

# Wyznaczenie dwuwymiarowej niedokładności pomiaru wewnątrzobrabiarkowego systemu pomiarowego z zastosowaniem sondy OMP60

Elżbieta Jacniacka, Leszek Semotiuł, Marek Babkiewicz

Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska

**Streszczenie:** Sondy przedmiotowe coraz częściej są standardowym wyposażeniem obrabiarek CNC. Wykorzystywane są do pomiaru wymiarów geometrycznych między zabiegami technologicznymi oraz do kontroli po zakończeniu obróbki. W artykule przedstawiono i porównano wyniki wyznaczania dwuwymiarowej niedokładności pomiaru z wykorzystaniem płytek wzorcowych i pierścienia wzorcowego.

**Słowa kluczowe:** niepewność pomiaru, sonda przedmiotowa, obrabiarka CNC

## 1. Wstęp

Sondy przedmiotowe, zwane także sondami inspekcyjnymi, coraz częściej są standardowym wyposażeniem obrabiarek CNC. Pierwotnie przeznaczone były do określenia położenia przedmiotu w przestrzeni roboczej obrabiarki. Obecnie zakres ich zastosowania znacznie się rozszerzył. Możliwe to było dzięki rozwojowi oprogramowania wspomagającego sam proces pomiaru, a także integrującego procesy pomiarowe i wytórcze. O ciągłym rozwoju techniki pomiarowej bazującej na przedmiotowych sondach pomiarowych świadczy również integracja programów pomiarowych z systemami sterowania obrabiarek w postaci specjalnych interfejsów programowych. Jako przykład można tutaj podać systemy PC-DMIS NC GAGE lub STEP-NC. Systemy te umożliwiają tworzenie cykli pomiarowych bez wykorzystania postprocesorów. Pozwalają też na tworzenie raportów z przeprowadzonych pomiarów. Każde z tych zastosowań wymaga określenia niedokładności pomiaru.

## 2. Niedokładność pomiaru sondami przedmiotowymi

Prace badawcze prowadzone w ośrodkach krajowych i zagranicznych zmierzają m.in. w kierunku integracji procesów projektowania technologii i kontroli w celu zwiększenia efektywności procesu produkcji CLM (ang. *closed-loop machining*) [1–5], możliwości i sposobów wykorzystania przedmiotowych sond pomiarowych w procesach kontroli [6], porównania dokładności pomiarów prowadzonych na maszynach CMM i CNC [7], czy też próby oceny błędów dokładności pozycjonowania pięcioosiowych obrabiarek CNC na podstawie pomiarów prowadzonych za pomocą sond przedmiotowych na podstawie opracowanego teoretycznego modelu matematycznego [8–10].

Niezwykle istotne znaczenie ma poznanie charakterystyki metrologicznej wykorzystywanego toru pomiarowego. Producenci obrabiarek nie badają niepewności pomiaro-

wej wewnątrzobrabiarkowych systemów pomiarowych wykorzystujących sondy przedmiotowe.

Wyznaczenie niepewności pomiaru sondą przedmiotową jest zagadnieniem złożonym. Producenci sond przedmiotowych, jako parametr charakteryzujący niedokładność podają zazwyczaj powtarzalność jednokierunkową ( $2\sigma$ ). Jest to tylko jeden z wielu składników budżetu niepewności. Do innych składników można zaliczyć kierunek dojazdu końcówki do przedmiotu mierzonego [11] i powtarzalność mocowania sondy we wrzecionie obrabiarki [12]. Do pomiaru sondami wykorzystywane są układy sterująco-pomiarowe obrabiarki. Dlatego dokładności: geometryczna i kinematyczna obrabiarki, stosowanych wzorców i pozycjonowania mają znaczący wpływ na dokładność pomiarów [3, 4, 11]. Nie opracowano dotąd jednolitych metod wyznaczania niepewności pomiaru systemu pomiarowego z zastosowaniem sondy inspekcyjnej.

