

Analiza porównawcza dokładności pomiarów wybranymi współrzędnościowymi technikami pomiarowymi

MARIUSZ MURAWSKI, ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI, MACIEJ MATUSZEWSKI, OLEG POLISHCHUK *

W artykule scharakteryzowano współrzędnościową technikę pomiarową. Opisano istotę współrzędnościowych pomiarów. Dokonano analizy porównawczej pomiarów charakterystycznych cech geometrycznych (odcinek, promień) przykładowego krzywoliniowego przedmiotu. Pomiarów dokonano na trzech rodzajach maszyn współrzędnościowych, metodą stykową za pomocą konturografu, współrzędnościowej maszyny pomiarowej oraz metodą bezstykową za pomocą maszyny optycznej. Wskazano możliwości tych metod.

Wprowadzenie

Współrzędnościowa technika pomiarowa to stosunkowo młoda dziedzina pomiarów wielkości geometrycznych. Obecnie przeżywa ona dynamiczny rozwój dzięki możliwości automatyzacji pomiarów, integracji z systemami CAD/CAM oraz zastosowania komputerowej analizy i archiwizacji wyników pomiarów. Współrzędnościowa technika pomiarowa ma zastosowanie zarówno w laboratoriach, jak i w różnych dziedzinach przemysłu. Nowoczesne współrzędnościowe

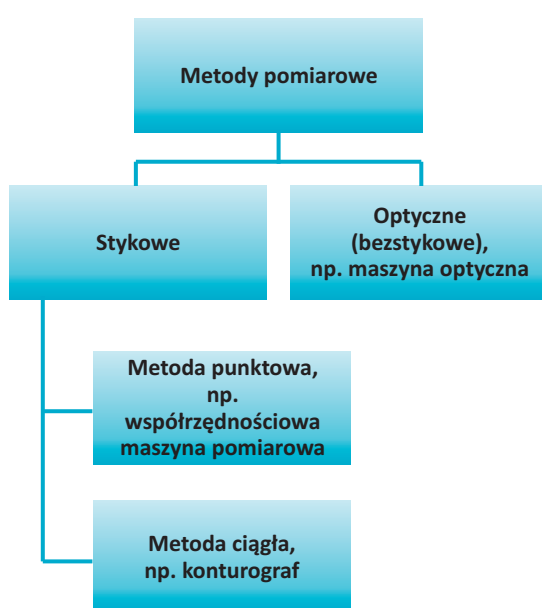
metody pomiarowe dają możliwości usprawnień kontroli jakości. Skrócenie czasu kontroli, możliwość zastosowania jednej maszyny pomiarowej do różnych, skomplikowanych typów geometrii, lub możliwość pomiaru w czasie rzeczywistym, sprawiają, że współrzędnościowe metody pomiarowe stają się coraz bardziej powszechne [2, 8, 9].

Pomiary oparte na współrzędnościowej technice pomiarowej wykonuje się za pomocą maszyn pomiarowych. Maszyna pomiarowa jest to urządzenie, gdzie układ pomiarowy oparty jest na wzorcu inkrementalnym lub kreskowym. W takich maszynach pomiar odbywa się w jednym kierunku [5, 6, 7].

Maszyny pomiarowe to między innymi [2, 3]:

- długościomierz pionowy i poziomy,
- wysokościomierz,
- konturograf,
- mikroskop pomiarowy, maszyna optyczna,
- projektor,
- współrzędnościowa maszyna pomiarowa.

W dwóch pierwszych maszynach występuje pomiar jedno-współrzędnościowy. Konturograf, mikroskopy, maszyny optyczne oraz projektory opierają się przede wszystkim na pomiarze dwuwspółrzędnościowym. Na współrzędności-



Rys. 1. Podział metod pomiarowych ze względu na sposób zbierania pomiarów

* Mgr inż. Mariusz Murawski – TZMO S.A. – Bella Sp. z o.o., Toruń, mgr inż. Andrzej Wojciechowski – ODEKA – Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Bydgoszcz, dr hab. inż. Maciej Matuszewski, prof. PBS – Politechnika Bydgoska, e-mail: matus@pbs.edu.pl, prof. Oleg Polishchuk – Narodowy Uniwersytet Techniczny, Chmielnicki, Ukraina.

wych maszynach pomiarowych można także dokonywać pomiarów przestrzennych, ponieważ opierają się na pomiarze trójwspółrzędnościowym.

