

Bardzo dobre wyniki GUM w porównaniach międzynarodowych „Pomiary płytek wzorcowych metodą interferencyjną” jako efekt współpracy naukowej z Politechniką Warszawską

Very good results of Central Office of Measures in key comparison
„Measurement of gauge blocks by interferometry” as the result
of cooperation in research with Warsaw University of Technology

ROBERT SZUMSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.462

Równoważność wzorcowań płytek wzorcowych oferowanych przez krajowe instytucje metrologiczne została zweryfikowana w trakcie międzynarodowych porównań kluczowych EURAMET.L-K1.2011. Laboratorium Długości w Zakładzie Długości i Kąta GUM osiągnęło bardzo dobre wyniki, które potwierdzają jego możliwości pomiarowe zgłoszone do międzynarodowej bazy CMC, a także uzyskało możliwość zgłoszenia do tej bazy nowej usługi wzorcowania, świadczonej na interferometrze multispektralnym do wzorcowania długich płytek wzorcowych o długości do 1000 mm

SŁOWA KLUCZOWE: płytki wzorcowe, interferencja, porównania międzynarodowe

The metrological equivalence of the gauge block calibration services offered by NMIs was verified in international key comparison EURAMET.L-K1.2011. Length Laboratory of Length and Angle Division from Central Office of Measures has achieved very good results in the comparison and confirmed its measurement capabilities listed in Appendix C of the Mutual Recognition Arrangement (MRA). Laboratory also got the ability to submit the new service for the Multiwavelength interferometer for the calibration of gauge blocks up to 1000 mm.
KEYWORDS: gauge blocks, interferometry, key comparison

Równoważność metrologiczna wzorców pomiarowych jest weryfikowana w trakcie porównań kluczowych, których liczba i zakres są ustalane przez komitety doradcze Międzynarodowego Komitetu Miar (CIPM), a organizowane zarówno przez te komitety, jak i komitety techniczne regionalnych organizacji metrologicznych (RMO). Podczas spotkania w 2008 r. Komitet Doradczy Długości (CCL) zaktualizował wykaz porównań kluczowych w obszarze metrologii wymiarowej. Zdecydowano, że dla płytek wzorcowych porównania kluczowe odbywać się będą pod oznaczeniem CCL-K1 (ostatnie porównania w tym zakresie to CCL-K1.2011). Dla europejskiej RMO odbyły się równoległe porównania kluczowe EURAMET.L-K1.2011 [1], przedstawione w tym artykule.

Role pilotującego laboratorium przyjął BEV z Austrii, ze znaczącą pomocą ze strony PTB (Niemcy) w zakresie pomiarów stabilności długich płytek wzorcowych.

Celem międzynarodowych porównań było zademonstrowanie równoważności wzorcowań oferowanych klientom przez uczestniczące laboratoria. Laboratoria zgodziły się zastosować metody pomiarowe i wyposażenie, które wykorzystują do wzorców.

Laboratorium Długości w Zakładzie Długości i Kąta Głównego Urzędu Miar uczestniczyło w tych porównaniach w celu potwierdzenia deklarowanych przez tę jed-

nostkę możliwości pomiarowych w zakresie wzorcowania krótkich płytek wzorcowych oraz z zamiarem zgłoszenia nowych możliwości pomiarowych. Są one związane z wzorcowaniem długich płytek wzorcowych (powyżej 100 mm) na nowym stanowisku pomiarowym – Interferometrze Multispektralnym do wzorcowania długich płytek wzorcowych o długościach do 1000 mm.

W porównaniach wzięły udział jeszcze 23 inne laboratoria, głównie z Europy. W związku z dużą liczbą uczestników porównania przeprowadzono w dwóch równoległych pętach [7]. Wszystkie jednostki musiały wykazać spójność pomiarową wyników z praktyczną realizacją jednostki długości oraz wykonać pomiary metodą interferencyjną (lub inną bezwzględna).

Pomiary w GUM zostały przeprowadzone na pięciu stanowiskach pomiarowych. Ze względu na ograniczenia metody interferencyjnej (metody reszt ułamkowych) wszystkie płytki wzorcowe zostały wstępnie zmierzone metodą porównawczą na komparatorze dwuczujnikowym, w celu wyznaczenia przybliżonego wyniku. Dokładna wartość odchylenia długości środkowej od długości nominalnej dla płytek o długościach nominalnych do 100 mm została następnie wyznaczona na Automatycznym Interferometrze Laserowym GBI300 oraz dodatkowo na zmodernizowanym interferometrze Köstera z kadmową lampą spektralną [5].

