

Stanisław ADAMCZAK¹
Urszula KMIECIK-SOŁTYSIAK¹
Krzysztof STĘPIEŃ¹

WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW POMIARU NA WYNIK OCENY ODCHYLEKI OKRĄGŁOŚCI NA WSPÓLRZĘDNOŚCIOWEJ MASZYNE POMIAROWEJ

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe coraz częściej stosowane są także w pomiarach odchyłek kształtu, w tym okrągłości i walcowości. Przeprowadzono badania eksperymentalne mające na celu ustalenie jaki wpływ na wynik pomiaru odchyłki okrągłości na maszynie współrzędnościowej mają takie parametry, jak: liczba punktów pomiarowych na okręgu oraz prędkość pomiaru skaningowego. W ramach badań dokonano również sprawdzenia jak zmieni się wartość odchyłki okrągłości oraz zarys okrągłości gdy dokonamy zmiany sposobu dojazdu głowicy pomiarowej do mierzonego przedmiotu. W przeprowadzonym eksperymencie optymalna prędkość skanowania powierzchni przedmiotu wyniosła 45 mm/s. Przeprowadzony eksperyment pokazał także, że duże znaczenie ma sposób dojazdu głowicy pomiarowej do przedmiotu.

INFLUENCE OF SELECTED MEASUREMENT PARAMETERS ON RESULTS OF AN EVALUATION OF ROUNDNESS DEVIATION WITH THE USE OF A COORDINATE MEASURING MACHINE

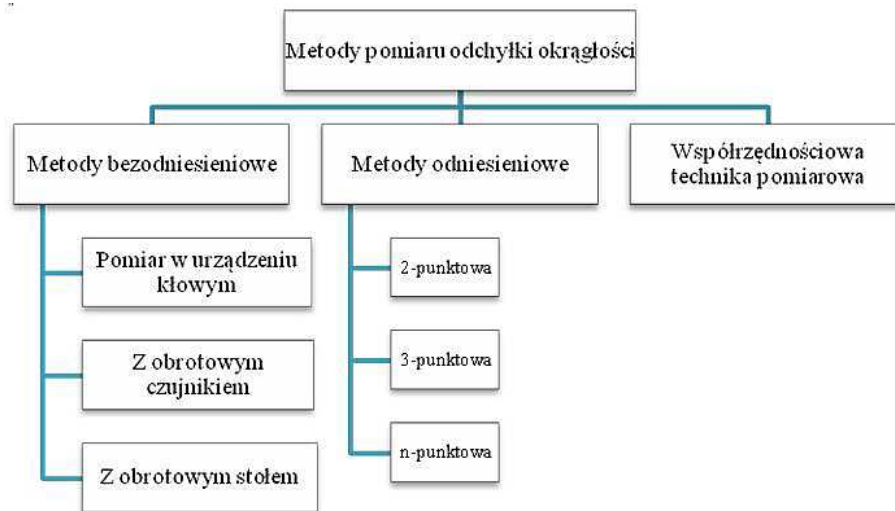
Coordinate measuring machines are more and more often used also in measurements of form deviations, including roundness and cylindricity. An experimental study was conducted aiming at establishing an influence of such parameters as: a number of sampling points on a circle and scanning speed on a result of measurements of roundness deviations by a coordinate measuring machine. The study also aimed at an investigation how roundness profiles and roundness deviations will change if the way of the approach of the measuring head to the detail surface is changed. An optimum scanning speed in the experiment was equal to 45 mm/s. The experiment showed also that the way how the head approaches to the measured surface can significantly affect measurement results.