W pracach [3, 4] autorzy oceniają niedokładność pomiaru, wykorzystując różnicę między wynikiem pomiaru średnicy otworu sondą a maszyną współrzędnościową. W pracy [13] autorzy wykorzystują różnicę między zmierzonymi sondą wymiarami przed i po pierwszym oraz drugim przejściem narzędzia obróbkowego. Przedstawione w [3, 4, 11, 13] wyniki pomiarów i ocena niedokładności systemu pomiarowego z sondą inspekcyjną, służyły (po zastosowaniu wybranych metod matematycznych) do korekcji toru narzędzia, co według autorów dało spodziewane rezultaty poprawy jakości wyrobu. Jednak zaprezentowane metody wyznaczania niedokładności nie mogą być stosowane do oceny niedokładności kontroli wymiarów między zabiegami i po zakończeniu obróbki. Takie zastosowanie może znaleźć metoda oparta na pomiarze końcowych wzorców długości [14], według procedur przeznaczonych do sprawdzania współrzędnościowych maszyn pomiarowych.

W Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji wykonano pomiary jednoosiowej niedokładności pomiaru dla każdej z osi obrabiarki z użyciem końcowych wzorców długości. Wyniki pomiarów zaprezentowano w pracy [14]. W niniejszym artykule przedstawione zostaną wyniki badań dwuosiowej niepewności pomiaru.

## 3. Budowa stanowiska pomiarowego

System pomiarowy składa się z centrum obróbkowego FV 580A z systemem sterowania Fanuc 0iMC wyposażonego w bezpośredni układ pomiarowy oraz ze stykowej sondy przedmiotowej OMP 60 firmy Renishaw. Maksymalne przesuwu stołu i wrzeciona obrabiarki wynoszą dla osi X – 580 mm, osi Y – 420 mm i dla osi Z – 520 mm. Obrabiarka znajduje się na wyposażeniu Katedry Podstaw

Inżynierii Obróbki i wykorzystywana jest do prowadzenia prac badawczych przez pracowników katedry oraz na potrzeby prowadzonych prac dyplomowych.

Parametry techniczne sondy przedmiotowej zamieszczono w publikacji [14]. Do programowania cykli pomiarowych wykorzystano program komputerowy Productivity+. Sonda była wyposażona w ceramiczny trzpień pomiarowy o długości 100 mm zakończony kulką rubinową o średnicy 6 mm. Powtarzalność jednokierunkowa sondy  $2\sigma$  wynosiła  $\pm 1 \mu\text{m}$ . Sonda OMP60 zastosowana do pomiarów na potrzeby niniejszego artykułu jest sondą wykorzystywaną tylko do prowadzenia badań naukowych. Czas pracy tej sondy szacuje się na około 12 h. Autorzy artykułu założyli, że niepewność przełączania mechanizmu sondy pomiarowej jest zgodna z danymi producenta. Ponadto zgodnie z instrukcją obsługi [15] niepewność przełączania sondy powinna zostać skompensowana podczas procesu kalibracji.

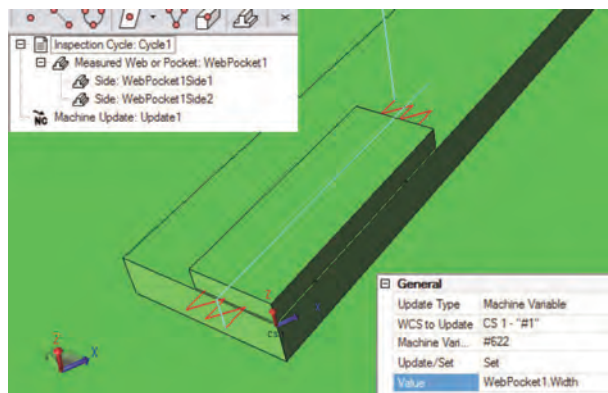
Przed przystąpieniem do pomiarów sondę skalibrowano w sprawdzianie pierścieniowym. Jako końcowe wzorce długości stosowano płytki wzorcowe klasy 1 o następujących długościach: 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm i 300 mm. Płytki wzorcowe podpierano w punktach Airy'ego na waleczkach pomiarowych o średnicy 1,010 mm. Płytki ustawiano wzdłuż przekątnej stołu obrabiarki pod kątem  $28^\circ$ .