Długie płytki wzorcowe zostały zmierzone na interferometrze multispektralnym do wzorcowania płytek o długościach do 1000 mm [2]. Jest to nowe stanowisko, które powstało w ramach współpracy GUM z Instytutem Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej. Pomiary wykonano również na uniwersalnym komparatorze interferencyjnym UKI01 do wzorcowania długich płytek wzorcowych [3]. Dodatkowe pomiary z wykorzystaniem interferometru Köstera i komparatora UKI01 wykonano w ramach wewnętrznej kontroli jakości wyników wzorcowania i wykazania równoważności metrologicznej tych stanowisk pomiarowych i stanowisk pozostałych, których możliwości pomiarowe zostały zgłoszone do międzynarodowej bazy CMC stanowiącej Dodatek C do CIPM MRA (Porozumienia CIPM o Wzajemnym Uznawaniu).

Podstawowym wynikiem pomiarów każdej płytki, który został przekazany do pilota porównań, jest odchylenie długości środkowej od długości nominalnej x_i z oszacowaną niepewnością pomiaru $u(x_i)$ [4, 5]. Wyniki przekazane przez poszczególne laboratoria zostały wykorzystane do wyznaczenia wartości odniesienia porównań kluczowych (X_{ref}). Przed wyznaczeniem tej wartości z zestawu wyników usunięto te, które znacznie odbiegały, oraz uwzględniono dryf długości płytek, którego istotną wartość w czasie porównań zaobserwowano dla 8 szt. płytek wzorcowych w pętli A i B [6].

* Mgr inż. Robert Szumski (r.szumski@gum.gov.pl) – Główny Urząd Miar

TABLICA. Wartości E_n dla wszystkich wyników pomiarów (gwiazdką oznaczono brak wyników od uczestnika, kreska oznacza brak udziału w tej części porównań, kolorem żółtym oznaczono wyniki wątpliwe, a pomarańczowym – wyniki niesatysfakcjonujące)

NMI	0,5 mm sta- lowa	1,15 mm sta- lowa	3 mm sta- lowa	5 mm sta- lowa	7 mm sta- lowa	23,5 mm sta- lowa	80 mm sta- lowa	100 mm sta- lowa	0,5 mm ce- ram.	1,15 mm ce- ram.	3 mm ce- ram.	5 mm ce- ram.	7 mm ce- ram.	23,5 mm ce- ram.	80 mm ce- ram.	100 mm ce- ram.	150 mm sta- lowa	300 mm sta- lowa	500 mm sta- lowa	E_n śred- nie	
GUM	0,0	0,4	0,0	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,0	0,9	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,23
LNE	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,5	0,0	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,24
MIKES	0,9	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,6	0,0	0,4	0,5	0,2	0,6	0,6	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,25
NPL	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,0	0,1	0,3	0,4	0,0	0,1	0,3	0,2	0,2	0,8	1,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,27
CMI	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	0,0	0,1	0,6	*	0,3	0,3	0,6	0,1	0,3	0,3	0,27	
MIKES	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4	1,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,1	0,5	0,1	0,2	0,3	0,27	
BEV	0,5	0,4	1,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,6	0,3	0,6	0,4	0,5	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,32	
BIM	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,3	0,0	0,33	
METAS	0,4	0,1	0,3	0,6	1,0	0,6	0,3	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,34	
VSL	0,3	0,4	0,0	0,3	0,2	0,6	0,7	0,2	0,4	0,8	0,1	0,1	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	0,36	
JV	0,6	1,3	0,1	0,8	0,4	0,5	0,0	0,1	0,2	0,0	0,4	0,1	0,5	0,7	0,2	0,2	—	—	—	0,38	
BEV	0,4	0,5	0,6	0,5	0,1	0,1	0,4	0,1	0,6	0,4	0,6	0,2	0,5	0,1	0,5	0,6	0,9	0,5	0,2	0,41	
SP	0,0	0,3	*	0,4	0,0	0,1	0,1	0,7	0,3	0,6	0,9	0,8	0,4	0,7	0,8	0,6	0,3	0,4	0,7	0,45	
EIM	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,6	0,2	0,6	0,9	0,6	0,7	0,4	0,5	1,0	—	—	—	0,46	
UME	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,4	0,7	0,3	0,2	0,1	0,50	
METAS	0,5	1,4	0,5	0,8	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,5	1,0	0,8	0,1	0,3	0,0	0,0	0,51	
SMD	*	1,0	0,8	0,2	0,2	0,8	0,7	0,4	0,5	0,7	0,6	0,1	0,5	0,8	0,7	0,2	0,0	0,4	—	0,51	
DFM	0,5	0,3	0,6	0,6	0,3	0,4	1,1	1,1	0,6	0,6	0,5	0,1	0,2	0,8	0,8	0,5	—	—	—	0,56	
DMDM	0,1	0,5	1,0	0,2	0,0	0,7	0,3	0,0	0,6	0,9	1,1	0,5	1,8	1,0	0,2	0,4	—	—	—	0,58	
FSB	0,1	0,4	0,2	0,1	0,4	0,7	1,1	1,0	0,4	0,5	0,1	1,3	0,8	1,4	1,5	1,5	—	—	—	0,72	
SMU	0,7	0,3	0,2	0,6	2,0	1,6	0,5	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,94	
CEM	0,6	0,0	0,5	0,8	0,1	1,4	1,9	2,0	1,8	0,6	1,9	0,1	0,8	0,5	2,5	2,4	—	—	—	1,12	
INM	0,5	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	5,1	5,5	0,9	1,0	0,7	0,9	1,1	0,2	0,6	7,5	—	—	—	1,64	
IPQ	0,1	0,0	0,0	0,8	0,5	0,6	0,6	7,2	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	0,1	38,0	—	3,03	
NIS	0,6	0,5	0,6	5,6	5,6	9,1	*	12,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,5	8,8	9,2	6,4	—	—	—	3,97	
MKEH	*	*	*	*	*	*	*	*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
INRIM	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	—

