

Mgr inż. Piotr MAJ;
dr hab. inż. Edward MIKO, prof. PŚk (Politechnika Świętokrzyska):

POMIARY ODCHYLEŃ KĄTOWYCH STOŁU PIONOWEGO CENTRUM FREZARSKIEGO AVIA VMC 800

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie metody pomiarów przemieszczeń kątowych stołu obrabiarki sterowanej numerycznie AVIA VMC 800. Stół obrabiarki został tak zaprogramowany, aby realizował przemieszczenia liniowe wzdłuż osi X i Y. Do pomiarów odchylenia kątowych przemieszczeń stołu posłużył interferometr laserowy XL80 firmy Renishaw.

Słowa kluczowe: diagnostyka, CNC, przemieszczenia kątowe, frezarka, błędy

MEASUREMENTS OF ANGULAR DEFLECTIONS OF A TABLE OF THE AVIA VMC 800 VERTICAL MILLING CENTRE

Abstract

The goal of the article is to present the measurement method of angular displacements of the table of the AVIA VMC 800 numerical control machine tool. The machine table was programmed for implementing linear displacements along the X and Y axis. For measurements of angular deflections of the table displacements, a Renishaw XL80 laser interferometer was used.

Keywords: diagnostics, CNC, angular displacements, milling machine, errors

POMIARY ODCHYLEŃ KĄTOWYCH STOŁU PIONOWEGO CENTRUM FREZARSKIEGO AVIA VMC 800

Piotr MAJ¹, Edward MIKO²

1. WROWADZNIIE

Celem współczesnej obróbki ubytkowej jest uzyskanie jak największej dokładności obrabianych przedmiotów. Na końcową dokładność wpływa wiele czynników. Mogą być one zależne od rodzaju obrabianego przedmiotu, narzędzi wykorzystywanych do obróbki jak i dokładności oraz pracy samej obrabiarki. Rozwój współczesnej techniki pozwala na dokonywanie diagnozy całego procesu obróbczego jak i wybranych czynników oraz etapów samego procesu. Umożliwia to określenie na jakim etapie i w jakim stopniu występują czynniki wpływające na końcową dokładność wymiarowo kształtową przedmiotów wytwarzanych na obrabiarkach sterowanych numerycznie [1, 3, 4, 5, 7].

Praca ma na celu przedstawienie metody pomiarów przemieszczeń kątowych stołu obrabiarki sterowanej numerycznie AVIA VMC 800. Do wykonania pomiarów posłużył interferometr laserowy XL80 firmy Renishaw. Stół obrabiarki został tak zaprogramowany aby wykonywał przemieszczenia liniowe wzdłuż osi X oraz Y. W tym czasie zostały dokonywane pomiary odchyłeń kątowych przemieszczeń stołu.

¹ Piotr Maj, mgr inż. – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25314 Kielce, e-mail: pmaj@tu.kielce.pl

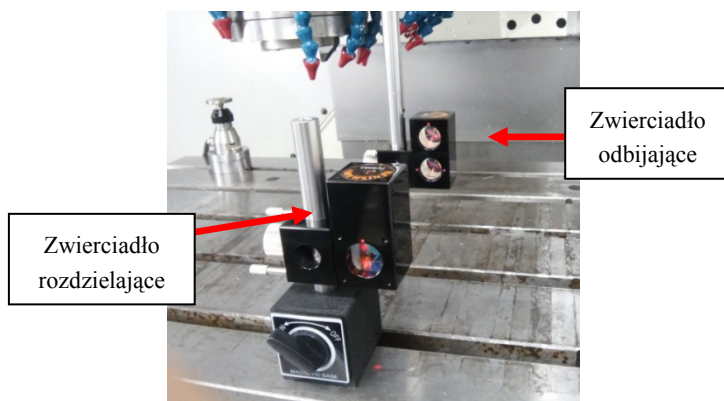
² Edward Miko, dr hab. inż. prof. PŚk. – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25314 Kielce, e-mail: emiko@tu.kielce.pl

