

*pomiary, błęd pomiarów, odchyłki pomiarów, analiza pomiarów, urządzenia pomiarowe  
measurements, measurement errors, measurement deviations, analysis of the measurements, measuring devices*

Jan CIECIELĄG<sup>1</sup>  
Robert PLUTA<sup>2</sup>

## ANALIZA POMIARÓW WYBRANYCH CZĘŚCI MASZYN REALIZOWANYCH ZA POMOCĄ RÓŻNYCH TECHNIK POMIAROWYCH

Nowoczesne współrzędnościowe urządzenia pomiarowe pozwalają na bardziej dokładne pomiary elementów maszyn. Zastosowanie tych urządzeń pozwala na zastąpienie dotychczasowych technik pomiarowych. Z uwagi na wysokie koszty eksploatacji tych urządzeń należy wziąć pod uwagę tradycyjne metody pomiarów. Na podstawie pomiarów wybranych elementów maszyn, za pomocą różnych narzędzi pomiarowych wykazano, że w wielu przypadkach drogie urządzenie można zastąpić typowymi, dotychczas stosowanymi przyrządami pomiarowymi.

## THE ANALYSIS OF MEASUREMENT OF SELECTED PARTS OF MACHINES IMPLEMENTED DIFFERENT MEASUREMENT TECHNIQUES

The modern coordinate-measuring machines allow for a more accurate measurement of machine parts. Use of these devices allows for the replacement of existing measurement techniques. Due to the high cost of operating this equipment must take into account the traditional methods of measurement. On the basis of the measurements of selected machine elements using a variety of tools has been shown, that in many cases the expensive device can be replace conventional, previously used measuring instruments.

### 1. WSTĘP

Celem pracy jest wykonanie pomiarów wybranych części maszyn, a także analiza pod względem celowości wykorzystania przyrządów i ich dokładności. Pomiarów dokonano z użyciem dostępnych i obecnie stosowanych przyrządów pomiarowych.

Głównym przyrządem pomiarowym stosowanym do pomiarów długości i kątów jest WMP Dea Image firmy Brown & Sharpe. Dzięki swojej uniwersalności umożliwia wykonanie pomiarów wszelkiego rodzaju wymiarów zewnętrznych, wewnętrznych i mieszanych. Maszyna wykonuje również pomiary kształtu i położenia. Jest wykorzystywana przede wszystkim do pomiarów części o skomplikowanych kształtach, których pomiar z użyciem tradycyjnych przyrządów i metod jest niemożliwy bądź niezwykle czasochłonny i wymaga wysoko wykwalifikowanej kadry inżynierskiej. Dlatego przed przystąpieniem do pomiaru należałoby wiedzieć, czy jej użycie można zastąpić tradycyjnymi metodami pomiarów.

Z praktyki wynika, że do względnie prostych pomiarów wykorzystywane są konwencjonalne przyrządy pomiarowe. Skonstruowane są one do wykonywania mniejszej liczby zadań sprowadzających się np.: w przypadku średnicówki wewnętrznej do pomiaru jedynie średnic wewnętrznych, czy chociażby w przypadku transametry, do pomiaru jedynie średnic zewnętrznych. Atutem takich przyrządów jest ich prostota użycia i krótki czas pomiaru.

Jednym z głównych aspektów przy wyborze przyrządu pomiarowego do pomiaru jest jego dokładność. Przyjmuje się, że jego błędy graniczne nie powinny przekraczać 10% tolerancji wymiaru. W praktyce przemysłowej bardzo często odstępuje się od tego kryterium ze względu na posiadany sprzęt pomiarowy i jego zazwyczaj większe niedokładności. Natomiast poznanie i nabyte doświadczenie w posługiwaniu się danym przyrządem pozwalają uniknąć ewentualnych pomyłek w ocenie pomiaru.

