

Wzorcowanie precyzyjnych autokolimatorów i enkoderów kątowych z zastosowaniem *shearing techniques* – projekt EMRP SIB58 Angles

Calibration of precise autocollimators and angle encoders using shearing techniques – EMRP project SIB58 Angle

JOANNA PRZYBYŁSKA
KATARZYNA NICIŃSKA*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.461

Przedstawiono ideę i podstawy matematyczne nowej metody jednoczesnego wzorcowania autokolimatorów oraz enkoderów kątowych. Omówiono sposób wykonania pomiarów. Zaprezentowano program do obliczania wyników opracowany w GUM, jego walidację oraz przykładowe wykresy obrazujące zrekonstruowane wartości błędów autokolimatora i enkodera. **SŁOWA KLUCZOWE:** kąt płaski, autokolimator fotoelektryczny, enkoder kątowy, wzorcowanie

The idea and the basis of mathematical calculations of the new method for simultaneous calibration of autocollimators and angle encoders are presented. The way of carrying out the measurements is described. The software for calculating the results, worked out in GUM, validation and examples of graphs with reconstructed errors of autocollimator and encoder are shown.

KEYWORDS: plane angle, photoelectric autocollimator, angle encoder, calibration

Wspólny projekt badawczy EMRP SIB58 Angles „Angle Metrology” [1], zaplanowany na 36 miesięcy, rozpoczął się we wrześniu 2013 r. Jednym z partnerów fundamentalnych projektu jest Główny Urząd Miar (Laboratorium Kąta w Zakładzie Długości i Kąta).

Jak każdy tego typu projekt, jest on podzielony tematycznie na kilka tzw. pakietów roboczych, obejmujących badania różnych przyrządów pomiarowych lub metod pomiarowych. W projekcie SIB58 Angles pakiet roboczy nr 3 poświęcony jest badaniom nad nowymi metodami wzorcowania precyzyjnych autokolimatorów fotoelektrycznych oraz enkoderów kątowych jedno- i wielogłowicowych.

W ramach jednego z zadań pakietu roboczego nr 3 testowana była nowatorska metoda jednoczesnego wzorcowania autokolimatora i enkodera kąтового, opracowana przez jednego z partnerów projektu – PTB, Niemcy. Technika ta umożliwia także wyznaczenie wartości błędów interpolacji enkoderów kątowych.

Idea i matematyczne podstawy tej metody miały swoje źródło w rozwiązaniach wykorzystywanych w interferometrii (*shearing interferometry*) [2] i dlatego została ona nazwana *shearing techniques*. Warunkiem koniecznym jest możliwość uzyskania dwóch oddzielnych niezależnych sygnałów, a tym samym wyznaczenia ich sumy lub różnicy. Taka sytuacja występuje w metrologii kąta płaskiego, np. przy pomiarach z zastosowaniem autokolimatora i stołu

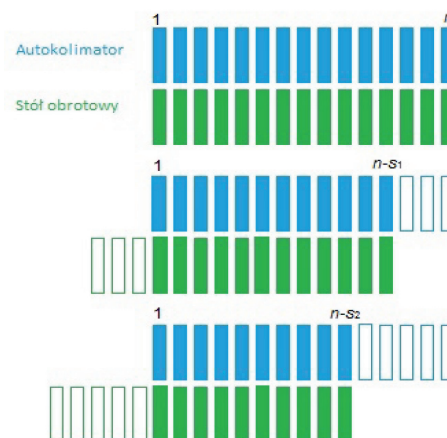
obrotowego wyposażonego w precyzyjny enkoder kątowy. W PTB opracowany został algorytm przeprowadzania pomiarów oraz obliczania wyników, natomiast partnerzy projektu mieli wykonać pomiary, a także opracować własny program umożliwiający obliczenie wyników.

Wzorcowanie z zastosowaniem metody *shearing techniques* polega na wykonaniu trzech serii pomiarowych, przy czym druga i trzecia seria są przesunięte o określone kąty w stosunku do serii pierwszej. W fazie wstępnej zakłada się – odpowiednio do wzorcowanego autokolimatora – zakres i krok pomiarowy Δ . Następnie określa się wartości s_1 i s_2 , nazywane liczbami cięć (*shear numbers*). Liczby cięć są kombinacją dwóch liczb pierwszych. Faktyczny zakres pomiarowy R dla pierwszej serii wyznaczany jest według 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 pokazano na rys. 1.



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

* Mgr inż. Joanna Przybylska (j.przybylska@gum.gov.pl), mgr Katarzyna Nicińska (k.nicinska@gum.gov.pl) – Główny Urząd Miar

W każdej serii pomiarowej wyznaczone są różnice między wskazaniem autokolimatora i stołu w poszczególnych punktach pomiarowych, według 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 z zastosowaniem transformat Fouriera. Wartość niepewności pomiaru obliczana jest metodą Monte Carlo.

W trakcie realizacji 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 w celu wyznaczenia wartości błędów interpolacji wykonano pierwsze pomiary z zastosowaniem autokolimatora ELCOMAT HR w zakresie pomiarowym $\pm 36''$, z krokiem pomiarowym $3,6''$ ($s_1 = 3$, $s_2 = 7$).