2. OPIS PRZYRZĄDÓW I STANOWISK BADAWCZYCH

Pomiary z wykorzystaniem interferometru laserowego zaliczamy do najdokładniejszych. Źródłem światła jest laser, co zapewnia nam światło monochromatyczne o jednej tylko częstotliwości. Wiązka pomiarowa skierowana jest do reflektora, który może być ustalony i zamocowany na powierzchni przedmiotu poddawanego pomiarom, a wiązka odniesienia (odbita o 90°) pada na reflektor, który jest trwale związany z rozdzielaczem wiązki świetlnej, co zapewnia jego niezmienną i znaną odległość. W trakcie pomiarów liniowych przesuwaniu może podlegać wyłącznie jeden element, sam reflektor lub rozdzielacz z reflektorem. Element referencyjny jest nieprzesuwany. System laserowy rozpoznaje względne przemieszczenie między wiązką odbitą od reflektora, a wiązką odbitą w reflektorze związanym z rozdzielaczem. [2].

Badana frezarka AVIA VMC 800 jest obrabiarką CNC znajdującą się w Laboratorium Obrabiarek Sterowanych Numerycznie Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

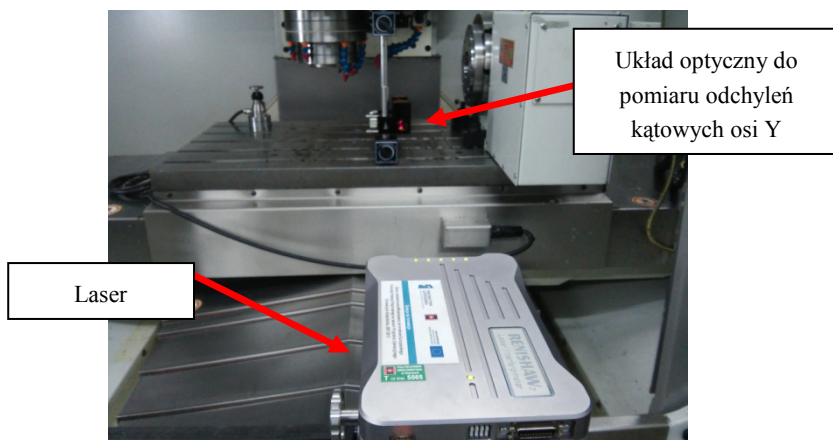
Stół obrabiarki został tak zaprogramowany aby wykonywał przemieszczenia liniowe wzdłuż osi X oraz Y. Do pomiarów został wykorzystany zestaw zwierciadeł służących do pomiarów odchyłeń kątowych (Rys. 1). Pierwsze zwierciadło zostało zamocowane na stole i wykonywało ruchy wraz z nim po zaprogramowanej drodze. Drugie zwierciadło zostało przymocowane za pomocą uchwyty magnetycznego do wrzeciona obrabiarki. W trakcie wykonywania pomiarów było ono nieruchome.



Rys. 1. Zwierciadła ustawione do pomiaru odchyłeń kątowych osi Y

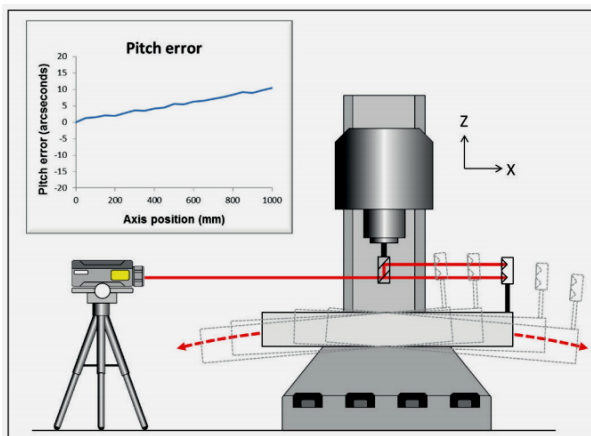
Na tak zestawiony układ zwierciadeł została podana wiązka laserowa. W pierwszym nieruchomym zwierciadle wiązka jest rozczepiana na dwie podwójne wiązki. Padają one następnie na ruchome zwierciadło, które je odbija. Wzdłuż osi X pomiar wykonano na odcinku 500 mm. Co 50 mm był wykonywany postój w trakcie którego

był dokonywany pomiar. Oś Y została zmierzona na odcinku 300 mm z takimi samymi postojami. W każdej osi zostało wykonanych 5 dwukierunkowych przemieszczeń stołu. Stół przemieszczał się inkrementalnie w kierunku dodatnim osi, a następnie ujemnym.



