

Adam Gąska, Magdalena Olszewska <sup>1)</sup>

## OCENA ODWZOROWANIA KSZTAŁTU ZA POMOCĄ WSPÓLRZĘDNOŚCIOWEGO RAMIENIA POMIAROWEGO WYPOSAŻONEGO W GŁOWICĘ OPTYCZNĄ

**Streszczenie:** Realizacja pomiarów może być dokonywana z wykorzystaniem różnego rodzaju technik pomiarowych. Obecnie w dobie nieustannego rozwoju technik wytwarzania i metrologii dużą rolę odgrywa możliwość dokładnej oceny mierzonego przedmiotu, a przez to odwzorowanie jego geometrii. W pracy autorzy przedstawili metodę oceny odwzorowania geometrii przedmiotu mierzonego za pomocą Współrzędnościowego Ramienia Pomiarowego Omega firmy Romer z optyczną głowicą skanującą RX2-Scan. Jako obiekt badań, wykorzystano tłok silnikowy wcześniej wywzorcowany na Współrzędnościowej Maszynie Pomiarowej (WMP) o wysokiej precyzji firmy Leitz (typ PMM 12106). Odtworzenie takiego samego układu współrzędnych wykorzystywanego przy pomiarach za pomocą WMP jak również Współrzędnościowego Ramienia Pomiarowego (WRP) zapewniło dużą odtwarzalność wykonanych pomiarów. Przeprowadzone badania umożliwiły wyznaczenie dokładności WRP poprzez ocenę odwzorowania kształtu za pomocą dwóch różnych urządzeń, z czego jedno jest o ponad rząd wielkości dokładniejsze od drugiego.

**Słowa kluczowe:** ramię pomiarowe, niepewność, odwzorowanie kształtu.

### WSTĘP

Wraz z coraz szybszym rozwojem przemysłu oraz technik wytwarzania, rozwija się też metrologia współrzędnościowa, ściśle związana z wymogami współczesnych systemów wytwarzania. Wzrost wymagań jakościowych stawianych produktom stawia wytwórcom przyrządów pomiarowych nowe zadania. Czas przeprowadzania pomiarów, jak również wymagania, co do ich dokładności powodują powstawanie nowych rozwiązań w systemach metrologii współrzędnościowej, a także ciągłe ulepszenie już istniejących. Niewątpliwie jednymi z najdokładniejszych urządzeń pomiarowych są współrzędnościowe maszyny pomiarowe, które umożliwiają pomiary zarówno prostych, jak i skomplikowanych kształtów powierzchni mierzonych. Nowszym rozwiązaniem dla techniki współrzędnościowej są współrzędnościowe ramiona pomiarowe. Urządzenia, te pozwalają na dokładny, szybki i prosty pomiar, w miejscu wytwarzania czy montażu. A ze względu na mobilność, zastępują coraz częściej uniwersalne środki pomiaro-

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej.

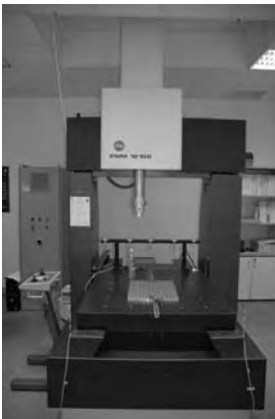
we. Producenci wprowadzili również głowicę działającą na zasadzie triangulacji laserowej, która pozwala na odtworzenie całego elementu pomiarowego poprzez pomiar bezdotykowy w ciągu kilku sekund. Wynikiem pomiaru jest tu chmura punktów obrazująca zarysy i kształty części pomiarowej.

W artykule przedstawiono metodę oceny dokładności odwzorowania kształtu powierzchni przedmiotów badanych za pomocą ramion pomiarowych wyposażonych w laserowe głowice skanujące. Badania wykonano na Współrzędnościowym Ramieniu Pomiarowym oraz Współrzędnościowej Maszynie Pomiarowej PMM firmy Leitz, którą wykorzystano jako urządzenie referencyjne, w związku z jej wysoką dokładnością. Wyniki pomiarów wykonanych za pomocą WMP zostały wykorzystane jako wyniki wzorcowe do dalszych badań dokładności odwzorowania kształtu. W związku z powyższym, jako główny cel przeprowadzonych badań należy uznać sprawdzanie dokładności WRP wyposażonych w głowice skanujące.

