

Wzorcowanie precyzyjnych autokolimatorów i enkoderów kątowych z zastosowaniem *shearing techniques* – efekt prac w ramach wspólnego projektu EMRP SIB58 Angles

Joanna Przybylska, Katarzyna Nicińska (Laboratorium Kąta, Zakład Długości i Kąta)

We wrześniu 2013 r. rozpoczął się wspólny projekt badawczy EMRP SIB58 Angles „Angle Metrology”, w którym jednym z partnerów jest Główny Urząd Miar (Laboratorium Kąta). Jak każdy projekt, tak i ten podzielony jest tematycznie na kilka tzw. pakietów roboczych, obejmujących badania różnych przyrządów lub metod pomiarowych. W projekcie SIB58, w ramach 3. pakietu roboczego, prowadzone są prace nad metodami wzorcowania enkoderów kątowych jedno- i wielogłowicowych oraz autokolimatorów. Szeroko badana była nowatorska metoda jednoczesnego wzorcowania autokolimatorów i enkoderów kątowych, tzw. *shearing techniques*, opracowana przez jednego z partnerów – PTB, Niemcy. Technika ta pozwala także na wyznaczanie wartości błędów interpolacji enkoderów kątowych.

Matematyczne podstawy zaproponowanej metody zostały oparte na rozwiązaniach wykorzystywanych w interferometrii (*shearing interferometry*). Technika ta może być także wykorzystana w metrologii kąta płaskiego, tam gdzie uzyskiwane są dwa oddzielnie niezależne sygnały i można wyznaczyć ich sumę lub różnicę. I taka sytuacja ma miejsce przy wzorcowaniu autokolimatorów przy zastosowaniu stołu obrotowego zaopatrzonego w enkoder kątowy.

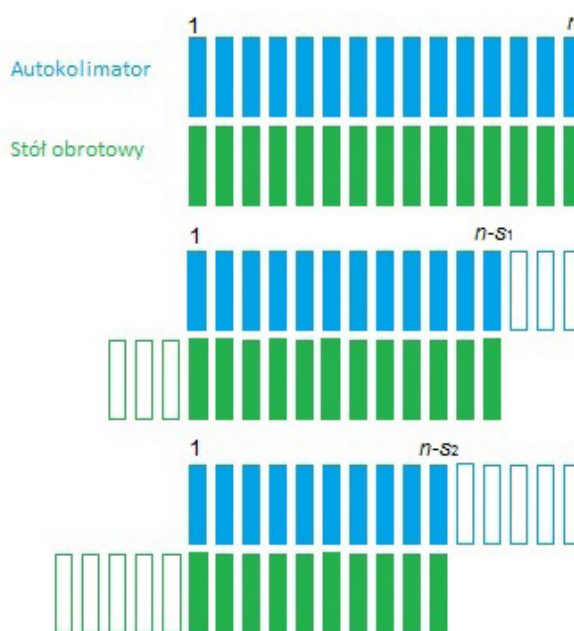
Idea tej metody polega na wykonaniu trzech serii pomiarowych. Dla wstępnie założonego zakresu i kroku pomiarowego Δ , odpowiedniego dla wzorcowanego autokolimatora, określa się wartości s_1 i s_2 , nazywane liczbami cięć (*shear numbers*). Liczby cięć są zawsze kombinacją dwóch liczb pierwszych. Faktyczny zakres pomiarowy dla pierwszej serii wyznaczany jest na podstawie wzoru:

$$R = (s_1 \cdot s_2 - 1) \cdot \Delta \quad (1)$$

Pierwsza seria wykonywana jest w pełnym zakresie pomiarowym, druga i trzecia – po „ucięciu” o wyznaczone wcześniej liczby cięć. Wartość kąтового

przesunięcia dla tych serii jest iloczynem odpowiedniej liczby cięć i wartości kroku pomiarowego. W zależności od układu pomiarowego obracany jest autokolimator albo stół. W przypadku stanowiska GUM przesunięcie kątowe realizowane jest poprzez obrót stołu. Bardzo ważne jest precyzyjne pozycjonowanie, tak aby każda seria pomiarowa rozpoczynała się od tego samego punktu przyrządu nieruchomego (dla GUM – autokolimatora).

