^v (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{i\cdot} - \bar{Y}_{\cdot j} + \bar{Y})^2$	$(r - 1) \cdot (v - 1)$	$S_{TO}^2 = \frac{SS_{(TO)}}{(r - 1) \cdot (v - 1)}$
Resztowe	$SS_r = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij})^2$	$r \cdot v \cdot (n - 1)$	$S_r^2 = \frac{SS_r}{r \cdot v \cdot (n - 1)}$
Ogółem	$SS_{(Y)} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y})^2$	$r \cdot v \cdot n - 1$	



Średnią arytmetyczną ogólną, reprezentującą wszystkie wyniki eksperymentu, stanowi:

$$\bar{Y} = \frac{1}{r \cdot v \cdot n} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^v \sum_{k=1}^n Y_{ijk} \quad (14)$$

Suma kwadratów odchyłeń $SS_{(y)}$ (kolumna 2, tabela 2) zmiennej Y_{ijk} , reprezentującej wszystkie wyniki wzorcowania od średniej ogólnej (14), została rozłożona na składniki: sumę kwadratów odchyłeń $SS_{(T)}$ wywołanych czynnikiem „czas”, sumę kwadratów odchyłeń $SS_{(O)}$, wywołanych czynnikiem „operator”, sumę kwadratów odchyłeń $SS_{(TO)}$, wywołanych efektem interakcji czynnika „czas” i „operator” oraz tzw. resztową sumę kwadratów odchyłeń SS_r , spowodowanych wpływem niekontrolowanych czynników przypadkowych. Każda z nich, po podzieleniu przez właściwą jej liczbę stopni swobody (kolumna 3, tabela 2), staje się miernikiem wpływu na wyniki wzorcowania odpowiednio: czasu, operatora, interakcji obydwu tych czynników albo występujących w eksperymencie czynników przypadkowych. Należy zwrócić uwagę, że wpływ niekontrolowanych czynników przypadkowych nie ogranicza się wyłącznie do wpływu błędów przypadkowych w pomiarach, ale może dotyczyć także wpływu losowego innych czynników, nie objętych modelem eksperymentu.

Weryfikacja wyników eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego

Czynniki „czas” i „operator” mogą mieć wpływ na wyniki wzorcowania, ale także tego wpływu może nie być lub, inaczej mówiąc, może on być statystycznie nieistotny (wiele zależy od specyfiki pomiarów w danej dziedzinie). Weryfikacja wyników przeprowadzonego eksperymentu sprowadza się przede wszystkim do weryfikacji hipotez statystycznych formułujących przypuszczenie, że na wyniki wzorcowania czynniki „czas” i „operator” nie mają wpływu. Oznacza to przyjęcie ogólnie sformułowanej hipotezy zerowej:

$$H_0: Bij=0 \quad i = 1 \dots r, j = 1 \dots v \quad (15)$$

albo hipotez zerowych odnoszących się do poszczególnych czynników wpływających:

$$H_{0(T)}: Bi_{(T)}=0 \quad i = 1 \dots r \quad (16)$$

$$H_{0(O)}: Bj_{(O)}=0 \quad j = 1 \dots v \quad (17)$$

$$H_{0(TO)}: Bij_{(TO)}=0 \quad i = 1 \dots r, j = 1 \dots v \quad (18)$$

Dopiero odrzucenie hipotezy zerowej o braku wpływu danego czynnika otwiera drogę do uznania hipotezy alternatywnej, że wpływ taki jednak istnieje.

W celu zweryfikowania hipotez zerowych (16), (17) i (18) zastosowano test istotności z funkcjami testowymi, opartymi na analizie wariancji, które zgodnie z [3] są określone odpowiednio, jako:

$$\begin{aligned} \frac{S_{(T)}^2}{S_r^2} &= \frac{r \cdot v(n-1)}{r-1} \cdot \frac{SS_{(T)}}{SS_r}; \\ \frac{S_{(O)}^2}{S_r^2} &= \frac{r \cdot v(n-1)}{v-1} \cdot \frac{SS_{(O)}}{SS_r}; \\ \frac{S_{(TO)}^2}{S_r^2} &= \frac{r \cdot v(n-1)}{(r-1) \cdot (v-1)} \cdot \frac{SS_{(TO)}}{SS_r} \end{aligned} \quad (19)$$

Jeżeli spełnione są założenia (3) eksperymentu, a hipoteza H_0 jest prawdziwa, wówczas funkcje testowe (19) stają się statystykami o rozkładzie *F Fishera*, o stopniach swobody określonych w kolumnie 4 tabeli 3.

Zakłada się dopuszczalne prawdopodobieństwo błędu wnioskowania o słuszności H_0 na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Dla założonego poziomu istotności i konkretnych parametrów r , v i n , określających stopnie swobody, możliwe jest ustalenie wartości krytycznej f statystyki F , a następnie zbudowanie odpowiedniego obszaru krytycznego (kolumna 5, tabela 3), który odnosi się do weryfikowanego źródła zmienności.

Jeżeli na podstawie wyników eksperymentu wartość funkcji testowej, odpowiadającej weryfikowanemu źródłu zmienności, znajdzie się w obszarze krytycznym, odrzuca się hipotezę zerową i przyjmuje hipotezę alternatywną głoszącą, że wpływ tego źródła na wyniki wzorcowania jest statystycznie istotny.

Tabela 3

Źródło zmienności	Funkcja testowa	Rozkład	Stopnie swobody	Obszary krytyczne	Wartości f statystyki F dla eksperymentu EWL
1	2	3	4	5	6
T	$S_{(T)}^2/S_r^2$	$F_{(T)}$	$r-1; r \cdot v(n-1)$	$S_{(T)}^2/S_r^2 \geq f_{(T)}$	1,8
O	$S_{(O)}^2/S_r^2$	$F_{(O)}$	$v-1; r \cdot v(n-1)$	$S_{(O)}^2/S_r^2 \geq f_{(O)}$	3,0
T x O	$S_{(TO)}^2/S_r^2$	$F_{(TO)}$	$(r-1)(v-1); r \cdot v(n-1)$	$S_{(TO)}^2/S_r^2 \geq f_{(TO)}$	1,6

Rozważa się następujący przykład: w ramach eksperymentu wewnątrzlaboratoryjnego EWL $v = 3$ operatorów wzorcowało rotometr, wykonując po $n = 10$ pomiarów. Wzorcowanie powtarzano co miesiąc, wykonując $r = 12$ cykli takich wzorcowań. W kolumnie 6 tabeli 3 podano wartości krytyczne f dla tak zaplanowanego eksperymentu. Na podstawie wyników próby $r \cdot v \cdot n = 12 \cdot 3 \cdot 10 = 360$ otrzymano $S_{(o)}^2/S_r^2 = 3,8$. Wartość krytyczna statystyki F o 2 i 324 stopniach swobody wynosi $f_{(o)} = 3,0$, wartość funkcji testowej znajduje się więc w obszarze krytycznym. W sposób praktycznie bezsporny (z błędem wnioskowania wyznaczonym, przyjętym poziomem istotności testu) można odrzucić hipotezę H_0 o braku wpływów operatorów na wyniki wzorcowania. Oznacza to, że wyniki pomiarów, a zatem i CMC laboratorium, są obciążone czynnikiem ludzkim. W tym i w podobnych przypadkach konieczne jest oszacowanie tego wpływu (oszacowanie wariancji odtwarzalności wewnątrzlaboratoryjnej) i uwzględnienie, jako składnika, niepewności w budżecie CMC.

W przypadku otrzymania stosunkowo dużych, ale mieszczących się w obszarze przyjęcia, wartości statystyk (19) nie ma wprawdzie podstaw do odrzucenia hipotezy o braku wpływu rozpatrywanych czynników na wyniki wzorcowania, ale także, co cechuje testy istotności, nie ma też silnych podstaw do jej potwierdzenia. Laboratorium mogłoby samo ocenić, czy bardziej korzystne, ze względu na właściwe oszacowanie CMC, jest uwzględnienie wpływu tych czynników, czy wręcz przeciwnie (ryzykując niedoszacowaniem CMC) uznać, że są to wpływy statystycznie nieistotne. Podjęcie takiej arbitralnej decyzji byłoby do przyjęcia wyłącznie w sytuacji braku merytorycznych podstaw oceny zaistniałej sytuacji. Na szczęście statystyka dysponuje *niecentralnym rozkładem F Fishera*, umożliwiającym analizę statystyczną także wtedy, gdy obciążenia $B_{ij} \neq 0$. Dla konkretnej wartości funkcji testowej (19) i konkretnych parametrów: r , v , n , i α przeprowadzanego eksperymentu, dysponując *funkcją mocy testu F* [5], możliwe jest wyznaczenie mocy przeprowadzanego testu. Z mocy testu otrzymuje się (na zasadzie dopełnienia prawdopodobieństwa) prawdopodobieństwo popełnienia we wnioskowaniu tzw. błędu drugiego rodzaju, czyli przyjęcie hipotezy zerowej o braku wpływów, gdy nie jest ona prawdziwa. Dopiero teraz laboratorium dysponuje pełną wiedzą o poziomie dokładności wnioskowania i podjętego ryzyka.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodę, w której standardowe narzędzia analizy statystycznej zostały wykorzystane w nowym zastosowaniu – do analizy i weryfikacji wyników porównań wewnątrzlaboratoryjnych. Zaproponowano taki plan tych porównań, aby możliwa była

w miarę prosta i skuteczna statystyczna analiza uzyskanych wyników. Weryfikację wyników porównań ograniczono do testowania hipotezy zerowej o braku wpływu na CMC laboratorium wzorcującego, wyróżnionych w planie czynników zmiennych.

W przypadku wielu laboratoriów, w których pomiary są zautomatyzowane, pozytywny wynik weryfikacji, przy założonym poziomie dokładności wnioskowania, kończy analizę. Oczywiście, w celu monitorowania ważności wyników wzorcowań, laboratorium jest zobowiązane do podejmowania innych działań niż porównania wewnątrzlaboratoryjne, a przewidzianych zaleceniami normy [4].

W przypadku laboratoriów, gdzie czynnik ludzki ma istotne znaczenie w procesach wzorcowania, weryfikację tak sformułowanej hipotezy zerowej należy traktować jako pierwszy krok w procedurze weryfikacji. W dziedzinie przepływów, w wielu przypadkach, rola operatora podczas wzorcowania jest bardzo istotna. Dotyczy to wzorcowań anemometrów, rotometrów oraz przepływomierzy cieczy i gazów, gdy pomiary nie są zautomatyzowane.

W podsumowaniu należy podkreślić, że we wszystkich przypadkach, w których hipoteza o braku wpływów została odrzucona, laboratorium powinno szacować te wpływy i uwzględniać w swoim CMC. W większości przypadków, w których hipoteza o braku wpływów nie została odrzucona, zaleca się laboratorium przyjęcie jako standardu badanie mocy przeprowadzonego testu.

Literatura

- [1] PN-ISO 5725-3: 2002. Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiaru. Część 3: Pośrednie miary precyzji standardowej metody pomiarowej.
- [2] Dobosz M., Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2004.
- [3] Fisz M., Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna, PWN, Warszawa, 1969.
- [4] PN-EN ISO/IEC 17025:2008-02 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- [5] Zieliński R., Tablice statystyczne, Warszawa 1972.

Powyższy artykuł jest tekstem referatu (ze zmianami redakcyjnymi) przedstawionego na XIII konferencji naukowo-technicznej PPM'18, która odbyła się w dniach od 4 do 6 czerwca 2018 roku w Szczyrku.



Konsultacyjny Zespół Metrologiczny ds. regulacji rynku

The Consultative Metrology Team of Market Regulations

Monika Kusyk (Główny Urząd Miar)

Artykuł przedstawia działalność Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. regulacji rynku, jako przykład współpracy Głównego Urzędu Miar z przedstawicielami zewnętrznych środowisk związanych z szeroko rozumianą metrologią, a także omawia wypracowane przez Zespół efekty.

This article presents activities of the Consultative Metrology Team of Market Regulations as the example of cooperation between Central Office of Measures and the representatives of external environment related to broadly understood metrology, as well as the results achieved.

Wstęp

Proces intensywnych zmian w funkcjonowaniu Głównego Urzędu Miar oraz terenowej administracji miar i administracji probierczej, zapoczątkowany w 2016 r., ma na celu doprowadzenie do tego, aby Główny Urząd Miar stał się w pełni nowoczesną krajową instytucją metrologiczną, pełniącą ważną rolę we wspieraniu innowacyjności i konkurencyjności polskiej gospodarki, a także w zapewnieniu efektywnej ochrony bezpieczeństwa gospodarczego i technicznego państwa oraz interesów obywateli. Strategiczne priorytety w działalności Głównego Urzędu Miar wyznaczane są przy udziale przedstawicieli środowisk zewnętrznych, m.in. poprzez stały dialog w ramach powołanych przez Prezesa GUM konsultacyjnych zespołów metrologicznych. Celem pracy dziewięciu zespołów i utworzonych w ich ramach grup roboczych jest identyfikacja potrzeb polskiej gospodarki oraz określenie zadań stojących przed nowoczesnie zorganizowaną krajową instytucją metrologiczną. Zespoły stanowią płaszczyznę wymiany doświadczeń i integracji środowisk związanych z metrologią – prowadzone są działania w obszarach m.in.: budowy przyrządów i opracowywania metod pomiarowych, inicjowania zmian w regulacjach prawnych, w tym upraszczania przepisów i procedur.

KZM ds. regulacji rynku

Zespołem, który od początku działalności wzbudzał największe zainteresowanie, jest Konsultacyjny Zespół Metrologiczny ds. regulacji rynku. Przedmiotem jego prac jest szeroko rozumiana regulacja rynku w obszarze metrologii.