### 2. POMIARY ŚREDNIC PIERŚCIENIA

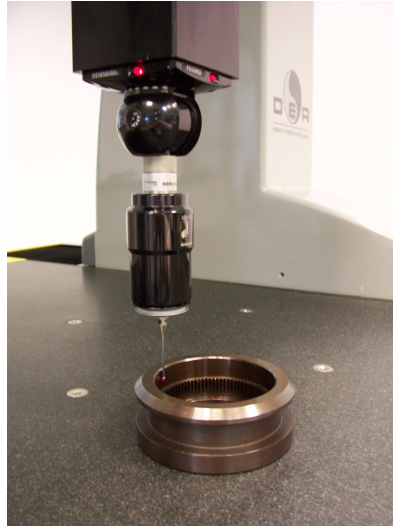
#### 2.1. Pomiar średnicy wewnętrznej

Mierzoną średnicą wewnętrzną jest  $\varnothing 90$  H7 wykonana na długości 17 [mm]. Celem pomiaru jest wyznaczenie przybliżonej wartości średnicy otworu, wraz z podaniem przedziału, w którym z dużym prawdopodo-

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny, Wydział Mechaniczny 26-600 Radom; tel.: +48 48 361-71-62;  
e-mail: j.ciecielag@uthrad.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny, Wydział Mechaniczny 26-600 Radom

bieństwem zawarta jest prawdziwa wartość liczbowa. Usytuowanie części i sposób pomiaru za pomocą WMP przedstawiono na rysunku 1.



*Rys. 1. Pomiar średnicy wewnętrznej  $\varnothing 90$  [mm] z wykorzystaniem WMP*

Średnica wyznaczona została za pomocą elementu skojarzonego typu *okrąg* zbudowanego z 22 punktów pomiarowych rozmieszczonych równomiernie na średnicy otworu. Pomiar powtórzono kilkunastokrotnie w kilku płaszczyznach na całej długości otworu.

Następnie dokonano pomiaru za pomocą średnicówki trójpunktowej HOLEMATIC XT wykonując go kilkunastokrotnie w różnych punktach. Zastosowanie tego typu pomiaru, ze względu na budowę przyrządu, umożliwia jedynie wykrycie ewentualnego błędu trójgraniastości. Wykrycie błędu owalności i stożkowości jest niemożliwe. Sposób pomiaru za pomocą średnicówki przedstawiono na rysunku 2.



*Rys. 2. Pomiar średnicy wewnętrznej  $\varnothing 90$  [mm] z wykorzystaniem średnicówki HOLEMATIC XT*

Wyniki pomiarów z obu metod zestawiono w tabeli 1.

Wyniki pomiarów wskazują na to, iż badana średnica  $\varnothing 90$  H7 zmierzona za pomocą WMP wykonana została w tolerancji, a jej uśredniony wynik wynosi 90,009 [mm], natomiast jej błąd kształtu wynosi 0,0063 [mm]. Otwór prócz błędu owalności wielkości 0,0063 [mm], posiada również błąd stożkowości rzędu 0,0060 [mm]. Błąd ten został wyliczony jako różnica największej i najmniejszej zmierzonej średnicy. Wyznaczony okrąg przylegający wpisany wyniósł 90,0066 [mm] przy kształcie 0,0058 [mm], co potwierdza wyznaczanie okręgu średniego metodą najmniejszych kwadratów.

Uśredniony wynik pomiarów z użyciem średnicówki wynosi 90,006 [mm], przy błędzie kształtu 0,003 [mm]. Błąd kształtu wyliczono jako różnica największej i najmniejszej zmierzonej średnicy. Znaczące różnice w pomiarach, pomiędzy użytymi przyrządami, spowodowane są owalnością i stożkowością otworu zwężającą się ku górze. W tym wypadku niemożliwe jest wyznaczenie tego błędu przez średnicówkę trójszczekową, której

szczęki opierały się jedynie na najmniejszej zmierzonej średnicy wynoszącej 90,006 [mm]. Jako prawidłowy wynik należy przyjąć pomiar z WMP, wraz z jej niedokładnością. Niedokładność pomiaru na długości 90 [mm] wynosi:  $\pm 2$  [ $\mu\text{m}$ ]. Ostatecznie średnicę  $\text{Ø}90$  H7 wykonano 90,009 [mm]  $\pm 2$  [ $\mu\text{m}$ ].

