

ISSN 2080-5632



METROLOGIA

Biuletyn Głównego Urzędu Miar

Nr 2(17)

czerwiec 2010

Metrologia
Pomiary w nauce i technologii

a bridge to innovation

Światowy Dzień Metrologii
20 maja 2010 r.

W bieżącym numerze:

<i>Wystąpienie Pani Prezes Głównego Urzędu Miar w dniu 20 maja 2010 r.</i>	3
<i>Przesłanie Dyrektora BIPM – A. Wallard</i>	5
<i>Państwowy wzorzec jednostki kąta płaskiego – K. Nicińska, J. Przybylska.....</i>	9
<i>Obliczenia niepewności pomiaru metodą Monte Carlo w arkuszu kalkulacyjnym – P. Fotowicz</i>	15
<i>Spotkanie Międzylaboratoryjnej Grupy ds. Porównań Krajowych Atomowych Wzorców Czasu i Częstotliwości – A. Czubła</i>	19
<i>Obchody Światowego Dnia Metrologii w GUM</i>	22



Szanowni Państwo,

w imieniu własnym i Kierownictwa Głównego Urzędu Miar pragnę serdecznie Państwa powitać na Seminarium zorganizowanym z okazji Światowego Dnia Metrologii. W sposób szczególny pragnę powitać Pana profesora doktora habilitowanego Stefana Kubisę, który przybliży nam problematykę niepewności pomiaru, a ściślej mówiąc podzieli się z nami doświadczeniami z kolejnych edycji Sympozjum na temat Niepewności Pomiarów, organizowanych przez Zakład Metrologii Katedry Sterowania i Pomiarów Wydziału Elektrycznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. W bieżącym roku odbyło się już dziewiąte Sympozjum Niepewności Pomiarów.

Od wielu lat, pracownicy administracji miar uczestniczą w kolejnych edycjach Sympozjum, biorąc w nich aktywny udział i wygłaszając referaty propagujące zagadnienia metrologiczne.

*Tegoroczny Światowy Dzień Metrologii obchodzony jest pod hasłem **Pomiary w nauce i technologii ... mostem do innowacji**.*

Profesor Andrew Wallard Dyrektor BIPM w tegorocznym przesłaniu z okazji Światowego Dnia Metrologii, zwrócił uwagę, iż rozwój metrologii, zdolność wykonywania dokładniejszych pomiarów, otwiera nowe możliwości rozwoju nauki. Także osiągnięcia nauk ścisłych przyczyniają się do rozwoju metrologii, czego przykładem może być wynalezienie lasera, które przyczyniło się do precyzyjniejszego zdefiniowania jednostki długości – metra. Bez dokładnych pomiarów niemożliwy jest rozwój chemii, medycyny i wielu innych nauk. Bez rozwoju nauki niemożliwy jest rozwój metrologii.

Metrologia ma szerokie zastosowanie nie tylko w nauce, ale przede wszystkim w praktyce, w życiu codziennym. Mam tutaj na myśli szerokie spektrum zastosowań dokładnych pomiarów, poczynając od rozwoju nowych technologii poprzez badania zmian klimatycznych, problemów środowiska naturalnego, aż po codzienne pomiary wykonywane w przemyśle, handlu, czy też w naszym codziennym życiu.

Uświadomienie sobie faktu, że nasza praca ma wpływ na niemalże wszystkie przejawy życia gospodarczego, na rozwój nie tylko nauki, ale przede wszystkim na życie każdego z nas, musi mobilizować nas do wykonywania dokładnych i spójnych metrologicznie pomiarów oraz do poszukiwania jeszcze lepszych metod pomiarowych.

Realizacji tych zadań, stojących nie tylko przed Głównym Urzędem Miar, ale także przed każdym z nas metrologów, służą wyznaczone cele strategiczne Głównego Urzędu Miar na lata 2010 – 2015. Są nimi:

- zapewnienie wysokiej jakości, efektywności i rozliczalności administracji miar i administracji probierczej,*

- zapewnienie wykonywania przez GUM wszystkich zadań Krajowej Instytucji Metrologicznej (NMI),
- podniesienie roli i aktywności GUM jako krajowej instytucji metrologicznej na forum międzynarodowym,
- zapewnienie dostępności usług administracji miar i administracji probierczej z wykorzystaniem technologii informatycznych.

Przedstawione cele są spójne ze strategiami rządowymi i resortowymi, wyzwaniem określonymi przez Generalną Konferencję Miar oraz strategicznymi dokumentami organizacji międzynarodowych, których Polska jest członkiem. Jedną z istotnych przesłanek merytorycznych, którą kierowaliśmy się formułując te cele jest diagnoza potencjału i funkcjonowania Głównego Urzędu Miar, zawarta w opracowaniu sporządzonym przez doktora Quinna w maju zeszłego roku.

Coraz większe zapotrzebowanie współczesnego świata na dokładne pomiary, rozwijająca się gospodarka, a jednocześnie światowy kryzys wymuszający ograniczenia nakładów na naukę, stawia przed światową metrologią coraz większe wyzwania. Także Główny Urząd Miar staje przed nimi. Mogę jednak z pełnym przekonaniem powiedzieć, że administracja miar w Polsce, wbrew napotykanym trudnościom, nadal będzie realizować swoje podstawowe zadania – zapewnienia jednolitości miar i wymaganej dokładności pomiarów wielkości fizycznych w Rzeczypospolitej Polskiej.

Na zakończenie pozwolę sobie, z okazji przypadającego dzisiaj święta, złożyć wszystkim pracownikom administracji miar w Polsce, serdeczne podziękowania za wkład w rozwój metrologii oraz życzenia wszelkiej pomyślności, sukcesów w życiu osobistym i zawodowym.

Janina Maria Popowska
Prezes Głównego Urzędu Miar

Przesłanie Dyrektora BIPM z okazji Światowego Dnia Metrologii – 20 maja 2010 r.

POMIARY W NAUCE I TECHNOLOGII
... mostem do innowacji



Prof. Andrew J. Wallard,
Dyrektor BIPM

Jednym ze źródeł satysfakcji i przyjemności prowadzenia pracy badawczej w dziedzinie metrologii jest to, że znajdujemy się w awangardzie badań naukowych. Nieustannie staramy się zgłębić przyczyny ograniczeń, które Natura nakłada na naszą zdolność wykonywania pewnych pomiarów, a następnie badamy, czy te ograniczenia mają charakter fundamentalny, czy też wpadłszy na jakiś błyskotliwy pomysł, możemy je pokonać. Jest to wielkie wyzwanie intelektualne, mogące otworzyć przed nami nowe możliwości.

Podczas obchodów 125. rocznicy Konwencji Metrycznej w 2000 r., Steve Chu, obecny Sekretarz ds. Energii w gabinecie Prezydenta Obamy, który w swoim czasie był metrologiem, użył sformułowania, które dziś jest znanym cytatem:

„Dokładny pomiar leży w samym sercu fizyki i zgodnie z moim doświadczeniem nowa fizyka zaczyna się na kolejnym miejscu dziesiątym”.

Nie ma wątpliwości, że metrologia jest ściśle powiązana z innymi naukami ścisłymi, a zdolność wykonywania lepszych pomiarów otwiera przed nami nowe możliwości. Wystarczy tylko wspomnieć wynalezienie lasera: był to zasadniczy postęp w fizyce, ale była to również przełomowa innowacja w metrologii, która umożliwiła dokładne interferencyjne pomiary odległości na dystansie do kilku kilometrów, a w efekcie dała możliwość zredefiniowania jednostki długości, metra.