Istnieją różne podziały współrzędnościowych metod pomiarowych [1]. Biorąc pod uwagę budowę maszyny, podziału można dokonać ze względu na wzajemne oddziaływanie urządzenia z mierzoną powierzchnią (rys. 1).

Metoda stykowa ciągła polega na ciągłym styku przyrządu z detalem w trakcie pomiaru przedmiotu. Metoda stykowa punktowa polega na stykowym zbieraniu określonej liczby punktów potrzebnych do określenia danej geometrii. W trakcie zbierania pomiarów metodą optyczną cały proces odbywa się bezstykowo, np. za pomocą mikroskopu.

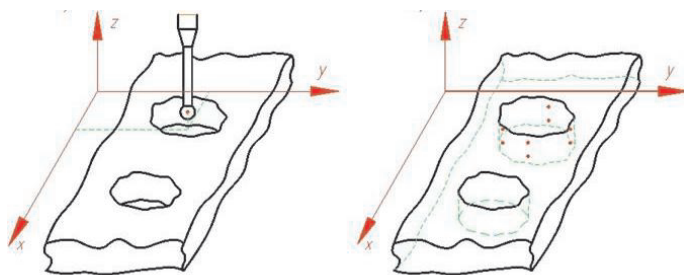
Potrzeba dużej dokładności pomiarów, produkcja elementów o skomplikowanych kształtach geometrycznych, konieczność efektywnego procesu produkcyjnego i kontroli jakości, sprawia, że obecnie wprowadza się coraz więcej udoskonaleń w systemach pomiarowych. W artykule dokonano analizy porównawczej trzech współrzędnościowych metod pomiarowych: stykowej ciągłej, stykowej punktowej oraz bezstykowej – optycznej. Wynikiem tej analizy jest określenie powtarzalności oraz dokładności pomiarów.

Istota współrzędnościowej techniki pomiarowej

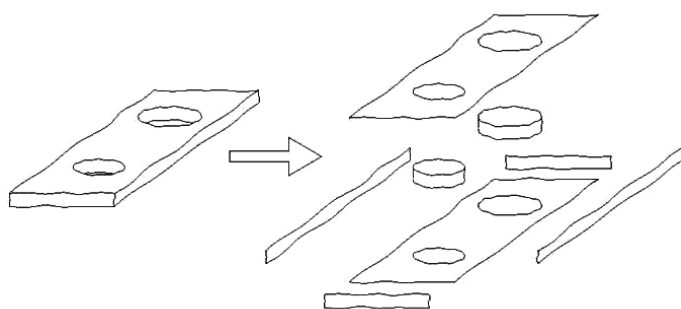
Pomiary współrzędnościowe charakteryzują się nieco inną zasadą wyznaczania wymiarów geometrycznych od klasycznych metod pomiarowych wykorzystujących przyrządy jednozadaniowe, takie jak mikromierz czy średnicówka. Proces pomiarowy w przypadku maszyn pomiarowych polega na pomiarze wartości współrzędnych w osi lub osiach X, Y, Z (w zależności od rodzaju maszyny), pojedynczych punktów na powierzchni mierzonego przedmiotu. W większości klasycznych maszyn pomiarowych (z wyjątkiem maszyn hybrydowych i ramion przenośnych) pomiar odbywa się w układzie współrzędnych kartezjańskich, tzn. ruchome zespoły pomiarowe maszyny przemieszczają się w jednym, dwóch lub trzech kierunkach. Kierunki te w przypadku pomiarów 2D i 3D są wzajemnie prostopadłe [2, 3].

Do lokalizacji punktów mierzonego przedmiotu w przestrzeni pomiarowej współrzędnościowej maszyny pomiarowej (WMP) służy głowica pomiarowa, natomiast do pomiaru ich położenia wykorzystywane są linały pomiarowe znajdujące się w każdej z osi maszyny. Na tym etapie wymiary mierzonego przedmiotu oraz odchyłki kształtu i położenia jego elementów nie są jeszcze znane. Niezbędny jest do tego proces obliczeniowy. Na podstawie zarejestrowanych współrzędnych poszczególnych punktów pomiarowych (rys. 2), komputer maszyny wyznacza figury geometryczne, z których składa się element mierzony (rys. 3).