Tab. 1. Zestawienie wyników pomiarów średnicy wewnętrznej  $\text{Ø}90$  H7, wykonanych za pomocą WMP i średnicówki HOLEMATIC XT

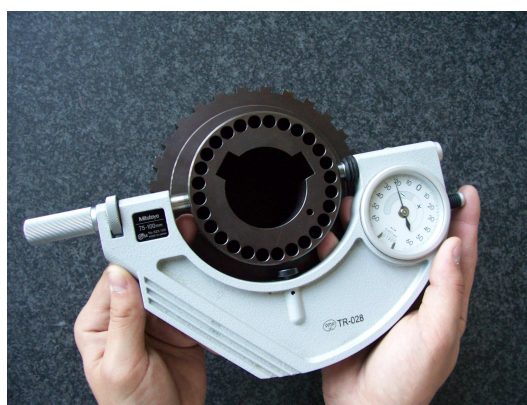
Lp.	Pomiar za pomocą WMP Dea Image		Pomiar za pomocą średnicówki HOLEMATIC XT
	Średnica [mm]	Błąd kształtu [mm]	Średnica [mm]
1.	90,0063	0,0061	90,005
2.	90,0075	0,0070	90,004
3.	90,0076	0,0064	90,006
4.	90,0083	0,0057	90,005
5.	90,0093	0,0071	90,005
6.	90,0091	0,0063	90,007
7.	90,0092	0,0057	90,006
8.	90,0089	0,0052	90,007
9.	90,0093	0,0059	90,005
10.	90,0098	0,0062	90,006
11.	90,0097	0,0074	90,004
12.	90,0101	0,0070	90,007
13.	90,0123	0,0061	90,006
$\bar{x}$	90,0090	0,0063	90,006

## 2.2. Pomiar średnicy zewnętrznej

Mierzoną średnicą zewnętrzną jest  $\text{Ø}95$  H7 wykonana na długości 13 [mm]. Celem pomiaru jest wyznaczenie przybliżonej wartości średnicy tulei, wraz z podaniem przedziału, w którym z dużym prawdopodobieństwem zawarta jest prawdziwa wartość liczbowa.

Średnica wyznaczona została za pomocą elementu skojarzonego typu *okrąg* zbudowanego z 22 punktów pomiarowych rozmieszczonych równomiernie na średnicy tulei. Pomiar powtórzono kilkunastokrotnie w kilku płaszczyznach na całej długości tulei.

Następnie dokonano pomiaru za pomocą transametry z wbudowanym czujnikiem, kilkunastokrotnie w różnych pozycjach. Zastosowanie tego typu pomiaru w niniejszym przykładzie, ze względu na budowę przyrządu, umożliwia jedynie wykrycie ewentualnego błędu owalności. Wykrycie błędu trójgraniastości jest niemożliwe. Sposób pomiaru za pomocą transametry przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Pomiar średnicy zewnętrznej  $\text{Ø}95$  [mm] z wykorzystaniem transametry z wbudowanym czujnikiem

Wyniki pomiarów z obu metod zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie wyników pomiarów średnicy zewnętrznej  $\varnothing 95$  H7, wykonanych za pomocą WMP i transametri z wbudowanym czujnikiem

Lp.	Pomiar za pomocą WMP Dea Image		Pomiar za pomocą transametri
	Średnica [mm]	Błąd kształtu [mm]	Średnica [mm]
1.	94,9691	0,0068	94,975
2.	94,9723	0,0032	94,968
3.	94,9698	0,0063	94,971
4.	94,9785	0,0055	94,974
5.	94,9745	0,0070	94,972
6.	94,9707	0,0058	94,969
7.	94,9711	0,0060	94,977
8.	94,9720	0,0053	94,968
9.	94,9754	0,0068	94,976
10.	94,9699	0,0067	94,977
11.	94,9753	0,0044	94,971
12.	94,9706	0,0061	94,975
13.	94,9761	0,0069	94,973
$\bar{x}$	94,9727	0,0059	94,973