1. WSTĘP

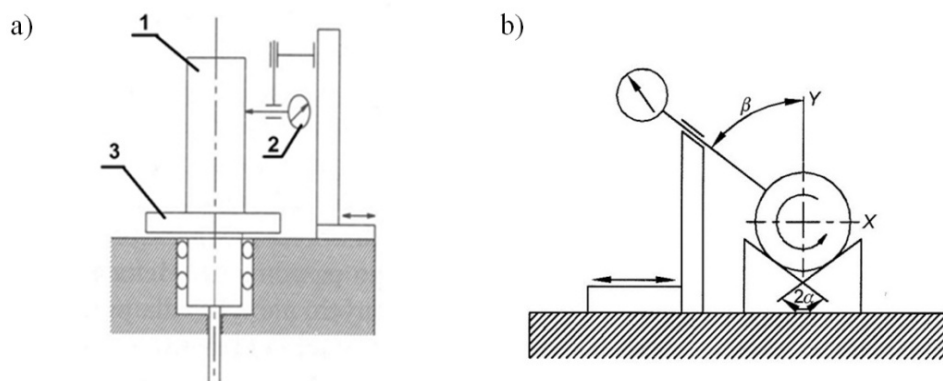
Podstawowym wymogiem współczesnych technologii wytwarzania jest dążenie do podnoszenia jakości produkowanych wyrobów przy jak najmniejszych kosztach produkcyjnych. Ciągły wzrost wymagań dotyczący obrabianych części niesie ze sobą nie tylko konieczność sprawdzania gotowych wyrobów pod względem założonych tolerancji wymiarowych, lecz również potrzebę analizowania występujących błędów kształtu. Odchyłka kształtu mierzonego zarysu ogrywa ważną rolę wśród czynników kształtujących ocenę dokładności wyrobu [1-4]. Występowanie błędów kształtu powoduje szereg niekorzystnych uwarunkowań: wpływa na dalszy proces obróbczy, problemy z montażem, obniża odporność na wytrzymałość zmęczeniową innych wyrobów. Zatem współczesne przyrządy pomiarowe powinny charakteryzować się nie tylko dokładnością czy wydajnością lecz również powinny być uniwersalne w obsłudze oraz przystosowane do użytkowania w warunkach przemysłowych [5-8].

Niezwykle ważna w przemyśle jest minimalizacja odchyłki okrągłości powierzchni walcowych, szczególnie w przypadku elementów wykonujących ruch obrotowy, jak również w przypadku elementów wykonujących przemieszczenia liniowe. Aktualnie oczywistym jest, że odchyłki kształtu mogą powodować powstawanie drgań i szumów części maszyn. W praktyce przemysłowej wyróżniamy dwie stosowane grupy metod pomiaru okrągłości: metoda zmian promienia, zwana inaczej bezodniesieniową, metoda odniesieniowa. Współrzędnościowe maszyny pomiarowe coraz częściej stosowane są także w pomiarach odchyłek kształtu, w tym okrągłości i walcowości. Klasyfikację metod pomiaru zarysów okrągłości części maszyn przedstawiono na rysunku 1. Z kolei na rysunku 2 pokazano schematy specjalistycznych przyrządów do pomiaru odchyłek okrągłości metodą bezodniesieniową oraz odniesieniową.

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Al. 1000-lecia P. P. 7, 25-314 Kielce



Rys. 1. Podstawowa klasyfikacja metod pomiarów odchyłki okrągłości



Rys. 2. Schemat przyrządów do pomiaru zarysów okrągłości a) metoda zmian promienia z obrotowym stolikiem: 1-przedmiot mierzony, 2-czujnik, 3-stolik pomiarowy b) metoda odniesieniowa 3-punktowa

Metoda bezodniesieniowa pozwala uzyskać większą dokładność, dlatego jest najczęściej używana w warunkach laboratoryjnych. Jednak jedną z podstawowych wad metod bezodniesieniowych jest brak możliwości pomiaru bezpośrednio na obrabiarce bądź na produkcyjnym stanowisku kontrolnym.

Dynamiczny rozwój współrzędnościowej techniki pomiarowej sprawił, że współrzędnościowe maszyny pomiarowe znalazły również szerokie zastosowanie do pomiarów zarysów okrągłości. Istotny jest fakt, iż kompleksowych pomiarów zarówno wymiarów, jak i odchyłek kształtu, położenia możemy dokonać za pomocą współrzędnościowej maszyny pomiarowej w jednym trybie pomiarowym CNC. Ma to znaczenie w warunkach produkcyjnych, przemysłowych, gdzie istotny jest czas wykonywania pomiaru. Obecnie do wyspecjalizowanych pomiarów za pomocą WMP stosuje się aktywne lub pasywne głowice skanujące. W przypadku stosowania głowic impulsowych problemem był czas pomiaru oraz dobór optymalnej ilości punktów pomiarowych, gdyż od przyjętej liczby punktów zależy m.in. błąd oceny zarysu okrągłości. Wykorzystanie głowic skanujących pozwala na zwiększenie dokładności pomiaru błędów kształtu na WMP.