Odchylenie wyniku każdego uczestnika wynosi:

$$d_i = x_i - x_{\text{ref}} \quad (1)$$

a jego niepewność standardowa dla wyników biorących udział w obliczeniu x_{ref} wyraża się:

$$u(d_i) = \sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{\text{ref}})} \quad (2)$$

Minus pod pierwiastkiem pochodzi od korelacji wyników uczestnika x_i z wartością odniesienia x_{ref} . Jeżeli wyniki laboratorium nie biorą udziału w wyznaczeniu x_{ref} (ponieważ okazały się niespójne z pozostałymi), nie przewiduje się korelacji i niepewność standardowa przyjmuje postać:

$$u(d_i) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{\text{ref}})} \quad (3)$$

Dla każdego laboratorium wyznaczono wartość E_n , zdefiniowaną wyrażeniem:

$$E_n = \left| \frac{d_i}{U(d_i)} \right| \quad (4)$$

gdzie: $U(d_i)$ – niepewność rozszerzona dla współczynnika rozszerzenia $k = 2$.

Do wyznaczenia wartości odniesienia porównań x_{ref} niezbędna jest statystyczna spójność rozważanych wyników. Sprawdzenie spójności statystycznej wyników z przypisanymi im niepewnościami może być przeprowadzone przy pomocy zależności Birge'a, która porównuje obserwowaną rozpiętość wyników z rozpiętością oczekiwaną na podstawie zgłoszonych niepewności pomiaru. Zależność Birge'a wynika z zastosowania metody najmniejszych kwadratów i testu χ^2 :

$$R_B < \sqrt{1 + \frac{8}{N-1}} \quad (5)$$

gdzie: N – liczba laboratoriów (liczba wyników biorących udział w analizie).

Gdy warunek wyrażony zależnością (5) nie zostanie spełniony, wówczas wynik pomiaru, dla którego E_n osiągnęło największą wartość, jest pomijany przy wyznaczaniu wartości odniesienia, a R_B jest obliczana ponownie z wartością N pomniejszoną o 1. Procedura testowania spójności i pomijania wyników z największą wartością E_n jest kontynuowana do czasu uzyskania zbioru wyników spójnych statystycznie.

Laboratorium Długości GUM uzyskało najlepszą średnią zgodność wyników z wartością odniesienia spośród wszystkich uczestników porównań. Najnowsze stanowisko – interferometr multispektralny, będący owocem współpracy GUM i PW, uzyskał najniższe wartości E_n , nie biorąc wcześniej udziału w żadnych porównaniach międzylaboratoryjnych. Wyniki w pełni potwierdzają możliwości wykonywania wzorcowań zgłoszonych do bazy CMC stanowiącej Dodatek C do CIPM MRA (włącznie ze zgłoszoną już usługą wzorcowania długich płytek wzorcowych na interferometrze multispektralnym).

LITERATURA

- Matus M. et al. "Measurement of gauge blocks by interferometry". *Metrologia*. 53 (2016).
- Wengierow M. et al. "Measurement system based on multi-wavelength interferometry for long gauge block calibration". *Metrolog. Meas. Syst.* Vol. XX (2013): pp. 479–490.
- Szumski R. "Pomiary długich płytek wzorcowych na zmodernizowanym stanowisku pomiarowym z interferometrem laserowym". *Pomiary Automatyka Kontrola*. Nr 59 (2013): s. 304–307.
- JCGM 100:2008 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. BIPM
- Decker J.E., Pekelsky J.R. "Uncertainty evaluation for the measurement of gauge blocks by optical interferometry". *Metrologia*. Nr 34 (1997): s. 479–493.
- Nien F.Z. et al. "Statistical analysis of key comparisons with linear trends". *Metrologia*. Nr 41(2004): s. 231–237.
- Krystek M., Bosse H. "A Bayesian approach to the linking of key comparisons". arXiv:1501.07134 [stat.AP] (2015).
- Lewis A. "Running of MRA comparisons in length metrology and monitoring their impact on CMCs". CCLWG-MRA/GD-1 (2012). ■