Schemat punktów pomiarowych pokazany jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych, przy obrocie stołu względem autokolimatora. Wartości liczb cięć: $s_1 = 3$ oraz $s_2 = 5$

W każdej serii pomiarowej wyznaczane są różnice między wskazaniami autokolimatora i stołu w poszczególnych punktach pomiarowych, na podstawie wzorów.

$$\delta_1(i) = \eta_{AC}(i) - \eta_E(i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\delta_2(i) = \eta_{AC}(i) - \eta_E(i + s_1), \quad i = 1, 2, \dots, n - s_1 \quad (3)$$

$$\delta_3(i) = \eta_{AC}(i) - \eta_E(i + s_2), \quad i = 1, 2, \dots, n - s_2 \quad (4)$$

Ostateczne wyniki, czyli wartości błędów pomiaru autokolimatora i enkodera kąтового, obliczane są przy zastosowaniu transformaty Fouriera. Wartość niepewności pomiaru obliczana jest przy zastosowaniu metody Monte Carlo.

W trakcie trwania projektu w Laboratorium Kąta GUM wykonywane były pomiary autokolimatora ELCOMAT HR oraz autokolimatora DA-20 z wykorzystaniem stołu obrotowego RT-440 z wbudowanym enkoderem kątowym RON 905 (stanowisko państwowego wzorca jednostki kąta płaskiego). Autokolimator ELCOMAT HR mierzony był w zakresie $\pm 100''$, z krokiem pomiarowym $1''$ ($s_1 = 11, s_2 = 17$) i $0,5''$ ($s_1 = 17, s_2 = 23$), autokolimator DA-20 – w zakresie $\pm 20''$, z krokiem pomiarowym $0,5''$ ($s_1 = 11, s_2 = 7$). Ponadto, do wyznaczenia wartości błędów interpolacji wykonano pomiary przy zastosowaniu autokolimatora ELCOMAT HR w zakresie pomiarowym $\pm 36''$, z krokiem pomiarowym $3,6''$ ($s_1 = 3, s_2 = 7$).

Po wykonaniu pomiarów otrzymane odczyty z autokolimatora i enkodera zostały wysłane do PTB celem dokonania obliczeń. Jednocześnie przystąpiono do opracowywania w GUM programu obliczającego wyniki pomiarów. Powstał program o nazwie

CAMEAN, który dodatkowo oblicza również wartość niepewności pomiaru. Program ten został zwalidowany poprzez porównanie wyników z wynikami z programu PTB, a także poprzez porównanie wyników z programu PTB oraz programu z TUBITAK (Turcja), po wprowadzeniu danych testowych.

Metoda „shearing techniques” umożliwia szybkie i precyzyjne wzorcowanie autokolimatorów fotoelektrycznych niezależnie od jakiegokolwiek zewnętrznego wzorca. Jednocześnie otrzymuje się wartości błędów pomiaru enkodera w zakresie wcześniej nieosiągalnym. Przy zastosowaniu tej metody w laboratorium GUM wyznaczona została wartość błędu interpolacji enkodera RON 905, będącego integralną częścią stołu obrotowego RT-440. Dzięki temu można było uwzględnić ten bardzo istotny czynnik w budżecie niepewności pomiaru płytek kątowych przywiezanych oraz enkoderów kątowych.

EMRP jest finansowany wspólnie przez partnerów projektu, należących do Europejskiego Stowarzyszenia Krajowych Instytucji Metrologicznych (EURAMET) oraz przez Unię Europejską.

Literatura

- [1] Geckeler R. D., Just A., *A shearing-based method for the simultaneous calibration of angle measuring devices*, Meas. Sci. Technol. 25 (2014).
- [2] Geckeler R. D., Krause M., Just A., *Determining interpolation errors of angle encoders by error-separating shearing techniques*, DGaO Proceedings 2013.
- [3] www.anglemetrology.com.