W ramach Zespołu utworzonych zostało dziewięć grup roboczych:

- 1) ds. przeglądu przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej, w ramach której przygotowywane były rekomendacje zmian prawa w zakresie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz w zakresie zasad i trybu wykonywania prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych;
- 2) ds. rozwiązań systemowych, której celem jest przygotowanie rekomendacji zmian prawa w systemie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, w zakresie ustawy – Prawo o miarach i niektórych aktów wykonawczych do tej ustawy (m.in. aktów dotyczących upoważnień do legalizacji oraz punktów legalizacyjnych);
- 3) ds. certyfikacji, przygotowująca rekomendacje dla Głównego Urzędu Miar, działającego jako Jednostka Notyfikowana 1440;
- 4) ds. rynku paliw, która przygotowuje rekomendacje rozwiązań w zakresie przyrządów pomiarowych użytkowanych na rynku paliw;
- 5) ds. bezpieczeństwa ruchu drogowego, której celem jest przygotowanie rekomendacji rozwiązań prawnych w zakresie przyrządów pomiarowych użytkowanych w związku z kontrolą bezpieczeństwa ruchu drogowego; w ramach grupy utworzono cztery podgrupy: ds. przyrządów do kontroli ruchu drogowego, ds. przyrządów do kontroli kierowców, ds. przyrządów do diagnostyki stanu technicznego pojazdów, ds. przyrządów do ważenia pojazdów w ruchu drogowym;
- 6) ds. tachografów, której obszarem zainteresowań są wymagania dla tachografów oraz w zakresie instalacji, napraw i sprawdzeń tachografów;
- 7) ds. przyrządów do pomiaru mediów („utilities”), zajmująca się zagadnieniami regulacji rynku w obszarze opomiarowania mediów (ciepłomierze, gazomierze,



- liczniki energii elektrycznej, wodomierze, przyrządy do pomiaru ścieków);
- 8) ds. nadzoru rynku, której celem jest przygotowanie rekomendacji rozwiązań prawnych dla Głównego Urzędu Miar, działającego jako organ nadzoru;
 - 9) ds. kas rejestrujących, w której utworzono podgrupy: ds. metodyki badań, ds. repozytorium testowego, ds. współpracy z terminalem płatniczym.

Tworzone były również grupy ad hoc – w przypadku wystąpienia potrzeby doraźnego rozwiązania danego problemu – np. grupa ds. przyrządów do pomiaru prędkości w ruchu drogowym lub grupa ds. taksometrów.

Udziałem w pracach Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. regulacji rynku i ww. grup roboczych wyraziło zainteresowanie ponad 200 osób – przedstawiciele producentów i użytkowników przyrządów pomiarowych, organizacji i stowarzyszeń branżowych, uczelni technicznych, instytutów badawczych, organów administracji rządowej i in. Do końca 2018 r. odbyło się 65 spotkań tego zespołu. Świadczy to o ogromnym zainteresowaniu zagadnieniami z obszaru regulacji metrologicznych i o istniejącej potrzebie uzyskania interpretacji przepisów, szczegółowych wytycznych dotyczących ich stosowania, a także wprowadzania konkretnych zmian.

KZM przyjął zasadę pracy polegającą na tym, że zgłaszane wnioski (proponując tematy), są omawiane i poddawane dyskusji w poszczególnych grupach roboczych, a na ich podstawie grupa opracowuje i przyjmuje do dalszej realizacji rekomendacje, które następnie są zatwierdzane przez Zespół do dalszego procedowania.

Działalność Zespołu i grup roboczych

Przedmiotem prac grup roboczych, działających w ramach Konsultacyjnego Zespołu ds. regulacji rynku były m.in. następujące zagadnienia:

- 1) zmiany rozporządzenia w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli – w przedmiocie objęcia prawną kontrolą metrologiczną lub zmiany jej zakresu: mierników poziomu dźwięku, analizatorów wydechu, luksomierzy, manometrów do opon, liczników energii elektrycznej czynnej klasy dokładności 0,2 oraz liczników energii elektrycznej biernej, przeliczników do gazomierzy, przyrządów do rejestracji naruszenia prawa, polegającego na niestosowaniu się do sygnałów świetlnych;
- 2) zmiany zapisów rozporządzenia w sprawie prawnej kontroli metrologicznej, dotyczące takich zagadnień, jak legalizacja ponowna przyrządów pomiarowych do pomiaru mediów, wykonywana z wykorzystaniem

- metody statystycznej, sposób liczenia okresów ważności legalizacji, wzór świadectwa legalizacji;
- 3) zmiana rozporządzenia w sprawie wymagań dla przyrządów do pomiaru prędkości pojazdów w ruchu drogowym;
 - 4) zmiana rozporządzenia w sprawie wymagań dla instalacji pomiarowych do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości cieczy innych niż woda;
 - 5) projekt rozporządzenia zmieniającego rozporządzenie w sprawie wymagań dla gazomierzy i przeliczników do gazomierzy;
 - 6) możliwość zmiany ustawy – Prawo o miarach i niektórych przepisów wykonawczych – w zakresie umożliwienia zdjęcia i nałożenia nowych cech zabezpieczających przez pracownika administracji miar w okresie ważności legalizacji (tzw. „asysta”);
 - 7) projekt ustawy o tachografach (ustawa została opublikowana w sierpniu 2018 r., wyniki prac grupy były na bieżąco wykorzystywane przez GUM oraz Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa);
 - 8) propozycja objęcia prawną kontrolą metrologiczną przyrządów do pomiaru pobieranych wód i przyrządów do pomiaru odprowadzanych ścieków (zgodnie z ustawą – Prawo wodne);
 - 9) wydłużenie okresu ważności legalizacji statycznych liczników energii elektrycznej;
 - 10) projekt rozporządzenia w sprawie kryteriów i warunków technicznych, którym muszą odpowiadać kasy rejestrujące (wyniki prac grupy były na bieżąco wykorzystywane przez Ministerstwo Rozwoju, Ministerstwo Finansów i GUM);
 - 11) kluczowe działania dla wdrożenia sprawnego systemu certyfikacji kas rejestrujących online w GUM i tym samym bardzo istotne dla całego projektu wprowadzania tych kas, służącego poprawie ściągalności podatku VAT w Polsce – m.in. opracowanie i uzgodnienie koncepcji badań kas rejestrujących online (metod i narzędzi), omówienie praktycznych aspektów badań i ich wyników;
 - 12) 63 wnioski związane z działaniami dotyczącymi przyrządów stosowanych w obszarze bezpieczeństwa ruchu drogowego (realizacja w toku);
 - 13) powiązanie zasad monitorowania jakości dostarczanych mediów z pomiarem ilości tych mediów;
 - 14) budowa bazy danych zalegalizowanych przyrządów pomiarowych.

Znaczna część wymienionych powyżej wniosków została przyjęta przez Zespół, jako rekomendacje. Oto kilka przykładów:

- 1) projekty zapisów w rozporządzeniach zmieniających wymagania techniczne i metrologiczne w odniesieniu

- do: instalacji pomiarowych do ciągłego i dynamicznego pomiaru ilości cieczy innych niż woda, przyrządów do pomiaru prędkości pojazdów w ruchu drogowym, taksometrów elektronicznych oraz gazomierzy i przeliczników do gazomierzy – rozporządzenia zostały opublikowane na początku br.;
- 2) zmiany rozporządzenia w sprawie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych w zakresie przepisu, dotyczącego sposobu liczenia okresu ważności legalizacji – rozporządzenie opublikowane w kwietniu 2019 r.;
 - 3) opracowanie części projektu ww. rozporządzenia w sprawie prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, określającej zasady legalizacji ponownej przyrządów pomiarowych z wykorzystaniem metody statystycznej;
 - 4) wytyczne Prezesa GUM dla organów administracji miar w zakresie dokumentowania i udostępniania informacji, dotyczących stanowisk pomiarowych do sprawdzania odmierzaczy gazu ciekłego propan-butan, w tym gazu skroplonego (LPG), wprowadzających określone zasady postępowania; rekomendacja została zrealizowana przez GUM – opracowano wytyczne i uzupełniono je o instrukcje sprawdzania ww. odmierzaczy oraz protokół sprawdzania, w celu ujednolicenia podejścia w tym zakresie w całej terenowej administracji miar;
 - 5) wytyczne Prezesa GUM dla organów administracji miar w zakresie udostępniania tabel litrażowych zbiorników pomiarowych wraz ze świadectwem legalizacji – rekomendacja zrealizowana (stosowny

- zapis został również zgłoszony do projektu rozporządzenia w sprawie prawnej kontroli metrologicznej);
- 6) objęcie prawną kontrolą metrologiczną mierników natężenia oświetlenia (luksomierzy) – temat ujęty w harmonogramie prac legislacyjnych GUM;
 - 7) dokonanie zmian w przepisach, które dopuszczają tzw. „asystę” podczas prac serwisowych na zbiornikach pomiarowych – rekomendacja Zespołu, wstępna wersja zapisów została przygotowana przez grupę roboczą, obecnie trwa analiza możliwych sposobów zrealizowania tej rekomendacji.

Podsumowanie

Na przykładzie opisanych działań Konsultacyjnego Zespołu ds. regulacji rynku oraz ich efektów można zaobserwować ogromne znaczenie dialogu i współpracy przedstawicieli różnych środowisk związanych z metrologią dla wypracowywania wspólnych konstruktywnych rozwiązań. Zapraszamy do udziału w pracach Konsultacyjnych Zespołów Metrologicznych i grup roboczych, a tym samym do aktywnego uczestnictwa w kreowaniu zmian w obszarze metrologii.

Literatura

- [1] Kusyk M., Ramotowski Z., Służba Miar w służbie polskiego przemysłu – IX Sympozjum TOp-Gaz Technika opomiarowania gazu dziś i jutro, Materiały konferencyjne, s. 1-5.
- [2] Sprawozdania z posiedzeń KZM ds. regulacji rynku i grup roboczych.

Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne – krótkie podsumowanie działalności

Consultative Metrology Teams – a short summary of the activity

Anna Łukaszewska (Biuro Strategii, GUM)

Niniejszy artykuł zawiera podstawowe informacje na temat Konsultacyjnych Zespołów Metrologicznych, które powołane zostały w wyniku ukierunkowania działań Głównego Urzędu Miar na realizację potrzeb wszystkich gałęzi gospodarki narodowej.

This article includes a basic information on the Consultative Metrology Teams, which were set up as a result of focusing the activities of the Central Office of Measures on the implementation of the needs of all branches of the national economy.

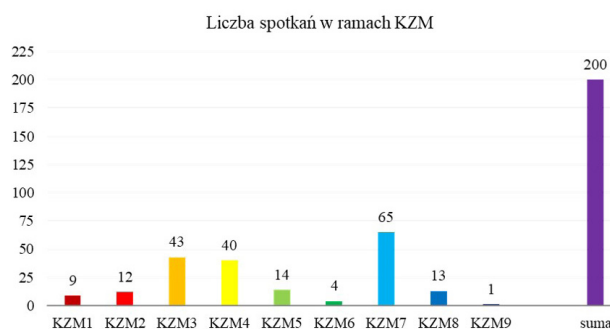
Główny Urząd Miar (GUM) prowadzi zintensyfikowane działania, które mają na celu stworzenie odpowiednich warunków dla rozwoju przedsiębiorczości i efektywnego wykorzystania narodowych zdolności pomiarowych. W tym celu, w 2016 roku powołano do życia Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne (KZM), w których skład wchodzi przedstawiciele środowisk gospodarczych, eksperckich i naukowo-badawczych. Głównym zadaniem KZM jest identyfikowanie potrzeb krajowego przemysłu w zakresie pomiarów oraz regulacji rynku. Działalność KZM została ukierunkowana tematycznie według obszarów gospodarki takich, jak: przemysł, energetyka, infrastruktura, środowisko, zdrowie, czy rynek [1].

Powołano następujące Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne:

1. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw zdrowia i bezpieczeństwa żywności (KZM1) – powołany decyzją Prezesa GUM w dniu 15.11.2018 r. w miejsce KZM do spraw zdrowia,
2. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw energii (KZM2),
3. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw technologii i procesów przemysłowych (KZM3),
4. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw infrastruktury i zastosowań specjalnych (KZM4),
5. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw środowiska i zmian klimatycznych (KZM5),
6. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw pojazdów o napędzie elektrycznym (KZM6) – powołany decyzją Prezesa GUM w dniu 01.06.2018 r.,
7. Konsultacyjny Zespół Metrologiczny do spraw regulacji rynku (KZM7),

8. Konsultacyjny Zespół do spraw probiernictwa (KZM8),
9. Konsultacyjny Zespół do spraw rozwoju przemysłu województwa świętokrzyskiego (KZM9) – powołany decyzją Prezesa GUM w dniu 15.11.2018 r.

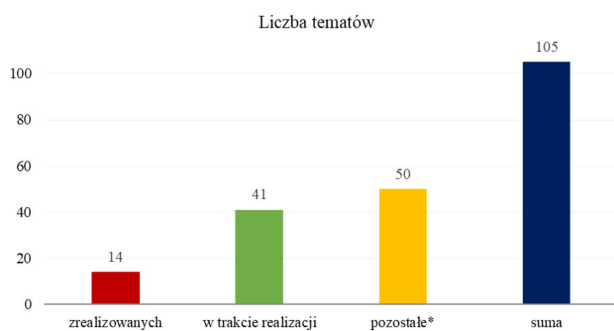
W sumie odbyło się 200 spotkań roboczych (rys. 1). Członkowie Zespołów, spotykający się i pracujący w Grupach Roboczych (GR), są przedstawicielami m.in.