Rys. 2. Stanowisko do pomiarów odchylenia kątowych osi Y

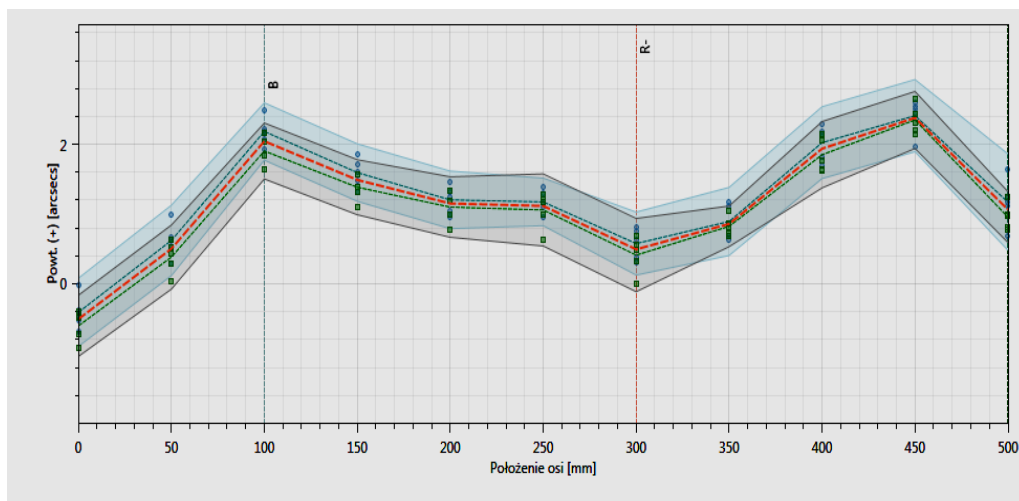
Stół obrabiarki wykonuje przemieszczenia w płaszczyźnie XY natomiast wrzeciono w osi Z. W trakcie obróbki płaszczyzn frezarka wykonuje ruchy stołu w płaszczyźnie poziomej, a wrzeciono utrzymuje zadeklarowaną pozycję. W czasie obróbki może ulec zmiana odległości pomiędzy wrzecionem, a stołem obrabiarki spowodowane odchyleniem się stołu w trakcie wykonywania przemieszczeń. Powodem tego może być duże zużycie prowadnic maszyny, błędy montażu bądź braku prostoliniowości prowadnic. Wykonując ruch w osi X odchylenie może wystąpić w osi ZX, a w osi Y w płaszczyźnie ZY (Rys. 3).



Rys. 3. Schemat przemieszczenia stołu obrabiarki przy pomiarach błędów skręceń [6]

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wynikiem pomiarów było wygenerowanie wykresów przedstawiających poziom odchyłeń kątowych dla każdej ze zmierzonych osi [6]. Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów odchylenia zmierzonego dla osi X.



Rys. 4. Wykres odchyłeń kątowych osi X

Rys. 4 przedstawia graficzną interpretację odchyleń kątowych w trakcie przemieszczania się stołu wzdłuż osi X. Oś pozioma wykresu przedstawia wartości na które przemieścił się stół wyrażone w mm. Z wykresu można odczytać, że postoję

w trakcie których dokonywane były pomiary znajdowały się co 50 mm, a całkowity pomiar był wykonany na odcinku 500 mm. Oś pionowa przedstawia odchylenie kąto- we wyrażone w arcsec. Arcsec (sekunda kątowa) jest to jednostka opisująca pomiary kątowe wynosząca 1/3600 stopnia. Można zaobserwować, że w przedziale od 0 do 100 mm wartość odchylenia kątowego wzrasta do 2,2 arcsec w płaszczyźnie XZ po czym maleje aby w położeniu 300 mm osiągnąć średnią wartość 0,1 arcsec. Po tym położeniu wartość ta rośnie do 2,4 arcsec. Wykres pokazuje błąd odchylenia (obrotu wokół osi Y) osi X. Wielkość odchylenia jest niewielka i zmienia swój kierunek. Ma to niewielki wpływ na punkt położony na osi X gdyż stół wykonuje ruch obrotowy wokół osi Y. Parametry przemieszczenia kątowego osi X zawarte są w tabeli nr 1.

