

*Mariusz Wiśniewski*  
*Główny Urząd Miar*  
Zakład Czasu i Długości

## **PROCEDURA WZORCOWANIA PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH NA 50 M KOMPARATORZE INTERFERENCYJNYM GŁÓWNEGO URZĘDU MIAR**

50 m komparator interferencyjny GUM umożliwia wzorcowanie przyrządów, interferometrów, dalmierzy laserowych, tachimetrów oraz laser trackerów. Przedstawiona została analiza czynników mechanicznych, środowiskowych oraz odczytowych wpływających na niepewność pomiarów. Przygotowana została procedura wzorcowania tachimetrów geodezyjnych. W ramach projektu EMPIR 20IND02 DynaMITE wykonano testy wielokolorowego absolutnego dalmierza laserowego.

### **PROCEDURE OF CALIBRATION OF MEASURING INSTRUMENTS USING A 50-METER INTERFERENCE COMPARATOR AT THE CENTRAL OFFICE OF MEASURES**

The 50 m interference comparator at GUM enables calibration of steel tapes, interferometers, EDMs, total stations and laser trackers. An analysis of mechanical, environmental and line detection factors influencing measurement uncertainty is presented. A procedure for calibrating geodetic total stations has been prepared. Tests of a multicolor laser ADM were performed as part of the EMPIR 20IND02 DynaMITE project.

#### **1. WSTĘP**

Laboratorium Precyzyjnych Pomiarów Przemysłowych Zakładu Czasu i Długości Głównego Urzędu Miar wyposażone jest w zautomatyzowany komparator interferencyjny o zakresie pomiarowym 50 m [1]. Komparator umożliwia wzorcowanie przyrządów sztywnych, półsztywnych i wstęgowych, interferometrów, dalmierzy laserowych, tachimetrów, laser trackerów oraz czujników liniowego przemieszczenia. Praca przedstawia badania czynników mechanicznych, środowiskowych oraz odczytowych wpływających na całkowitą niepewność uzyskiwanych pomiarów, które pozwolą na zmniejszenie niepewności pomiarów. Podobne stanowiska pomiarowe funkcjonują w laboratoriach NMI (National Measurement Institute) na świecie [2][3].

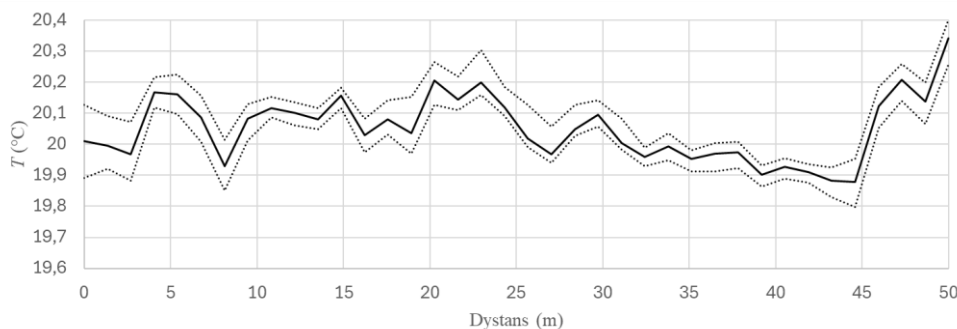
#### **2. SYSTEM POMIAROWY 50 M KOMPARATORA INTERFERENCYJNEGO**

Wzorcowanie przyrządów pomiarowych na stanowisku 50 m komparatora interferencyjnego polega na porównaniu wskazań przyrządu wzorcowanego ze wskazaniami wzorca odniesienia, którym jest He-Ne interferometr laserowy HP 5529A. Wzdłuż komparatora na dwóch szynach przemieszcza się karetką pomiarową ciągniętą za pośrednictwem linki i silnika krokowego. Oprogramowanie w LabView umożliwia automatyczne przesuwanie na zadaną odległość.

##### **2.1. Monitoring warunków środowiskowych**

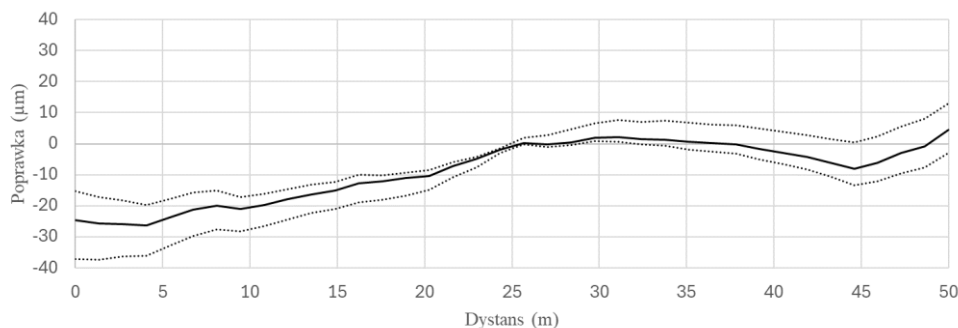
Wskazania interferometru zależą od wartości współczynnika załamania powietrza, obliczanego ze wzoru Edlena. Stanowisko wyposażone jest w czujnik ciśnienia atmosferycznego LB-716 i 5 sensorów wilgotności względnej LB-710A. Rejestratora LB-487 przesyłający wyniki z

wykorzystaniem protokołu MODBUS/TCP. Temperatura mierzona jest przez 40 czujników termistorowych YSI współpracujących z multimetrem Keithley 2700. Dane środowiskowe zbierane są przez autorskie oprogramowanie napisane w języku Python. Odchylenie temperatury nie przekracza  $\pm 0,2$  °C od wartości referencyjnej od 20 °C za wyjątkiem wyników dla ostatniego czujnika. (Rys 1.)