Ciekawym zbiegiem okoliczności, publikacja pierwszej obserwacji akcji laserowej przez Maimana ukazała się w tym samym roku, w którym międzynarodowy prototyp metra został zastąpiony definicją opartą na promieniowaniu lampy kryptonowej. Uplłynęło jednak jeszcze 23 lata, zanim odniesienie do lampy kryptonowej zastąpiła definicja oparta na prędkości światła – co w praktyce stało się możliwe dzięki laserowi.

O związku między znakomitą i innowacyjną nauką a metrologią świadczy lista laureatów nagrody Nobla – szczególnie w dziedzinie fizyki – którzy wśród pierwszych możliwości praktycznego wykorzystania swych odkryć i osiągnięć zauważyli zastosowania metrologiczne. Niektórzy z nich użyli nawet swego nazwiska istotnym metrologicznie zjawiskom fizycznym: mówimy o prążkach Ramsey’a w zegarach atomowych, złączach Josephsona w metrologii elektrycznej, stałej von Klitzinga w pomiarach oporu, żeby wymienić tylko niektóre z nich. Nasi koledzy z National Institute of Standards and Technology w USA mają to szczęście, że wśród stałego personelu NIST-u jest trzech laureatów Nagrody Nobla z ostatnich lat: Eric Cornell, John Hall i Bill Phillips.

Jako badaczom w dziedzinie metrologii naukowej, zawsze towarzyszy nam poczucie wyzwania naukowego. Czy pamiętacie emocje, jakie wzbudza zaobserwowanie, być może po raz pierwszy, czegoś istotnego i niezwykłego? Jest to zadziwiające uczucie – doświadczane, jak myślę, przez wszystkich naukowców wówczas, gdy Natura zdradza nam swe sekrety i gdy nagle możemy osiągnąć postęp, zaś przeszkoda dotychczas nieuchwytna, gdy została już pokonana, staje się czymś prawie zwyczajnym.

Jednakże dodatkowe, szczególne poczucie satysfakcji wynika z pracy w dziedzinie, która w szerokim zakresie jest inspirowana zastosowaniami, co nie zawsze jest oczywistą przesłanką pracy w środowisku naszych akademickich kolegów. Ktoś potrzebuje lepszych pomiarów tej czy innej wielkości; ktoś inny poszukuje nowych możliwości wykonywania spójnych metrologicznie pomiarów w chemii lub medycynie.

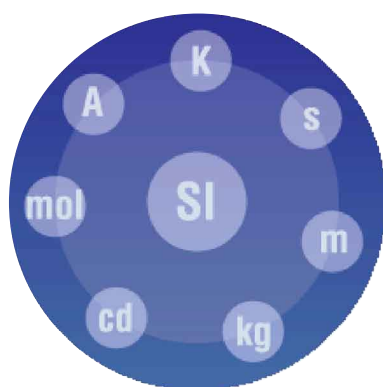
W metrologii zawsze zwraca się wielką uwagę na jej aspekt praktyczny, starając się stworzyć „most do innowacji”. Już wielki brytyjski inżynier z epoki wiktoriańskiej, Whitworth,

powiedział „Można produkować tylko tak dobrze, jak na to pozwalają pomiary”, a i współcześnie стоимy przed wyzwaniem pomiarowym warunkującym wytwarzanie coraz lepszych produktów i stymulowanie innowacji.

Produkcja wyrobów i ich sprzedaż na rynku międzynarodowym stymuluje światowy wzrost gospodarczy, co pomaga krajom rozwijającym się uporać się z ubóstwem i podnieść jakość życia swych obywateli. W październiku ubiegłego roku, na spotkaniu w Paryżu obchodziliśmy dziesiątą rocznicę podpisania CIPM MRA, i wówczas oczywiście przedyskutowaliśmy znaczenie metrologii międzynarodowej dla handlu oraz dla wielu Wielkich Wyzwań (*Great Challenges*), przed którymi staje dziś świat: zmiany klimatyczne i problemy środowiska naturalnego, opieka zdrowotna, wykorzystanie energii oraz rozwój i eksploatacja nowych technologii. To uświadomiło mi proste, tym niemniej prawdziwe przesłanie, iż nasza praca jest podstawą prawie wszystkich przejawów życia społecznego i działalności handlowej. Jako metrologicy, dzierzemy kluczowe „punkty sprzedaży” wiedzy o dokładnych, spójnych metrologicznie pomiarach i każdy z nas mógłby zacytować wiele, bardzo wiele przykładów korzyści, jakie płyną z takich pomiarów.

Nasz bilans osiągnięć w fizyce i inżynierii jest pełen sukcesów i solidnie udokumentowany, zaś obecnie budujemy wysoką reputację metrologii w nowych dziedzinach, a mianowicie w chemii nieorganicznej, chemii organicznej, naukach biologicznych, opiece zdrowotnej i pomiarach środowiskowych ..., ale o tym więcej za rok, gdyż będziemy wtedy obchodzić Światowy Rok Chemii. Można będzie wówczas, na przykład, skorzystać z wyników pasjonujących warsztatów szkoleniowych na temat wyzwań pomiarowych w dziedzinie zmian klimatycznych, które będą zorganizowane przez BIPM we współpracy ze Światową Organizacją Meteorologiczną wkrótce przed Światowym Dniem Metrologii, a w których zapewne wielu z Was będzie uczestniczyć.

Ponieważ potrzeba dokładnych pomiarów dotyczy szerokiego spektrum zagadnień, od codziennych pomiarów wykonywanych w przedsiębiorstwach, na stacjach paliw, na

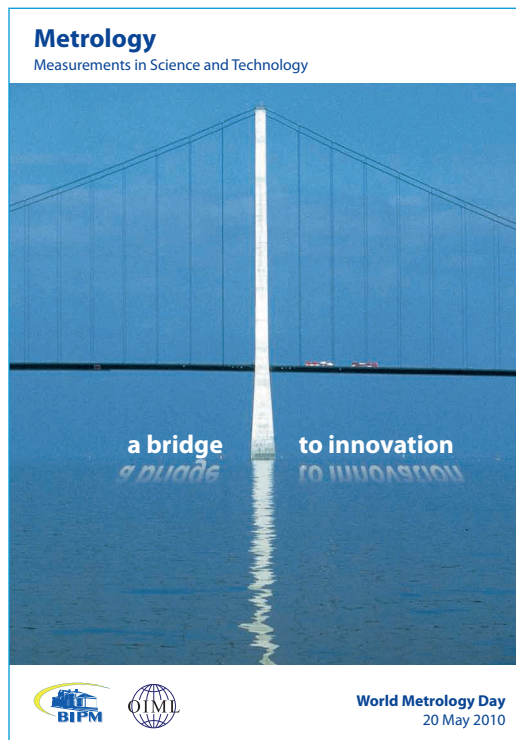


Jednostki podstawowe układu SI

uniwersytetach i w innych szkołach wyższych, do najbardziej wyrafinowanych pomiarów w krajowych i międzynarodowych laboratoriach wzorców pomiarowych, przedmiot naszej działalności ma dalekosiężny wpływ na szeroki krąg osób. Odpowiedzialność jest jednak dokładnie taka sama na każdym odcinku – staranność i dbałość o szczegóły oraz precyzja na takim poziomie, na jakim jest to konieczne. Być może nie wszyscy mamy takie same szanse zdobycia nagrody Nobla, ale wszyscy powinniśmy być dumni i usatysfakcjonowani rolą, jaką odgrywamy w ogromnej, rozciągającej się na cały świat sieci ośrodków wykonujących dokładne i spójne metrologiczne pomiary, od których zależy dzisiejszy handel i współczesne społeczeństwo.