Odczyty z autokolimatora i enkodera zostały wysłane do PTB, by tam dokonano obliczeń. Jednocześnie w GUM przystąpiono do opracowywania programu obliczającego wyniki pomiarów. Powstał program o nazwie CAMEAN, który dodatkowo oblicza wartość niepewności pomiaru metodą Monte Carlo. Program ten został zwalidowany poprzez porównanie wyników z wynikami z programu PTB, a także poprzez porównanie wyników z programu PTB oraz programu TUBITAK (Turcja), po wprowadzeniu danych testowych z PTB.

Na rys. 2. przedstawiono zrzut z ekranu programu CAMEAN z graficzną prezentacją wyników testowych. Na rys. 3. pokazano uzyskane w programie CAMEAN wyniki pomiarów autokolimatora ELCOMAT HR, wykonanych w GUM.

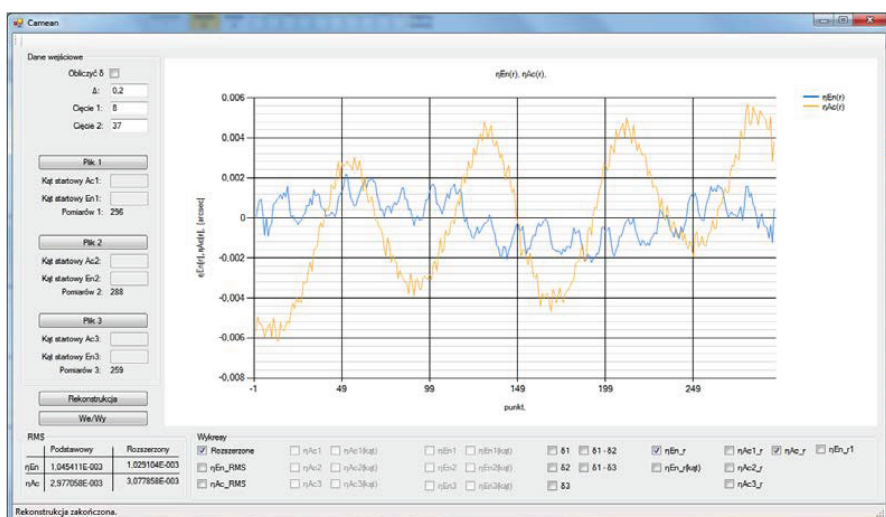
Metoda *shearing techniques* umożliwia szybkie i precyzyjne wzorcowanie autokolimatorów fotoelektrycznych niezależnie od jakiegokolwiek zewnętrznego wzorca. Jednocześnie otrzymuje się wartości błędów pomiaru enkodera w zakresie wcześniej nieosiągalnym.

Tą metodą prowadzi się obecnie w laboratorium GUM pomiary zmierzające do wyznaczenia wartości błędu interpolacji enkodera RON 905, będącego integralną częścią stołu obrotowego RT-440. Dzięki temu można będzie uwzględnić ten bardzo istotny czynnik w budżecie niepewności pomiaru płytek kątowych przywieraalnych, autokolimatorów oraz enkoderów kątowych wzorcowanych na

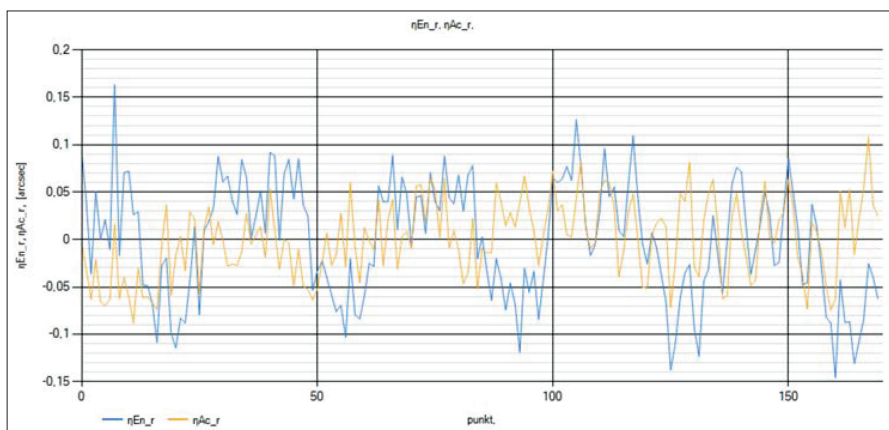
stanowisku państwowego wzorca jednostki kąta płaskiego [3].

* * *

Autorki dziękują Dr. R.D. Geckler (PTB, Niemcy) oraz Prof. Dr. T. Yandayan (TUBITAK-UME, Turcja) za cenne wskazówki, dyskusję oraz owocną współpracę. EMRP jest finansowane wspólnie przez partnerów projektu należących do Europejskiego Stowarzyszenia Krajowych Instytucji Metrologicznych (EURAMET) oraz przez Unię Europejską.



Rys. 2. Okno programu CAMEAN z wynikami otrzymanymi po wprowadzeniu danych testowych. Żółty wykres prezentuje błędy autokolimatora, niebieski – enkodera



Rys. 3. Wyniki pomiarów autokolimatora fotoelektrycznego ELCOMAT HR oraz stołu obrotowego z wbudowanym enkoderem kątowym w zakresie $\pm 100''$, z krokiem pomiarowym $1''$

LITERATURA

- www.anglemetrology.com (dostęp 19.04.2016 r.).
- Geckler R.D., Just A. „A shearing-based method for the simultaneous calibration of angle measuring devices”. *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 25 (2014): pp. 105009 15.
- Geckler R.D., Krause M., Just A. „Determining interpolation errors of angle encoders by error-separating shearing techniques”. *DGao Proceedings* 2013. ■