Tabela 1. Parametry analizy przemieszczenia kątowego osi X

Nazwa	(+) arcsec (sekunda kątowa)	(-) arcsec (sekunda kątowa)	(Bidir) Arcsec (sekunda kątowa)	Nazwa	Wartość Arcsec (sekunda kątowa)
Dokładność	3,8	3,8	4,0	Zwrotny	0,3
Powtarzalność	1,4	1,1	1,4	Śr. błąd zwrotny	0,2
Odchyłka Systemowa	2,8	3,0	3,0	Odchylenie średnie	2,9

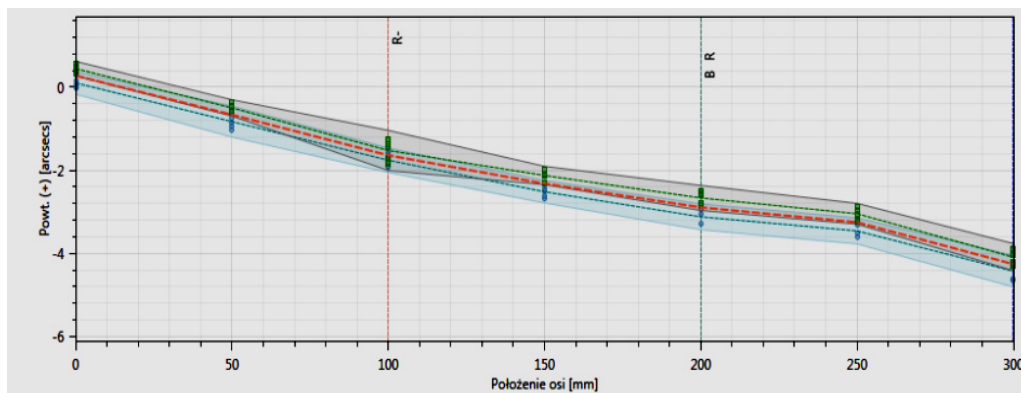
Szczegółowe informacje dotyczące każdego z mierzonych położzeń znajdują się w tabeli 2. Zawiera ona dokładne wartości dwukierunkowego przemieszczenia liniowego stołu wraz z przypisanymi odchyleniami kątowymi. Tabela zawiera informacje na temat każdego z 5 przejść. Na ich podstawie została obliczona średnia wartość odchyłki dla każdego położenia. Dodatkowymi informacjami jest podanie standardowej wartości niepewności Si oraz powtarzalności dwukierunkowej.

Tabela 2. Wykaz szczegółowych danych pomiaru osi X

Nr		1	2	3	4	5	6	7
Położenie (mm)		0,0	50,0000	100,0000	150,0000	200,0000	250,0000	300,0000
Kierunek		- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +
Położenie odchyłki Xij	j=1	-0,5;0,0	0,5;1,0	2,0;2,5	1,6;1,9	1,3;1,5	1,3;1,4	0,7;0,8
	j=2	-0,4; -0,5	0,6;0,6	2,2;2,2	1,6;1,7	1,2;1,3	1,2;1,3	0,6;0,8