Bardzo chciałbym, abyśmy w przyszłości odnosili jeszcze więcej sukcesów i mogli przedstawić je politykom, którzy finansują pracę laboratoriów krajowych, naszym szefom w przedsiębiorstwach, aby docenili nasz wyjątkowy wkład i zapewnili potrzebne nam środki finansowe i techniczne oraz prawodawcom i autorom regulacji prawnych, którzy zbyt często zapominają, że wykonywanie pomiarów jest konieczne, aby zapewnić przestrzeganie prawa lub zgodność z Dyrektywami, a także zaprezentować je naszym przyjacielom z kręgów nienaukowych, którzy chcieliby dowiedzieć się w sposób mniej sformalizowany, jaka jest nasza rola w funkcjonowaniu społeczeństwa.

Być może każdy z nas powinien postawić sobie za cel, aby w roku 2010 wnieść swój osobisty wkład do upowszechnienia zrozumienia i promocji naszej pracy. Nie wszyscy z nas są biegli w marketingu, ale wszyscy możemy przekonywać swym własnym przykładem, podejmując działania takie jak prelekcja w pobliskiej szkole, napisanie krótkiego artykułu do czasopisma lub zaproszenie miejscowego polityka do odwiedzenia naszych laboratoriów. Nasze przesłanie jest dość proste i każdy z nas może podać przykłady na to, że postęp w metrologii pomaga wykonywać lepsze pomiary dla dobra społeczeństwa – zaś przykłady nie muszą być zawsze tylko z naszej dziedziny. Uważam, na przykład, że jest szczególnie łatwo wykazać korzyści płynące z naszej działalności wskazując, iż miliony pomiarów dozymetrycznych wykonywanych na całym świecie w związku z chorobami nowotworowymi zawdzięcza swą dokładność krajowemu i międzynarodowemu systemowi metrologicznemu. Jest to przesłanie, które łatwo zrozumieć. Może wówczas, powoli ale niezawodnie, rzeczywisty wkład metrologii do nauki i innowacyjności będzie szerzej znany. Przekazanie poczucia głębokiego zaangażowania w swą pracę może zainspirować innych i w ten sposób wpłynąć na powiększenie liczby wierszówek (wiem, że nie jest to jednostka SI!) poświęconych naszej pracy w gazetach i czasopismach. Dlaczego zawsze to astronomowie, naukowcy zajmu-



Oryginał plakatu na Światowy Dzień Metrologii 2010 r.

jący się przestrzenią kosmiczną i fizycy cząstek elementarnych przyciągają uwagę mediów, podczas gdy metrologia ma tak dobre historie do opowiedzenia!?

Jest to moje ostatnie przesłanie jako Dyrektora BIPM, ponieważ odchodzę na emeryturę pod koniec tego roku. Kiedy zainauguowałem pierwszy Światowy Dzień Metrologii w 2005 r., było to skromne przedsięwzięcie. Jestem wprost zadziwiony tym, jak aktywnie środowisko metrologów podchwyciło tę inicjatywę. Wszędzie widzę plakaty, i to w o wielu więcej językach niż jestem w stanie rozpoznać. Docierają do mnie raporty o spotkaniach – lokalnych i krajowych – organizowanych z okazji obchodów Dnia Metrologii oraz w celu zainteresowania wpływowych środowisk ważkością naszej pracy.

Przynależność do światowej rodziny metrologów była i jest dla mnie prawdziwym zaszczytem. Wszystkim Państwu składam życzenia powodzenia w pracy zawodowej. Życzę Wam, abyście dalej przesuwali granice nauki i stymulowali innowacyjność. Przesyłam Państwu swe podziękowania i najlepsze życzenia na przyszłość.

Prof. Andrew J. Wallard
Dyrektor BIPM

Przekład: dr W. T. Chyla

Państwowy wzorzec jednostki kąta płaskiego

Katarzyna Nicińska i Joanna Przybylska

Główny Urząd Miar – Zakład Długości i Kąta

Państwowy wzorzec jednostki kąta płaskiego, znajdujący się w Głównym Urzędzie Miar, tworzą dwa stanowiska pomiarowe – stanowisko do odtwarzania jednostki w zakresie kąta pełnego oraz generator małych kątów, odtwarzający jednostkę kąta w zakresie $40'$. W ostatnich latach stanowisko do odtwarzania jednostki w zakresie kąta pełnego zostało zmodernizowane. W niniejszym artykule zaprezentowano budowę obu stanowisk, stosowane metody pomiarowe oraz omówiono składniki budżetów niepewności.

National Standard of the Plane Angle Unit

The National Standard of the Plane Angle Unit, which is located in the Central Office of Measures, consists of two measuring stations – the measuring station for reproducing of the round angle (360°) and the generator for small angles, which reproduces angles within the range of $40'$. Recently, the station for reproducing the round angle has been modernized. In this paper the two measuring stations, measuring methods and components of uncertainty budgets are described.

1. Wstęp

Państwowy wzorzec jednostki kąta płaskiego, utrzymywany w GUM, składa się z dwóch stanowisk pomiarowych: stanowiska pomiarowego do odtwarzania jednostki w zakresie kąta pełnego oraz stanowiska do odtwarzania jednostki w zakresie do $40'$ (generator małych kątów).

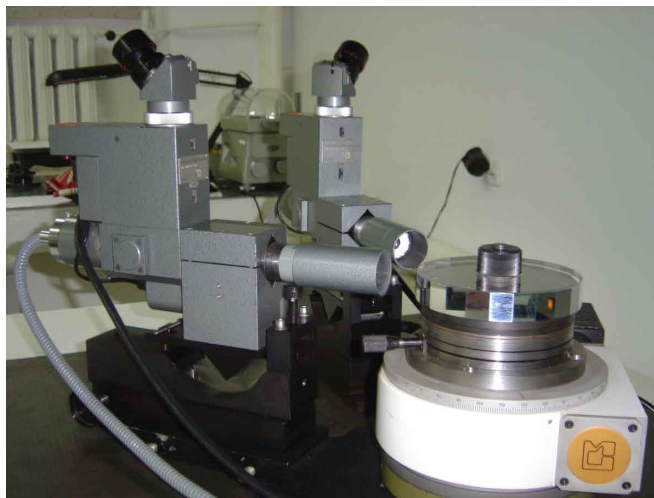
W ostatnich latach stanowisko do odtwarzania jednostki w zakresie kąta pełnego zostało zmodernizowane. Obecnie, w oczekiwaniu na pozytywne wyniki w porównaniach międzynarodowych i zatwierdzeniu zmian w polskiej części tabel CMCs, funkcjonują oba stanowiska pomiarowe do odtwarzania jednostki w zakresie kąta pełnego, przed i po modernizacji.

2. Stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie 360°

Stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie pełnego obrotu, przed modernizacją, składa się z dwóch mikroskopów fotoelektrycznych z oświetleniem światłowodowym, o rozdzielczości $0,025''$ i zakresie pomiarowym ($0 \div 40''$) oraz stołu obrotowego o rozdzielczości (wartości kroku) $0,001^\circ$. Stanowisko to przedstawione jest na rys. 1.