Gdy potrzebne parametry zostaną zebrane, model rzeczywisty zostaje zastąpiony typowymi elementami geometrycznymi, takimi jak np.: punkty, proste, płaszczyzny, okręgi, kule, walce, stożki. Cechy tych figur geometrycznych są wymiarami, a odległości poszczególnych punktów pomiarowych od zdefiniowa-



Rys. 2. Zbieranie współrzędnych punktów mierzonego przedmiotu [4]



Rys. 3. Rozbijanie przedmiotu na proste elementy geometryczne [4]

nych elementów odniesienia to odchyłki kształtu. Wzajemne odległości figur geometrycznych wchodzących w skład mierzonego elementu oraz odchyłki położenia obliczane są również przez oprogramowanie maszyny współrzędnościowej.

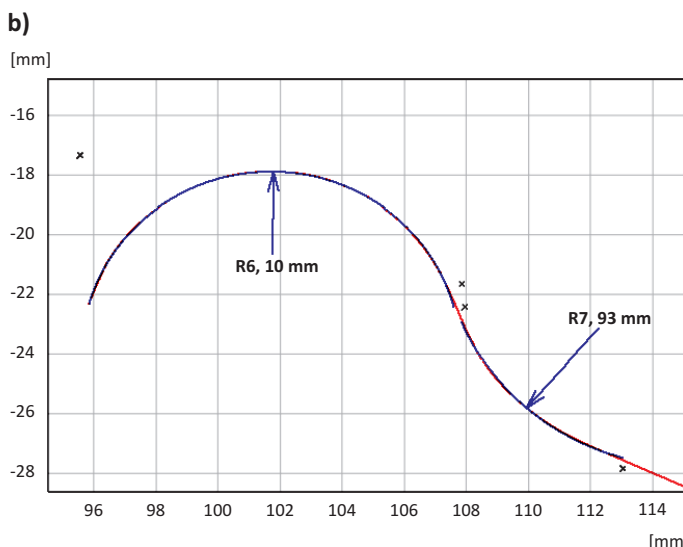
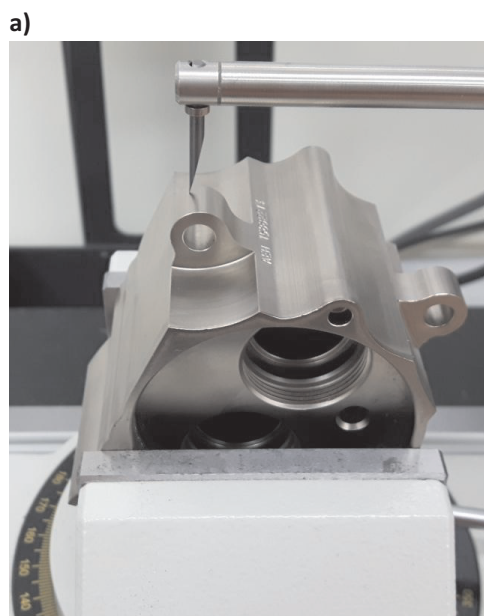
Za pomocą maszyn współrzędnościowych można zmierzyć i skontrolować wymiar liniowy oraz kątowy w dowolnym miejscu w przestrzeni. Możliwe jest także sprawdzenie odchyłki kształtu i położenia. Mają one zastosowanie przy pomiarach wielu przedmiotów, takich jak: części pneumatyki, karoserie samochodowe, odlewy, koła zębate itp.

Maszyny współrzędnościowe posiadają cechy, które wyróżniają je spośród wykorzystujących inne metody pomiarowe [10]:

- możliwość stosowania ich w zautomatyzowanych liniach i centrach obróbkowych,
- duża wydajność pracy – czas kontroli skraca się nawet o 60 ÷ 90%, w szczególności przy bardzo złożonych detalach,
- możliwość automatycznego zbierania wyników pomiarów,
- duża uniwersalność – możliwość pomiarów detali o bardzo złożonej i skomplikowanej budowie, z którymi występowałyby trudności przy innych narzędziach pomiarowych,
- oprogramowanie umożliwiające archiwizowanie danych oraz ich analizę – w łatwy sposób można generować wykresy czy statystyki ułatwiające interpretację zebranych pomiarów,
- możliwość dokonania wielu pomiarów jedną maszyną w jednym zamocowaniu – tradycyjną metodą konieczne jest użycie kilku przyrządów pomiarowych.

