

## Michał PAWŁOWSKI<sup>1</sup>, Andrzej KOŁODZIEJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ, ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

<sup>2</sup>INSTYTUT POLITECHNICZNY PWSZ KALISZ

# Wpływ błędu granicznego WMP i modelu błędu kształtu na dokładność wyznaczania odchyłki walcowości

Mgr inż. Michał PAWŁOWSKI

W 2002 roku ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej na specjalizacji Mechatronika. Od 2003 roku jest doktorantem w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. Obszar zainteresowań to pomiary odchyłek kształtu z zastosowaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej.



e-mail: [michalpawlowski@o2.pl](mailto:michalpawlowski@o2.pl)

Dr inż. Andrzej KOŁODZIEJ

Studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej ukończył w 1981 roku. Od 1999 roku pracownik Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu. W 2006 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Zainteresowania badawcze związane są z projektowaniem, weryfikacją przez pomiar odchyłek kształtu elementów połączeń w budowie maszyn.



e-mail: [a.kolodziej@jp.pwz.kalisz.pl](mailto:a.kolodziej@jp.pwz.kalisz.pl)

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ błędu granicznego współrzędnościowej maszyny pomiarowej na niepewność pomiaru odchyłki walcowości. W badaniach uwzględniono wpływ modelu błędu tworzącej walca. Przedstawiono program do symulacji błędów i pomiaru odchyłki walcowości z wykorzystaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej. Badania eksperymentalne przeprowadzono przy użyciu autorskiego programu symulacyjnego i porównano z wynikami pochodzącymi z pomiarów rzeczywistych na WMP DEA. Badania przeprowadzono dla próbek o różnych modelach błędów, różnych tolerancjach i zastosowano maszyny o różnych błędach granicznych. Do weryfikacji wyników posłużono się niepewnością pomiaru.

**Słowa kluczowe:** odchyłka walcowości, walcowość.

## Influence of CMM permissible and form model errors on cylindricity error evaluation

### Abstract

In the paper there is presented the influence of the maximum permissible error on the measurement uncertainty of out-of-cylindricity. The out-of-cylindricity error model was taken into account in investigations. A program for cylindricity measurements and error simulation with use of the coordinate measuring technique is presented in the paper as well. Investigations were performed with use of the authors' simulation program for samples of different error models and tolerances. Measuring machines with different permissible errors were applied. The results were compared with those obtained from real measurements on CMM DEA. The measurement uncertainty was used for verification of the results.

**Keywords:** cylindricity, form error.

## 1. Wstęp

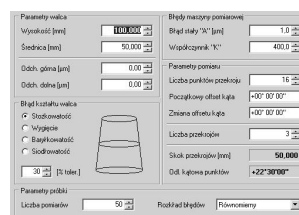
Uniwersalność współrzędnościowych maszyn pomiarowych sprawia, że znajdują one zastosowanie w między innymi w pomiarach odchyłek kształtu i elementów o bardzo małych tolerancjach. Użytkownik rzadko zdaje sobie sprawę z ograniczeń związanych z błędami granicznymi maszyny i stosuje ją do pomiarów najbardziej rygorystycznych warunków kształtu i położenia. Autorzy przeprowadzili badania, jaki wpływ na ma niepewność maszyny pomiarowej na wyznaczenie odchyłki walcowości. Do badań wykorzystano autorski program do symulacji pomiaru walcowości na CMM.

## 2. Program symulacyjny

Podczas prowadzenia badań, do analizy pomiaru odchyłki walcowości na CMM posłużył program ekspercki wykonany na potrzeby projektu. [1, 2, 3]. Zastosowane algorytmy i symulacje bazują na popularnej i najczęściej stosowanej w wyznaczaniu walcowości na CMM, strategii pomiaru zarysów okrągłości w równo odległych przekrojach poprzecznych walca [4].

Symulacja błędów odbywa się z głównym oknie dialogowym w zakładce Parametry próbki (rys. 1). Elementy edycyjne są pogrupowane w pięć merytorycznie niezależnych sekcji. Są to:

- Parametry walca
- Błąd kształtu walca
- Błąd maszyny pomiarowej
- Parametry pomiaru
- Parametry próbki



Rys. 1. Moduł generowania błędów

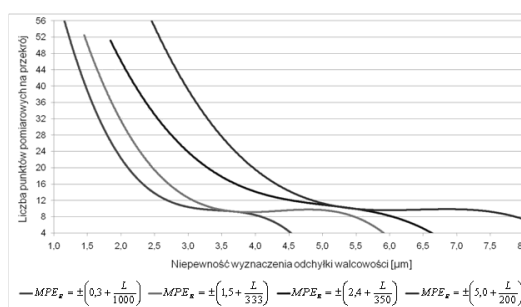
Fig. 1. Error generation module

Po wygenerowaniu błędów i nałożeniu ich na walec idealny, definiujemy wielkość próby statystycznej elementów i uruchamiamy obliczenia. Po przeprowadzeniu obliczeń, pojawia się okno z wynikami, prezentowanymi w formie tabelarycznej lub formie wykresu.