Rys. 1. Wykres ilustrujący liczbę spotkań, które odbyły się w ramach prac wszystkich Konsultacyjnych Zespołów Metrologicznych w okresie od 08.2016 r. do 01.2019 r.

instytucji rządowych, administracji, instytutów naukowych, uczelni, stowarzyszeń/zrzeszeń branżowych, spółek państwowych i prywatnych, producentów. Efektem ich współpracy jest m.in. określenie w sumie 105 tematów różnych prac – badawczych oraz związanych np. z regulacjami prawnymi (rys. 2).

Na szczególne wyróżnienie zasługują prace prowadzone przez Grupę Roboczą ds. pomiarów przestrzennych, geodezyjnych, geofizycznych i zastosowań technik



Rys. 2. Wykres ilustrujący liczbę i stopień zaawansowania realizacji tematów – łącznie dla wszystkich Konsultacyjnych Zespołów Metrologicznych.

* Jako pozostałe rozumiemy tematy, które są zainicjowane (dyskusja wstępna), zawieszono, bądź z których zrezygnowano.

satelitarnych. Ww. grupa robocza stanowi ciało zadaniowe, działające przy KZM ds. infrastruktury i zastosowań specjalnych. W jej skład wchodzi między innymi przedstawiciele Instytutu Geodezji i Kartografii, Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, Polskiej Agencji Kosmicznej. Prace partnerów były skoncentrowane na zagadnieniach związanych z nadzorem metrologicznym mierników geodezyjnych. W rezultacie podjętych starań opracowano materiały, umożliwiające utworzenie stosownych regulacji w zakresie zapewnienia wiarygodności danych gromadzonych w zasobach geodezyjnych [2].

W 2018 roku zainaugurował swoją działalność Konsultacyjny Zespół ds. rozwoju przemysłu województwa świętokrzyskiego. W pierwszym spotkaniu uczestniczyło 38 osób reprezentujących różne środowiska (w tym biznesowe). Ustalono, że prace zespołu powinny oscylować wokół definiowania i rozwiązywania zagadnień o charakterze metrologicznym, które często stanowią

barierę dla rozwoju przedsiębiorstw działających w województwie świętokrzyskim. Zespół chce również wsłuchiwać się w potrzeby przedsiębiorców i pomagać im w poszukiwaniu najlepszych dróg rozwoju. Działanie Zespołu w tym regionie jest szczególnie istotne z uwagi na rozpoczynający się projekt budowy Świętokrzyskiego Kampusu Laboratoryjnego Głównego Urzędu Miar.

W Głównym Urzędzie Miar nieustannie prowadzone są prace, których celem jest nie tylko poprawa jakości, ale również zwiększanie zakresu usług dostępnych dla przedsiębiorstw. Dialog pomiędzy różnymi środowiskami jest niezbędny do wskazania konkretnych problemów oraz wypracowania odpowiednich rozwiązań. Poprzez powołanie Konsultacyjnych Zespołów Metrologicznych GUM udostępnił przestrzeń, w której możliwa jest dyskusja, a jej wynikiem są i będą prace leżące w interesie gospodarczym i społecznym oraz przyczyniające się do rozwoju polskiego przemysłu.

Literatura

- [1] Czteroletni strategiczny plan działania Głównego Urzędu Miar 2018–2021, Warszawa 2017.
- [2] Raport Końcowy z prac Grupy Roboczej ds. pomiarów przestrzennych, geodezyjnych, geofizycznych i zastosowań technik satelitarnych działającej w ramach Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. infrastruktury i zastosowań specjalnych z dnia 11.12.2018 r.

Źródłem pozostałych danych, które pojawiły się w powyższym tekście, są dokumenty z zasobów Biura Strategii (stan na 25.02.2019 r.)

175-lecie powstania Urzędu Probierniczego w Krakowie

175 anniversary of the founding of the Assay Office in Cracow

Aleksandra Górkiewicz-Malina (Dyrektor OUP w Krakowie)

Niniejszy artykuł opisuje przebieg uroczystego seminarium, zorganizowanego w dniu 23 listopada 2018 roku, z okazji 175-lecia powstania Urzędu Probierniczego w Krakowie.

This article describes the course of the solemn seminar, organized on November 23, 2018, on the occasion of the 175th anniversary of the founding of the Assay Office in Cracow.



1843–2018



WYDZIAŁ SPRAW WEWNĘTRZNYCH I POLICYI W SENACIE RZĄDZĄCYM!!!!

„Podaje się do publicznej wiadomości, iż od dnia 1 listopada roku bieżącego poczynając, kancelarya Urzędu Probierniczego postanowieniem Senatu Rządzącego z dnia 7 lipca 1843 roku ustanowionego do uznawania i poświadczania wyrobów złotych i srebrnych otwartą będzie w ulicy Grodzkiej w Domu pod L.229 codziennie od godziny 2 do 4 z południa, wyjąwszy dni niedzielne i święta uroczyste.

Stosownie więc do przepisów w tej mierze ogłoszonych tak Złotnicy jak i Jubiliery jak i strony interesowane w celu poświadczania i wybicia na ich wyrobach próby, do namienionego wyżej Urzędu zgłaszać się mają.”

Senator Prezujący
KOPFF
Referendarz – WOLFF

W oparciu o powyższy zapis, z dniem 1 listopada 1843 roku, rozpoczął swoją działalność Urząd Probierniczy w Krakowie. W 2018 roku Urząd ten obchodził 175-lecie swojej nieprzerwanej działalności. Z tej okazji, w dniu 23 listopada 2018 roku odbyło się uroczyste seminarium, zorganizowane w siedzibie Urzędu Miasta Krakowa, w dawnym pałacu Wielopolskich, w Sali Obrad im. Stanisława Wyspiańskiego, co nadało tej uroczystości odpowiednią rangę i oprawę. Seminarium zostało zorganizowane pod patronatem jednostki nadrzędnej, Głównego Urzędu Miar.

Niewiele instytucji może się pochwalić tak długim okresem działalności, a na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż nasze 175-lecie obchodziliśmy w 2018 roku, w którym świętowano setną rocznicę odzyskania przez Polskę niepodległości, a zarazem był to rok poprzedzający obchody 100-lecia Głównego Urzędu Miar w Warszawie, czyli naszej jednostki nadrzędnej.



Rys. 1. Baner





Rys. 2. p.o. Prezesa GUM Maciej Dobieszewski



Rys. 3. Sala im. Stanisława Wyspiańskiego

Z okazji tak dostojnego jubileuszu naszą uroczystość uświetnili swoją obecnością licznie zaproszeni goście, w osobach: pana Macieja Dobieszewskiego, p.o. Prezesa GUM i pana Jana Landowskiego, Dyrektora Biura Służby Miar. Władze Miasta Krakowa reprezentował I Zastępca Prezydenta, pan Jerzy Muzyka a Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii – przedstawicielka Departamentu Obrotu Towarami Wrażliwymi i Bezpieczeństwa Technicznego – pani Karina Katzer. Zaszczycili nas swoją obecnością przedstawiciele Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, z którą nasz urząd od lat bardzo konstruktywnie współpracuje, w osobach prodziekana, pana prof. Józefa Zasadzińskiego i pana dr. hab. Remigiusza Kowalika oraz panów doktorów Grzegorza Włocha i Marcina Mroczkowskiego, członków Konsultacyjnego Zespołu ds. Probiernictwa. Nie zabrakło również przedstawicieli branży jubilerskiej – klientów naszego urzędu, którzy mieli i nadal mają duży udział w kształtowaniu jego ponad półtorawiekowej historii. Byli to: pan Jacek Kurczab – Starszy Cechu Złotników, Jubilerów i Zawodów Pokrewnych oraz pan Jerzy Kurczok – Cechmistrz Śląskiego Cechu Złotników i Grawerów przy Izbie Rzemiosła w Katowicach.

Na naszej uroczystości nie mogło zabraknąć dyrektorów wszystkich okręgowych urzędów miar w Polsce, jak również całego kierownictwa bratniego Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie, z panią dyrektorem Marią Magdaleną Ulaczyk oraz wszystkich naczelników wydziałów zamiejscowych tego okręgu. Zebrane gremium uzupełnili naczelnicy wydziałów zamiejscowych naszej jednostki, wraz z oddelegowanymi pracownikami oraz kierownictwo i wszyscy aktualni i byli pracownicy Okręgowego Urzędu Probierniczego w Krakowie.

Zaproszonych gości – serdecznie, z wielką atencją – witała pani Aleksandra Górkiewicz-Malina, dyrektor OUP w Krakowie.

Po powitaniu nastąpiła część oficjalna.

W oficjalnym wystąpieniu p.o. Prezesa Głównego Urzędu Miar, pan Maciej Dobieszewski podkreślił rolę Urzędu w Krakowie, który sprawuje nadzór nad prawidłowością obrotu wyrobami z metali szlachetnych w dziewięciu województwach: małopolskim, świętokrzyskim, podkarpackim, śląskim, opolskim, wielkopolskim, lubuskim i zachodniopomorskim, poprzez badanie i oznaczanie cechami probierczymi wyrobów z metali szlachetnych oraz poprzez kontrole podmiotów prowadzących obrót takimi wyrobami. Prezes Dobieszewski podkreślił zaangażowanie pracowników, ich profesjonalizm oraz spełnianie, wymagań wynikających ze specyfiki pracy. Kolejne wystąpienia i gratulacje zawierały wiele pozytywnych ocen administracji probierczej, która – poprzez swoje działania – stanowi gwarancję jakości dla nabywcy biżuterii ze stopów metali szlachetnych.

Po części oficjalnej nastąpiła część „merytoryczna”, którą stanowiły trzy prezentacje. Pierwsza to „Kartki z kalendarium”, omawiająca najważniejsze wydarzenia i zmiany w Okręgowym Urzędzie Probierniczym w Krakowie w ciągu ostatnich 25 lat, przedstawiona przez pana Wojciecha Jarzynę, Zastępcę Naczelnika Wydziału Nadzoru w OUP w Krakowie.

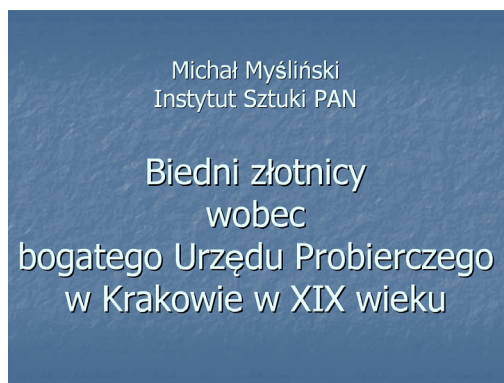
Sygnalizowane w prezentacji wydarzenia i zmiany dotyczyły:

- stanu lokali oraz lokalizacji Okręgu i podległych mu jednostek. I tak – siedziba Urzędu Probierniczego w Krakowie przeniesiona została z ul. Kanoniczej (gdzie Urząd działał przez 150 lat) na ul. Rakowicką, w której funkcjonuje do dnia dzisiejszego. Przeniesiony



Rys. 4. Strona tytułowa prezentacji

- został również ówczesny Obwodowy Urząd Miar w Chorzowie – do zakupionej nowej siedziby przy ulicy Kilińskiego. Powiększyły się także powierzchnie Obwodowych Urzędów Probierniczych w Poznaniu i we Wrocławiu, które urzędują w pomieszczeniach okręgowych urzędów miar;
- zmian ustawodawczych, które w prezentowanym okresie wystąpiły dwukrotnie: wejście w życie ustawy Prawo probiercze z 1993 roku oraz ustawa Prawo probiercze z 2011 roku. Obydwie regulacje oraz wydawane na ich podstawie akty wykonawcze, wprowadziły istotne zmiany w strukturach organizacyjnych okręgowych urzędów probierniczych, w zestawie obowiązujących prób, w wizerunkach cech probierniczych itp.;
 - modernizacji stosowanych metod badawczych oraz metod oznaczania wyrobów, co spowodowało konieczność wyposażenia urzędów w nowoczesną, specjalistyczną aparaturę, taką jak np. spektrometry fluorescencji rentgenowskiej, potencjometri z auto-



Rys. 6. Strona tytułowa prezentacji



Rys. 5. Wojciech Jarzyna

matycznymi podajnikami, urządzenia do laserowego oznaczania wyrobów;

- ustalenia zasad honorowania cech probierniczych państw będących członkami UE, w związku z członkostwem RP, od 2004 roku;
- uzyskania przez Polskę w 2005 roku członkostwa w Konwencji o kontroli i cechowaniu wyrobów z metali szlachetnych, nazywanej Konwencją Wiedeńską.

W końcowej części prezentacji poinformowano, że w okresie od 1993 do 2017 roku w Wydziale Technicznym okręgu i w czterech podległych wydziałach zamiejscowych w Poznaniu, Wrocławiu, Częstochowie oraz Chorzowie zbadano i oznaczono cechami probierniczymi lub wystawiono świadectwa badania dla 38,3 mln sztuk wyrobów ze złota o masie 104,6 ton (odpowiadającej masie 17 słoni afrykańskich) oraz 61,1 mln sztuk wyrobów ze srebra o masie ponad 444 ton (odpowiadającej masie 74 słoni afrykańskich).



Rys. 7. dr Michał Myśliński



Rys. 8. Strona tytułowa prezentacji



Rys. 9. Aleksandra Górkiewicz-Malina

Drugą prezentację przedstawił pan dr Michał Myśliński z Instytutu Sztuki PAN, omawiając zarys działania krakowskiego urzędu probierczego w XIX wieku. Swoją esej opatrzył przewrotnym tytułem „Biedni złotnicy wobec bogatego Urzędu Probierniczego w Krakowie w XIX wieku.”

Prezentacja pokazuje, że w istocie biednymi nie byli krakowscy złotnicy, a Urząd Probierniczy, którego małe dochody nie pokrywały kosztów funkcjonowania. Pracownicy często nie otrzymywali wypłat, a musieli ponosić koszty zakupu opału oraz odczynników chemicznych. Sytuacja zmieniła się dopiero wtedy, gdy po 1866 roku Urząd włączono w system administracji austriackiej. Zatrudniono w nim wówczas osoby niezwiązane z krakowskim środowiskiem złotników i jubilerów, krytycznie nastawionych i głoszących pogląd, że Urząd służy głównie do generowania dochodów i utrudnia im wykonywanie pracy.