Wyniki pomiarów wskazują na to, iż badana średnica  $\varnothing 95$  H7 zmierzona za pomocą WMP wykonana została w tolerancji, a jej uśredniony wynik wynosi 94,9727 [mm], natomiast jej błąd kształtu wynosi 0,0059 [mm]. Otwór wykonano z błędem trójgraniastości, wielkości 0,0059 [mm]. Wyznaczony okrąg przylegający opisany wyniósł 94,9765 [mm] przy kształcie 0,0058 [mm], co potwierdza wyznaczanie okręgu średniego metodą najmniejszych kwadratów. Uśredniony wynik pomiarów z użyciem transametri wynosi 94,973 [mm], przy błędzie kształtu 0,009 [mm].

Pomiar transametrem, ze względu na jego budowę, nie pozwala na wykrycie zauważonej wcześniej trójgraniastości. Możliwe jest jednak wykrycie ewentualnej owalności. Pomiarzy przyrządami wzajemnie się potwierdziły swoimi wynikami. Można więc stwierdzić że tego typu średnicę można zastąpić pomiarem jedynie transametrem. Jako prawidłowy wynik możemy przyjąć uśredniony pomiar z transametri, wraz z jego niedokładnością. Niedokładność podana przez producenta wynosi:  $\pm 1$  [ $\mu\text{m}$ ]. Ostatecznie średnicę  $\varnothing 95$  H7 wykonano  $94,973$  [mm]  $\pm 1$  [ $\mu\text{m}$ ].

### 3. POMIARY WYMIARÓW LINIOWYCH

#### 3.1. Pomiar wymiaru zewnętrznego

Mierzonym wymiarem liniowym zewnętrznym jest długość  $440 + 0,1/ - 0,2$  [mm]. Celem pomiaru jest wyznaczenie przybliżonej wartości długości części, wraz z podaniem przedziału, w którym z dużym prawdopodobieństwem zawarta jest prawdziwa wartość liczbowa.

Długość wyznaczona została za pomocą elementów skojarzonych typu *płaszczyzna*. Płaszczyzna bazowa znajduje się na powierzchni płyty pomiarowej, natomiast płaszczyznę mierzonej długości zbudowano z 24 punktów pomiarowych rozmieszczonych na płaszczyźnie czoła. Pomiar powtórzono kilkunastokrotnie w losowo wybranych punktach pomiarowych, rozmieszczonych na całej powierzchni czoła.

Następnie pomiaru dokonano za pomocą wysokościomierza cyfrowego MICRO-HITE Plus M 600, oraz z wykorzystaniem suwmiarki MarCal 18 ESA. Pomiarów dokonano kilkunastokrotnie w różnych pozycjach. Sposób pomiarów za pomocą wysokościomierza i suwmiarki przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

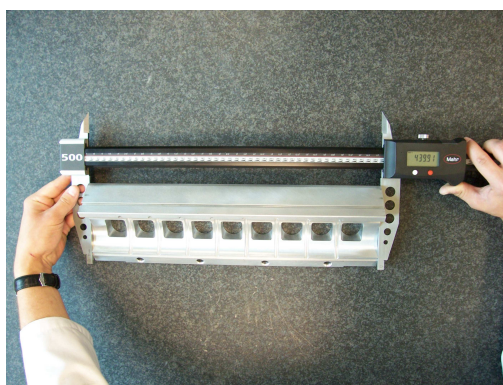
Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3.

Wyniki pomiarów wskazują na to, iż badana długość  $440 + 0,1/ - 0,2$  [mm], zmierzona za pomocą WMP wykonana została w tolerancji, a jej uśredniony wynik wynosi 439,8884 [mm]. Mierzona płaszczyzna posiada błąd kształtu wynoszący 0,0031 [mm]. Należy zwrócić uwagę że kształt powierzchni podany jest jedynie dla jednej z płaszczyzn. Kształt płaszczyzny bazowej można całkowicie pominąć, ponieważ znajduje się na powierzchni stołu pomiarowego. Równoległość płaszczyzn wyniosła 0,0012 [mm].