Jeden z mikroskopów nie zmienia swojego położenia w trakcie całego pomiaru; drugi z mikroskopów, po każdej kolejnej serii pomiarów jest obracany o kąt równy kątowi nominalnemu wzorcowanej pryzmy wielościennej. W pozycji wyjściowej, na początku pierwszej serii pomiarów, mikroskop „stały” ustawiony jest przed pierwszą powierzchnią pomiarową pryzmy, natomiast mikroskop „ruchomy” przed drugą powierzchnią. Przy takim ustawieniu mikroskopów, stół obrotowy z zamocowaną na nim pryzmą wielościennej wykonuje pełen obrót, w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara, z zatrzymaniem po wykonaniu obrotu o kąt równy wartości kąta nominalnego mierzonej pryzmy. Przy każdym zatrzymaniu z obu mikroskopów zbierane są dane i zapamiętywane w programie komputerowym. Po wykonaniu całego obrotu, mikroskop „ruchomy” przesuwany jest tak, aby

znalazł się przed trzecią powierzchnią pryzmy i, startując znowu od pierwszej powierzchni pryzmy, cała procedura jest powtarzana. Ostatnia seria pomiarowa wykonywana jest, gdy mikroskop „ruchomy” ustawiony jest naprzeciwko mikroskopu „stałego”, a kąt między mikroskopami równy jest 180° .



Rys. 1. Stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie 360° .

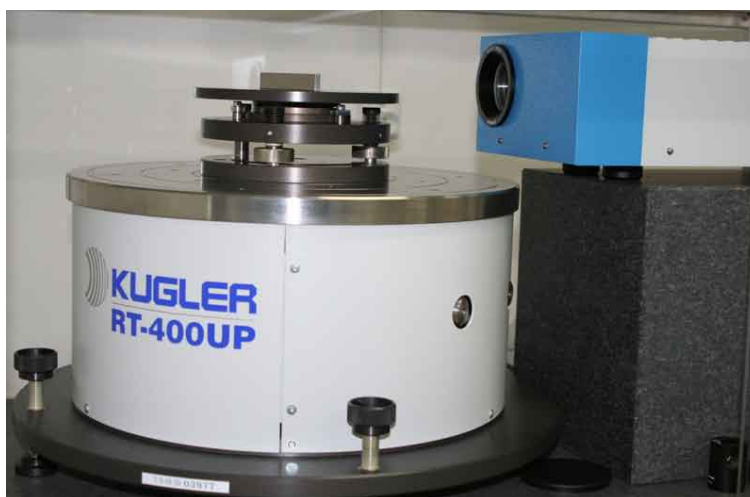
Ze wszystkich zebranych danych program komputerowy oblicza wartości błędów kątów pomiarowych w odniesieniu do pierwszej powierzchni pomiarowej. Wartości błędów kątów obliczane są tzw. metodą Cooka, opisaną szczegółowo w [1]. W metodzie tej program komputerowy rozwiązuje układy równań dla ustalonych kątów między mikroskopami, przy czym każde równanie odpowiada innemu kątowi między poszczególnymi powierzchniami pomiarowymi pryzmy. Metoda Cooka obliczania błędów kątów wykorzystuje zasadę, że suma wartości wszystkich kątów nominalnych pryzmy równa się 360° , natomiast suma wartości błędów kątów jest równa zero.

Stanowisko to służy jedynie do wzorcowania pryzm wielościennech (maksymalnie 36-ściennych) a najmniejsza możliwa do uzyskania rozszerzona niepewność pomiaru pryzm dla tego stanowiska wynosi $0,36''$. Na ostateczną wartość niepewności złożonej składa się tzw. błąd metody, obliczany wraz z obliczeniem wartości poszczególnych błędów kątów pomiarowych, na podstawie wzoru podanego przez Cooka, ponadto składnik związany z dryftem szczeliny pomiarowej, składnik związany ze wzorcowaniem mikroskopów oraz składnik związany z płaskością poszczególnych powierzchni pomiarowych pryzmy.

3. Zmodernizowane stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie obrotu pełnego

Zmodernizowane stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie 360° składa się z autokolimatora o wysokiej rozdzielczości ($0,005''$) i precyzyjnego stołu obrotowego z łożyskowaniem powietrznym o wartości kroku $0,002''$. Stanowisko to przedstawione jest na rys. 2.

Zmodernizowane stanowisko służy obecnie do wzorcowania pryzm wielościennech i przywieralnych płytek kątowych. W przyszłości służyć będzie także do wzorcowania autokolimatorów oraz enkoderów.



Rys. 2. Zmodernizowane stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie 360°.

Zasada pomiaru pryzm wielościennych na zmodernizowanym stanowisku polega na wykonaniu serii pomiarowych w ilości równej liczbie ścian wzorcowanej pryzmy. Pierwszą serią pomiarową wykonuje się rozpoczynając od pierwszej powierzchni pomiarowej pryzmy, wykonując pełen obrót, tzn. zbierając odczyty z autokolimatora na każdej powierzchni. Kolejne serie wykonywane są po obróceniu pryzmy o wartość kąta nominalnego, tzn. druga seria rozpoczyna się od drugiej ściany pryzmy itd. Wyniki pomiarów pryzm wielościennych obliczane są dwiema metodami.

Jedną z nich to tzw. metoda rozetowa, podczas której wyznaczane są jednocześnie błędy stołu obrotowego i pryzmy wielościennej w n jednakowych przedziałach pomiarowych, gdzie n to liczba powierzchni pomiarowych mierzonej pryzmy.

Pomiar polega na pomiarze sumy odchyłeń kątowych we wszystkich $n \times n$ położeniach obrotu pryzmy wielościennej względem stołu obrotowego. Matematycznie pomiary te opisują układ równań z n^2 równaniami i $2n$ niewiadomymi – błędy stołu i pryzmy w n przedziałach pomiarowych. Odchylenia kątowe mierzone są za pomocą autokolimatora.

I tak, na przykład, dla pryzmy 4-ściennej realizowane są 4 serie pomiarowe. W pierwszej serii pomiarowej pierwsza ściana pryzmy odpowiada położeniu zerowemu stołu obrotowego. W takim wzajemnym położeniu pryzmy i stołu realizowany jest pełen obrót z krokiem równym kątowi nominalnemu pryzmy. Autokolimator zbiera dane pomiarowe z każdej ściany pryzmy. W drugiej serii położeniu zerowemu stołu odpowiada druga ściana pryzmy, itd.

Schemat macierzy do obliczania błędów stołu obrotowego (a_i) i pryzmy (b_j), dla pryzmy 4-ściennej, jest przedstawiony na rys. 3.

Układ równań pomiarowych dla I serii przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} a_1 - b_1 &= D_{11} - D_{00} \\ a_2 - b_2 &= D_{22} - D_{11} \\ a_3 - b_3 &= D_{33} - D_{22} \\ a_4 - b_4 &= D_{00} - D_{33} \end{aligned}$$

gdzie D_{00} , D_{11} , D_{22} , D_{33} to wskazania autokolimatora na kolejnych ścianach pryzmy.

I seria

	a₁	a₂	a₃	a₄	Suma wierszy
b₁	a ₁ - b ₁	a ₂ - b ₁	a ₃ - b ₁	a ₄ - b ₁	-4 \bar{b}_1
b₂	a ₁ - b ₂	a ₂ - b ₂	a ₃ - b ₂	a ₄ - b ₂	-4 \bar{b}_2
b₃	a ₁ - b ₃	a ₂ - b ₃	a ₃ - b ₃	a ₄ - b ₃	-4 \bar{b}_3
b₄	a ₁ - b ₄	a ₂ - b ₄	a ₃ - b ₄	a ₄ - b ₄	-4 \bar{b}_4
Suma kolumn	4 \bar{a}_1	4 \bar{a}_2	4 \bar{a}_3	4 \bar{a}_4	

Rys. 3. Schemat macierzy do obliczania błędów stołu obrotowego (a_i) i pryzmy (b_j) dla pryzmy 4-ściennej.