Trzecia prezentacja, opracowana przez dyrektora krakowskiego Urzędu, panią Aleksandrę Górkiewicz-Malinę, przypominała o udziale pracowników z Oddziału we Wrocławiu w badaniu tzw. skarbu średzkiego, znalezione przed 30 laty w Środzie Śląskiej.

W 2018 roku minęło 30 lat od odkrycia skarbu średzkiego, który znaleziono 24 maja 1988 roku. W związku z 30-leciem odkrycia skarbu, wyjątkowo – od 2 października do 30 grudnia 2018 roku, był on wystawiony w Muzeum Narodowym we Wrocławiu. Poza tym szczególnym, jubileuszowym okresem, przez cały rok skarb można oglądać w muzeum w Środzie Śląskiej.

Skarb został wykopany w maju 1988 roku, a dopiero w sierpniu Wojewódzki Konserwator Zabytków zwrócił się do obecnego Wydziału Zamiejscowego OUP we Wrocławiu z prośbą o zbadanie odnalezionych wyrobów. Badanie odbyło się w siedzibie Narodowego Banku Polskiego, pod nadzorem funkcjonariuszy Milicji Obywatelskiej, w obecności władz miasta i Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków. Z przeprowadzonych badań sporządzona została dokumentacja, którą stanowiły:

- świadectwa badania wyrobów i elementów;
- fotografie badanych przedmiotów.

W posiadaniu Urzędu Probierniczego w Krakowie są liczne artykuły prasowe z 1988 roku oraz komplet dokumentacji z badania wyrobów. Do badania wyrobów i elementów skarbu średzkiego oddelegowani zostali: Naczelnik Urzędu we Wrocławiu, pan Romuald Miękus i jego zastępca, pan Andrzej Podbielski. Jako ciekawostkę obrazującą ówczesne realia, można podać, że za ten czyn społeczny Naczelnik Romuald Miękus otrzymał:

- przydział na komplet opon do samochodu Fiat 125p;
- talon na zakup 20 litrów benzyny.

Takie to były czasy...

Po zakończeniu prezentacji, które bardzo zainteresowały uczestników seminarium, udano się do sal: Portretowej i Kupieckiej, gdzie przy symbolicznej lampce szampana i skromnym poczęstunku, w kameralnej atmosferze, kontynuowano rozmowy i wspomnienia.

System Zarządzania Jakością w OUP w Warszawie

The Quality Management System in Regional Assay Office in Warsaw

Jacek Motyka (Naczelnik Wydziału Nadzoru OUP w Warszawie, Pełnomocnik Dyrektora OUP ds. jakości)

Tematem artykułu jest wdrożenie i utrzymywanie Systemu Zarządzania Jakością w Okręgowym Urzędzie Probierniczym w Warszawie.

The subject of the article is implementation and maintenance of the Quality Management System in Regional Assay Office in Warsaw.

W 2005 r. Okręgowy Urząd Probierniczy w Warszawie ustanowił i wdrożył System Zarządzania Jakością, który utrzymuje do dziś. W 2018 r. dokonano jego modyfikacji, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9001:2015, będącej kontynuacją modelu zarządzania, określonego we wcześniejszych wersjach normy (ISO 9001:2001 oraz 9001:2008). Jednostką certyfikującą nasz urząd jest British Standards Institution (BSI) – jedna z najstarszych i najbardziej znanych organizacji certyfikujących na świecie, założyciel International Organization for Standardization (ISO).

Norma ISO w nowym wariantcie jest skutecznym narzędziem, które ma za zadanie wspomagać nowoczesne zarządzanie instytucją dostarczającą potrzebne klientom usługi. Stosowanie normy ISO w urzędzie pozwala na sprawniejsze zarządzanie, przyczynia się do poprawy efektywności świadczonych usług oraz daje impuls dla ciągłego rozwoju instytucji, w której ten system funkcjonuje. SZJ, skonstruowany na podstawie aktualnej normy ISO 9001:2015, współdziała i uzupełnia się z kontrolą zarządczą, od lat z powodzeniem stosowaną w OUP w Warszawie. Pozwala również na skuteczną realizację celów określonych w czteroletnim strategicznym planie działania Głównego Urzędu Miar na lata 2018–2021.

Korzyści, które uzyskuje nasz urząd, dzięki zastosowaniu normy ISO w wersji 9001:2015, to:

- zdolność do dostarczania usług, spełniających wymagania prawne, zgodnych z oczekiwaniami klienta,
- utrzymywanie wysokiego poziomu tych usług, co stwarza szansę na zwiększanie zadowolenia klienta,
- uwzględnienie ryzyka i szans związanych z jej kontekstem i celami,
- możliwość wykazania zgodności z wyspecyfikowanymi wymaganiami SZJ.

Wymagania dotyczące SZJ wyspecyfikowane w normie stanowią uzupełnienie wymagań, dotyczących

wyrobów i usług. W normie zastosowano podejście procesowe uwzględniające cykl *Planuj – Wykonaj – Sprawdź – Działaj* (PDCA) oraz podejście oparte na ryzyku. Większy nacisk położono na osiąganie zgodności wyrobów i usług z wymaganiami oraz na zadowolenie klienta. W OUP w Warszawie sformułowano podstawowe zasady zarządzania jakością, takie jak:

- orientacja na klienta,
- przywództwo,
- zaangażowanie ludzi,
- podejście procesowe,
- doskonalenie,
- podejmowanie decyzji na podstawie dowodów,
- zarządzanie relacjami.

Opisane poniżej zmiany SZJ, związane z dostosowaniem go do nowej wersji normy, dotyczyły wszystkich elementów systemu.

Zakres systemu

Norma ISO 9001:2015 wymaga, aby instytucja, która stosuje system zarządzania jakością, określiła jego zakres. Powinien on być utrzymywany jako udokumentowana informacja, obejmować kontekst organizacji, wymagania istotnych stron zainteresowanych, określać wyroby i usługi objęte systemem, a także być powszechnie dostępny.

Realizacja procesów w Okręgowym Urzędzie Probierniczym w Warszawie przebiega na podstawie wymagań określonych przepisami prawa, związanymi z probiernictwem. Zakres systemu zarządzania jakością obejmuje, między innymi, nadzór nad przestrzeganiem przepisów ustawy Prawo probiercze, nadzór wewnętrzny, prowadzenie rejestru znaków imiennych, postępowanie z niezgodnościami i skargami oraz koordynację i nadzór nad działalnością wydziałów zamiejscowych w zakresie badania i oznaczania wyrobów z metali szlachetnych oraz przestrzegania przez nie wyżej wymienionej ustawy – zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 9001:2015.

Kontekst organizacji

Zgodnie z wymaganiami normy powstała konieczność określenia kontekstu organizacji oraz stron zainteresowanych, jak również ich potrzeb i oczekiwań, ważnych dla systemu zarządzania jakością. Kontekst organizacji jest nowym pojęciem, stanowi go *kombinacja czynników wewnętrznych i zewnętrznych, które mogą wpływać na podejście organizacji do opracowania i osiągania swoich celów.*

Instytucja określa czynniki wewnętrzne i zewnętrzne, które mogą mieć pozytywny lub negatywny wpływ na zdolność do osiągnięcia zamierzonych wyników. Czynniki zewnętrzne stanowią warunki prawne, finansowe, technologiczne, ekonomiczne, a także polityczne i społeczne. Czynniki wewnętrzne związane są, między innymi, ze strukturą organizacyjną, potencjałem ludzkim i technicznym oraz zasobem wiedzy. Generują je także wewnętrzne wymagania, odnoszące się do efektów działalności, strategia i zaplanowane do realizacji cele, a wspomaga – system informatyczny, stosowane normy i standardy.


Wszystkie czynniki powinny być regularnie monitorowane i przeglądane. Należy także określić strony zainteresowane (interesariuszy), istotne dla systemu zarządzania jakością oraz ich wymagania.

W OUP w Warszawie, na bazie metody PEST, została przeprowadzona segmentacja makro i mikro otoczenia oraz zostały określone istotne czynniki dotyczące urzędu, z określeniem ich wpływu na jego funkcjonowanie. Określono ww. czynniki wewnętrzne i zewnętrzne. Kontekst organizacji stanowi jeden z załączników do Księgi Jakości, jest on przeglądany i aktualizowany w ramach przeglądu zarządzania oraz w ramach potrzeb, wynikających z bieżących zmian w otoczeniu urzędu.

System zarządzania jakością i jego procesy

W normie podkreślono istotne znaczenie stosowania podejścia procesowego do systemu zarządzania jakością oraz konieczność jego planowania. W OUP w Warszawie opis procesów znajduje się w „Księdze Jakości”. Księga obejmuje procedury systemowe: nadzór nad udokumentowaną informacją, nadzór nad audytami wewnętrznymi, działania korygujące. Procesy zidentyfikowano w postaci mapy procesów i podzielono na trzy kategorie: zarządzające, główne (związane z kompetencją Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie) oraz pomocnicze. Wzajemne oddziaływanie procesów zostało uwzględnione na mapie procesów.

Norma wymaga, aby w procesach uwzględnić wymagania wejściowe oraz oczekiwane efekty na wyjściu procesów. W procesach należało również określić mierzalność, poprzez odniesienie do wskaźników, ponadto przypisać jednoznaczność odpowiedzialności za proces

	KSIĘGA JAKOŚCI	Wydanie: 4 Data wydania: 16.04.2019 Strona: 1 z 1
<p>PODLEGA AKTUALIZACJI</p> <p>TAK <input checked="" type="checkbox"/> NIE <input type="checkbox"/></p> <h1 style="text-align: center;">KSIĘGA JAKOŚCI</h1> <p style="text-align: center;">tel: 048-22 620 33 94 fax: 048-22 620 33 94 e-mail: oup.warszawa@gum.gov.pl www.gum.gov.pl</p> <p>Opracował: _____ Zatwierdził: _____</p> <p>Jacek Motyka Pełnomocnik Dyrektora ds. Jakości</p> <p>mgr Małgorzata Uliaszuk Dyrektor Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie</p>		
Autor: Jacek Motyka Data wydania: 16 kwietnia 2019 r.		Zatwierdzona przez: Dyrektora Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie

właścicielowi oraz zwrócić szczególną uwagę w zarządzaniu procesem na ryzyka (zdarzenia negatywne) i szanse (pozytywne możliwości). Odnosi się do tego wprowadzony nowy punkt normy 6.1 – „Planowanie” – dotyczące zagrożeń (ryzyk), oraz wykorzystania możliwości (szans).

Za sposób pozyskiwania, gromadzenia i przedstawiania danych o procesie, prowadzenia analizy danych oraz wnioskowania o podjęcie działań poprawiających efektywność i skuteczność procesu odpowiedzialny jest jego właściciel. Jako punkt wyjścia do zarządzania ryzykiem przyjęto wyniki analizy ryzyka prowadzonego w ramach kontroli zarządczej. Punktem odniesienia są także ustalenia kontekstu zewnętrznego i wewnętrznego urzędu, wyniki analizy przebiegu procesów. Analizę ryzyka oparto na wytycznych normy ISO 31000 i kryteriach oceny – w skali trzypunktowej. Kryteria oceny i punktacji podawane są w procesowych analizach ryzyka.

Interesariusze

Określono strony zainteresowane (interesariuszy urzędu) oraz ich wymagania, które stanowią załącznik do kontekstu działania. Ich monitorowanie i przegląd odbywa się podczas przeglądu zarządzania.

Przywódstwo

Norma zwiększa odpowiedzialność kierownictwa i kładzie szczególnie mocny nacisk na przywództwo. W zakresie odpowiedzialności kierownictwa dodano, między innymi, kwestie dotyczące: odpowiedzialności za skuteczność systemu zarządzania jakością, komunikowanie ważności skutecznego zarządzania, angażowanie, promowanie i wspieranie pracowników, przyczyniających się do skutecznego zarządzania, promowanie ciągłego

doskonalenia oraz wspieranie innych zarządzających. Rozszerzeniu uległa formuła przeglądu zarządzania, który z obszaru odpowiedzialności kierownictwa został przeniesiony do rozdziału 9 – „Monitorowanie, pomiary, analiza i ocena”. Zakres przeglądu zarządzania został poszerzony o dodanie aspektów „strategicznego kierunku organizacji”, rozważenia „znaczących stron zainteresowanych” oraz „ocenę ryzyka i możliwości jego wystąpienia” na poziomie strategicznym.

Obowiązki i uprawnienia Dyrektora Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie zdefiniowane zostały w opisie procesu „Zarządzanie organizacją i planowanie realizacji usług”. Zaangażowanie kierownictwa jest wykazane poprzez: ustanawianie i zatwierdzanie strategii rozwoju i funkcjonowania urzędu, zapewnienie zasobów, spotkań z pracownikami w celu nadzoru nad bieżącymi działaniami oraz monitoringiem wyników procesowych. Wymagania prawne są identyfikowane na etapie przygotowywania aktów prawnych w zakresie probiernictwa oraz poprzez bieżący przegląd Dzienników Ustaw RP. Wykaz aktów prawnych, związanych z działalnością urzędu, przedstawiono w formie załącznika do Księgi Jakości.

Polityka jakości

Polityka jakości została ustanowiona i zawarta w Księdze Jakości. Jest dostosowana do celów i kompetencji OUP w Warszawie, związanych z realizacją ustawowych zadań. Stanowi gwarancję w stosunku do interesariuszy. Jest dostępna w dokumentacji systemowej, zakomunikowana pracownikom, rozwieszana w ogólnodostępnych miejscach, rozpowszechniana przez bezpośrednich przełożonych.