## 3. Wpływ błędu granicznego maszyny i modelu błędu kształtu na wynik pomiaru walcowości

Do oceny wpływu błędu zastosowanej maszyny na wynik pomiaru walcowości posłużono się również programem Valetz, w którym istnieje możliwość generowania błędu maszyny. Test przeprowadzono dla kilku maszyn o różnych dokładnościach.

Test wykonano dla walca o średnicy 80mm wykonanym w 7 klasie dokładności zarówno dla walca o nieznanym modelu błędu (rys. 2) jak i z charakterystycznym modelem błędu (rys. 3).

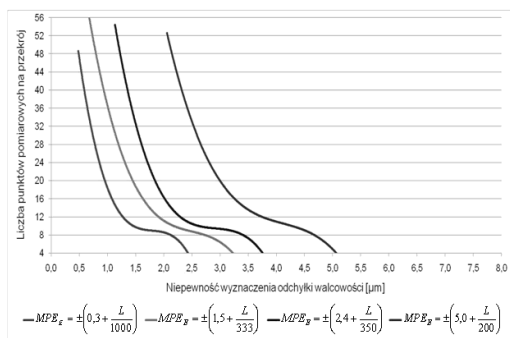


Rys. 2. Wpływ błędu granicznego maszyny pomiarowej na wyznaczenie odchyłki walcowości dla elementu o nieznanym modelu błędu kształtu.

Fig. 2. Influence of the maximum permissible error on the out-of cylindricity error for element of unknown form error model

Na wykresie 2 można zaobserwować, że na pewnym poziomie, wzrost liczby punktów nie prowadzi do poprawy niepewności pomiaru. W przypadku maszyny o błędzie  $0,3\mu\text{m}$ , niepewność pomiaru przekracza trzykrotnie wartość dokładności maszyny. Przyczyną tak znacznej różnicy może być trójwymiarowa charakterystyka pomiaru walcowości – podczas pomiaru udział biorą wszystkie osie maszyny oraz niezadko, przy dużych wysokościach walca, trzpień pomiarowy narażony jest na duże ugięcia. Wraz ze wzrostem błędu granicznego maszyny, rośnie liczba punktów niezbędnych do uzyskania założonej dokładności.

Wykres przedstawiający zależność niepewności wyznaczania odchyłki walcowości od błędu granicznego zastosowanej maszyny pomiarowej przy znanym modelu błędu (rys. 3) pokazuje, że krzywe reprezentujące błędy maszyn pomiarowych są bardziej stromo nachylone jak ma to miejsce na wykresie dla elementu o nieznanym modelu błędu.



Rys. 3. Wpływ błędu granicznego maszyny pomiarowej na wyznaczenie odchyłki walcowości dla elementu o znanym modelu błędu kształtu

Fig. 3. Influence of the maximum permissible error on the out-of-cylindricity error for element of known form error model

Na obu wykresach, zgodnie z oczekiwaniami, duży spadek dokładności pomiaru obserwuje się dla liczby punktów na przekroju, mniejszej od 12.

Znajomość modelu błędu pozwala zgodnie z wykresem 3 na pomiar walcowości z mniejszą niepewnością, dlatego też mając do dyspozycji te same maszyny jak w przypadku elementów o nieznanym modelu błędu, istnieje możliwość pomiaru elementów o mniejszych odchyłkach.

#### 4. Badania eksperymentalne i analiza statystyczna

W celu sprawdzenia działania programu, porównano wyniku pochodzące z symulacji z wynikami pochodzącymi z pomiarów. Do weryfikacji posłużono się współrzędną maszyną pomiarową DEA Global o błędzie granicznym pomiaru  $MPE_E = \pm(1,5 + L/333)\mu\text{m}$  oraz  $MPE_P = \pm 1,7\mu\text{m}$ .

Próbkowanie przeprowadzono w 3 przekrojach na długości 90mm, w każdym przekroju pobrano kolejno od 4 do 32 punkty i 64 punkty. Test na maszynie przeprowadzono zarówno dla stałego położenia układu współrzędnych i tym samym stałego rozmieszczenia punktów pomiarowych, jak również obracając układ współrzędny co  $5^\circ$  od 0 do  $90^\circ$ .