#### 4. Metodyka pomiarów

Przedmiotem badań było wyznaczenie dwuosiowej niepewności pomiaru wewnątrzobrabiarkowego układu pomiarowego. W tym celu dokonano pomiarów płytek wzorcowych ustawionych wzdłuż przekątnej stołu obrabiarki, oraz pierścienia wzorcowego ustawionego w dwóch pozycjach: w środku i na końcu przekątnej stołu obrabiarki.

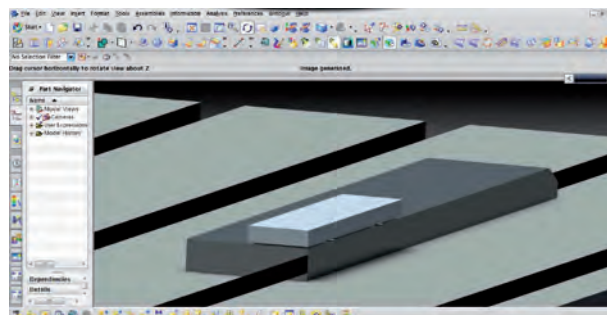
Długość płytki mierzona była jako odległość dwóch punktów na płaszczyźnie pomiarowej płytki. Płytki wzorcowe oraz sprawdzian pierścieniowy przed pomiarem ustawiono na stole obrabiarki i pozostawiono na 72 h w celu wyrównania temperatury. Ponadto do monitorowania temperatury otoczenia i stołu obrabiarki wykorzystano stację meteo, która znajduje się na wyposażeniu interferometru laserowego LSP30. Różnica temperatury podczas wykonywania pomiarów wahała się w granicach  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Dla wszystkich płytek wzorcowych wykonano po piętnaście powtórzeń pomiaru zgodnie z zaleceniami zawartymi w [16].

W celu ustabilizowania parametrów obrabiarki w trakcie pomiarów, obrabiarkę włączono na godzinę przed wy-



Rys. 1. Model bryłowy obiektu badań

Fig. 1. Block model of the research object



Rys. 2. Definicja cyklu pomiarowego w programie Productivity+

Fig. 2. Measuring cycle definition in Productivity+

Tab. 1. Wyniki pomiarów płytek wzorcowych

Tab. 1. Gauge blocks measurement results

Nr pom.	Płytką 50 [mm]	Płytką 100 [mm]	Płytką 150 [mm]	Płytką 200 [mm]	Płytką 300 [mm]
1	50,0067	100,0038	150,0118	200,0256	300,0014
2	50,0082	100,0040	150,0131	200,0216	299,9983
3	50,0071	100,0021	150,0128	200,0245	299,9977
4	50,0056	100,0032	150,0124	200,0258	300,0010
5	50,0087	100,0016	150,0131	200,0257	299,9989
6	50,0091	100,0020	150,0106	200,0234	299,9980
7	50,0095	100,0018	150,0121	200,0239	299,9996
8	50,0106	100,0016	150,0103	200,0240	299,9999
9	50,0076	99,9995	150,0113	200,0202	299,9988
10	50,0113	99,9990	150,0111	200,0190	299,9992
11	50,0098	100,0016	150,0891	200,0237	299,9972
12	50,0097	99,9996	150,0106	200,0242	299,9971
13	50,0108	99,9998	150,0103	200,0264	300,0013
14	50,0110	100,0008	150,0116	200,0238	299,9983
15	50,0105	100,0013	150,0118	200,0217	299,9980

konaniem serii pomiarowych, a następnie przeprowadzono jedną próbną serię pomiarową, której wyniki nie były brane pod uwagę.