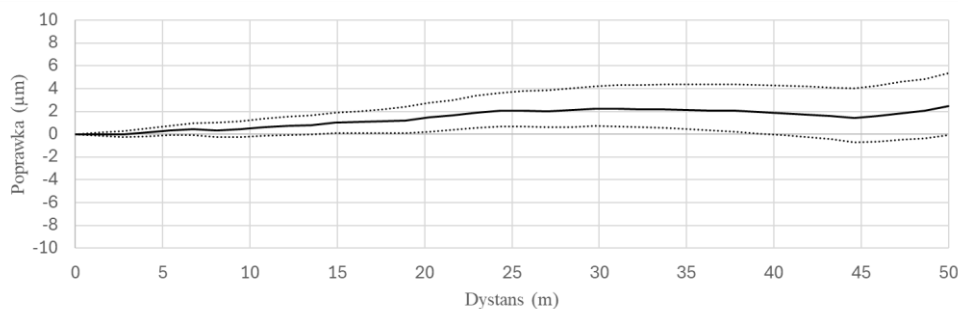


Rys. 1. Średni rozkład temperatur z zaznaczonym maksymalnym zakresem zmian.  
Fig. 1. Average temperature distribution with the maximum range of changes marked.

Przymiary rozszerzają się temperaturowo. Przymiary wstępowe obciążane są na obu końcach siłą 50 N. Zmiany termiczne należy wówczas liczyć względem środka stanowiska pomiarowego a nie środka przymiaru. Konieczna do zastosowania poprawka przedstawiona została na rysunku 2. Poprawka wskazań interferometru laserowego wynikająca z rozkładu temperatur przedstawiona została na rysunku 3. Występuje ona również przy wzorcowaniu przyrządów laserowych takich jak dalmierze, tachimetry i laser trackery.



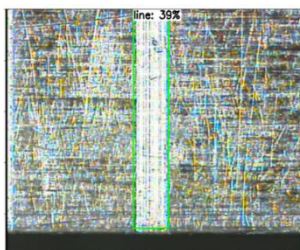
Rys. 2. Poprawka położenia kresek na przymiarze spowodowana średnim rozkładem temperatury z rys. 1 wraz z naniesionym maksymalnym zakresem zmiany wartości.  
Fig. 2. Correction of the position of the lines on the steel tape caused by the average temperature distribution from fig. 1 with the maximum range of value change marked.



Rys. 3. Poprawka wskazań interferometru spowodowana średnim rozkładem temperatury z rys. 1 wraz z naniesionym maksymalnym zakresem zmiany wartości.  
Fig. 3. Correction of the interferometer readings caused by the average temperature distribution from Fig. 1 with the maximum range of value changes.

## 2.2. Odczyt położenia kreski pomiarowych

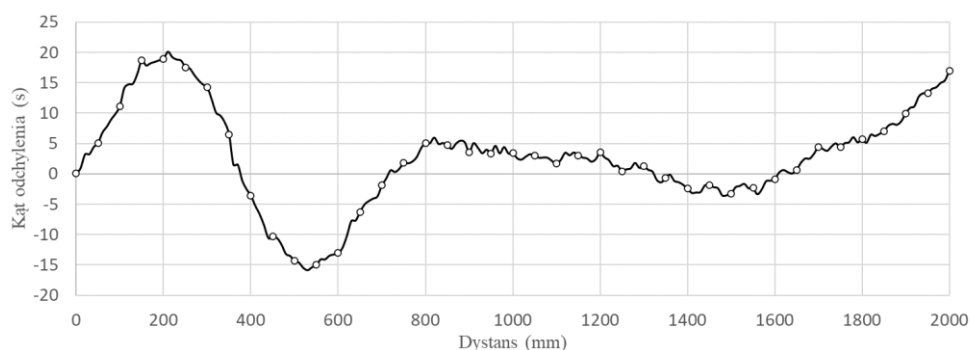
Określenie położenia kreski na przymiarach możliwe jest dzięki kamerze zainstalowanej na karetkce pomiarowej. Oprogramowanie wyświetla obraz z kamery i rysuje na nim dwie linie, między którymi ma się znaleźć mierzona kreska pomiarowa. Dzięki kalibracji kamery możliwe jest bezpośrednie wskazywanie położenia linii na obrazie. Dalszym kierunkiem prac jest automatyzacja rozpoznawania kreski pomiarowych z wykorzystaniem analizy obrazu oraz sieci neuronowych.