## WSPÓLRZĘDNOŚCIOWE MASZyny POMIAROWE

Współrzędnościowe Maszyny Pomiarowe dzięki wysokiemu rozwojowi są obecnie jednymi z najbardziej uniwersalnych i jednocześnie najdokładniejszych urządzeń pomiarowych stosowanych nie tylko w celach naukowych, badawczych, ale również w przemyśle [3].

W badaniach wykorzystano Współrzędnościową Maszynę Pomiarową firmy Leitz PMM 12106 o wysokiej klasie dokładności, której niepewność opisana jest równaniem:  $U=0,8+L/400$  [ $\mu\text{m}$ ], gdzie L to mierzona długość w milimetrach. Maszyna ta posiada zakres pomiarowy 1200mm x 1000mm x 600mm i wyposażona jest w głowicę skanującą wraz z magazynem końcówek. PMM 12106 współpracuje z oprogramowaniem Quindos umożliwiającym pisanie własnych procedur pomiarowych. W Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej maszyna umieszczona jest w pomieszczeniu klimatyzowanym zapewniającym stałe warunki otoczenia na poziomie  $20\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

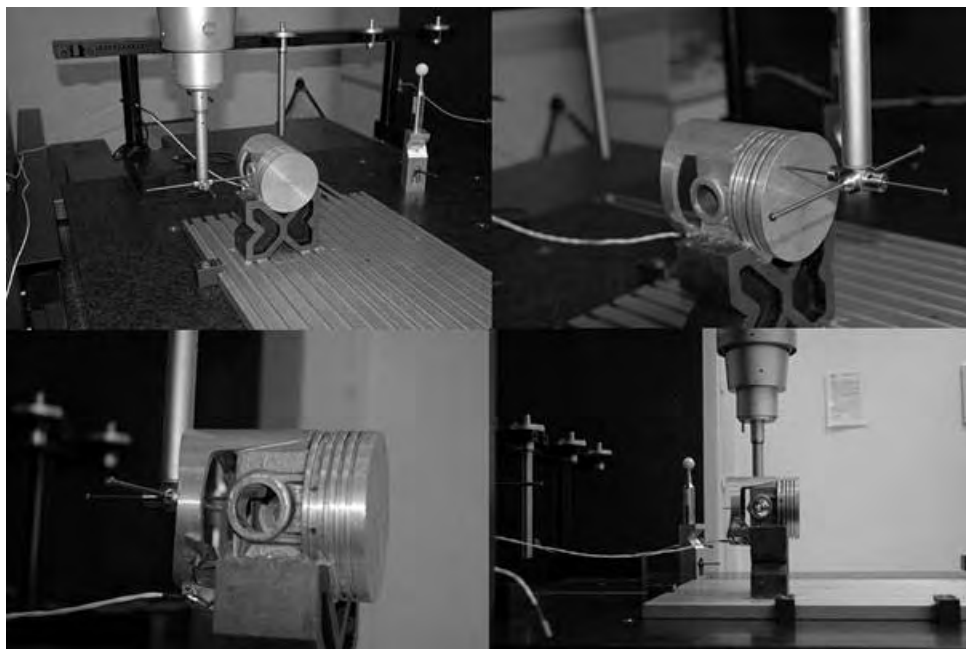


**Rys. 1.** Maszyna pomiarowa Leitz PMM 12106 w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej

**Fig. 1.** Leitz PMM 12106 Coordinate Measuring Machine in Laboratory of Coordinate Metrology at Cracow University of Technology

Pomiary tłoka przeprowadzono na Współrzędnościowej Maszynie Pomiarowej z użyciem głowicy stykowej. W związku z wysoką dokładnością maszyny, została ona wykorzystana do pomiarów wzorcujących badanej części. Następnie wywzorcowany przedmiot, którym w tym przypadku był tłok samochodowy, został zmierzony z wykorzystaniem Współrzędnościowego Ramienia Pomiarowego, co umożliwiło ocenę dokładności odwzorowania kształtu.

Dla zapewnienia lepszych rezultatów badań poprzez polepszenie ich odtwarzalności, przyjęto taki sam układ współrzędnych części zarówno przy pomiarach realizowanych na PMM 12106 jak również na Ramieniu Pomiarowym. Układ współrzędnych na ramieniu pomiarowym został odtworzony również z wykorzystaniem głowicy stykowej.