Pierwszym etapem prac badawczych było opracowanie modelu płytek wzorcowych w programie NX (rys. 1).

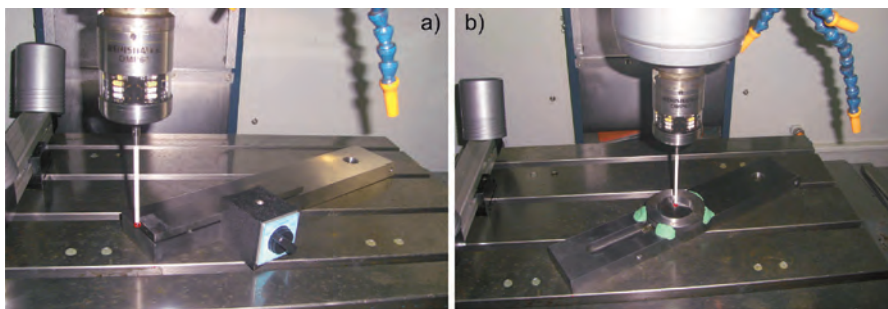
Kolejnym etapem było zaimportowanie modeli bryłowych do programu Productivity+, wykorzystanego do planowania procesów pomiarowych płytek wzorcowych, ustalenie punktu zerowego mierzzonego układu, zdefiniowanie cyklu pomiarowego (Cycle1) oraz ustalenie sposobu archiwizacji wyniku pomiaru (Machine Variable #622) (rys. 2). Tak skonfigurowany program pomiarowy pozwolił na wygenerowanie kodu sterującego pracą obrabiarki. Do progra-

**Tab. 2.** Wyniki pomiarów pierścienia wzorcowego  
**Tab. 2.** Gauge rings measurement results

Nr pomiaru	Pierścień 50 [mm] I ustawienie	Pierścień 50 [mm] II ustawienie
1	49,9450	49,9440
2	49,9440	49,9410
3	49,9520	49,9470
4	49,9540	49,9490
5	49,9540	49,9440
6	49,9500	49,9480
7	49,9520	49,9520
8	49,9480	49,9440
9	49,9440	49,9450
10	49,9490	49,9450
11	49,9470	49,9440
12	49,9460	49,9530
13	49,9460	49,9440
14	49,9470	49,9450
15	49,9420	49,9490

mowania cykli pomiarowych pierścienia wykorzystano pakiet Inspection Plus, zainstalowany przez producenta sondy w systemie sterowania obrabiarki. Widok cyklu pomiarowego podczas pomiaru płytki pokazano na rys. 3. Wyniki pomiarów przedstawiono w tab. 1 i 2.

W cyklu pomiarowym przedstawionym na rys. 2 mierzone były współrzędne trzech punktów na każdej płaszczyźnie pomiarowej płytki wzorcowej, w celu wyznaczenia ich równania. Algorytm obliczeniowy programu Productivity+, odległość pomiędzy płaszczyznami wyznacza jako długość odcinka linii w zdefiniowanym kierunku, między punktami przebiecia ze zmierzonymi płaszczyznami.



**Rys. 3.** Pomiar: a) płytki wzorcowej 100 mm b) pierścienia wzorcowego 50 mm

**Fig. 3.** Measurement of a) gauge block 100 mm b) gauge ring 50 mm

## 5. Analiza wyników

Analiza wyników pomiarów, uzyskanych podczas badań eksperymentalnych, została przeprowadzona zgodnie z dokumentem EA-4/02 [16]. Niepewność rozszerzona została wyznaczona z zależności (1).

$$U = k \cdot u_c \quad (1)$$

gdzie:  $u_c$  – niepewność standardowa złożona,  $k$  – współczynnik rozszerzenia, zazwyczaj  $2 \leq k \leq 3$ .

Współczynnik  $k = 2$  został przyjęty zgodnie z dokumentem EA-4/02.