Aktualizacja polityki jakości odbywa się w ramach przeglądów zarządzania.

Role, odpowiedzialność i uprawnienia w organizacji

Wymogi normy z 2015 r. w tym punkcie mają szerszy zakres niż te określone w wersji normy z 2008 r. Obecnie mają one zastosowanie do wszystkich „funkcji”, jakie pełni instytucja, a nie jedynie do „tych związanych z systemem zarządzania”. Kadra kierownicza musi zapewnić, aby obowiązki i uprawnienia, dotyczące odpowiednich ról, zostały zgłoszone, zakomunikowane oraz zrozumiane w ramach organizacji.

Odpowiedzialność i uprawnienia zostały określone przede wszystkim w nadanym przez Prezesa GUM Regulaminie Organizacyjnym Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie, ale również przez dokumentację systemową: opisy procesów w Księdze Jakości, instrukcje, procedury. Właściciele procesów są odpowiedzialni za nadzór nad procesami, dokumentowanie wyników, definiowanie potrzeb związanych z doskonaleniem. Promowanie orientacji na klienta zapewnia Dyrektor OUP w Warszawie oraz właściciele procesów. Za zapewnienie utrzymania integralności SZJ odpowiada Pełnomocnik Dyrektora ds. Systemu Jakości. Funkcję tę pełni w OUP Naczelnik Wydziału Nadzoru.

Działania odnoszące się do ryzyk i szans

W OUP w Warszawie ryzyka i szanse zostały odniesione do procesów realizacji usług oraz wprowadzone do SZJ. Jako punkt wyjścia do zarządzania ryzykiem przyjęto wyniki analizy ryzyka prowadzonego w ramach kontroli zarządczej oraz ustalenia kontekstu zewnętrznego i wewnętrznego urzędu, jak również wyników analizy przebiegu procesów. Analizę ryzyka oparto na wytycznych normy ISO 31 000 i kryteriach oceny w skali trzypunktowej. Analiza ryzyka weryfikowana jest w ramach zmian systemowych, z uwzględnieniem niezgodności i skarg zewnętrznych, związanych z kompetencją urzędu oraz w ramach okresowych ocen. Szanse OUP w Warszawie zawarto w analizie ryzyka i szans procesu „Zarządzanie organizacją i planowanie realizacji usług”.

Cele jakościowe i planowanie ich osiągnięcia

Cele dotyczące jakości muszą być zgodne z polityką jakości, istotne dla zapewnienia wyrobom i usługom zgodności, a także muszą wpływać na zwiększenie zadowolenia klienta. Po określeniu celów należy je monitorować, odpowiednio aktualizować, a także informować o nich



POLITYKA JAKOŚCI
POLITYKA JAKOŚCI OKRĘGOWEGO URZĘDU PROBIERNICZEGO W WARSZAWIE
Jest szczególnie ważnym elementem polityki jakości: doskonalenie działań wykonanych w zakresie kompetencji oraz podjętych w celu spełnienia oczekiwań interesariuszy i wymagań przepisów obowiązującego prawa

INTERESARIUSZ	NASZE GWARANCJE:
UNIA EUROPEJSKA	PRZEKAZANIE OBIĘŻYŃ ZAKŁAD PRÁWNYCH OBIĘŻYŃ ODEJAZDOWYCH OBIĘŻYŃ WYROBOM Z METALI SZLACHTNYCH ORAZ ZWIĄZANYCH PRODUKTÓW MIĘDZYKRAJOWYCH WSPÓŁPRACA Z EUROPEJSKIM SYSTEMEM JAKOŚCI I ODEJAZDOWYCH PROJEKTOWYCH OCCETYNWIO W WIELKICH WYKONAWCZYCH PRACOWNIKACH I WYKONAWCZYCH
PAŃSTWO	UWYŻYNIENIE WYSOKICH KOMPETENCJI ORGANIZACJI ADMINISTRACJI I PRAWNYCH W ZAKRESIE SWOICH CZYNNOŚCI PROBIERNICZYCH WYKONYWANIE ZWIĄZANE Z OBIĘŻYŃMI WYKONAWCZYMI I PRAWNYCH NADZORCZYCH NA OBIĘŻYŃMI PRÁWNYCH RZETELNE I EFEKTYWNE PRÁZADZANIE PRÁWNYMI I ZADANIE ORAZ PRÁWOWANIE W SPRAWACH ODEJAZDOWYCH W TYM ZAKRESIE
KONSUMENTI	SKUTECZNY NADZÓR NAD OBIĘŻYŃMI W WYROBIE I METALU SZLACHTNYCH ZAPewnIENIE BEZPIECZNYCH WYKONAWCZYCH
WYDZIAŁY ZAMIEJSCOWE	ZAPewnIENIE WYMAgANYCH ZASOBÓW PODSTAWOWYCH I WYKONAWCZYCH I NADZÓR POMOC METODYCZNA W PRÁZADZANIU I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH
WYTWÓRCY I DYSTYBUCYJNY WYROBÓW Z METALI SZLACHTNYCH	ORGANIZOWANIE BADAŃ PORÓWNAWCZYCH POTWIERDZAJĄCYCH KOMPETENCJE POPRAWIA DOSTĘPNOŚĆ I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH UWYŻYNIENIE ODEJAZDOWYCH BADAŃ I ZWIĄZANE Z WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH ZACHOWANIE ZAKŁADY POLITYCZNE I ODEJAZDOWYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH
GUM	PROFESJONALNA, RZETELNA, TERMINOWA I SYSTEMATYCZNA DOSKONALONA OBSŁUGA WSPÓŁPRACA I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH OBIĘŻYŃMI WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH
DOSTAWCY	PROSTYKOWANIE WYMAgANYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH
PRACOWNICY	PROCHOWANIE WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH I WYKONAWCZYCH

Maria Magdalena Ułczyk
Dyrektor
Okręgowego Urzędu Probierniczego w Warszawie

Okręgowy Urząd Probierniczy w Warszawie
ul. Białostocka 2
00-109 Warszawa

tel./fax: 22 620 33 94
in: 22 361 13 43
e-mail: recepcja@oup.gov.pl
secret@oup.gov.pl

oup.gov.pl



pracowników OUP. Cele jakościowe są określane przez kierownictwo urzędu i zatwierdzone przez Dyrektora OUP w Warszawie podczas przeglądu zarządzania.

Zasoby

Za określenie i zapewnienie zasobów, związanych z funkcjonowaniem okręgu i wydziałów zamiejskowych, odpowiedzialny jest Dyrektor OUP w Warszawie. Odpowiedzialność za definiowanie potrzeb, związanych z zasobami na poziomie procesowym, spoczywa na właścicielu procesu i dyrektorze. Definiowane potrzeby zakupowe uwzględnia się w planowaniu finansowym. Potrzeby w zakresie zasobów ludzkich wynikają ze struktury organizacyjnej, wymagań systemowych, z uwzględnieniem wymagań klienta oraz konieczności zapewnienia możliwości funkcjonowania urzędu i realizacji wymaganych zadań.

Przeglądy infrastruktury odbywają się pod kątem wymagań przepisów nadrzędnych, dotyczących stanu zabudowań oraz istniejących tam instalacji, a także stanu pomieszczeń, w których przyjmowani są klienci. Potrzeby związane z utrzymaniem infrastruktury są objęte planowaniem finansowym, ze względu na konieczność zagwarantowania odpowiednich funduszy. Przeglądy infrastruktury wykonywane są raz w roku (w ramach przeglądu zarządzania) lub w miarę bieżących potrzeb. Nadzorowanie infrastruktury całego okręgu odbywa się według opisu procesu „Nadzorowanie infrastruktury”. Zasoby objęte rejestrem wyposażenia pomiarowego, z określonymi zasadami nadzoru, zapisem wyników wzorcowania (zewnętrzne lub wewnętrzne) są dowodem przydatności do użycia – zgodnie z przeznaczeniem. Wagi wykorzystywane do kontroli probierczej są wzorcowane przez administrację miar co 24 miesiące. Wiedza w organizacji dotyczy sposobu realizacji usług urzędu oraz interpretacji przepisów prawa, które mają zastosowanie w czasie realizacji procesów. Wiedzę tę nabywa się w trybie doskonalenia zawodowego urzędników – samokształcenia, szkoleń wewnętrznych, jak i zewnętrznych.

Kompetencje pracowników

Kompetencje pracowników urzędów administracji państwowej są określone przepisami nadrzędnymi. Szczegółowe wymagania kwalifikacyjne stawiane zatrudnianym pracownikom ustala Dyrektor OUP w Warszawie w uzgodnieniu z kierownikiem komórki organizacyjnej zatrudniającej pracownika. Zapisy dotyczące wykształcenia, szkoleń, doświadczenia zawodowego oraz posiadanych umiejętności czy uprawnień przechowywane są pod nadzorem pracownika odpowiedzialnego za sprawy kadrowe. W urzędzie cyklicznie przeprowadza się oceny

okresowe pracowników, które pomagają poprawiać efektywność pracy i podejmować decyzje kadrowe w sprawie awansów oraz ustalać ścieżki kariery pracowników.

Świadomość pracowników

Świadomość pracowników urzędu dotycząca SZJ podnoszona jest przez wewnętrzne szkolenia pracowników oraz udział w naradach i spotkaniach, organizowanych przez Dyrektora OUP w Warszawie i kierowników komórek organizacyjnych. Szkolenie z polityki i celów jakościowych na dany rok, a także szkolenia wewnętrzne z SZJ są weryfikowane przez bezpośrednich przełożonych i w trakcie audytów.

Komunikacja

W OUP w Warszawie komunikacja pomiędzy wydziałami i stanowiskami ma charakter bezpośredni – odbywa się podczas narad i spotkań z naczelnikami i pracownikami OUP. Ze względu na terenową strukturę OUP często wykorzystywana jest komunikacja za pośrednictwem poczty elektronicznej oraz telefoniczna.

W ważnych sprawach dyrektor wydaje zarządzenia, decyzje i polecenia służbowe. Potrzeby komunikacji wewnętrznej wynikają z wymogów procesowych i są inicjowane przez właścicieli procesów.

Jest to obszar, który ma bardzo duży wpływ na prawidłowość funkcjonowania instytucji i wymaga stałego doskonalenia.

Informacja o usługach świadczonych klientom przez OUP w Warszawie jest dostępna na stronie internetowej, w przepisach nadrzędnych dotyczących probiernictwa oraz poprzez kontakt telefoniczny, e-mailowy i tablice wywieszane w siedzibie OUP.

Udokumentowana informacja

Zasady nadzoru nad dokumentacją określa opis procedury „Nadzór nad udokumentowaną informacją”. Procedura obejmuje: opracowanie, przegląd, zatwierdzenie, aktualizację, dystrybucję, dostęp, wyszukiwanie, wykorzystywanie, zapewnienie czytelności oraz zasady przechowywania i likwidacji dokumentów.

Planowanie realizacji usług oraz wymogi dotyczące produktów i usług

W procesie planowania ustalana jest procedura postępowania i określone są zasoby, a także wymagane dokumenty. Ustalona jest odpowiedzialność za realizację zadań oraz cele procesowe związane z planowaną usługą.

Informacja o usługach świadczonych przez OUP w Warszawie jest dostępna w przepisach prawnych, dotyczących probiernictwa oraz w komunikatach na stronie internetowej. Wiele informacji – w tym wykładnia prawa krajowego i zagranicznego – przekazywanych jest w trakcie bezpośredniego kontaktu klienta z urzędem. Urząd nie prowadzi na większą skalę działań marketingowych.

Istotne znaczenie mają informacje zwrotne od klientów. Pozyskiwanie informacji umożliwiają badania poziomu zadowolenia klienta z usług oraz analiza skarg i wniosków wpływających do urzędu. Należy zaznaczyć, że w ciągu ostatnich kilku lat nie było żadnych skarg na pracę OUP, co świadczy o wysokim poziomie świadczonych usług.

Nadzór nad procesami, wyrobami i usługami dostarczanymi z zewnątrz

Okręgowy Urząd Probierczy w Warszawie określa wymagania wobec dostawców w zamówieniach, zapytaniach ofertowych oraz w ogłoszeniach przetargowych. W rejestrze dostaw określone są kryteria oceny dostawców.

Szczególne zasady postępowania dotyczą zamówień na dostawę znaczników i iglic probierczych oraz ich ewidencji i zabezpieczenia przed utratą. Zasady postępowania opisane są w specjalnych, wyodrębnionych procesach.

Odbiory dostaw dokonywane są komisyjnie, w formie protokolarnej. Nadzór nad dostawcami zewnętrznymi określa proces „Kwalifikacja dostawców i realizacja zakupów”.

Monitorowanie, pomiary, analiza i ocena oraz nadzór nad niezgodnościami

Pomiary skuteczności i efektywności procesów przeprowadza się według ustalonych w tym celu wskaźników procesowych. Poziom zadowolenia klienta badany jest na podstawie wymiernych kryteriów oceny oraz poprzez analizę skarg i wniosków. Przegląd wyników dokonywany jest w ramach przeglądu zarządzania – według wymagań dokumentacji systemowej i wymagań aktów prawnych, zgodnie z wynikami monitorowania, pomiarów i analiz.

Zasady nadzoru nad niezgodnościami oraz uprawnienia do podejmowania decyzji w odniesieniu do niezgodności opisane są w procesie „Postępowanie z niezgodnościami i skargami”. Stwierdzone niezgodności stanowią punkt wyjścia do podjęcia decyzji o konieczności podjęcia działań korygujących i weryfikacji analizy ryzyka procesowego. W toku działań zapobiegawczych i korygujących zakładane są specjalne karty.