Układ równań dla drugiej serii, w której położeniu zerowemu stołu odpowiada druga ściana pryzmy przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} a_1 - b_2 &= D_{12} - D_{01} \\ a_2 - b_3 &= D_{23} - D_{12} \\ a_3 - b_4 &= D_{30} - D_{23} \\ a_4 - b_1 &= D_{01} - D_{30} \end{aligned}$$

gdzie D_{01} , D_{12} , D_{23} , D_{30} są wskazaniem autokolimatora na kolejnych ścianach pryzmy, przy przesuniętym położeniu pryzmy względem stołu o kąt nominalny pryzmy.

Równania dla kolejnych serii pomiarowych tworzy się analogicznie. W kolejne pola macierzy wstawia się odpowiednie różnice wskazań autokolimatora.

Według definicji, suma wszystkich błędów stołu obrotowego i pryzmy wielościennej jest równa zero

$$\sum_{i=1}^n a_i \equiv 0 \quad \sum_{j=1}^n b_j \equiv 0$$

Stąd otrzymuje się z macierzy jako średnią arytmetyczną sumy kolumn i wierszy błędy stołu i pryzmy.

Błędy stołu obrotowego:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{n} \cdot (\text{sumy różnic wskazań autokolimatora w } i. \text{ kolumnie})$$

Błędy pryzmy wielościennej:

$$\bar{b}_j = -\frac{1}{n} \cdot (\text{sumy różnic wskazań autokolimatora w } j. \text{ wierszu})$$

Wszystkie błędy dla pryzmy wielościennej są wolne od błędów stołu. Sposób tworzenia równań i macierzy pomiarowych opisany jest w artykule [2].

Drugim sposobem obliczania wyników pomiarów pryzm wielościennej jest tzw. metoda „składana”. W metodzie tej każdą serię pomiarową traktuje się jak bezpośredni pomiar pryzmy wielościennej. W pierwszym „kroku” obliczane są błędy kątów dla poszczególnych kolejnych przedziałów pomiarowych. Następnie wyniki „przesuwane” są tak, aby w każdej serii pomiarowej na pierwszej pozycji znalazły się wartości otrzymane dla prze-

działu $0^\circ \div m^\circ$, gdzie m to wartość nominalna kąta pomiarowego mierzonej przyzmy. Z tak uzyskanych wyników obliczane są dla każdej serii wartości skumulowanych błędów kąta. Ze wszystkich wyników składowych obliczana jest wartość średnia i ona jest ostatecznym wynikiem pomiarów.

Metoda pomiaru przywieralnych płytek kątowych jest inna. Wykonywane są zawsze cztery serie pomiarowe, po dwie serie dla każdego kierunku obrotu, dla dwóch różnych położeń płytki na stoliku pomiarowym. Jako wynik podawana jest wartość średnia z wartości otrzymanych w czterech seriach.

Budżet niepewności, zarówno dla przyzmy wielościennych jak i dla płytek kątowych wzorcowanych, na zmodernizowanym stanowisku do odtwarzania jednostki kąta płaskiego ma takie same składniki, pochodzące z różnych źródeł, uwzględniające: maksymalne odchylenie kwadratowe średniej, rozdzielczość precyzyjnego stołu obrotowego, rozdzielczość autokolimatora, maksymalny błąd wskazań autokolimatora, niepewność wyznaczenia błędów wskazań autokolimatora, płaskość ścian przyzmy lub płytki, niecentryczność ustawienia, wpływ piramidalności. Najmniejsza do uzyskania rozszerzona niepewność pomiaru przyzmy wielościennych i płytek kątowych przywieralnych wynosi $0,07'$.

4. Generator małych kątów

Generator małych kątów jest stanowiskiem do odtwarzania jednostki kąta w zakresie $40'$. Zasada działania generatora oparta jest na zasadzie liniału sinusowego. Prosty liniał powierzchniowy oparty jest na dwóch podporach: stałej i ruchomej. Zmiana kąta pochylecia liniału realizowana jest za pomocą silnika prądu stałego. Wielkość przemieszczenia podpory ruchomej mierzona jest metodą bezpośrednią za pomocą interferometru laserowego. Program komputerowy wyświetla na monitorze wartość kąta, o jaki został pochylony liniał. Na generatorze małych kątów wzorcowane są autokolimatory fotoelektryczne i poziomnice elektroniczne o dużej rozdzielczości. Najmniejsza możliwa do uzyskania rozszerzona niepewność pomiarów na tym stanowisku wynosi $0,3''$. Wielkościami wejściowymi w budżecie niepewności są: wskazanie autokolimatora lub poziomnicy elektronicznej oraz wskazanie generatora. Niepewność autokolimatora lub poziomnicy związana ze wskazaniami przyrządu składa się z odchylenia standardowego średniej oraz niepewności wynikającej z roz-



Rys. 4. Generator małych kątów.

dzielczości wzorcowanego przyrządu. Natomiast ze wskazaniem generatora związana jest niepewność standardowa obliczana na podstawie wyników badań stanowiska. Generator małych kątów przedstawiony jest na rys. 4.

5. Podsumowanie

Zmodernizowane stanowisko państwowego wzorca jednostki kąta płaskiego realizującego odtwarzanie jednostki w zakresie pełnego kąta obrotu, działające od końca 2005 roku, wciąż wymaga podejmowania kolejnych działań zmierzających do jego pełnego wdrożenia. Pełne wdrożenie nowego stanowiska oznaczać będzie całkowite wyłączenie z eksploatacji obecnego stanowiska. Jednym z działań jest udział w porównaniach międzynarodowych. Takie porównania przeprowadzono na przełomie lat 2008/2009. Były to porównania w ramach projektu SIM.L-K3/2008, gdzie obiektem porównań była pryzma 12-ścienna i 4 płytki kątowe przywieralne.

Prowadzone są także prace nad opracowaniem metody pomiaru autokolimatorów na zmodernizowanym stanowisku. Na podobnych stanowiskach wzorcowane są autokolimatory w zagranicznych instytutach metrologicznych. Generator małych kątów pozwala obecnie na wzorcowanie autokolimatorów o rozdzielczości nie większej niż 0,05", gdzie na rynku dostępne są już autokolimatory o rozdzielczości nawet 0,005". Laboratorium Kąta przystąpiło do projektu EURAMET.L-K3.2009* (porównania międzynarodowe autokolimatorów), a wzorcowanie przyrządów odbędzie się, zgodnie z harmonogramem porównań, w styczniu 2011 r.

W przypadku uzyskania pozytywnych wyników dokonana zostanie zmiana zapisów w tabeli CMCs dotycząca wzorcowania pryzm wielościennej, płytek kątowych i autokolimatorów.

Literatura

- [1] Cook A. H.: *The calibration of circular scales and precision polygons*, British Journal of Applied Physics, nr 5, str. 367-370, 1954.
- [2] Noch R., Steiner O.: *Die Bestimmung von Kreisteilungsfehlern nach einem Rosettenverfahren*. Z. Instr. 74, Heft 10, 1966.

Obliczenia niepewności pomiaru metodą Monte Carlo w arkuszu kalkulacyjnym

W powszechnie dostępnym arkuszu kalkulacyjnym Excel możemy wykonywać obliczenia niepewności pomiaru zgodnie z przyjętą zasadą propagacji rozkładów realizowaną metodą Monte Carlo, wyrażoną w dokumencie JCGM 101:2008. W związku z tym arkusz jest wygodnym narzędziem obliczeniowym.