**Rys. 2.** Pomiar tłoka na WMP PMM 12106 firmy Leitz

**Fig. 2.** Measurement of piston on Leitz PMM 12106

W celu uniknięcia błędów związanych ze zmianami temperatury w trakcie pomiarów zastosowana została kompensacja temperatury. Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów odpowiednich elementów tłoka i po ustaleniu relacji między nimi wykonano model CAD badanego elementu.

## WSPÓLRZĘDNOŚCIOWE RAMIĘ POMIAROWE

Czas przeprowadzania pomiarów, jak również wymagania, co do ich dokładności powodują powstawanie nowych rozwiązań w systemach metrologii współ-

rzędnościowej, a także ciągle ulepszenie już istniejących. Niewątpliwie jednymi z najnowszych rozwiązań są Współrzędnościowe Ramiona Pomiarowe (WRP). Urządzenia, te pozwalają na dokładny, szybki i prosty pomiar, w miejscu wytwarzania czy montażu. A ze względu na mobilność, zastępują coraz częściej uniwersalne środki pomiarowe. Producenci wprowadzili również głowicę działającą na zasadzie triangulacji laserowej, która pozwala na odtworzenie całego elementu pomiarowego poprzez pomiar bezdotykowy w ciągu kilku sekund. Wynikiem pomiaru jest tu chmura punktów obrazująca zarysy i kształty części pomiarowej. Na podstawie chmury można zamodelować trójwymiarowy model [1, 2].



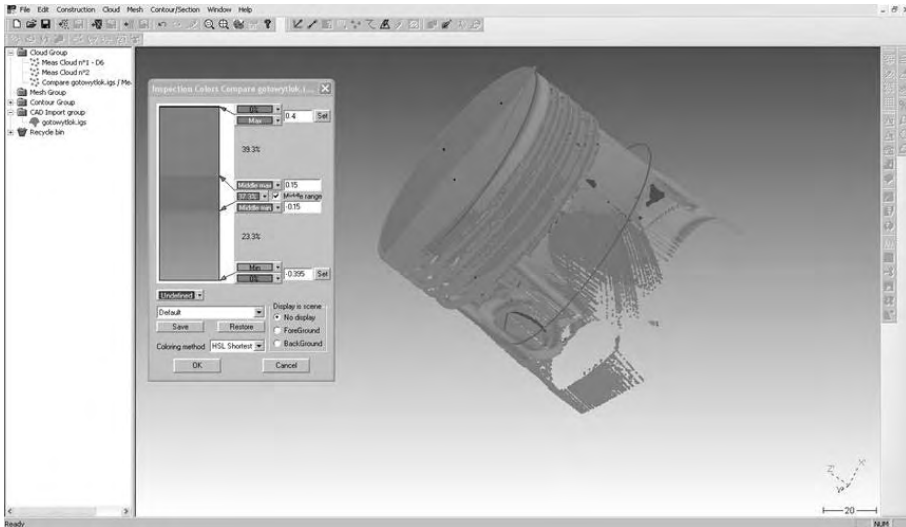
Rys. 3. Współrzędnościowe Ramię Pomiarowe firmy Romer  
Fig. 3. Coordinate Measuring Arm from Romer

Pomiar z wykorzystaniem Współrzędnościowego Ramienia Pomiarowego badanego elementu został dokonany za pomocą głowicy skanującej RX2-Scan. Wynikiem pomiaru jest w tym przypadku odwzorowanie kształtu powierzchni mierzonej. Układ współrzędnych, w którym odwzorowanie zostało przedstawione został utworzony przy wykorzystaniu głowicy stykowej WRP. Układ współrzędnych został odtworzony w ten sam sposób co na Współrzędnościowej Maszynie Pomiarowej typu PMM. Przyjęcie tych samych układów współrzędnych zapewniło lepszą odtwarzalność pomiarów realizowanych na WRP oraz dało możliwość bardziej precyzyjnej oceny dokładności odwzorowania kształtu.