Złożona niepewność została obliczona z zależności:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_l^2 + u_R^2 + u_{\cos}^2} \quad (2)$$

gdzie:  $u_c$  – złożona niepewność standardowa,  $u_A$  – niepewność standardowa obliczona metodą A,  $u_L$  – niepewność długości wzorca,  $u_R$  – niepewność wynikająca z rozdzielczości,  $u_{\cos}$  – niepewność ustawienia wzorca.

Niepewność standardowa  $u_A$  została obliczona z zależności (3).

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

gdzie:  $n$  – liczba pomiarów w serii,  $i$  – numer pomiaru,  $x_i$  – wynik kolejnych obserwacji w serii,  $\bar{x}$  – średnia arytmetyczna.

Niepewność długości wzorca została oszacowana metodą typu B. Przy obliczaniu niepewności długości płytki wzorcowej skorzystano z zależności (4), przyjmując prostokątny rozkład prawdopodobieństwa.

$$u_L = \frac{t_c}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Wartości  $t_c$  dla płytek użytych w badaniach przedstawione zostały w tab. 3.

Niepewność wynikająca z rozdzielczości układu pomiarowego została również oszacowana metodą typu B. W tym przypadku przyjęto trójkątny rozkład prawdopodobieństw, a za wartość  $a$  przyjęto zmienność wartości mierzonej powodującą zmiany wskazania.

$$u_R = \frac{0,001}{\sqrt{6}} \quad (5)$$

Błąd cosinusa dla płytek wzorcowych został oszacowany również metodą typu B, przyjmując prostokątny rozkład prawdopodobieństwa. Wartość  $c$  została wyznaczona, jako różnica wartości nominalnej płytki wzorcowej oraz wartości długości płytki odchylonej o kąt  $\alpha = \pm 20^\circ$ .

Taka wartość wynika ze sposobu ustalania położenia płytek wzorcowych względem układu współrzędnych obrabiarki.

$$u_{\cos} = \frac{c}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

Na rys. 4 przedstawiono schemat zależności geometrycznych, który posłużył do wyznaczenia wartości  $c$ .

Błąd poprawności przyjęto, jako systematyczny błąd wskazania

$$L = \bar{L} + P_{EX} + P_T \quad (7)$$

gdzie:  $L$  – długość płytki,  $\bar{L}$  – średnia arytmetyczna z serii pomiarów,  $P_{EX}$  – poprawka wynikająca z systematycznego błędu wskazania,  $P_T$  – poprawka temperaturowa.

Zgodnie z dokumentem EA-4/02 poprawkę wynikającą z systematycznego błędu wskazania obliczono z zależności:

$$P_{EX} = -x \quad (8)$$

gdzie:  $Ex$  – systematyczny błąd wskazania.

**Tab. 3.** Odchyłki graniczne względem długości nominalnej płytki

**Tab. 3.** Deviation limit from nominal length of gauge blocks

Wartość nominalna wzorca [mm]	$t_c$ [ $\mu\text{m}$ ]
50	0,4
100	0,6
150	0,8
200	1,0
300	1,4

**Tab. 4.** Analiza wyników dla płytek wzorcowych

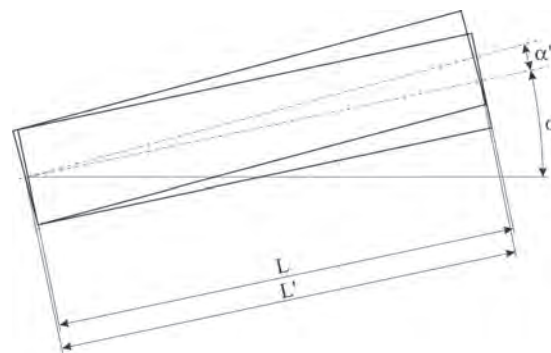
**Tab. 4.** Analysis of gauge blocks measurement results