Uśredniony wynik pomiarów z użyciem wysokościomierza wynosi 439,887 [mm], przy błędzie kształtu 0,005 [mm]. Trzecim wykorzystanym przyrządem jest suwmiarka o dużo prostszej budowie od poprzednich przyrządów. Uśredniony wynik pomiarów z użyciem suwmiarki wynosi 439,89 [mm], przy błędzie kształtu 0,040 [mm]. Dużo większy błąd wynika z niedokładności pomiarowej suwmiarki, oraz z trudności utrzymania jednakowej siły docisku szczęk. Pomimo tego, uśrednienie pomiarów dało ten sam wynik co poprzednie przyrządy pomiarowe. Można stwierdzić, iż rodzaj i tolerancja wymiaru pozwala na użycie suwmiarki. Jako prawi-



**Rys. 4.** Pomiar wymiaru liniowego zewnętrznego 440 [mm] z wykorzystaniem wysokościomierza cyfrowego MICRO-HITE Plus M 600



**Rys. 5.** Pomiar wymiaru liniowego zewnętrznego 440 [mm] z wykorzystaniem suwmiarki MarCal 18 ESA

**Tab. 3.** Zestawienie wyników pomiarów wymiaru liniowego zewnętrznego 440 [mm], wykonanych za pomocą WMP, wysokościomierza cyfrowego i suwmiarki

Lp.	Pomiar za pomocą WMP Dea Image		Pomiar za pomocą wysokościomierza cyfrowego	Pomiar za pomocą suwmiarki
	Długość [mm]	Błąd kształtu [mm]	Długość [mm]	Długość [mm]
1.	439,8914	0,0037	439,886	439,89
2.	439,8899	0,0022	439,885	439,90
3.	439,8874	0,0034	439,887	439,89
4.	439,8885	0,0034	439,889	439,89
5.	439,8889	0,0037	439,886	439,91
6.	439,8883	0,0015	439,890	439,89
7.	439,8874	0,0036	439,885	439,91
8.	439,8870	0,0036	439,888	439,89
9.	439,8885	0,0032	439,890	439,90
10.	439,8882	0,0028	439,890	439,91
11.	439,8878	0,0034	439,886	439,89
12.	439,8876	0,0030	439,887	439,88
13.	439,8888	0,0031	439,886	439,87
$\bar{x}$	439,8884	0,0031	439,887	439,89



dłowy wynik można przyjąć pomiar suwmiarki, wraz z jej niedokładnością. Niedokładność suwmiarki dla danego zakresu wynosi  $\pm 30$  [ $\mu\text{m}$ ]. Ostatecznie wymiar liniowy zewnętrzny  $440 + 0,1/ - 0,2$  [mm] wykonano  $439,89 \pm 30$  [ $\mu\text{m}$ ].

### 3.2. Pomiar wymiaru wewnętrznego

Mierzonym wymiarem liniowym zewnętrznym jest długość  $134 + 0,05/ + 0,15$  [mm]. Celem pomiaru jest wyznaczenie przybliżonej wartości szerokości kanału, wraz z podaniem przedziału, w którym z dużym prawdopodobieństwem zawarta jest prawdziwa wartość liczbowa.

Długość wyznaczona została za pomocą elementów skojarzonych typu *plaszczyna*. Płaszczyzna bazowa zbudowana z 26 punktów pomiarowych znajduje się na jednej z powierzchni mierzonego kanału, drugą płaszczyzną mierzonego dystansu zbudowano z 19 punktów pomiarowych rozmieszczonych na przeciwległej ścianie. Pomiar powtórzono kilkunastokrotnie w losowo wybranych punktach pomiarowych, rozmieszczonych na całej powierzchni mierzonego dystansu. Następnie pomiaru dokonano za pomocą wysokościomierza cyfrowego MICRO-HITE Plus M 600, oraz z wykorzystaniem suwmiarki ABSOLUTE Digimatic. Pomiarów dokonano kilkunastokrotnie w różnych pozycjach.

Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Zestawienie wyników pomiarów wymiaru liniowego wewnętrznego 134 [mm], wykonanych za pomocą WMP, wysokościomierza cyfrowego i suwmiarki

Lp.	Pomiar za pomocą WMP Dea Image		Pomiar za pomocą wysokościomierza cyfrowego	Pomiar za pomocą suwmiarki
	Długość [mm]	Błąd kształtu [mm]	Długość [mm]	Długość [mm]
1.	134,0994	0,0146	134,113	134,11
2.	134,0960	0,0138	134,101	134,08
3.	134,1046	0,0157	134,095	134,10
4.	134,0985	0,0129	134,098	134,12
5.	134,1029	0,0121	134,100	134,11
6.	134,1011	0,0133	134,111	134,09
7.	134,0990	0,0148	134,099	134,10
8.	134,1005	0,0125	134,098	134,11
9.	134,1122	0,0131	134,096	134,09
10.	134,0975	0,0148	134,106	134,09
11.	134,0982	0,0129	134,101	134,10
12.	134,0995	0,0122	134,097	134,11
13.	134,0969	0,0136	134,098	134,09
$\bar{x}$	134,1005	0,0136	134,101	134,10

Wyniki pomiarów wskazują na to, iż badana długość  $134 + 0,05/ + 0,15$  [mm], zmierzona za pomocą WMP wykonana została w tolerancji, a jej uśredniony wynik wynosi 134,1005 [mm]. Mierzona płaszczyzna posiada błąd kształtu wynoszący 0,0136 [mm]. Baza pomiarowa, czyli płaszczyzna od której mierzona jest odległość znajduje się na pierwszej z płaszczyzn, jej błąd kształtu wynosi 0,0129 [mm]. Równoległość płaszczyzn wyniosła 0,0095 [mm].

Uśredniony wynik pomiarów z użyciem wysokościomierza wynosi 134,101 [mm], przy błędzie kształtu 0,020 [mm]. Przy tym pomiarze należy zwrócić uwagę na sposób bazowania się do pomiaru. Detal ustawiono na przyłomie, jedną z obrabionych powierzchni bocznych. Płaszczyzna wybrana do bazowania się, przed pomiarem została sprawdzona pod względem prostopadłości i równoległości do mierzonych płaszczyzn. Odchyłka nie przekraczała 0,01 [mm]. Trzecim wykorzystanym przyrządem jest suwmiarka.

Uśredniony wynik pomiarów z użyciem suwmiarki wynosi 134,10 [mm], przy błędzie kształtu 0,040 [mm]. Dużo większy kształt wynika z niedokładności pomiarowej suwmiarki, oraz z trudności utrzymania jednakowej siły docisku szczęk. Jest to jeszcze trudniejsze niż przy pomiarze wymiaru zewnętrznego, ze względu na wąskie szczęki pomiarowe. Ponadto pomiaru można dokonać jedynie przy obrzeżach kanału ze względu na niewystarczającą długość szczęk. Pomimo tego, uśrednienie pomiarów dało ten sam wynik co poprzednie przyrządy pomiarowe. Jednak ze względu na niewystarczającą długość szczęk i niedokładność przyrządu, należy ten pomiar odrzucić, unikając ewentualnych błędów. Jako prawidłowy wynik można przyjąć pomiar z wysokościomierza, wraz z jej niedokładnością. Niedokładność dla danego zakresu wynosi  $\pm 2,2$  [ $\mu\text{m}$ ]. Ostatecznie wymiar liniowy wewnętrzny  $134 + 0,05/ + 0,15$  [mm] wykonano  $134,101 \pm 2,2$  [ $\mu\text{m}$ ].