Analiza porównawcza dokładności pomiarów wybranych współrzędnościowych technik pomiarowych

Przedmiotowej analizie dokonano na podstawie pomiarów charakterystycznych cech geometrycznych (odcinek, promień) przykładowego krzywoliniowego przedmiotu. Pomiarów dokonano na trzech rodzajach maszyn współrzędnościowych,



Rys. 4. Przedmiot badań: a) fizyczny pomiar geometrii dwóch promieni, b) wygenerowany wykres pomiarowy

metodą stykową za pomocą konturografu Contracer CV-3200 i współrzędnościowej maszyny pomiarowej CRYSTA-APEX S oraz metodą bezstykową za pomocą maszyny optycznej Quick Scope serii QS z systemem pomiarowym CNC. Obiekt badań podzielono na 2 strefy pomiarowe, w których były przyjęte do pomiarów charakterystyczne cechy geometryczne. Pomiarów powtarzano 5 razy na każdej maszynie pomiarowej.

Pierwsza strefa pomiarowa obejmowała pomiar dwóch promieni, jeden charakteryzował się wypukłością – R_1 , a drugi wklęsłością – R_2 (rys. 4).



W tabeli 1 przedstawiono wartości średnie oraz rozrzut wyników dla pierwszej strefy pomiarowej zawierającej dwa promienie.

Druga strefa pomiarowa obejmowała pomiar promienia oraz odcinka prostoliniowego (rys. 5).

W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie oraz rozrzut wyników dla drugiej strefy pomiarowej zawierającej promień (R_3) oraz odcinek prostoliniowy.

Do pomiarów z wykorzystaniem konturografu i maszyny optycznej nie było potrzebne dodatkowe oprzyrządowanie. W celu wykonania pomiarów na współrzędnościowej maszynie pomiarowej konieczne było natomiast zastosowanie

reklama

Tabela 1. Wyniki pomiaru pierwszej strefy pomiarowej zawierającej dwa promienie

Konturograf	cecha geometryczna	promień R_1 (mm)	promień R_2 (mm)
	średnia	6,120	7,458
	rozrzut	0,050	0,660
Współrzędnościowa maszyna pomiarowa	cecha geometryczna	promień R_1 (mm)	promień R_2 (mm)
	średnia	6,113	7,527
	rozrzut	0,022	0,029
Maszyna optyczna	cecha geometryczna	promień R_1 (mm)	promień R_2 (mm)
	średnia	6,082	7,423
	rozrzut	0,042	0,084

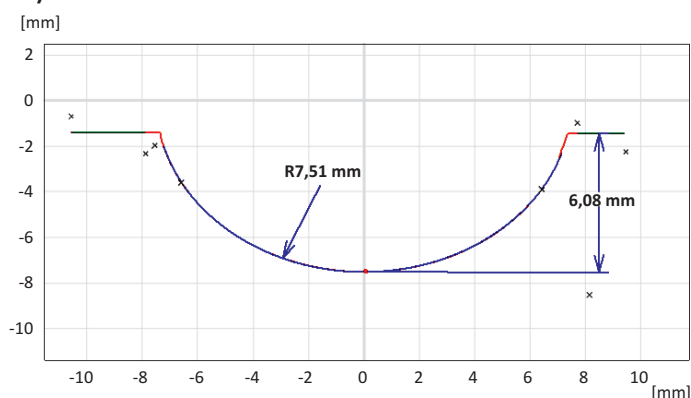
Tabela 2. Wyniki pomiaru drugiej strefy pomiarowej zawierającej promień i odcinek prostoliniowy

Konturograf	cecha geometryczna	promień R_3 (mm)	odległość (mm)
	średnia	7,510	6,068
	rozrzut	0,049	0,050
Współrzędnościowa maszyna pomiarowa	cecha geometryczna	promień R_3 (mm)	odległość (mm)
	średnia	7,507	6,069
	rozrzut	0,020	0,030
Maszyna optyczna	cecha geometryczna	promień R_3 (mm)	odległość (mm)
	średnia	7,524	5,998
	rozrzut	0,099	0,045

a)



b)



Rys. 5. Przedmiot badań: a) fizyczny pomiar geometrii promienia i odcinka prostoliniowego, b) wygenerowany wykres pomiarowy

dwóch różnych końcówek pomiarowych, co wynikało z geometrii przedmiotu. Przebrojenie maszyny wpływa więc niekorzystnie na szybkość przeprowadzenia kontroli w warunkach rzeczywistych.