Długość płytki [mm]	50	100	150	200	300
Średnia [mm]	50,009	100,001	150,0116	200,0236	299,9990
Niepewność standardowa $u_A$ [mm]	0,0004	0,0004	0,0003	0,0005	0,0004
Niepewność długości wzorca $u_L$ [mm]	0,0002	0,0003	0,0005	0,0006	0,0008
Niepewność rozdzielczości układu $u_R$ [mm]	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Niepewność wynikająca z błędu cosinusa $u_{\cos}$ [mm]	0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,0013
Złożona niepewność $u_c$ [mm]	0,0006	0,0008	0,0009	0,0012	0,0016
Niepewność rozszerzona $U$ [mm]	0,0012	0,0016	0,0018	0,0024	0,0032
Poprawka PEX [mm]	-0,0091	-0,0014	-0,0116	-0,0236	0,0010

**Tab. 5.** Analiza wyników dla pierścienia wzorcowego

**Tab. 5.** Analysis of gauge ring measurement results

	I pozycja pierścienia	II pozycja pierścienia
Średnia [mm]	49,9480	49,9463
Niepewność standardowa $u_A$ [mm]	0,0010	0,0009
Niepewność długości wzorca $u_L$ [mm]	0,0003	0,0003
Niepewność rozdzielczości układu $u_R$ [mm]	0,0004	0,0004
Złożona niepewność $u$ [mm]	0,0011	0,0010
Niepewność rozszerzona $U$ [mm]	0,0022	0,0020
Poprawka $P_{EX}$ [mm]	+0,0552	+0,0537



**Rys. 4.** Schemat do wyznaczenia wartości  $c = L' - L$

**Fig. 4.** Scheme to determine value  $c = L' - L$

Systematyczny błąd wskazania obliczany jest z zależności:

$$Ex = \bar{L} - Ln \quad (9)$$

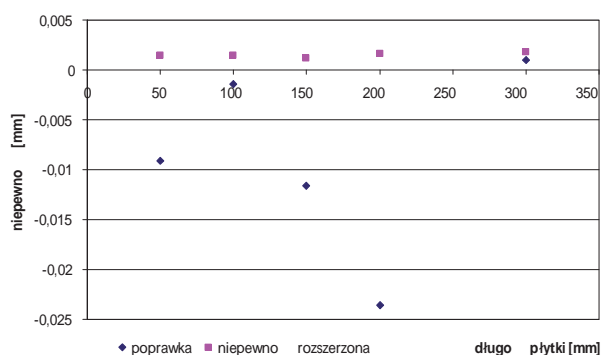
Poprawkę temperaturową pominięto. Ponieważ w celu wyrównania temperatury płytek wzorcowych oraz wzorców systemu pomiarowego, wzorce zostały pozostawione na stole obrabiarki na 72 h.

Analizując wyniki przedstawione w tab. 4 można zauważyć, że niepewność standardowa typu A (wynikająca z powtarzalności pomiarów) przyjmuje małe wartości i dla całego badanego zakresu pomiarowego nie przekracza  $0,5 \mu\text{m}$ . Natomiast złożona niepewność standardowa zależy od długości mierzonej płytki wzorcowej. Jest to wynikiem dwóch składowych – niepewności długości wzorca i niepewności wynikającej z dokładności ustawienia  $u_{\cos}$ . Dla przedmiotów wykonanych na obrabiarce, składnik niepewności wynikający z dokładności ustawienia może nie być brany pod uwagę, ponieważ zgodność położenia mierzonych płaszczyzn z założonym modelem, zależna jest od dokładności wykonania. Powtarzalność badanego systemu pomiarowego jest na zadowalającym poziomie, na-



tomiast błąd wierności przyjął duże wartości. Na rys. 5. zaprezentowano porównanie wartości poprawek i wartości niepewności rozszerzonej.

Porównując wyniki zaprezentowane w tab. 4 z wynikami wyznaczania niepewności jednoosiowej [14, 17], można stwierdzić, że dla płytek o długościach 50, 100, 150 i 300 mm takie wartości poprawek wynikają z dokładności geometrycznej obrabiarki, natomiast dla płytki o długości 200 mm taka duża wartość błędu systematycznego jest spowodowana prawdopodobnie mało dokładnym ustawieniem.