Arkusz kalkulacyjny umożliwia obliczenia metodą Monte Carlo przy użyciu wbudowanej funkcji o nazwie los (w arkuszu edytowana jest w postaci LOS()). Funkcja ta oddaje zbiór wartości losowych z zakresu od 0 do 1 o rozkładzie równomiernym

$$\text{los} = \langle 0, 1 \rangle$$

Generowany zbiór wartości funkcji los jest niesymetryczny względem wartości zerowej. Można go centrować odejmując od każdej wartości funkcji los wartość 0,5 a następnie podwoić ich różnicę. Otrzymujemy w ten sposób zbiór wartości od -1 do 1

$$2(\text{los} - 0,5) = \langle -1, 1 \rangle$$

W przypadku zastosowań metrologicznych interesować nas będzie zbiór wartości losowych o rozkładzie prostokątnym i dowolnych wartościach granicznych: $\pm a_i$. Zbiór taki tworzy wielkość wejściową centrowaną (o wartości oczekiwanej zero) δx_i , dla której $\max(\delta x_i) = a_i$. Ze względu na praktyczność postępowania lepiej wyrażać wartość graniczną wielkości wejściowej poprzez związaną z nią niepewność standardową $u(\delta x_i)$

$$a_i = \sqrt{3} \cdot u(\delta x_i)$$

Zatem dowolną wartość centrowanej wielkości wejściowej o rozkładzie prostokątnym można wyznaczyć stosując równanie

$$\delta x_i = 2\sqrt{3} \cdot (\text{los} - 0,5) \cdot u(\delta x_i)$$

Zbiór wartości o rozkładzie trójkątnym można utworzyć składając dwa zbiory wartości losowych o tych samych rozkładach prostokątnych. Wystarczy zatem zsumować wartości dwóch funkcji los, centrować ich sumę odejmując wartość jeden i uwzględnić, że wartość graniczna dla rozkładu trójkątnego dana jest zależnością

$$a_i = \sqrt{6} \cdot u(\delta x_i)$$

Otrzymujemy w ten sposób równanie dowolnej centrowanej wielkości wejściowej o rozkładzie trójkątnym

$$\delta x_i = \sqrt{6} \cdot (\text{los} + \text{los} - 1) \cdot u(\delta x_i)$$

Podobnie postępujemy przy tworzeniu zbioru wartości o rozkładzie normalnym, który jest złożeniem określonej liczby zbiorów o tych samych rozkładach prawdopodobieństw

stwa. Do składania możemy użyć 12 zbiorów wartości losowych o tych samych rozkładach prostokątnych. Wystarczy zsumować 12 funkcji los i centrować tę sumę odejmując od niej liczbę 6

$$N(0, 1) = \left(\frac{\text{los} + \dots + \text{los} - 6}{12} \right)$$

Otrzymujemy w ten sposób zbiór wartości o rozkładzie normalnym standaryzowanym, tzn. takim którego wartość oczekiwana jest równa zero, a odchylenie standardowe równe jest jeden. Dzięki tej właściwości powyższej formuły w łatwy sposób możemy otrzymać zbiór wartości dla wielkości wejściowej centrowanej o rozkładzie normalnym i dowolnej niepewności standardowej

$$\delta x_i = N(0, 1) \cdot u(\delta x_i)$$

Powyższą właściwość możemy również wykorzystać do wygenerowania zbioru wartości wielkości wejściowej o rozkładzie Studenta z dowolną liczbą stopni swobody ν . Zgodnie z wnioskowaniem Gosseta, rozkładowi temu podlega zmienna losowa t , zdefiniowana jako

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s(\bar{x})}$$

gdzie \bar{x} to średnia z ograniczonej liczebnie serii n obserwacji wywodzących się z populacji o rozkładzie normalnym i wartości oczekiwanej μ , a $s(\bar{x})$ to odchylenie standardowe eksperymentalne tej średniej. Ponieważ wyznaczamy zmienną centrowaną, dla której $\mu = 0$, to wystarczy wyznaczyć zbiór wartości ilorazu

$$t = \frac{\bar{x}}{s(\bar{x})}$$

Obliczenia wykonujemy w dwóch krokach. W pierwszym należy wygenerować zbiór o rozkładzie normalnym standaryzowanym $N(0, 1)$, a w drugim należy pobierać z tego zbioru kolejne serie obserwacji o tej samej liczebności n , obliczając średnie i odchylenia standardowe eksperymentalne tych średnich i podzielić je przez siebie. Ponieważ w arkuszu nie ma wbudowanej funkcji statystycznej będącej odpowiednikiem statystyki o nazwie odchylenie standardowe eksperymentalne średniej to można ją utworzyć z zależności

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

gdzie $s(x) = \text{ODCH.STANDARDOWE}(1:n)$, z adresami kolejnych n komórek zawierających wartości o rozkładzie normalnym $N(0, 1)$. Dla tych samych adresów obliczamy również $\bar{x} = \text{ŚREDNIA}(1:n)$.

Ostatecznie, wielkość wejściowa centrowana o rozkładzie Studenta o dowolnej wartości $u(\delta x_i)$ i liczbie stopni swobody $\nu = n - 1$ otrzymywana jest z równań

$$\delta x_i = \begin{cases} N(0, 1) \\ u(\delta x_i) \cdot \sqrt{n} \cdot \bar{x} / s(x) \end{cases}$$

W celu wygenerowania zbioru wartości dla określonych rozkładów prawdopodobieństwa odpowiednie równania wielkości wejściowych δx_i wpisujemy do 10 000 kolejnych komórek w kolumnie arkusza. W ten sposób obliczamy wartości wielkości o rozkładzie prostokątnym, trójkątnym i normalnym. W przypadku rozkładu Studenta obliczenia wykonujemy w dwóch sąsiednich kolumnach. W pierwszej wyznaczamy wartości $N(0, 1)$ powiększając liczbę komórek o n . W drugiej obliczamy wartości zmiennej t , na wartościach komórek o adresach z pierwszej kolumny, bez powiększania liczby komórek.

W arkuszu kalkulacyjnym dla dowolnego budżetu niepewności możemy realizować obliczenia każdego liniowego lub linearyzowanego równania pomiaru (w liniowym równaniu pomiaru wszystkie współczynniki c_i wrażliwości są równe 1 lub -1, a w linearyzowanym przybierają wartość pochodnych cząstkowych). W obu przypadkach równanie wielkości wyjściowej y można przedstawić w postaci

$$y = \bar{y} + c_1 \cdot \delta x_1 + \dots + c_N \cdot \delta x_N$$

gdzie \bar{y} to estymata wielkości wyjściowej, będąca funkcją estymat wielkości wejściowych

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1 \dots \bar{x}_N)$$

Budżet niepewności

Symbol wielkości	Estymata wielkości	Niepewność standardowa	Rozkład prawdopodobieństwa	Współczynnik wrażliwości	Udział niepewności
x_1	$\{\bar{x}_1\}[\bar{x}_1]$	$\{u(x_1)\}[u(x_1)]$	nazwa	$\{c_1\}[c_1]$	$\{u_1(y)\}[u_1(y)]$
.
.
.
x_N	$\{\bar{x}_N\}[\bar{x}_N]$	$\{u(x_N)\}[u(x_N)]$	nazwa	$\{c_N\}[c_N]$	$\{u_N(y)\}[u_N(y)]$
y	$\{\bar{y}\}[\bar{y}]$				$\{u_c(y)\}[u_c(y)]$

Mając wyznaczone wszystkie wielkości zapisane w tabeli budżetu niepewności możemy przystąpić do obliczeń wielkości wyjściowej metodą propagacji rozkładów przy użyciu symulacji Monte Carlo. W kolejnych kolumnach arkusza wpisujemy odpowiednie formuły obliczające wartości zgodne z odpowiednimi rozkładami dla wielkości wejściowych: prostokątnym, trójkątnym, normalnym lub Studenta.