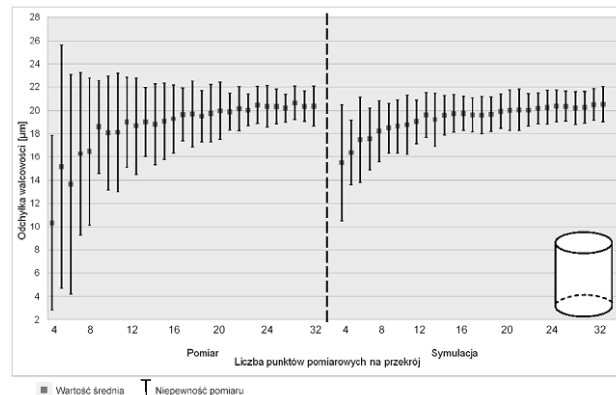
W programie eksperckim podczas testowania algorytmów zasympulowano próbkę 50 walców o średnicy nominalnej  $51,5\text{mm}$  i odchyłce walcowości  $20\mu\text{m}$ . Na każdy z walców nałożono błędy wykonania walca oraz błąd graniczny maszyny zgodnie z rozkładem normalnym.

Do porównania wyników z pomiarów i symulacji wybrano metodę wyznaczenia niepewności pomiaru metodą A [5, 6]. Metoda ta jest najbardziej popularną i wykonuje się ją przez wielokrotny pomiar tego samego elementu, w tym samym położeniu tą samą maszyną w tych samych warunkach. Niepewność wyrażana jest w formie odchylenia standardowego.

W celu sprawdzenia programu test przeprowadzono dla walca bez błędu tworzącej, o zadanym błędzie stożkowości, baryłkowo-

ści oraz siódłowości, W artykule przedstawiono przykładowy wykres: dla walca o nieznanym modelu błędu (rys. 4). Po lewej stronie wykresu znajdują się wyniki pomiaru, po prawej wyniki symulacji.

Dla liczby powyżej 16 punktów pomiarowych na przekrój, symulowana wartość odchyłki walcowości stabilizuje się.



Rys. 4. Porównanie wyników wartości średniej oraz niepewności dla walca o nieznanym błędzie walcowości

Fig. 4. Comparison of the average value and uncertainty for a cylinder of unknown error model

#### 5. Wnioski

Zarówno pomiary praktyczne jak i badania symulacyjne pozwoliły na dokładną analizę metrologiczną pomiaru odchyłki walcowości. Pod uwagę wzięto kilka podstawowych parametrów mających największy wpływ podczas pomiaru na współrzędnościowej maszynie pomiarowej [6].

Wykazano, że wraz ze wzrostem udziału modelu błędu kształtu w przedziale tolerancji, zwiększa się dokładność wyznaczenia odchyłki walcowości, a uzyskanie odpowiednio dużej dokładności wymaga pobrania dużej liczby punktów pomiarowych. Znajomość modelu błędu kształtu mierzonego elementu pozwala na pomiar z użyciem mniejszej liczby punktów i przekrojów pomiarowych. Graniczna, najmniejsza liczba punktów pomiarowych na przekrój powinna wynosić co najmniej 12 punktów i powinna wzrastać w zależności od niepewności, z jaką chcemy uzyskać wynik pomiaru.

Trójwymiarowa charakterystyka walcowości sprawia, że wyznaczanie walcowości na CMM jest bardzo wymagające dla maszyny z punktu widzenia strategii i uzyskania niepewności pomiaru na odpowiednim poziomie.

#### 6. Literatura

- [1] Weckenmann A., Beetz S.: Determination of measurement strategy for coordinate measurements supported by an assistance system. Zeszyty Naukowe ATH w Bielsku-Białej, Budowa i Eksploatacja Maszyn. Konferencje. Zeszyt Nr 22.
- [2] Nuemann H. J.: Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten, Renningen, ISBN 3-8169-2211-2, 2004.
- [3] Adamczak S.: Normalizacja pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. Cz. III, I IV. Ocena zarysów walcowości (podstawowe definicje i strategię pomiarowe). Mechanik nr 3/2004 s. 149÷152 i nr 4/2004, s. 238–240.
- [4] M. Rucki, B. Gapinski, M. Pawlowski: CMM Measurement Strategy for Roundness and Cylindricity Tolerances. Proceedings of 11th CIRP International Conference on Computer Aided Tolerancing CAT-2009, 26-27.03.2009 r., Annecy, Francja.
- [5] Wyrażanie niepewności pomiaru – przewodnik (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement). Główny Urząd Miar, Warszawa 1999.
- [6] Dietrich E. Schulze A.: Metody statystyczne w kwalifikacji środków pomiarowych maszyn i procesów produkcyjnych. Notika System Warszawa 2000, ISBN 83-913811-0-2.