

Wzorcowanie przyrządów do pomiaru małych kątów

Katarzyna Nicińska

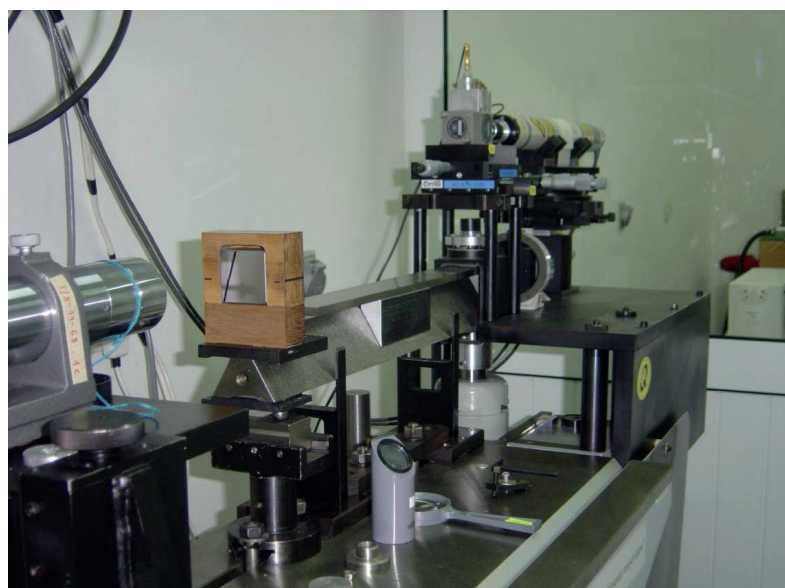
Artykuł dotyczy sposobów wzorcowania przyrządów do pomiaru małych kątów i opisuje stanowiska pomiarowe wykorzystywane w tym celu.

Opis stanowisk pomiarowych

Do pomiaru małych kątów służą głównie poziomic elektroniczne o wysokiej rozdzielczości oraz autokolimatory. W Laboratorium Kąta od wielu lat wzorcuje się te przyrządy na stanowisku stanowiącym część państwowego wzorca jednostki kąta płaskiego – generatorze małych kątów o zakresie pomiarowym $40'$ i rozdzielczości $0,01''$.

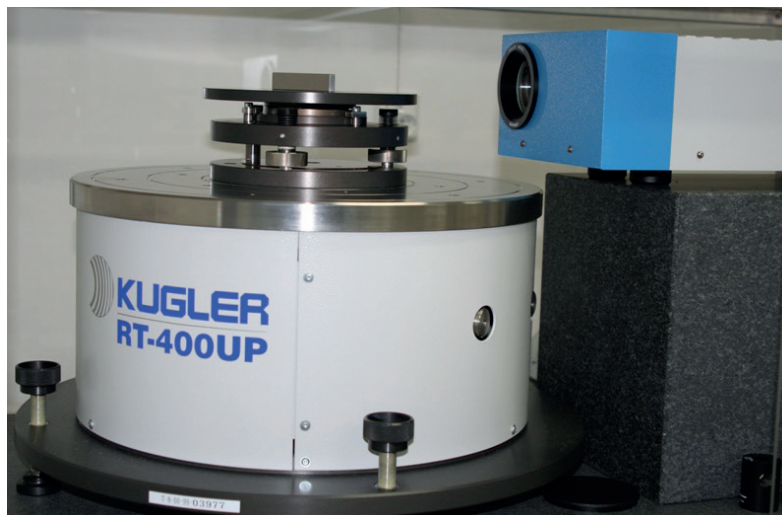
Zasada działania generatora oparta jest na zasadzie liniału sinusowego. Prosty liniał powierzchniowy oparty jest na dwóch podporach: stałej i ruchomej. Zmiana kąta pochylenia liniału realizowana jest za pomocą układu napędzanego przez silnik prądu stałego. Wielkość przemieszczenia podpory ruchomej mierzona jest metodą bezpośrednią za pomocą interferometru laserowego. Podczas wzorcowania autokolimatorów, na ruchomej podporze ustawiane jest zwierciadło, a podczas wzorco-

wania poziomic elektronicznych, poziomic. Wskazania autokolimatora i poziomic elektronicznej są porównywane z wartością kąta pochylenia liniału, która jest wyświetlana na monitorze przez program komputerowy. Przy wzorcowaniu autokolimatorów i poziomic elektronicznych wyznacza się błąd wskazań w określonych przedziałach pomiarowych, których wielkość zależna jest od zakresu pomiarowego wzorcowanego przyrządu. Najmniejsza możliwa do uzyskania rozszerzona niepewność pomiarów na tym stanowisku wynosi $0,3''$ ($k = 2$). Wielkościami wejściowymi w budżecie niepewności są: wskazanie autokolimatora lub poziomic elektronicznej i wskazanie generatora. Niepewność autokolimatora lub poziomic związana ze wskazaniami przyrządu składa się z odchylenia standardowego średniej oraz niepewności wynikającej z rozdzielczości wzorcowanego przyrządu. Natomiast ze wskazaniem generatora związana jest niepewność standardowa obliczona na podstawie wyników