Rys. 4. Widok z kamery z zaznaczonym obszarem rozpoznanym jako kreska.  
Fig. 4. View from the camera with line recognized by the neural network

## 2.3. Pomiar pochylenia karetki pomiarowej

Mierzony punkt pomiarowy nigdy nie pokrywa się mechanicznie z położeniem retroreflektora interferometru laserowego. Odchylenia kątowe karetki pomiarowej poruszającej się na nieidealnie prostych szynach powoduje zmiany położenia osi kamery. Wykonano badanie wpływu prostoliniowości na wyniki pomiarów przymiarów, dalmierzy laserowych i tachimetrów. Wyznaczono 50 mm, jako niezbędną gęstości pomiarów kątowych pozwalających na wykrycie lokalnych zaburzeń wartości (Rys. 4). Wykonane zostało mapowanie odchylen kątowych co pozwoliło na opracowanie poprawek do wskazań interferometru. Odchylenia kątowe wykorzystane zostały do określenia poprawek położenia ekranu do wzorcowania dalmierzy i retroreflektora do wzorcowania tachimetrów i laser trackerów. Przeanalizowano układ mechaniczny karetki pomiarowej w celu znalezienia rozwiązania minimalizującego wpływ odchylen kątowych na błędy pomiarów.



Rys. 4. Odchylenie kątowe zmierzone co 50 mm (punkty) oraz co 10 mm (linia ciągła).  
Fig. 4. Angular deviation measured every 50 mm (dots) and every 10 mm (solid line)

## 3. WZORCOWANIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH

Stanowisko pomiarowe wykorzystywane jest przede wszystkim do zapewnienia spójności pomiarowej dla okręgowej administracji miar oraz laboratoriów wzorcujących poprzez wykonywanie wzorcowań przyrządów pomiarowych.

### 3.1. Wzorcowanie przymiarów kreskowych

Wzorcowanie przymiarów kreskowych ułożonych na stanowisku pomiarowym równolegle do wiązki lasera polega na pomiarze położenia naniesionych na przymiar kresek, znajdujących się w polu widzenia kamery. Podczas wzorcowania wykonywane są 3 serie pomiarowe. Uwzględniany jest wpływ warunków środowiskowych na wzorcowany przymiar, wskazania interferometru oraz charakterystyka stanowiska. Niepewność rozszerzoną (przy poziomie ufności 0,95) w  $\mu\text{m}$  wzorcowania przymiarów wyraża się wzorem:

$$U = \sqrt{21^2 + 6^2 L^2}, \quad (1)$$

gdzie  $L$  jest długością nominalną wyrażoną w metrach.

### 3.2. Wzorcowanie przyrządów z laserowym pomiarem odległości

W ramach doktoratu wdrożeniowego dokonano modernizacji stanowiska w celu umożliwienia wzorcowania przyrządów z laserowym pomiarem odległości jak dalmierze, tachimetry geodezyjne i laser trackery. Wzorcowanie polega na odczycie odległości do ekranu lub retroreflektora poruszającego się na karetku pomiarowej i porównaniu ze wskazaniami interferometru. Podczas wzorcowania wykonuje się 10 serii pomiarowych. Uwzględniany jest wpływ warunków środowiskowych na wskazana wzorcowanego przyrządu, interferometru oraz charakterystyka stanowiska pomiarowego. Decydującymi elementami budżetu niepewności przy wzorcowaniu dalmierzy i tachimetrów są powtarzalność wyników oraz rozdzielczość. Typowa niepewność rozszerzona (przy poziomie ufności 0,95) wzorcowania tachimetrów i dalmierzy laserowych wynosi 0,6 mm.

## 4. UDZIAŁ W MIĘDZYNARODOWYCH PROJEKTACH BADAWCZYCH

Unikalność 50 m komparatora GUM sprawiła, że brał on udział w międzynarodowych projektach metrologicznych EMRP IND53 LUMINAR i EMPIR 17IND03 LaVA. W ramach projektu EMPIR 20IND02 DynaMITE posłużył do sprawdzenia niepewności pomiarów dynamicznych dwukolorowego ADM (Absolute Distance Meters) opracowanego przez PTB. W pomiarach wykorzystany został zmodernizowany system pomiarowy 50 m komparatora interferencyjnego oraz wnioski płynące z opisanych powyżej badań.

## PODZIĘKOWANIA

Project 20IND02 DynaMITE has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

Praca jest wynikiem realizacji programu Doktoratu Wdrożeniowego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## LITERATURA

1. Czulek, D.: Wzorcowanie Materialnych Miar Długości – Przymiarów Wstęgowych Na Zautomatyzowanym 50 m Komparatorze Interferencyjnym, XXXVII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów i Konferencja Grantowa, nr 5, 93-100, 2005
2. Unkuri, J. et al: Interferometric 30 m bench for calibrations of 1D scales and optical distance measuring instruments, Measurement Science and Technology 23 094017, 2012
3. Astrua, M. et al: Traceable 28 m-long metrological bench for accurate and fast calibration of distance measurement devices, Measurement Science and Technology, 26 084008, 2015