Pomiary na współrzędnościowej maszynie pomiarowej, dla wszystkich realizowanych pomiarów, charakteryzują się jednak najmniejszym i stabilnym rozrzutem wyników pomiarów. Z uwagi na powtarzalność pomiarów, a więc na większą dokładność pomiaru, jest to niewątpliwą zaletą tej metody. Stabilność rozrzutu wyników pomiarów można również zaobserwować dla pomiarów na konturografie. Natomiast najmniejszą stabilność rozrzutu zarejestrowano dla optycznej metody pomiaru, co można tłumaczyć zjawiskiem odbłasku. Z uwagi na połyskliwy obiekt badań, oświetlenie przedmiotu w maszynie optycznej powoduje zakłócenia pomiaru. Planując zastosowanie maszyn optycznych do kontroli należy, więc uwzględnić strukturę powierzchni kontrolowanego przedmiotu. Przy bardzo wąskiej tolerancji wykonania danego przedmiotu, należałoby rozważyć zastosowanie innych współrzędnościowych metod pomiarowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań można również stwierdzić, że całościowo wyniki pomiarów były do siebie bardzo zbliżone, niezależnie od przyjętej metody. Różnice

wartości pomiędzy średnimi z uzyskanych pomiarów wahają się w przedziale od 0,031 do 0,170 mm. Tak więc, z punktu widzenia przydatności badanych metod do pomiarów, można stwierdzić, że każda metoda jest poprawna i możliwa do zastosowania. O ostatecznej przydatności danej metody może zdecydować zakres narzuconej tolerancji wykonania przedmiotu.

Podsumowanie

Współrzędnościowa technika pomiarowa jest metodą, która z uwagi na automatyczny pomiar znacznie skraca czas kontroli w stosunku do pomiarów klasycznych. Dokładność pomiaru z uwagi na powtarzalność pomiarów oraz możliwości pomiaru cyfrowego jest zadowalająca. Kolejną wyraźną zaletą tych metod jest możliwość pomiaru elementów o złożonej rzeźbie geometrycznej. Dodatkowo, w wielu sytuacjach można dokonać pomiaru w jednym zamocowaniu, co z kolei poza szybkością wykonania kompleksowych pomiarów, umożliwia pomiar elementów wielkogabarytowych bez konieczności manewrowania nimi.

Spośród badanych metod najbardziej dokładną metodą, okazała się metoda pomiaru z zastosowaniem współrzędnościowej metody pomiarowej. Charakteryzuje się ona najmniejszym rozrzutem wyników pomiaru, wynoszącym dla przeprowadzonych pomiarów maksymalnie 0,03 mm.

Literatura

1. Adamczak S.: Metrologia geometryczna powierzchni technologicznych. PWN Warszawa 2023.
2. Durczak K.: Pomiary wielkości geometrycznych w technice, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Warszawa 2012.
3. Jakubiec W., Malinowski J., Metrologia wielkości geometrycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
4. Jakubiec W., Zator S., Majda P.: Metrologia, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa 2014.
5. Norma PN-EN ISO 10360-1:2003, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Badania odbiorcze i okresowe współrzędnościowych maszyn pomiarowych (CMM) – Część 1: Terminologia.
6. Norma PN-N-02050:1971, Metrologia – Nazwy i określenia.
7. Praca zbiorowa: Internationale Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, Wydanie polskie: Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii, ISO (International Organization for Standardization), GUM, Warszawa 1996.
8. Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa: maszyny i roboty pomiarowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
9. Ratajczyk E., Woźniak A.: Współrzędnościowe systemy pomiarowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
10. Zawada J.: Metrologia wielkości geometrycznych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2011.