Generator małych kątów

fot. arch. GUM



Stanowisko do odtwarzania jednostki kąta płaskiego w zakresie 360°

fort. arch. GUM

12 badań stanowiska. Generator małych kątów przedstawiony jest na zdjęciu na str. 11.

Stanowisko zostało zbudowane w Laboratorium Kąta ok. 15 lat temu. Sterowanie oraz program obliczający wartości pochylenia były opracowane i dostosowane do ówczesnych możliwości sprzętowych (komputer). Modernizacja tego stanowiska w tej chwili jest trudna do przeprowadzenia, stąd dążenie do opracowania alternatywnej metody umożliwiającej wzorcowanie autokolimatorów. Dodatkowym impulsem do rozpoczęcia prac w tym zakresie stał się fakt zgłoszenia w 2008 r. gotowości wzięcia udziału w porównaniach międzynarodowych pomiarów autokolimatorów, organizowanych przez PTB, Niemcy – EURAMET.L-K3.2009 „Angle Comparison Using an Autocollimator”. Pomiary w ramach tych porównań zostały przeprowadzone w GUM w listopadzie 2011 roku.

W wielu zagranicznych laboratoriach metrologicznych (PTB, LNE itd.) do wzorcowania autokolimatorów stosuje się precyzyjne stoły obrotowe. Laboratorium Kąta wyposażone jest w urządzenie tego typu, precyzyjny stół obrotowy z łożyskowaniem powietrznym (o wartości kroku 0,002”), służący wraz z autokolimatorem o wysokiej rozdzielczości (0,005”), do wzorcowania pryzm wielościennych i płytek kątowych przywieraalnych. Stanowisko to jest także częścią państwowego wzorca jednostki kąta płaskiego w zakresie pełnego obrotu.

Wzorcowanie autokolimatorów za pomocą precyzyjnego stołu obrotowego

Metoda wzorcowania autokolimatora przy pomocy precyzyjnego stołu obrotowego polega na porównaniu wskazań autokolimatora ze wskazaniami stołu w zadanych przedziałach pomiarowych. W tym celu wzorcowany autokolimator ustawiany jest na stabilnym statywie z możliwością regulacji w obu płaszczyznach. Na stole, w osi obrotu stołu, ustawiane jest zwierciadło zamocowane tak, aby nie przemieszczało się podczas obrotu stołu.

Autokolimator wzorcowany jest w kilku położeniach stołu (np.: 0°, 120°, 240°; 0°, 90°, 180°, 270° lub w innych, lecz nie mniej niż w 3 równomiernie rozłożonych względem pełnego obrotu). Autokolimator można wzorcować w dwóch różnych ustawieniach:

- 1) autokolimator ustawiany jest tak, aby wskazywał wartość bliską 0°, a stół obraca się o zadany krok (przedział pomiarowy) aż do końca zakresu w obu kierunkach, np. od -100” do 100”,
- 2) autokolimator ustawiany jest na końcu zakresu pomiarowego, np. w „-”, a stół obracany jest o zadany krok (przedział pomiarowy), aż do końca zakresu pomiarowego w „+” lub odwrotnie, np. od -100” do 100”. Każdy taki pomiar może być powtórzony dowolną ilość razy.

Wykonano wiele pomiarów, które doprowadziły do obecnej postaci metody pomiarowej i obliczeniowej. W niniejszej pracy przedstawione zostaną pokrótce niektóre eksperymenty.