	j=3	-0,5; -0,4	0,4;0,7	1,8;2,2	1,3;1,6	1,2;1,2	1,2;1,2	0,5;0,6
	j=4	-0,7; -0,5	0,3;0,5	1,8;2,1	1,4;1,5	1,0;1,1	1,0;1,1	0,3;0,4
	j=5	-0,9; -0,7	0,0;0,3	1,7;1,9	1,1;1,3	0,8;0,9	0,6;0,9	0,0;0,3
Średnie odchyłki		-0,6; -0,4	0,4;0,6	1,9;2,2	1,4;1,6	1,1;1,2	1,1;1,2	0,4;0,6
Standardowa niepewność Si		0,2;0,2	0,2;0,3	0,2;0,2	0,2;0,2	0,2;0,2	0,3;0,2	0,3;0,2
2xSi		0,4;0,5	0,5;0,5	0,4;0,4	0,4;0,4	0,4;0,4	0,5;0,3	0,5;0,5
4xSi		0,9;1,0	0,9;1,0	0,8;0,8	0,8;0,8	0,9;0,8	1,0;0,7	1,1;0,9
Średnia - 2Si		-1,0; -0,9	-0,1;0,1	1,5;1,8	1,0;1,2	0,7;0,8	0,5;0,8	-0,1;0,1
Średnia +2Si		-0,2;0,1	0,8;1,1	2,3;2,6	1,8;2,0	1,5;1,6	1,6;1,5	0,9;1,0
Zwrotny Bi		0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Powtarzalność dukierunkowa		1,1	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1
Średnie odchylenie		-0,5	0,5	2,0	1,5	1,2	1,1	0,5
Nr			8	9	10	11		
Położenie (mm)			350,0000	400,0000	450,0000	500,0000		
Kierunek			- +	- +	- +	- +		
Położenie odchyłki Xij	j=1		1,1;1,2	2,1;2,3	2,7;2,5	1,2;1,7		
	j=2		0,8;1,1	2,1;2,1	2,4;2,6	1,0;1,2		
	j=3		0,7;0,9	1,7;2,2	2,3;2,5	1,0;1,2		
	j=4		0,9;0,6	1,8;1,8	2,2;2,5	0,8;1,1		
	j=5		0,7;0,7	1,6;1,7	2,1;2,0	0,8;0,7		
Średnie odchyłki			0,8;0,9	1,9;2,0	2,4;2,4	1,0;1,2		
Standardowa niepewność Si			0,1;0,2	0,2;0,3	0,2;0,3	0,2;0,3		
2xSi			0,3;0,5	0,5;0,5	0,4;0,5	0,4;0,7		
4xSi			0,6;0,1	1,0;1,0	0,8;1,0	0,7;1,4		
Średnia - 2Si			0,5;0,4	1,4;1,5	1,9;1,9	0,6;0,5		
Średnia +2Si			1,1;1,4	2,3;2,5	2,8;2,9	1,3;1,9		
Zwrotny Bi			0,1	0,2	0,1	0,2		
Powtarzalność dukierunkowa			1,0	1,2	1,0	1,4		
Średnie odchylenie			0,9	1,9	2,4	1,1		

Analogiczne raporty zostały wykonane dla pomiarów osi Y. Na wykresie można zaobserwować że wykres ma tendencje spadkową liniową. Na końcowym położeniu przemieszczenia odchylenie kątowe uzyskało największą wartość wynoszącą -4,3 arcsec w płaszczyźnie YZ. Rysunek 5 przedstawia przemieszczenie kątowe stołu w trakcie przemieszczenia się w osi Y wokół osi X. Można zaobserwować że stół obrabiarki obraca się w kierunku ruchu wskazówek zegara wokół osi X. Ten typ odchylenia powoduje błąd prostopadłości osi Z. W tabeli 3 przedstawiono dodatkowe parametry wykresu.



Rys. 5. Wykres odchyłeń kątowych osi Y

Tabela 3. Parametry analizy przemieszczenia kątowego osi Y

Nazwa	(+) arcsesc (sekunda kąto- wa)	(-) arcsesc (sekunda kąto- wa)	(Bidir) arcsesc (sekunda kąto- wa)	Nazwa	Wartość arcsesc (sekunda kąto- wa)
Dokładność	5,2	5,0	5,4	Zwrotny	0,5
Powtarzalność	0,8	1,0	1,1	Śr. błąd zwrotny	-0,4
Odchyłka Systemowa	4,5	4,5	4,9	Odchylenie śr.	4,5

Tak jak w przypadku poprzedniej osi, dla osi Y została wygenerowana tabela zawierająca wartości dwukierunkowego przemieszczenia liniowego stołu wraz przypisanymi odchyleniami kątowymi.