Rozkłady prawdopodobieństwa

Rozkład prostokątny	$P(0, u) = 2\sqrt{3} \cdot (\log - 0,5) \cdot u$
Rozkład trójkątny	$T(0, u) = \sqrt{6} \cdot (\log + \log - 1) \cdot u$
Rozkład normalny	$N(0, u) = \left(\frac{\log + \dots + \log - 6}{12} \right) \cdot u$
Rozkład Studenta	$S(0, u) \begin{cases} = \frac{\log + \dots + \log - 6}{12} \\ = u \cdot \sqrt{n} \cdot \bar{x} / s(x) \end{cases}$

u oznacza udział niepewności, będący iloczynem współczynnika rozszerzenia i niepewności standardowej (dla równań pomiaru liniowych u można utożsamiać z niepewnością standardową).

W oddzielnej kolumnie wykonujemy obliczenia równania pomiaru wprowadzając do każdej komórki tej kolumny sumę estymaty wielkości wyjściowej \bar{y} i możliwych wartości dla wszystkich wielkości wejściowych zgodnie z przyjętymi rozkładami prawdopodobieństwa. Ponieważ w kolumnie tej zapisane są formuły realizujące równanie pomiaru, należy ją przekopiować do innej kolumny w postaci samych wartości liczbowych (operacja: wklej specjalnie – wartości). Następnie sortujemy zbiór tych wartości od najmniejszej do największej (operacja: sortuj rosnąco). W kolumnie obok możemy również wpisać kolejne prawdopodobieństwa, zaczynając od wartości $p = 0,0001$ a kończąc na wartości $p = 1$, z krokiem 0,0001. W ten sposób możemy zobrazować, przy użyciu operacji wstaw wykres (punktowy), dystrybuantę numeryczną rozkładu prawdopodobieństwa związanego z wielkością wyjściową. Z posortowanego zbioru wartości dla wielkości wyjściowej odczytujemy zawartość komórek: 250 i 9750. Komórki te przedstawiają wartości dolnej i górnej granicy przedziału rozszerzenia dla prawdopodobieństwa 95 %. Odejmując od wartości górnej granicy dolną jej wartość i dzieląc wynik przez dwa otrzymujemy niepewność rozszerzoną dla prawdopodobieństwa 95 %.

Wykonując obliczenia w arkuszu można również skorzystać z narzędzi analizy danych zawartych w dodatku Analysis ToolPak w postaci generatorów liczb pseudolosowych o różnych rozkładach. Szczególnie przydatny może być generator o rozkładzie jednostajnym i normalnym, co można wykorzystać przy realizacji obliczeń metodą Monte Carlo.

Dr inż. Paweł Fotowicz

Spotkanie Międzylaboratoryjnej Grupy ds. Porównań Krajowych Atomowych Wzorców Czasu i Częstotliwości

W dniu 20 kwietnia 2010 r. w siedzibie Głównego Urzędu Miar odbyło się 25. Spotkanie Międzylaboratoryjnej Grupy ds. Porównań Krajowych Atomowych Wzorców Czasu i Częstotliwości. Spotkanie, o otwartym charakterze seminaryjnym i odbywające się dwukrotnie w ciągu roku, zgromadziło tym razem grono 38. osób z krajowych laboratoriów i instytucji bezpośrednio lub pośrednio zainteresowanych współczesnymi aspektami metrologii czasu i częstotliwości. Między innymi obecni byli przedstawiciele Centrum Badań Kosmicznych PAN, Akademii Górniczo-Hutniczej, Wojskowej Akademii Technicznej, Politechniki Rzeszowskiej, Uniwersytetu Zielonogórskiego, Uniwersytetu Warszawskiego, Telekomunikacji Polskiej, Instytutu Łączności, Centralnego Wojskowego Ośrodka Metrologii, a także Ministerstwa Gospodarki i Międzynarodowego Biura Miar (BIPM) w Paryżu we Francji. Wygłoszono dwanaście referatów, spośród których jeden miał charakter ogólny i dotyczył historii spotkań oraz współpracy krajowej i regionalnej (z Litwą i Łotwą) w dziedzinie czasu i częstotliwości, dwa dotyczyły transferu czasu z wykorzystaniem satelitów nawigacyjnych systemu GLONASS, cztery dotyczyły zastosowania światłowodów do precyzyjnego transferu czasu i częstotliwości, pozostałe dotyczyły: prognozowania państwowej skali czasu z wykorzystaniem sieci neuronowych, pomiaru jakości sygnałów zegarowych oraz problematyki serwerów czasu (serwerów NTP) w kontekście zachowania spójności pomiarowej i wiarygodności dystrybuowanej przez nie informacji o czasie.

Po otwarciu spotkania przez Wiceprezesa Głównego Urzędu Miar [Włodzimierza Popiołka](#) w pierwszym wystąpieniu [dr Albin Czubla](#) przypomniał 14-letnią już historię spotkań i związanej z nimi współpracy obejmującej nie tylko laboratoria i instytucje posiadające zegary atomowe i biorące udział w tworzeniu niezależnej Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL), ale również i szereg innych instytucji o charakterze typowo naukowym czy także komercyjnym. Istotna jest cykliczność spotkań, które za każdym razem gromadzą ok. 30 osób i służą prezentacji trendów światowych i europejskich w dziedzinie metrologii czasu i częstotliwości, prezentacji własnych dokonań, wymianie doświadczeń, merytorycznej dyskusji i poszerzaniu wiedzy w tym zakresie.

[Dr Włodzimierz Lewandowski](#) (BIPM, Sekcja Czasu, Częstotliwości i Grawimetrii), ze względu na swoje zaangażowanie w pracach nad reformą polskiej metrologii, w swoim wystąpieniu poruszył tematykę obecnych prac legislacyjnych realizowanych w tym zakresie w Ministerstwie Gospodarki i Sejmie (Grupa Konsultacyjna MG, posiedzenia połączonych Komisji Sejmowych Edukacji, Nauki i Młodzieży oraz Gospodarki, planowany dezyderat). Bardzo pozytywnie odniósł się do początków polskiej metrologii w 1916 roku i do dorobku dr. Zdzisława Rauszera, który zaproponował powołanie w 1918 roku Królewskiego Instytutu Metrologicznego, Urzędu Miar i Komisji Miar Legalnych (instytucji o charakterze doradczym), co jednak nie zostało pozytywnie przyjęte przez jedną z komisji opiniujących projekt, obawiającej się przejęcia przez Instytut Metrologiczny prac metrologicznych wykonywanych do tamtej pory na uczelniach.

W zasadniczej części swojego wystąpienia, dr W. Lewandowski mówił na temat wprowadzenia systemu GLONASS do obliczeń TAI i UTC. Dużą rolę w tym zakresie odegrało

Centrum Badań Kosmicznych, które opracowało odbiorniki TTS-3 i TTS-4 do transferu czasu z wykorzystaniem sygnałów z systemów nawigacji satelitarnej zarówno GPS, jak i GLONASS. Niepewności uzyskiwane z porównań metodą GNSS Common-View i All-in-View w przypadku użycia sygnałów systemu GLONASS są zbliżone do niepewności uzyskiwanych przy użyciu systemu GPS. Dokładne pomiary porównawcze wykazały, że aby zachować spójność pomiędzy wynikami uzyskiwanymi za pośrednictwem systemów GPS i GLONASS, wymagana jest zasadnicza korekta stałej kalibracyjnej dla odbiorników systemu GLONASS.