Audyty wewnętrzne

Audyty są planowane, prowadzone i dokumentowane zgodnie z zasadami określonymi w procedurze „Audyty wewnętrzne”. Harmonogram audytów wewnętrznych na rok jest sporządzony przez Naczelnika Wydziału Nadzoru, zatwierdzony przez Dyrektora OUP w Warszawie.

Ciągłe doskonalenie

Uzyskane wyniki analiz procesowych, oceny systemu wraz z danymi wyjściowymi przeglądu zarządzania są uwzględniane, jako elementy służące ciągłemu doskonaleniu systemu. System zarządzania jakością obejmuje swoim zakresem całą działalność administracyjną urzędu i jest adekwatny do wymagań prawnych. Przydatność przyjętych rozwiązań systemowych potwierdzają wyniki z procesów, wyniki sprawozdawczości kontroli zarządczej, skuteczne metody zarządzania ryzykiem procesowym oraz niski poziom skarg zewnętrznych, związanych z działalnością urzędu.

Reasumując powyższe można stwierdzić, iż System Zarządzania Jakością, wdrożony do realizacji w Okręgowym Urzędzie Probierczym w Warszawie od 2005 r. i kontynuowany według zasad określonych w normie PN-EN ISO 9001:2015, jest dojrzałym, spełniającym standardy systemem. Efekty podejmowanych przez kierownictwo działań są widoczne i potwierdzone podczas kolejnych audytów nadzoru. Kierownictwo urzędu dokładnie i kompleksowo wprowadziło wymagania normy do systemu zarządzania i co roku dostarcza dowodów, potwierdzających jego prawidłowe funkcjonowanie w OUP w Warszawie. Uzyskany od BSI certyfikat informuje klientów i pracowników, że w naszym urzędzie są stosowane najlepsze praktyki.



Od metra dawnego do współczesnego

From the old to the modern meter

Paweł Fotowicz (Główny Urząd Miar)

W artykule przedstawiono historię definicji metra, od jej pierwotnej idei powiązanej z długością wahadła matematycznego do współczesnej, powiązanej z prędkością światła w próżni. Droga ta wiodła poprzez artefakty i zjawiska fizyczne, służące do odtwarzania jednostki miary długości. W obu wypadkach, tej dawnej i współczesnej definicji metra, istotą jest odwołanie się do jednostki czasu, poprzez stałą fizyczną.

The article presents the history of the metre definition, from its original idea related to the length of the mathematical pendulum to the modern one, related to the speed of light in a vacuum. This road led through artifacts and physical phenomena used to realization of the length unit. In both cases, this old and modern metre definition, the essence is to refer to the time unit through a physical constant.

Już w XVII stuleciu zastanawiano się nad przyjęciem jednostki miary długości opartej na obiektywnym, stałym i niezmiennym odniesieniu, próbując odejść od jej antropometrycznego sposobu definiowania, opartego na wymiarach ludzkiego ciała, w postaci łokci, stóp czy sążni, jak to bywało przez wieki. Jedną z takich propozycji, w postaci metra powszechnego, przedstawił Polak z wyboru, a Włoch z urodzenia, Tytus Liwiusz Burattini vel Boratyni. Opisał ją w pracy pt. „Miara powszechna”, opublikowanej w 1675 roku [1]. Miara ta miała być oparta na długości wahadła matematycznego o okresie drgań 2 s. Podobne projekty zgłaszali również Picard w 1671 roku i Huyghens w 1673 roku [2].

Długość wahadła matematycznego można wyznaczyć na podstawie:

$$l = g \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

gdzie: T to okres drgań wahadła, g to przyspieszenie ziemskie. Przyjmując wartość przyspieszenia ziemskiego normalnego (na poziomie morza na szerokości geograficznej około $45,5^\circ$) $g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$, długość takiego wahadła to $l = 0,993\ 621\ \text{m}$, a więc niecały współczesny metr. Długość ta ściśle powiązana jest z wartością przyspieszenia ziemskiego, uzależniona od wysokości nad poziomem morza i związana z szerokością geograficzną.

Istotą powyższego rozwiązania było powiązanie jednostki długości z jednostką czasu, właśnie poprzez przyspieszenie ziemskie, podobnie jak to się realizuje współcześnie, ale poprzez powiązanie ze stałą fizyczną w postaci prędkości światła w próżni. Idea ta jednak, ze względu na problematyczność związaną z brakiem ścisłej wiedzy,

dotyczącej wartości przyspieszenia ziemskiego i jego zmienności, nie zyskała akceptacji twórcy pierwszej definicji metra, systemu metrycznego, Pierre’a Simona de Laplace’a, mimo że pierwotnie definicja ta miała być właśnie oparta na długości wahadła sekundowego, zaproponowanej Zgromadzeniu Narodowemu Francuskiemu przez biskupa Talleyranda w 1790 roku. Laplace oparł definicję metra na długości południka przechodzącego przez Paryż, w postaci dziesięciomilionowej części połowy tej długości, która została przyjęta przez Zgromadzenie w 1791 roku [2].

Jednakże praktyczne zrealizowanie definicji metra nie było łatwe, szczególnie w trudnych czasach rewolucyjnych. Zadania tego podjęli się dwaj francuscy uczeni Jean Baptiste Delambre i Pierre Francois Méchain. Delambre wykonywał pomiary metodą triangulacyjną na odcinku od Dunkierki do Rodez, a Méchain pomiędzy Barceloną a Rodez. Niestety Méchain popełnił błąd w pomiarach szerokości geograficznej punktu startowego w centrum Barcelony. Gdy uświadomił to sobie, nie mógł już powtórzyć pomiaru, ze względu na wybuch konfliktu pomiędzy Hiszpanią a Francją. Wraz z Delambre’em postanowił ukryć ten fakt przed komisją metryczną, by nie doprowadzić do unieważnienia przez nią żmudnie wykonywanych obliczeń długości południka przechodzącego przez Paryż, uzyskanych na podstawie wieloletnich pomiarów triangulacyjnych. W roku 1799 ostatecznie przyjęto długość metra, wyznaczoną na drodze pomiarów geodezyjnych i na tej podstawie wykonano z platyny jego materialny wzorec w postaci końcowej (odległość metra wyznaczały końcowe jego powierzchnie). Od tej pory wzorec ten definiował samą jednostkę długości systemu metrycznego. Artefakt zdeponowano w Archiwum



Republiki Francuskiej [2]. Błąd Méchain'a skrócił metr o dwie dziesiąte milimetra w stosunku do definicyjnej jego długości i tak już pozostało do dziś.

Sposób definiowania jednostki długości w oparciu o artefakt przyjęto również po podpisaniu Konwencji Metrycznej w 1875 roku. Metr wyznaczała odległość pomiędzy środkowymi kresami wzorca kreskowego, wykonanego ze stopu platynowo-irydowego. Jednakże dokładność odtwarzania takiej jednostki nie była zbyt wysoka (niepewność względna $2 \cdot 10^{-7}$). Znacznie wyższą odtwarzalność jednostki długości zapewniało zjawisko interferencji fali optycznej, pochodzącej z monochromatycznego źródła promieniowania. Prace nad tym zjawiskiem i budową przyrządu do jego realizacji prowadził Albert Abraham Michelson, noblista z Kujaw. Ściśle współpracując z Międzynarodowym Biurem Miar już pod koniec XIX wieku zaproponował zdefiniowanie metra w oparciu o wielokrotność długości fali światła.

Michelson, urodzony w Strzelnie koło Bydgoszczy, kształcił się w USA, a całe swoje naukowe życie poświęcił badaniu prędkości światła. W 1887 roku, wraz z Morleyem wykonał eksperyment dowodzący, że światło rozchodzi się ze stałą prędkością niezależnie od kierunku i szybkości jego źródła. Wynik tego eksperymentu posłużył Albertowi Einsteinowi do sformułowania podstawowego postulatu szczególnej teorii względności, mówiącej o stałości prędkości światła w próżni. Dzięki temu prędkość tę można traktować jak stałą fizyczną. Michelson współpracował blisko z Międzynarodowym Biurem Miar i w latach 1892 i 1893 przeprowadzał porównania międzynarodowego wzorca długości z długością fali światła kadmu, na zbudowanym przez siebie układzie pomiarowym zwanym interferometrem. Urządzenie przetransponowano ze Stanów Zjednoczonych do Paryża, gdzie Michelson wykonywał pomiary. Ustalił on długość międzynarodowego wzorca metra, jako wielokrotność 1 553 164 długości linii czerwonej kadmu [3]. Badania te zostały uhonorowane w 1907 roku przez Komitet Noblowski nagrodą za „precyzyjne przyrządy optyczne i pomiary metrologiczne przeprowadzone przy ich użyciu”. Było to wyróżnienie za dokonania w dziedzinie metrologii, dotyczące nowego sposobu definiowania jednostki miary, opartego na zjawisku fizycznym, a nie na artefakcie.

W praktyce idea powyższa została zrealizowana dopiero w drugiej połowie XX wieku, gdy ostatecznie porzucono sposób definiowania długości w oparciu o artefakt na rzecz definicji opartej o zjawisko fizyczne. Definicję metra oparto na wielokrotności długości określonej fali kryptonu, gdyż linia kadmu zawierała kilka blisko siebie znajdujących się częstotliwości promieniowania. Przyjęto ją wraz z wdrożeniem międzynarodowego układu jednostek miar SI w 1960 roku. Dzięki temu można było odtwarzać jednostkę długości z niepewnością względną

$2 \cdot 10^{-8}$, a nawet 10^{-9} [4]. Jednakże lata 60. dwudziestego wieku przyniosły nowe źródło promieniowania, jakim jest laser. Emisja wymuszona, uzyskiwana w obszarze rezonatora tego urządzenia, umożliwia wygenerowanie wyjątkowo wąskiej linii widmowej o szerokości spektralnej, pozwalającej na odtwarzanie długości z niepewnością względną dochodzącą do 10^{-11} , pod warunkiem, że promieniowanie jest stabilizowane, np. przy użyciu par jodu. Interferometry laserowe umożliwiały pomiar odległości z dokładnością lepszą od przyjętej definicji metra w oparciu o promieniowanie monochromatyczne. Musiało to doprowadzić do kolejnej redefinicji jednostki długości i oparcia jej już nie na zjawisku fizycznym, lecz na stałej fizycznej. Wybór padł na prędkość światła, jako niezmienną wartość w próżni. Dlatego definicja metra przyjęta w roku 1983 odwoływała się do umownie ustalonej jej wartości prawdziwej. Dzięki przyjęciu tej definicji możliwe jest wyznaczanie długości fali światła w oparciu o wzór:

$$\lambda \cdot f = c$$

gdzie λ to długość światła, f – jego częstotliwość, a $c = 299\,792\,458$ m/s to umownie przyjęta wartość prawdziwa prędkości światła w próżni. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest zwiększenie dokładności odtwarzania jednostki miary długości, poprzez pomiar częstotliwości i fakt, że sama stała fizyczna, którą uznano za prawdziwą, jest wartością dokładną i nie powiększa niepewności jej wyznaczenia.

W roku 2005 Komitet Noblowski przyznał nagrodę J. Hallowi i T. Hänschowi, za opracowanie „techniki grzebienia częstotliwości optycznych” (the optical frequency comb technique). Technika ta umożliwia wygenerowanie wielu określonych, stabilnych częstotliwości odniesienia (w postaci grzebienia linii widma promieniowania o szerokim zakresie optycznym), które można wykorzystać do wzorcowania laserów stosowanych w układach interferometrów do odtwarzania jednostki długości. Był to kolejny krok ku zaawansowanej technologicznie realizacji definicji jednostki długości, po prawie stuleciu od przyznania tego prestiżowego wyróżnienia za dokonania Michelsona.

Należy też dodać, że zespół Johna Halla już w latach 70. ubiegłego wieku dokonał pomiaru prędkości światła z niezwykłą precyzją dochodzącą do 1 m/s, co utarowało drogę do przyjęcia nowej definicji przez Międzynarodowy Komitet Miar w 1983 roku. Pomiary te wykonano poprzez niezależne wyznaczenie długości światła lasera stabilizowanego i jego częstotliwości, odnosząc ją do częstotliwości wzorcowej zegara atomowego [5].

Zgodnie z decyzją Międzynarodowego Komitetu Miar, w 2019 roku nastąpi redefinicja podstawowych



jednostek miar układu SI. Metr ponownie otrzyma nową formułę definicyjną w proponowanym brzmieniu [6]:

metr, oznaczenie m, jest to jednostka SI długości. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej prędkości światła w próżni c , wynoszącej 299 792 458, wyrażonej w jednostce m s^{-1} , przy czym sekunda zdefiniowana jest za pomocą częstotliwości cezowej $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Definicję tę można przedstawić w postaci wyrażenia [6]:

$$1 \text{ m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

gdzie $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$ to częstotliwość promieniowania przejścia kwantowego między dwoma nadsubtelnymi poziomami atomu cezu 133 w stanie podstawowym. Wartość tej częstotliwości definiuje jednostkę miary czasu SI, sekundę [6].

Przedstawiona definicja metra oparta jest na niezmienniej stałej fizycznej i jednocześnie powiązana z podstawową jednostką czasu, sekundą. W pewnym sensie

nawiązuje do pierwotnej idei „miary powszechnej” również opartej na jednostce czasu i stałej fizycznej w postaci przyśpieszenia ziemskiego, której realizacją miało być wahadło matematyczne. Współcześnie jest nim technika z wykorzystaniem grzebienia częstotliwości optycznych, a stałą fizyczną reprezentuje prędkość światła w próżni. Można zatem stwierdzić, że w pewnym sensie historia definicji metra kołem się toczy.