**Rys. 5.** Wartości poprawek i niepewności rozszerzonej w zależności od długości płytki

**Rys. 5.** Value of corrections and expanded uncertainty depending on block length

Zaprezentowane w tabeli wyniki pomiarów pierścienia wzorcowego pokazują, że niepewność standardowa typu A jest prawie dwukrotnie wyższa niż dla płytki o długości 200 mm (najgorszy przypadek). Również poprawki dla pierścienia wzorcowego mają znacznie większe wartości niż dla płytek wzorcowych i to dla obydwu położen pierścienia. Położenie pierścienia na stole obrabiarki nie ma wpływu na wartość niepewności pomiaru. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że można przyjąć hipotezę o równości wariancji i równości średnich (test Fishera na poziomie ufności  $\alpha = 0,95$ ).

## 6. Wnioski

Przeprowadzona analiza wyników prowadzi do sformułowania następujących wniosków:

- niedokładność pomiaru wewnątrzobrabiarkowego systemu pomiarowego zależy od dokładności geometrycznej obrabiarki,
- na niedokładność (rozumianą jako suma błędów systematycznych i przypadkowych) mają większy wpływ błędy wierności,
- różnice w wynikach wyznaczania dwuwymiarowej niedokładności pomiarów dla pierścienia i płytek wzorcowych wynika z różnicy w kompensacji promienia kulki trzpienia pomiarowego dla okręgów i płaszczyzn,
- dla elementów typu żebra i kieszenie niepewność pomiaru powinna być wyznaczana za pomocą płytek wzorcowych, natomiast dla otworów – w oparciu o pomiary pierścieni wzorcowych.

## Bibliografia

1. Duan X., Wang X., Liu W., Liu H., Huo Y., *Development of on-line inspection system for machine center based on CAD*, International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China 2008.
2. Zhao F., Xu X., Xie S., *STEP-NC enabled on-line inspection in support of closed-loop machining*, "Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", 24/2008, 200–216.
3. Kwon Y., Tseng T. L., Ertekin Y., *Characterization of closed-loop measurement accuracy in precision CNC milling*, "Robot Computer-Integrated Manufacturing", 22(4) 2006, 288–296.
4. Kwon Y., Jeongb M. K., Omiaomu O. A., *Adaptive support vector regression analysis of closed-loop inspection accuracy*, "International Journal of Machine Tools & Manufacture", 46/2006, 603–610.
5. Kumara S., Nassehia A., Newman S. T., Allenb R. D., Tiwaric M. K., *Process control in CNC manufacturing for discrete components: A STEP-NC compliant framework*, "Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", 23/2007, 667–676.
6. Wang W., Lu K., Chen Z., *Study on edge detection based on sampling in CNC non-contact measuring system*, "International Technology and Innovation Conference", Hangzhou, China 2006.
7. Kamińska-Krzowska B., Semotiuk L., Czerw M., *Analiza możliwości zastosowania sondy przedmiotowej do kontroli czynnej na pionowym centrum obróbkowym FV580A*, „Acta mechanica at automatica”, vol. 1, no 2, 2007.
8. Lei W. T., Hsu Y. Y., *Accuracy test of five-axis CNC machine tool with 3D probe-ball. Part I: design and modeling*, "International Journal of Machine Tools & Manufacture", 42/2002, 1153–1162.
9. Lei W. T., Hsu Y. Y., *Accuracy test of five-axis CNC machine tool with 3D probe-ball. Part II: errors estimation*, "International Journal of Machine Tools & Manufacture" 42/2002, 1163–1170.
10. Lei W. T., Hsu Y. Y., *Error measurement of five-axis CNC machines with 3D probe-ball*, "Journal of Materials Processing Technology", 139/2003, 127–133.
11. Cho M.-W. i in., *Integrated machining error compensation method using OMM data and modified PNN algorithm*, "International Journal of Machine Tools and Manufacture", vol. 46, 2006.
12. Jacniacka E., Semotiuk L., *Powtarzalność mocowania jako składnik budżetu niepewności pomiaru sondą przedmiotową na obrabiarkach CNC*, [w:] XIV Krajowa i V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „METROLOGIA W TECHNIKACH WYTWARZANIA”, 12–14 września, Warszawa-Pułtusk 2011, Warszawa: Politechnika Warszawska, 2011, 104–109.
13. Guissa R., Mayer JRR., *Predictive compliance based model for compensation i multi-pass milling by on-machine probing*, CIRP Annals – Manufacturing Technology 728, 2011.
14. Jacniacka E., Semotiuk L., Pieško P., *Niepewność pomiaru wewnątrzobrabiarkowego systemu pomiarowego z zastosowaniem sondy OMP 60*, „Przegląd Mechaniczny” nr 6, 2010.
15. Pakiet oprogramowania Inspection Plus. Podręcznik programowania. Renishaw 2003.
16. Dokument EA-4/02. Wyrażanie niepewności przy wzorcowaniu. GUM, Warszawa 1999.