Dr Jerzy Nawrocki (CBK PAN, Obserwatorium Astrogeodynamiczne w Borowcu k.Poznania) omówił właściwości odbiorników do transferu czasu TTS-4, podkreślając, że bardzo dobre wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu anten typu choke-ring – anten z pierścieniami ekranującymi dostęp do anteny sygnałów odbitych od otoczenia, a wykorzystanie kodu P3 pozwala wyeliminować wpływ jonosfery dla dużych odległości. W zakresie zastosowania światłowodów do precyzyjnego transferu czasu i częstotliwości, dr J. Nawrocki przedstawił informację o prezentowanych na 24. Europejskim Forum Czasu i Częstotliwości referatach na ten temat. Prace w tym zakresie prezentowała Francja (ultra stabilna dystrybucja częstotliwości), Niemcy (dalekosiężny transfer częstotliwości na odległości 900 km, dystrybucja częstotliwości referencyjnej do wielu lokalizacji), Szwecja (jednokierunkowa transmisja częstotliwości z poprawioną dokładnością), Niemcy i Japonia (światłowodowy transfer czasu na potrzeby porównań zegarów) oraz Czechy i Austria (transfer czasu poprzez światłowód).

Dr Łukasz Śliwczyński (AGH, Katedra Elektroniki) przedstawił zaproponowaną przez AGH ideę i realizację stabilizacji propagacji czasu w łączy światłowodowym na potrzeby precyzyjnej dystrybucji czasu i częstotliwości. Zastosowanie cyfrowej pętli DLL (*Digital Locked Loop*), sprzężonej za pomocą specjalnie opracowanych przez autorów prezentowanego rozwiązania układów scalonych zawierających elektroniczną linię opóźniającą, pozwoliło w konsekwencji na uzyskanie stabilności opóźnienia fazy transmitowanego sygnału na poziomie szacunkowo kilkunastu pikosekund przy linii długości 20 km i zakresie zmian temperatury 25 K. Na podstawie pomiarów wykonanych w GUM za pomocą komparatora częstotliwości wzorcowych A7-MX, parametry tego układu zostały pozytywnie zweryfikowane, potwierdzając możliwość transferu częstotliwości ze względną stabilnością częstotliwości nawet 1×10^{-16} lub lepszą.

W uzupełnieniu informacji dotyczących zagadnienia transferu czasu i częstotliwości poprzez światłowód, mgr inż. Łukasz Buczek (AGH, Katedra Elektroniki) przedstawił metodykę precyzyjnej stabilizacji długości fali lasera półprzewodnikowego na poziomie poniżej 0,2 pm, co przy transmisji dwukierunkowej w światłowodzie o długości 100 km odpowiada stabilizacji na poziomie poniżej 0,5 ps. Uzyskuje się to poprzez zastosowanie stabilizacji termicznej wraz z etalonem optycznym.

Prof. Wiesław Miczulski (UZ, Instytut Metrologii Elektrycznej) zaprezentował najnowsze wyniki prac UZ, prowadzonych we współpracy z GUM, nad zastosowaniem sieci neuronowych do prognozowania państwowej skali czasu. Przyjęcie modelu prognozowania odchyłań od trendu liniowego dla poszczególnych zegarów pozwoliło uzyskać błędy prognozy nie przekraczające 5 ns dla horyzontu czasowego 15 dni. Obecne prace są na etapie optymalizacji wyboru architektury i parametrów sieci neuronowej. Przewiduje się implementację tych rozwiązań w GUM do sterowania skalą czasu UTC(PL).

Mgr inż. Krzysztof Różyc (WAT, Wydział Elektroniki) przedstawił wyniki najnowszych prac WAT, w zakresie implementacji do opracowanych przez WAT przyrządów po-

miarowych opcji wyznaczania parametrów jakości sygnałów zegarowych. Dynamiczne wyliczanie tych parametrów i monitorowanie ich wartości w czasie ma duże znaczenie dla zastosowań telekomunikacyjnych przy badaniu synchronizacji sieci.

Na koniec zostały zaprezentowane referaty dotyczące serwerów czasu. Pracownicy Elpromy Elektroniki ([Grzegorz Daniluk](#) i [Krzysztof Borgulski](#)) przedstawili wyniki prac nad stabilizacją pracy grupy serwerów czasu tworzących sieć korporacyjną i wyposażonych w zróżnicowane wzorcowe źródła czasu, nad audytem czasu z poziomu serwera NTP z użyciem technik szyfrowania symetrycznego i asymetrycznego oraz nad pobieraniem informacji o czasie przez serwer NTP bezpośrednio z zegara cezowego typu 5071A. Prace te są odpowiedzią na aktualnie rosnące krajowe i ogólnoswiatowe zapotrzebowanie na wiarygodną informację o czasie.

Szyfrowanej transmisji NTP poświęcony był referat [Jacka Igalsona](#) (Telekomunikacja Polska, Orange Lab), który pokazał, że można w prosty sposób w serwerach NTP zaimplementować mechanizmy szyfrowania symetrycznego i asymetrycznego oraz zweryfikować, czy rzeczywiście transmitowane pakiety NTP są podpisane cyfrowo i dokonana została pozytywna ich identyfikacja i autentykacja.

Ostatni referat był poświęcony przewidywanym rozważanym rozwiązaniom prawnym i technicznym dotyczącym weryfikacji zgodności czasu, używanego w systemach do znakowania czasem, z czasem urzędowym i czasem UTC(PL). Dr A. Czubła przedstawił wyciąg z zapisów projektu ustawy o podpisie elektronicznym odnoszących się do wymagań w stosunku do czasu wykorzystywanego w systemach do znakowania czasem oraz zaprezentował wstępnie rozważane do przyjęcia zapisy techniczne uściślające tę kwestię w projektowanym rozporządzeniu do tej ustawy. Dzięki wsparciu ze strony Ministerstwa Gospodarki ([Marcin Fijałkowski](#) – Departament Gospodarki Elektronicznej), rozwinęła się szeroka dyskusja bardzo pomocna w dalszych pracach przygotowawczych do prac legislacyjnych w tym zakresie.

W celu uzyskania szerszych informacji na temat zagadnień poruszanych podczas 25. Spotkania Międzylaboratoryjnej Grupy ds. Porównań Krajowych Atomowych Wzorców Czasu i Częstotliwości można nawiązać kontakt z autorami wygłoszonych referatów lub z pracownikami Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Elektrycznego Głównego Urzędu Miar (e-mail: timegum@gum.gov.pl, tel. 22 581 91 56).

Dr Albin Czubła

Kierownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości GUM

Obchody Światowego Dnia Metrologii w Głównym Urzędzie Miar 20 maja 2010 r.



Otwarcie uroczystego Seminarium przez
Panią Prezes GUM Janinę Marię Popowską



Wykład zaproszonego gościa
Pana prof. Stefana Kubisy

Okolicznościowy referat
Pana dr. Pawła Fotowicza





Rozmowa w kuluarach z Panem posłem Tadeuszem Sławeckim



Zwiedzanie okolicznościowej wystawy

Wizyta w laboratoriach GUM



Wydawca: **Główny Urząd Miar**

Prezes

JANINA MARIA POPOWSKA

tel. 581 95 45, fax 620 84 11,

e-mail: prjp@gum.gov.pl

**Wiceprezes odpowiedzialny za sprawy
metrologii naukowej**

WŁODZIMIERZ POPIOŁEK

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

**Wiceprezes odpowiedzialny za sprawy
metrologii prawnej**

DOROTA HABICH

tel. 581 93 26, fax 624 25 73,

e-mail: vprdh@gum.gov.pl

Dyrektor Generalny Urzędu

ELŻBIETA SOIKA

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

Redakcja: **Stanowisko ds. Koordynacji Współpracy Naukowej**

Dobrosława Sochocka tel. (22) 581 92 93, e-mail: d.suchocka@gum.gov.pl

Paweł Fotowicz tel. (22) 581 94 37, e-mail: uncert@gum.gov.pl