Literatura

- [1] Leschiutta S., Leschiutta M., Tytus Liwiusz Burattini zapomniany metrolog z XVII wieku. Normalizacja 8-9 (1982), s. 52-62.
- [2] Kowalczyńska Z., Historia systemu metrycznego, Przegląd Techniczny nr 13 i 14 (1921) s. 85-89.
- [3] Szudy J., Wpływ Alberta Abrahama Michelsona na rozwój fizyki i astronomii. Studia i materiały pod red. D. Kurzawy, Strzelno 2007, s. 23-33.
- [4] Obalski J., Zasady międzynarodowego układu jednostek miar SI, WNT Warszawa 1970.
- [5] Phillips J., JILA: The First 50 Years, 2012.
- [6] Draft of the ninth SI Brochure, 5 December 2018.

Przyszłość w metrologii kwantowej

The future in quantum metrology

Kontynuujemy prezentację wzorców wielkości elektrycznych, utrzymywanych w Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu GUM. Po rezystancji przyszedł czas na wzorzec napięcia elektrycznego stałego.

The Bulletin "Metrology and Hallmarking" continues to present national measurement standards of electrical quantities, maintained in the Laboratory of Electricity and Magnetism Laboratory. This time we are talking about National DC voltage standard.

Adam Żeberkiewicz (redaktor działu „Metrologia wczoraj i dziś” Biuletynu GUM):

– Czy możemy powiedzieć, że dziedzina, którą Pani się zajmuje, pojawiła się wraz z wynalezieniem elektryczności?

Edyta Dudek (Kierownik Pracowni Wzorców Wielkości Elektrycznych) – Nie. Rozmawiać będziemy o kwantowym wzorcu napięcia elektrycznego stałego. Wykorzystuje on zjawisko tunelowania, które zostało odkryte przez Briana Josephsona (Nagroda Nobla z fizyki w 1973 roku) w 1962 roku, a potwierdzone doświadczalnie w 1963. Jeżeli założymy, że badanie zjawisk elektrycznych rozpoczęło się od odkrycia w 1785 roku przez Charlesa Augustina’a Coulomba, a w 1800 roku przez Alessandro Voltę pierwszej baterii elektrycznej, to można stwierdzić, że będziemy rozmawiać o dość „młodym” wzorcu. Jeśli chodzi o wielkości jednostek elektrycznych, to pod względem konstrukcji są jednymi z bardziej skomplikowanych, ale przy tym również ważniejszych jednostek miar na świecie. Te związane z elektrycznością stanowią bowiem odniesienie dla pomiarów wszystkich dziedzin. Metrologia kwantowa jest młodą, ale bardzo dynamicznie rozwijającą się poddziedziną. Kiedy nasi profesorowie – wykładowcy kończyli studia, nie była jeszcze znana. Odkrycia noblistów w tej dziedzinie fizyki: Josephsona i von Klitzinga miały miejsce w latach 60 i 80 XX wieku. Tak naprawdę o metrologii kwantowej młodej będzie się uczyć dopiero za parę lat.

Jeśli chodzi o nasz wzorzec napięcia elektrycznego stałego, to jest to wzorzec o najlepszych parametrach metrologicznych, nie tylko w kraju, ale również na świecie. W innych krajowych instytutach metrologicznych występują wzorce skonstruowane w ten sam sposób. Różnią się co najwyżej szczegółami, pojedynczymi elementami, w zależności od tego, w jakich latach powstawały i kiedy były modernizowane. Wszystkie wykorzystują jednak to



samo zjawisko, układ sterowania jest podobny, pozwalają odtworzyć jednostkę napięcia elektrycznego z taką samą niepewnością, są najlepszą realizacją tej jednostki na świecie.

– **Ale zanim doszliśmy do wzorca kwantowego, napięcie elektryczne stałe było realizowane w inny sposób.**

Wzorzec, o którym mówiliśmy, został zakupiony w 1997 roku, opiera się on na efekcie kwantowym odkrytym teoretycznie w 1962 roku, a potwierdzonym doświadczalnie rok później – w 1963 roku. Co było wcześniej? W GUM, w specjalnych warunkach przechowywaliśmy ogniwa Westona. Były to ogniwa galwaniczne, w których elektrodę dodatnią stanowiła rtęć, ujemną amalgamat kadmu, a elektrolitem był nasycony wodny roztwór siarczanu kadmu. Pozwalały nam one zrealizować bardzo dokładnie jedną wartość napięcia – 1,018 V. Odtworzyć z dużą dokładnością, pod warunkiem, że ogniwa przechowywane były w odpowiednich warunkach. Chodziło głównie o brak jakichkolwiek wstrząsów i stałą temperaturę. Były one więc przechowywane w termostatach olejowych. Taki wzorzec tworzyła grupa 12 ogniw, połączonych,

sprawdzanych i porównywanych ze sobą, a także wzorcowanych okresowo w BIPM. Wiązało się to z wieloma trudnościami, bo przewiezienie takiego ogniwa do BIPM istotnie zmieniało jego parametry. Ale przede wszystkim wartość 1,018 V, przy rosnących wymaganiach przemysłu, stała się kompletnie niefunkcjonalna. Wszystkie multimetry, zwłaszcza te najdokładniejsze, wymagały do kalibracji wartości 10 V. Wreszcie konieczne stało się, zarówno z uwagi na wymagania europejskich komitetów technicznych, jak i wobec oczekiwań naszych klientów, żeby mieć wzorzec, który będzie najlepszą realizacją jednostki na świecie. Nie wiem dokładnie, kiedy zostały podjęte pierwsze działania w tym kierunku. Pierwszy wzorzec został zakupiony w 1997 roku, czyli wtedy, kiedy zaczęłam tutaj pracę. W tym samym czasie pracownicy laboratorium zaczęli jeździć do innych europejskich NMI, w których takie wzorce były już wykorzystywane, żeby zdobyć doświadczenie i dowiedzieć się, jakie warunki są wymagane do uruchomienia wzorca i stworzenia laboratorium na najwyższym poziomie. Potem trzeba było o te warunki powalczyć. Chodziło między innymi o likwidację okien. Pomimo, że jest to budynek zabytkowy, udało się je zamurować. Oprócz tego, pomieszczenie zostało wyposażone w tzw. pływającą podłogę, wszystko zostało ekranowane. Znajdujemy się przecież w centrum Warszawy, więc o drgania czy wpływ urządzeń elektronicznych jest nietrudno. Remont kapitalny trwał dłuższy czas. Musieliśmy jednak zapewnić odpowiednie warunki, żeby wzorzec mógł dobrze funkcjonować. Udało się, chociaż np. nasza klimatyzacja jest jedną z najstarszych w urzędzie – pochodzi z 1997 roku. Wtedy była dość wyjątkowa i spełniała nasze wymagania – zapewniała bowiem stabilizację na poziomie 0,1 stopnia Celsjusza. Ale elementy, które tworzyły ten system zużyły się, trudno było o zamienniki i z czasem instalacja stała się wadliwa, a problem z jej modernizacją coraz większy. W zasadzie właśnie klimatyzacja jest w tej chwili naszym jedynym problemem. Nie ma negatywnego wpływu drgań, czy innych tego typu czynników środowiskowych.

– **Na co powinniśmy zwrócić uwagę, jeśli chodzi o sam wzorzec?**

– Aktualnie jest to wzorzec państwowy, co ma znaczenie nie tylko prestiżowe, ale również wpływa na znaczne obniżenie kosztów wzorcowania przyrządów w BIPM, gdzie jest dokładnie takie samo stanowisko. Po prostu uniezależniliśmy się, jesteśmy w posiadaniu wzorca, który pozwala nam osiągnąć takie same możliwości pomiarowe.

– **A co z porównaniami międzynarodowymi?**

– Takie porównania odbywały się zanim wzorzec został ustanowiony. Otóż, po jego uruchomieniu chodziło o wykonanie takiego porównania międzynarodowego, żebyśmy mogli potwierdzić, że parametry, które deklaruje producent układu, są osiągalne w naszych warunkach laboratoryjnych i jednocześnie, że my – jako pracownicy techniczni – jesteśmy w stanie wykorzystać naszą wiedzę do sprawnego poruszania się w systemie, zgodnie z metrologicznymi zaleceniami. Chodziło więc o potwierdzenie kompetencji technicznych nie tylko samego układu, ale również zespołu, który będzie się tym zajmował. Pozytywny wynik takiego porównania był warunkiem niezbędnym do uzyskania przez nasz wzorzec statusu wzorca państwowego. Dalej poszło szybko. W 1997 roku nastąpił zakup, w 1998 roku wzorzec ruszył, a w 2003 roku był już wzorcem państwowym. Okresowo oczywiście uczestniczymy także w porównaniach kluczowych. Mogą być dwa rodzaje takich porównań: bezpośrednie i pośrednie. O pierwszych mówimy wtedy, kiedy przyjeżdża do nas złącze, będące sercem całego układu i wmontowuje się je do naszego systemu. Takie serce jest własnością organizatora porównania. Porównanie jest bardzo kosztowne, ponieważ trzeba wyjąć sondę, zużyć znaczną ilość ciekłego helu, poza tym istnieje pewne ryzyko uszkodzenia falowodu.

Prostszym, szybszym i pozwalającym na uzyskanie oczekiwanych efektów jest porównanie pośrednie, czyli nie zmienianie niczego w systemie. Wówczas tylko za pomocą układu badamy wzorzec odniesienia, biorący udział w porównaniu.

W porównaniach bierze udział często wielu uczestników, nawet do 20. U każdego z nich wzorzec musi przez jakiś czas przebywać, zanim się zaaklimatyzuje. Porównania, które służą do określenia wyników, trwają od dwóch tygodni do miesiąca. Do tego dodać należy czas podróży. Zatem taki ciąg porównań może trwać latami. Gdybyśmy się chcieli porównywać, powinniśmy to robić zawsze wtedy, kiedy dochodzi nowy element. Chodzi o potwierdzenie, że nie pogorszył on naszych parametrów. Podobnie jest w przypadku nowego pracownika, musimy wykazać, że i on może się tym zajmować i wykonywać pomiary.

– **Czy często się te nowe elementy pojawiają?**

– Aktualnie można powiedzieć, że temat został już wyczerpany, ponieważ nasz wzorzec nie może być już dokładniejszy. Nie wydaje mi się, żebyśmy mogli jakkolwiek element we wzorcu DC (napięcia stałego) udoskonalić.

– **A gdyby zmieniła się teoria, np. nastąpiło jakieś odkrycie?**

– Nie sądzę, żeby mogło się tu coś zmienić. Prace badawcze idą w kierunku kwantowego wzorca AC. W kwestii poprawy technologii wzorzec DC wyczerpał już swoje możliwości. Oczywiście jest on nadal odniesieniem dla wzorców jednostki napięcia elektrycznego we wszystkich laboratoriach, zarówno w GUM, jak i w innych laboratoriach krajowych. Wykonywane są również porównania dla klientów z zagranicy, przeważnie dla tych z Litwy, Łotwy i Estonii.

Muszę w tym miejscu zaznaczyć, że istnieje ogromna potrzeba pomiarów napięć przemiennych z największą dokładnością. Od lat staramy się o kwantowy wzorzec AC i myślę, że w ciągu 2-3 lat taki wzorzec uda się uzyskać.

– **Proszę wyjaśnić, jak często na stanowisku wzorca państwowego napięcia stałego wykonywane są pomiary?**

– W ciągu roku wykonujemy pomiary przez ok. dziesięć miesięcy. Jedno naczynie dewara o pojemności 100 litrów, w którym znajduje się ciekły hel, a które kosztuje ok. 4 tysięcy złotych, wystarcza nam na maksymalnie 6 tygodni pracy. Już po pięciu tygodniach widzimy, że złącze pracuje inaczej, pojawia się pewien dyskomfort, więc kończymy pomiary. Nie może dojść do sytuacji, że hel zupełnie się zużyje, zostaje wtedy zbyt dużo wilgoci, gaz skropli się, zamarznie i może spowodować uszkodzenie. Dlatego po zakończeniu pracy musimy ogrzać złącze do temperatury pokojowej, a przede wszystkim dokładnie osuszyć, jest to przecież bardzo precyzyjny układ elektroniczny, który tworzy 15 tysięcy złącz. Jedno złącze pozwala wygenerować napięcie 1 miliwolta, które jest zbyt małe. My potrzebujemy 10 woltów. W związku z tym wykorzystywanych jest 15 tysięcy złącz, podłączonych szeregowo na płytce. Jeżeli cokolwiek zostanie uszkodzone – choćby jedno z nich, np. kropelką wilgoci – to wtedy cały system nie działa. Tak więc jest to praca, która wymaga zarówno doświadczenia, jak i odpowiedniego skupienia.

– **Jak długo trwa taki pomiar?**

– Jedno źródło o dwóch wartościach znamionowych mierzone jest od 10 do 14 dni.

– **To dosyć długo.**

– Tak, ale jest to bardzo dokładny pomiar, który wykonywany jest w dość specyficznych warunkach.

– **Laboratoria z jakich branż wzorcują u nas swoje przyrządy?**

– Stosowane u nas źródła napięcia są powszechnie używane nie tylko w laboratoriach akredytowanych, ale również są wykorzystywane przez metrologów resortu Obrony Narodowej. Wcześniej wzorcowane były w bazie NATO w Niemczech. Wszystkie laboratoria na wysokim poziomie, które wykonują pomiary napięcia elektrycznego, powinny być wyposażone w tego typu wzorzec.

– **Czy przy wzorcu są potrzebne jakieś prace konserwacyjne?**

– Tak. Najważniejsza jest prawidłowa praca złącza. Wytrzymałość materiałowa złącza jest określona na ok. 10 lat. Obawiam się, że wielkimi krokami zbliżamy się do momentu, kiedy będziemy musieli je wymienić. Mija właśnie 10 lat, kiedy ostatnio wymienialiśmy ten element. To dość kosztowne zadanie. Zwykle nie da się takiej inwestycji zaplanować w planie rocznym, bo nie wiemy, kiedy złącze się zepsuje – za 8 czy za 12 lat?