17. Jacniacka E., Semotiuk L., *Wpływ eksploatacyjnego zużycia łożysk wrzeciona frezarki sterowanej numerycznie na niepewność pomiaru sondą inspekcyjną*, „Przegląd Mechaniczny” nr 3, 2012. ■

### Determination of two-dimensional measurement uncertainty of measurement system inside machine tool with use of inspection probe OMP60

**Abstract:** Inspection probes are becoming a standard equipment of CNC machine tools. They are used to measure dimensions between technological operations, and to control after machining is completed. This paper presents results of determining two-dimensional uncertainty with use of gauge blocks and gauge rings.

**Keywords:** uncertainty, inspection probe, CNC machine tool

#### dr inż. Elżbieta Jacniacka

Studia wyższe ukończyła na Politechnice Lubelskiej. Przez dziesięć lat pracowała w największych zakładach regionu jako technolog i konstruktor. W 2002 r. obroniła pracę doktorską przed Radą Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Główny obszar działalności



naukowej dotyczy metrologii wielkości geometrycznych ze szczególnym uwzględnieniem współrzędnościowej techniki pomiarowej.  
e-mail: [e.jacniacka@pollub.pl](mailto:e.jacniacka@pollub.pl)

#### dr inż. Leszek Semotiuk

Studia wyższe ukończył na Politechnice Lubelskiej, gdzie podjął pracę jako asystent. W 1999 r. obronił pracę doktorską. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Główny obszar działalności naukowej dotyczy eksploatacji i programowania obrabiarek sterowanych numerycznie.

e-mail: [l.semotiuk@pollub.pl](mailto:l.semotiuk@pollub.pl)



#### mgr inż. Marek Babkiewicz

Absolwent Politechniki Lubelskiej. Kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, specjalności: Metrologia i komputerowe systemy pomiarowe. Obecnie kończy drugi kierunek Studiów na Politechnice Lubelskiej. W swojej krótkiej karierze zawodowej był technologiem, konstruktorem oraz mistrzem produkcji. Obecnie pracuje jako Specjalista do spraw Zapewnienia Jakości Kontraktów w AgustaWestland w Świdniku.

e-mail: [marek.babkiewicz@interia.pl](mailto:marek.babkiewicz@interia.pl)



OGŁOSZENIE

# 50 - lecie



## Wydziału Mechatroniki

WYDZIAŁ MECHANIKI PRECYZYJNEJ - WYDZIAŁ MECHATRONIKI  
Politechniki Warszawskiej

1962 - 2012

## Zaproszenie

Konferencja  
i zjazd absolwentów

19 października 2012 r.

szczegóły na stronie internetowej:  
<http://jubileusz.mchtr.pw.edu.pl>