#### 4. WNIOSKI

- Ciągłe doskonalenie narzędzi pomiarowych i sposobów pomiaru ma znaczący wpływ na poprawę jakości produkcji, a także na zwiększenie postępu technicznego, zwłaszcza w tych dziedzinach, w których są stawiane coraz większe wymagania dokładnościowe.
- Na wynik i błąd pomiaru w dużym stopniu wpływa właściwość metrologiczna przyrządu pomiarowego będąca cechą charakteryzującą ten przyrząd.
- Właściwy dobór narzędzi pomiarowych do pomiarów długości i kątów odgrywa decydującą rolę w procesach technologicznych, ponieważ pozwala na poprawne monitorowanie przebiegu tych procesów i w porę podejmowanie odpowiednich decyzji.
- Doboru narzędzi pomiarowych należy przeprowadzić już na etapie projektowania procesu technologicznego i na tej podstawie dostosować lub opracować instrukcje pomiarów, ponieważ w innym wypadku może się okazać że nie będziemy w stanie przeprowadzić pomiarów dostępnymi przyrządami pomiarowymi.
- Ponieważ narzędzia pomiarowe mierzące z dużą dokładnością są znacznie droższe od powszechnie stosowanych (o małych dokładnościach), należy uwzględnić celowość zastosowania danego narzędzia.
- Technika współrzędnościowa charakteryzuje się odmienną od klasycznej metrologii strategią pomiarową. Opanowanie jej wymaga odpowiedniej wiedzy, a także zmiany nawyków związanych z tradycyjnymi pomiarami, niezbędna jest zmiana filozofii myślenia metrologicznego.
- Pomiary współrzędnościowe cechują się dużą obiektywnością dzięki znacznemu uniezależnieniu się od wpływu operatora i jego błędów, jak również pełnej powtarzalności warunków pomiaru takich samych przedmiotów w przypadku pomiarów realizowanych w trybie CNC.
- Dysponując maszyną pomiarową, występuje znaczne skrócenie czasu pomiaru, jako że wszystkie wymiary są mierzone jednym przyrządem.
- Współrzędnościowa technika pomiarowa jest praktycznie pozbawiona problemów związanych ze zgodnością baz pomiarowych, ponieważ nie wymaga ona fizycznej zgodności baz, a więc nie wpływa to na dokładność pomiaru.
- Wykorzystanie technik współrzędnościowych pozwala zwolnić inżyniera od wykonywania rutynowych klasycznych pomiarów i czasochłonnych obliczeń.;

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Praca zbiorowa pod redakcją Barzykowskiego J.: *Współczesna metrologia - zagadnienia wybrane*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2004
- [2] Jakubiec W., Malinowski J.: *Metrologia wielkości geometrycznych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2004.
- [3] Jakubiec W., Malinowski J.: *Metrologia wielkości geometrycznych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1993.
- [4] Praca zbiorowa pod redakcją Beka J.: *Poradnik metrologa warsztatowego*.
- [5] Biały S.: *Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
- [6] Adamczyk S., Makieła W.: *Podstawy metrologii i inżynierii jakości dla mechaników*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2010.
- [7] Jezierski J.: *Analiza tolerancji i niedokładności pomiarów w budowie maszyn*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1994.
- [8] Kujan K.: *Techniki, miernictwo i elementy systemów pomiarowych w budowie maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2001.
- [9] Jezierski J.: *Analiza tolerancji w konstrukcji i technologii maszyn*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2010.
- [10] Ratajczyk E.: *Współrzędnościowa technika pomiarowa*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
- [11] Kujan K.: *Techniki i systemy pomiarowe w budowie maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2004.
- [12] Ratajczyk E.: *Współrzędnościowa technika pomiarowa – maszyny i roboty pomiarowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1994.
- [13] Abramowicz H.: *Jak analizować wyniki pomiarów?*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1992.
- [14] Katalog przyrządów pomiarowych Mitutoyo PL-18001. 2013.
- [15] Katalog produktów Bowers Metrology 13/14. 2013.
- [16] Katalog produktów Jenoptik. 10/2011.
- [17] Katalog produktów Tesa Technology 38-PL. 2012.
- [18] Katalog produktów Hoffmann Group 2013/2014.