Tabela 4. Wykaz szczegółowych danych pomiaru osi Y

Nr		1	2	3	4	5	6	7
Położenie (mm)		0,0	50,0000	100,0000	150,0000	200,0000	250,0000	300,0000
Kierunek		- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +
Położenie odchyłki Xij	j=1	0,3;0,0	-0,5;-1,0	-1,8;-1,9	-2,3;-2,7	-2,8;-3,3	-3,2;-3,6	-4,3;-4,6
	j=2	0,4;0,0	-0,6;-0,9	-1,7;-1,9	-2,1;-2,6	-2,6;-3,3	-3,1;-3,6	-4,2;-4,6
	j=3	0,5;0,1	-0,5;-0,9	-1,4;-1,7	-2,1;-2,5	-2,6;-3,1	-2,9;-3,5	-4,0;-4,3
	j=4	0,5;0,2	-0,5;-0,7	-1,4;-1,7	-2,1;-2,4	-2,6;-3,1	-3,1;-3,3	-4,0;-4,3
	j=5	0,6;0,3	-0,4;-0,6	-1,3;-1,6	-2,0;-2,4	-2,8;-2,9	-3,0;-3,3	-3,9;-4,2
Średnie odchyłki		0,4;0,1	-0,5;-0,8	-1,5;-1,8	-2,1;-2,5	-2,7;-3,1	-3,0;-0,5	-4,1;-4,4
Standardowa niepewność Si		0,1;0,1	0,1;0,2	0,2;0,1	0,1;0,1	0,2;0,2	0,1;0,2	0,2;0,2
2xSi		0,2;0,3	0,2;0,4	0,5;0,3	0,2;0,3	0,3;0,3	0,3;0,3	0,3;0,4
4xSi		0,3;0,5	0,4;0,7	1,0;0,6	0,4;0,5	0,6;0,6	0,5;0,6	0,7;0,8
Średnia - 2Si		0,3;-0,2	-0,7;-0,2	-2,0;-2,1	-2,3;-2,8	-3,0;-3,4	-3,3;-3,8	-4,4;-4,8
Średnia +2Si		0,6;0,4	-0,3;-0,5	-1,0;-1,5	-1,9;-2,2	-2,4;-2,8	-2,8;-3,1	-3,8;-4,0
Zwrotny Bi		-0,3	-0,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3
Powtarzalność dukierunkowa		0,8	0,9	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0
Średnie odchylenie		0,3	-0,7	-1,6	-2,3	-2,9	-3,3	-4,3s

4. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Pomiary odchylenia kąтового przemieszczenia stołu obrabiarki w kierunku osi X wykazały, że stół wykonuje ruch wokół osi Y. Można zaobserwować że stół obrabiarki przy przemieszczeniach wzdłuż osi Y obraca się w kierunku ruchu wskazówek zegara wokół osi X. Ten typ odchylenia powoduje błąd prostopadłości osi Z. Przyczyną występowania takiego stanu są błędy geometryczne obrabiarki. Można do nich zaliczyć niedokładności połączenia i przemieszczania się poszczególnych podzespołów obrabiarki. Jest to grupa błędów podlegających zmianą zależnych od: rozszerzalności cieplnej podzespołów maszyny, charakteru pracy obrabiarki, wyeksploatowaniu części oraz obciążeniu i rozkładowi masy na stole obrabiarki.

LITERATURA

- [1] HONCZERENKO J., *Obrabiarki sterowane numerycznie*. W: WNT 2009
- [2] MOREK R., *Pomiary bezstykowe - cz. II, Własności i Pomiary*, maj-czerwiec 2012 s.136-138
- [3] MIKO E., JAREMA M., *Badania dokładności pozycjonowania pionowego centrum obróbkowego*.

W: Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 56. nr 1/2012, s. 63-65

- [4] MULLANY B., *Evaluation And Comparison Of The Different Standards Used To Define The Positional Accuracy And Repeatability Of Numerically Controlled Machining Center Axes*. University of North Carolina, Charlotte, October 2007
- [5] SZAFARCZYK M., CHRZANOWSKI J., *Nowa koncepcja sprawdzania dokładności maszyn NC*, materiały konferencyjne, AUTOMATION, Automatyzacja-Nowości i Perspektywy Warszawa 2005, s. 405-413
- [6] www.renishaw.com
- [7] MAJDA P., *POMIARY I KOMPENSACJA BŁĘDÓW GEOMETRYCZNYCH OBRABIAREK CNC*. Inżynieria Maszyn, R. 16, z. 1-2, 2011, s. 126-134