Pierwszym autokolimatoremi mierzonym za pomocą nowego stanowiska był autokolimator ELCOMAT HRC, o rozdzielczości 0,005" i zakresie pomiarowym $\pm 300''$. Został on jednak zmierzony w zakresie $\pm 100''$, z krokiem pomiarowym 10" dla zorientowania się, czy metoda jest dobra i aby na początek zminimalizować liczbę danych do obliczeń. Pomiar tego autokolimatora służył głównie do przetestowania oprogramowania stworzonego do sterowania stołem obrotowym i do kolejnych modyfikacji metody. Jako zwierciadło do początkowych prób pomiarowych służyła pierwsza powierzchnia pomiarowa pryzmy 24-ściiennej GUM. Autokolimator mierzono w ustawieniu 1), tzn. od 0° do końca zakresu (skróconego) w obu kierunkach. Stół obrotowy pracuje w dwóch trybach: AC mode i DC mode, przy czym pierwszy tryb odpowiada za ruch zgrubny, drugi za dokładne dochodzenie stołu do oczekiwanego położenia. Przeprowadzono pomiary mające na celu sprawdzenie, czy wyniki autokolimatora różnią się między sobą, gdy stół pracuje w obu trybach i tylko w trybie DC. Do tej pory przy pomiarach pryzm wielościennych stół pracował w obu trybach, gdyż realizował obrót stopniowy. Jednak podczas pomiarów autokolimatorów, obrót jest realizowany w małych przedziałach, sekundowych. Po analizie otrzymanych wyników stwierdzono, że błędy wskazań autokolimatora mierzonego podczas pracy stołu w obu trybach, AC i DC, w zdecydowanej większości są większe od tych otrzymanych podczas pracy stołu tylko w trybie DC. Podjęto decyzję o dalszych pomiarach wyłącznie w trybie DC stołu.

Następnym autokolimatoremi mierzonym nową metodą był autokolimator DA-20, posiadający świadectwo wzorcowania od producenta. Autokolimator DA-20 wzorcowano za pomocą nowej metody w trzech położeniach: 0°, 120° i 240°. Zakres pomiarowy: $-18'' \div 18''$, z krokiem pomiarowym stołu równym 2". Porównano wyniki błędów kątów otrzymane z wzorcowania autokolimatora za pomocą stołu obrotowego z wartościami ze świadectwa wzorcowania otrzymanego od producenta i uznano wyniki za zadowalające na tym etapie badań. Maksymalna różnica pomiędzy wartościami błędów kątów wynosi co do wartości bezwzględnej 0,17".

W listopadzie ubiegłego roku przeprowadzono w ramach porównań EURAMET.L-K3.2009, po-

miary autokolimatora fotoelektrycznego dwuosowego ELCOMAT 3000, o rozdzielczości 0,005" i zakresie pomiarowym $\pm 3000''$. Pomiary przeprowadzono w dwóch zakresach i krokach: dużym czyli $\pm 1000''$ co 10" oraz małym czyli $\pm 10''$, co 0,2". Do pomiarów zastosowano zarówno zwierciadło PTB o wartości odchylenia od płaskości 10 nm (parametr RMS), jak i zwierciadło, stosowane do pomiaru autokolimatorów przy zastosowaniu generatora małych kątów, o wartości odchylenia od płaskości 54 nm (parametr RMS).

Standardowo, dla obu zwierciadeł i obu zakresów pomiarowych w obu kierunkach, wykonywano po trzy serie pomiarowe w trzech różnych położeniach stołu obrotowego: 0°, +120° oraz -120°. Jednak po wykonaniu każdej serii pomiarowej i obliczeniu wyników, przeprowadzano na bieżąco ich analizę i decydowano o ewentualnych powtórzeniach serii pomiarowych. Powtarzane były serie pomiarowe, przy których np. błąd pozycjonowania stołu w pierwszym punkcie pomiarowym był większy niż 0,1". Otrzymane wyniki znacząco różniły się od wyników otrzymanych w pozostałych seriach, czy też w przypadku, gdy wyniki z wykonanych w danym położeniu trzech serii pomiarowych były odbiegające od pozostałych.

Po wnikliwej analizie wszystkich otrzymanych wyników stwierdzono dobrą zgodność wyników otrzymanych przy pomiarach z zastosowaniem zwierciadła PTB i zwierciadła GUM dla kierunku „plus” dla zakresu 1000". Kierunek „minus” jest dość zgodny w pierwszej połowie zakresu, w drugiej zaś dla zwierciadła GUM błędy gwałtownie rosną, co do wartości bezwzględnej. Wyniki dla drugiego zakresu pomiarowego nie są już tak zgodne i wykazują większą rozbieżność w kierunku „minus”. Rozbieżności mogą być spowodowane niejednakową dokładnością „dochodzenia” stołu do zadanych pozycji w zależności od kierunku obrotu. Powodem może być także kształt powierzchni zwierciadła. Te hipotezy wymagają być dodatkowych badań w następnych latach. Jednak dopiero raport z porównań zweryfikuje poprawność opracowanej, nowej dla GUM, metody.

Bibliografia

- [1] Just A., Krause M., Probst R., Wittekopf R.: *Calibration of High-resolution Electronic Autocollimators against an Angle Comparator*, [w:] *Metrologia* 40 (2003), s. 288-294.
- [2] Nicińska K., Przybylska J.: *Państwowy wzorzec jednostki kąta płaskiego*, [w:] *Biuletyn Głównego Urzędu Miar*, nr 2, (2010), s. 9-14.