## WYNIKI BADAŃ

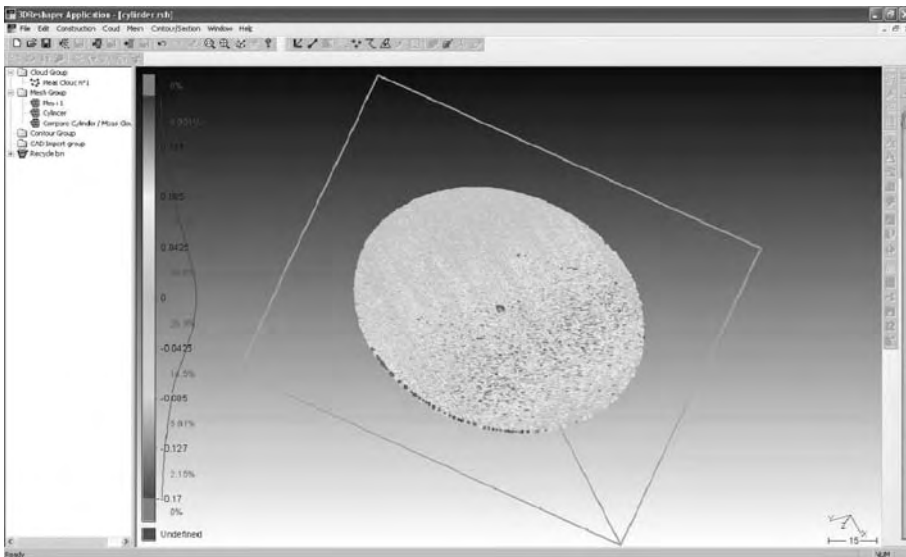
Przeprowadzono pomiary tłoka na Współrzędnościowym Ramieniu Pomiarowym Omega 2025 firmy Romer wyposażonym w głowicę skanującą RX2-Scan. Pomiar powtórzony został dziesięciokrotnie. W wyniku przeprowadzonych pomiarów otrzymano w programie 3D Reshaper zeskanowaną powierzchnię w postaci chmury punktów. Poprzez użycie funkcji „najlepszego dopasowania” („best fit”) w wykorzystywanym oprogramowaniu, model CAD (otrzymany z pomiarów na WMP) oraz rzeczywisty model zmierzony zostały ze sobą pokryte. Efekty

funkcji „najlepszego dopasowania” otrzymane w jednym z cykli pomiarowych widoczne są na rysunku 4.



**Rys. 4.** Najlepsze dopasowanie elementu w programie 3D Reshaper wraz z zaznaczonymi odchyłkami

**Fig. 4.** „Best fit” of cloud of measured points and CAD model presented with deviations in 3D Reshaper software



**Rys. 5.** Wyznaczenie błędu kształtu (płaskości)

**Fig. 5.** Presentation of flatness error for piston top plane

Analizując otrzymane wyniki w sposób wizualny można stwierdzić, że najlepiej odwzorowana została górna płaszczyzna tłoka, z mniejszą dokładnością udało się wyznaczyć powierzchnię walcową oraz otwory. Według obliczeń programu w przedziale dokładności zadeklarowanym przez producenta ramienia pomiarowego wynoszącym  $\pm 0,14\text{mm}$  zmieściło się 36,2% punktów. W przedziale  $\pm 0,4\text{mm}$  znalazło się 63,8 % punktów. Również analiza liczbowa otrzymanych wyników potwierdza przedstawione powyżej fakty. Program daje możliwość oceny odchyłki kształtu wybranego elementu przez porównanie go z elementem idealnym. Z modelu, za pomocą funkcji „Clean/Separation point Cloud” została usunięta część punktów, w ten sposób, aby pozostała tylko górna płaszczyzna. Następnie w opcji „Best shape” wybrana została płaszczyzna (Plane). Porównanie dało wyniki widoczne na rys. 5. Średni błąd kształtu dla płaszczyzny wyznaczony z wyników wszystkich cykli pomiarowych wyniósł 0,170mm. Niepewność rozszerzona wyznaczenia błędu kształtu wyniosła  $U=0,073\text{mm}$ .

W podobny sposób jak powyżej przeprowadzono analizę wyników dla odwzorowania kształtu walca. W tym przypadku wyniki są gorsze i wynoszą odpowiednio: błąd walcowości dla tłoka jest równy 0,247mm, a niepewność rozszerzona wyznaczenia tego parametru wynosi  $U=0,132\text{mm}$ .