– **I komponentów nie można nabyć w Polsce?**

– Rzeczywiście, na razie nie jest to możliwe. W momencie, gdy wymieniamy złącze, to wyłączamy układ, a kiedy zanurzamy złącze – włączamy układ. Po każdym uruchomieniu, a przed każdym wzorcowaniem, konieczne jest sprawdzenie systemu i każdego elementu krok po kroku. Oczywiście z uwagi na to, że jest to wzorzec państwowy, musimy odnotować takie wydarzenie. Zresztą, jeżeli coś pójdzie nie tak, jak trzeba, to wykonanie pomiaru w ogóle nie będzie możliwe. System wskaże, który element nie działa tak, jak powinien. Bywa, że trzeba wyczyścić styki, zbierają się tam osady i nie ma takiego przepływu, jakiego oczekujemy. Czasem mamy problemy z sygnałem czasu i częstotliwości. System jest coraz starszy, elementy się zużywają, więc coraz częściej mogą się pojawiać problematyczne sytuacje. Główną czynnością logistyczną po naszej stronie jest zabezpieczenie ciekłego helu, a co za tym idzie środków na ten cel.

– **Proszę powiedzieć coś o znaczeniu wzorca, również w kontekście pomiarów w innych pracowniach Laboratorium Elektryczności GUM.**

– Wzorzec stanowi odniesienie dla wszystkich pomiarów elektrycznych wykonywanych w kraju. Gdyby tego wzorca nie było, wszystkie pomiary musiałyby być odnoszone do wzorca, który znajduje się w BIPM. Oczywiście koszty utrzymania wzorca są znaczne, ale jeszcze większe byłyby koszty transportu i ubezpieczenia wzorca na czas podróży do Paryża. To wpłynęłoby także na podniesienie kosztów działalności prowadzonej przez naszych klientów, wywodzących się z przemysłu

i laboratoriów akredytowanych, które nie mając naszego wzorca, musiałyby szukać zapewnienia spójności pomiarowej czy odniesienia w innych krajach.

Oprócz wzorców państwowych mamy wciąż ogniwa Westona, które nadal są wykorzystywane w niektórych laboratoriach. Istnieje potrzeba ich okresowego sprawdzania, dla zapewnienia spójności. Planujemy też prace badawczo-rozwojowe, dzięki którym moglibyśmy coś poprawić.

– Powiedzmy coś o tych pracach...

W Pracowni Wzorców Wielkości Elektrycznych, w której pracuje 5 osób, zrealizowaliśmy dwa projekty badawczo rozwojowe finansowane przez NCBiR. Jeden z ostatnich dotyczył transferów Hamona, realizowaliśmy go we współpracy z Politechniką Wrocławską. Udział GUM polegał na wykonaniu przez pracowników całego systemu przekazania jednostki, ze zjawiska kwantowego, a efektem tych prac było uzyskanie dla GUM nowego stanowiska. Czyli w tej chwili możemy w naszym laboratorium wykonać te same prace, które wykonuje NIST.

Główny Urząd Miar, uczestniczył w tym projekcie jako członek konsorcjum, deklarował wkład własny, który

stanowiła praca naszych metrologów. Czyli można powiedzieć, że przez trzy lata trwania projektu, oprócz codziennych obowiązków, mieliśmy dodatkowe zadania. Jeśli chodzi o projekty międzynarodowe, to właśnie zakończył się projekt EMPIR, dotyczący wzorca napięcia przemiennego. Dzięki projektowi uzyskaliśmy wiedzę, jakie inwestycje będą potrzebne. Jeśli otrzymamy zgodę Kierownictwa, to jesteśmy w stanie w ciągu 2–3 lat stworzyć kompletnie nowy wzorzec.

Staramy się więc znaleźć powiązanie naszych badań z projektami europejskimi, a jednocześnie uzyskać duże zainteresowanie uczelni krajowych. Udział GUM w jakimkolwiek projekcie zwiększa szansę uzyskania wsparcia ze środków NCBiR. Taki projekt jest dobrze odbierany, najczęściej ma silne powiązanie z potrzebami polskiego przemysłu i gospodarki. Przeważnie efektem jest stworzenie stanowiska, które pozwala na przeprowadzanie nowych badań, bez dodatkowych nakładów finansowych. Oczywiście jest to dla nas pracochłonne, ale też satysfakcjonujące. Zawsze czegoś się uczymy.

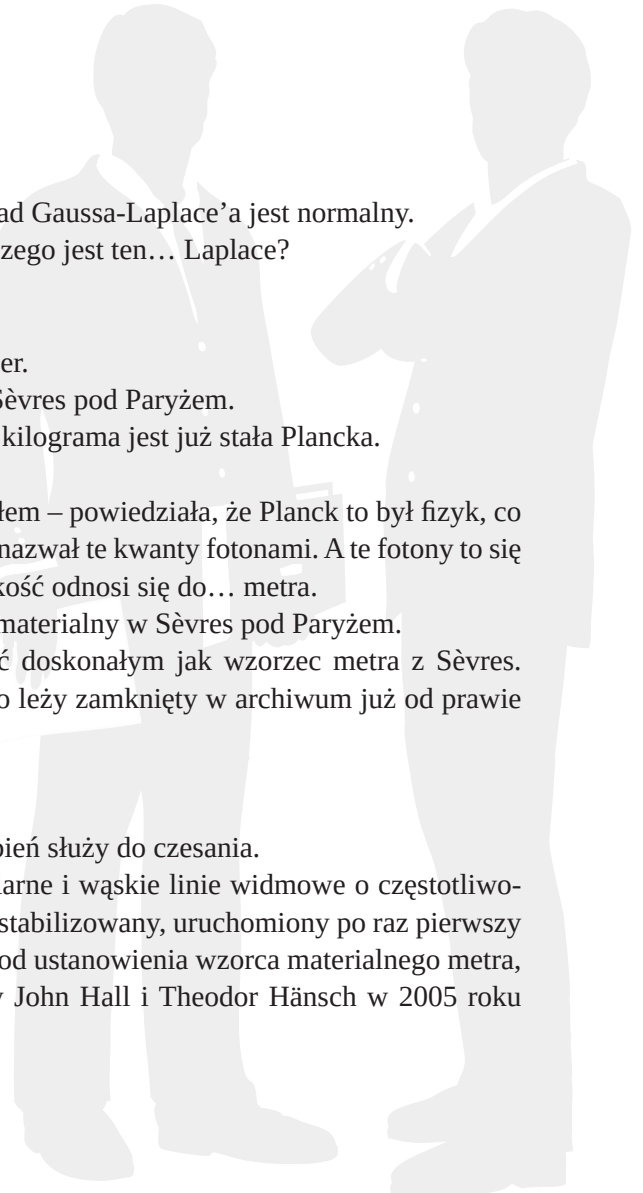
– Dziękuję za rozmowę.



Randka z metrolożką (czyli rozmowa między dwoma mężczyznami)

Spotyka się dwóch przyjaciół i – jak to mężczyźni – rozmawiają o kobietach. Jeden odzywa się do drugiego:

- Cześć, stary! Jak minął weekend?
- Miałem randkę z metrolożką.
- Z kim???
- No przecież mówię, że z metrolożką.
- A kto to taki? Aa... już się domyślam, to taka pogodynka, czyli pani od prognozowania pogody. One wszystkie są ładne, zgrabne i bardzo miłe, szczególnie gdy zapowiadają... wyże, więc opowiadaj, jak Ci z nią było? Pewnie pogodnie?
- Wiesz, niezupełnie, bo najpierw chciała sprawdzić mój intelekt i zapytała, jaki jest rozkład Gaussa-Laplace'a?
- No i co odpowiedziałeś?
- Że chyba nie jest normalny...
- Ten, kto zadaje takie pytania?
- Tego jej nie powiedziałem.
- I co było dalej?
- Stwierdziła, że jestem ignorant, bo właśnie rozkład Gaussa-Laplace'a jest normalny.
- Słuchaj, o tym Gaussie to coś słyszałem, ale od czego jest ten... Laplace?
- Powiedziała, że od... metra.
- He, he, a może od... kilograma.
- Nie, powiedziała, że od kilograma to jest Lavoisier.
- A ja słyszałem, że od kilograma jest wzorzec w Sèvres pod Paryżem.
- Ja też tak myślałem, ale powiedziała, że teraz od kilograma jest już stała Plancka.
- Co, stara Blanka, to chyba jakaś dziewczyna?
- Nie Blanka, tylko stała Plancka, a gdy się zdziwiłem – powiedziała, że Planck to był fizyk, co wymyślił kwanty i że był przyjacielem Einsteina, który nazwał te kwanty fotonami. A te fotony to się rozchodzą z prędkością światła w próżni, która to prędkość odnosi się do... metra.
- A ja myślałem, że metrem jest również wzorzec materialny w Sèvres pod Paryżem.
- Ja też tak myślałem, bo niektórzy mówią – być doskonałym jak wzorzec metra z Sèvres. A on wcale nie jest doskonały – powiedziała – i dlatego leży zamknięty w archiwum już od prawie sześćdziesięciu lat.
- To co jest teraz wzorcem metra?
- Powiedziała, że zęby grzebienia.
- Co takiego? Czy ona zwariowała? Przecież grzebień służy do czesania.
- Zęby grzebienia – powiedziała – to bardzo regularne i wąskie linie widmowe o częstotliwościach optycznych, wytwarzane przez ultraszybki laser stabilizowany, uruchomiony po raz pierwszy na uniwersytecie Kolorado w 1999 roku, po 110 latach od ustanowienia wzorca materialnego metra, od którego jest milion razy dokładniejszy – i za który John Hall i Theodor Hänsch w 2005 roku otrzymali nagrodę Nobla.
- A skąd ona to wszystko wie?
- Bo pracuje w **Głównym Urzędzie Miar!**



KALENDARIUM NADCHODZĄCYCH WYDARZEŃ 2019

Maj	
10	Poznań – Obchody regionalne 100-lecia GUM w Poznaniu.
11	Warszawa, Stadion Narodowy – 23. Piknik Naukowy Polskiego Radia.
13–15	Kołobrzeg – XXV Sympozjum Klubu Pollab pt. „Implementacja wymagań normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 procesem doskonalenia działalności laboratorium”.
20	Warszawa, GUM – Światowy Dzień Metrologii i Piknik z okazji 100-lecia GUM.
21–24	Boras – 13. Zgromadzenie Ogólne EURAMET z udziałem Prezesa GUM.
24	Gdańsk – Obchody regionalne 100-lecia GUM w Gdańsku.
26–29	Janów Podlaski – XVIII Międzynarodowa Konferencja Zwalczania Hałasu Noise Control 2019.
27–29	Koszyce – Posiedzenie GV4 – państw Grupy Wyszehradzkiej z udziałem dyrektorów OUP w Warszawie i Krakowie.
31	Katowice – Obchody regionalne 100-lecia GUM w Katowicach.
Czerwiec	
7	Łódź – Obchody regionalne 100-lecia GUM w Łodzi.
9–12	Augustów – VIII Kongres Metrologii.
12–15	Gliwice – Kongres Fizyki Medycznej.
14	Białystok – Obchody regionalne 100-lecia GUM w Białymstoku (organizatorzy: OUM Warszawa i OUM Białystok).
Lipiec	
1–4	Warszawa, GUM – EMPIR Partner Meeting.

Biuletyn Głównego Urzędu Miar „Metrologia i Probiernictwo” przedstawia w możliwie obszerny sposób działalność polskiej administracji miar, jak również administracji probierczej. Dzięki temu czytelnicy mają okazję poznać dorobek laboratoriów pomiarowych, a także dowiedzieć się więcej o zadaniach realizowanych przez terenową administrację miar. W Biuletynie prezentowane są zagadnienia związane z techniką i pomiarami, prawną kontrolą metrologiczną czy współpracą w zakresie międzynarodowych programów naukowo-badawczych. Swoje miejsce w publikacji znajduje również przegląd najważniejszych wydarzeń w świecie metrologii.

Staramy się być blisko wszystkiego, co ważne w metrologii. Przekazujemy treści interesujące zarówno dla profesjonalistów, jak też i dla osób nie zajmujących się metrologią. Stąd też w Biuletynie pojawiają się artykuły na temat aktualnych zagadnień technicznych w metrologii, omówienia aktów prawnych, ale także wywiady i artykuły popularyzatorsko-historyczne. Artykuły zostały poprzedzone krótkimi opisami zawartości w języku angielskim.

Łamy pisma są otwarte dla wszystkich, którzy chcieliby poruszyć ciekawy temat metrologiczny czy podzielić się wiedzą z jakiejś konkretnej specjalizacji. Zachęcamy Państwa do współredagowania pisma i przysyłania swoich propozycji.

Zapraszamy do kontaktu z redakcją: biuletyn@gum.gov.pl.

The bulletin of the Central Office of Measures “Metrology and Hallmarking” presents as broadly as possible the activity of the Polish administration of measures and hallmarking administration as well. Thanks to this fact the readers have the opportunity to familiarize themselves with the output of the measurement laboratories and learn more about tasks fulfilled by the local administration of measures. In the bulletin there are presented issues connected with technology, measurements, legal metrological control and cooperation in the field of the international research and development programs as well. In the publication there is also place for review of the important events in the world of metrology.

We try to be close to everything what is important for metrology. We transfer contents interesting for both professionals and persons who deal not with metrology. Hence in the bulletin there appear papers on current technology issues in metrology, legislation reviews, interviews and contributions with promoting and historical contents. The contributions are introduced by abstracts in English.

The bulletin is open for everybody who wants to rise an interesting metrology issue or to share with the knowledge in some specific area. We would like to encourage you to participate in the edition of the bulletin and to send us your proposals.

We would like to invite you to make contact with the redaction: biuletyn@gum.gov.pl.

cd

kg

m

mol

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar^S Zdecydowanie lepszy

K

A