## WNIOSKI

Otrzymane wyniki badań wskazują, iż dokładność odwzorowania kształtu realizowanego na współrzędnościowym ramieniu pomiarowym wyposażonym w głowicę skanującą waha się w przedziale od 0,07mm do 0,14mm i jest uzależniona od badanego kształtu. Wyniki przedstawione w artykule oraz inne wyniki badań przeprowadzonych przez autorów wskazują, że najlepsze rezultaty otrzymywane są dla kształtów płaskich. Gorsze wyniki otrzymywane są dla kształtów cylindrycznych oraz stożkowatych. Często pojawia się również problem z odwzorowaniem detali, do których dostęp w trakcie pomiaru jest ograniczony.

Przeprowadzając analizę porównawczą wyników pomiarów tłoka na WMP typu PMM oraz WRP otrzymano nieco gorsze rezultaty. Traktując model CAD, sporządzony na podstawie wyników otrzymanych na maszynie PMM, jako wzorzec otrzymano następujące rezultaty: punkty, których odległość od modelu jest mniejsza lub równa  $\pm 0,14\text{mm}$  stanowiły 36,2% wszystkich punktów pomiarowych. W przedziale  $\pm 0,4\text{mm}$  znalazło się 63,8% punktów. Błędy otrzymane tą drogą mogą być zawyżone z kilku powodów. Po pierwsze model CAD nie uwzględnia rzeczywistych błędów kształtu występujących w tłoku (wyniki z ramienia pomiarowego są rzeczywistym odwzorowaniem powierzchni mierzonej, a więc uwzględniają błędy kształtu). Kolejną przyczyną może być niedokładne działanie algorytmu „najlepszego dopasowania”, który nasuwa chmurę punktów na model CAD.

Współrzędnościowe Ramiona Pomiarowe wyposażone w głowice skanujące mogą być z powodzeniem wykorzystywane w przemyśle, szczególnie w przypadku, gdy pożądanym jest szybkie utworzenie reprezentacji badanego obiektu w postaci modelu CAD oraz wymagane są pomiary bezpośrednio w miejscu wytworzenia czy też montażu części. Decyzja o zastosowaniu WRP zależy również od wymaganej dokładności pomiarowych. W tych przypadkach, kiedy bardzo precyzyjne pomiary nie są wymagane, a liczy się ich prostota i szybkość, ramie pomiarowe jest z całą pewnością głównym urządzeniem, które powinno zostać wzięte pod rozwagę.

## PIŚMIENNICTWO

1. Ratajczyk E.: Ramiona pomiarowe - budowa, parametry techniczne, zastosowania. *Mechanik* nr 12/2008.
2. Ratajczyk E.: *Współrzędnościowa Technika Pomiarowa*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
3. Sładek J.: *Modelowanie i ocena dokładności maszyn i pomiarów współrzędnościowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
4. Sładek J., Sokal G., Kmita A., Ostrowska K.: *Wzorcowanie Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych (WRP)*. *Acta Mechanica et Automatica*, vol.1, no.2 (2007).
5. Sładek J., Ostrowska K., Gąska A.: *Wirtualne Współrzędnościowe Ramie Pomiarowe (WWRP)*, PAK, nr 01/2010.

## EVALUATION OF SHAPE MAPPING ACCURACY FOR MEASUREMENTS PERFORMED ON COORDINATE MEASURING ARM EQUIPPED WITH OPTICAL PROBE

### Summary:

Measurements can be performed by use of various measuring techniques. Nowadays in era of constant development of manufacturing methods and metrology, it is important to evaluate accuracy of shape mapping of measured objects. This paper shows method of evaluation of shape mapping accuracy for measurements performed on Coordinate Measuring Arm (CMA) equipped with scanning probe RX2-Scan. As a measuring object engine piston has been taken. Piston had been previously calibrated on Leitz PMM 12106 Coordinate Measuring Machine (CMM) and then taken as a standard to perform measurements on CMA. Reconstruction of this same part coordinate system during measurements on CMA and CMA increased reproducibility of measurements. Presented method is a comparison method that is based on usage of more accurate measuring machine to calibrate object and then use it as a standard to check accuracy of machine that is less precise.

**Keywords:** measuring arm, uncertainty, shape mapping.