Zastosowanie WMP do pomiarów odchyłki okrągłości pozwala na zwiększenie zakresu pomiarowego w stosunku do metod bezodniesieniowych i odniesieniowych. Zwiększa się również masa dopuszczalna mierzonego wyrobu. Niewątpliwie zauważalną cechą współrzędnościowych maszyn pomiarowych jest wysoka prędkość pomiaru w stosunku do pomiarów metodą bezodniesieniową (przykładowo przyrząd z obrotowym stołem: Talyrond 365 Taylor Hobson, prędkość obrotowa stołu – 0,6;1;2;6;10 obr/min). Jednak bardzo duże prędkości skaningu na WMP niosą ze sobą pewne ograniczenia, gdyż powodują zjawiska mające wpływ na dokładność wykonywanych pomiarów. Dokonanie pomiaru z dużą prędkością może spowodować m.in. uszkodzenie mechaniczne mierzonego przedmiotu, zużycie ściernego przedmiotu oraz kulki pomiarowej, przywieranie materiału elementu mierzonego do powierzchni kulki pomiarowej, zbieranie zabrudzeń przez kulkę z elementu.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione czynniki przeprowadzono badania eksperymentalne mające na celu ustalenie jaki wpływ na wynik pomiaru odchyłki okrągłości na maszynie współrzędnościowej mają takie parametry, jak: liczba punktów pomiarowych na okręgu oraz prędkość pomiaru skaningowego. Dokonano pomiarów odchyłek okrągłości pierścienia łożyska o średnicy $d = 111,76$ mm za pomocą współrzędnościowej maszyny pomiarowej PRISMO NAVIGATOR firmy Carl Zeiss o zakresie pomiarowym $X=900$ mm, $Y=1200$ mm, $Z=700$ mm. Badany przedmiot charakteryzował się błędem kształtu n-graniastość. Pomiaru zostały przeprowadzone z różnymi prędkościami pomiarowymi $V = 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60$ mm/s oraz przy zastosowaniu różnej liczby zadanych punktów pomiarowych kolejno 512, 1024, 2048. Do wyznaczenia odchyłki okrągłości jako odniesienie przyjęto element Gaussa. Przedmiot został również zmierzony za pomocą przyrządu pomiarowego do realizacji bezodniesieniowych pomiarów odchyłek okrągłości – Talyrond 365 firmy Taylor Hobson. Pomiaru odchyłki okrągłości za pomocą Talyrond 365 dokonano z prędkością $V = 6$ obr/min z zastosowaniem zakresu 0,41mm, przy użyciu filtra Gaussa o zakresie przenoszenia fal 1-50 UPR [9-11]. Przy tak zadanym zakresie pomiarowym rozdzielczość czujnika wynosi 6,3 nm. Oczywiście pomiar poprzedzało automatyczne wycentrowanie przedmiotu mierzonego. Wynik pomiaru uzyskany za pomocą przyrządu Talyrond 365 był w eksperymencie wartością odniesienia. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry przyrządów użytych podczas eksperymentu.

Tab. 1. Zestawienie parametrów przyrządów zastosowanych do pomiarów odchyłki okrągłości

Parametr			
	Zakres pomiarowy	błąd graniczny/błąd wrzeczona	Głowica pomiarowa
PRISMO Navigator	$X=900$ mm; $Y=1200$ mm; $Z=700$ mm	maksymalny błąd graniczny: $0,9 + L/350 \mu\text{m}$	długość trzpienia 100 mm; średnica kulki pomiarowej 8mm
Talyrond 365 Taylor Hobson	max. średnica mierzonego przedmiotu 300 mm, max. wysokość mierzonego przedmiotu 300 mm	błąd wrzeczona: +/- $(0,02\mu\text{m} + 0,0003\mu\text{m}/\text{mm})$	długość ramienia 100mm; średnica kulki pomiarowej: 2mm

Talyrond 365 firmy Taylor Hobson jest przyrządem służącym do pomiarów zarysów kształtu. Umożliwia pomiar elementów o średnicy do 300mm, wysokości do 300 mm i masie do 30kg. Urządzenie to pozwala uzyskać pomiar m.in.: okrągłości, prostoliniowości, walcowości, bicia całkowitego. Talyrond 365 posiada wbudowany system wibroizolacji i wyposażony jest w stół pomiarowy łożyskowy pneumatyczny.

3. WYNIKI BADAŃ

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów odchyłki okrągłości badanego elementu uzyskane za pomocą współrzędnościowej maszyny pomiarowej Prismo Navigator dla różnej liczby punktów pomiarowych oraz różnych prędkości skaningu przy zastosowaniu dojazdu głowicy pomiarowej prostopadle po normalnej do mierzonego przedmiotu.

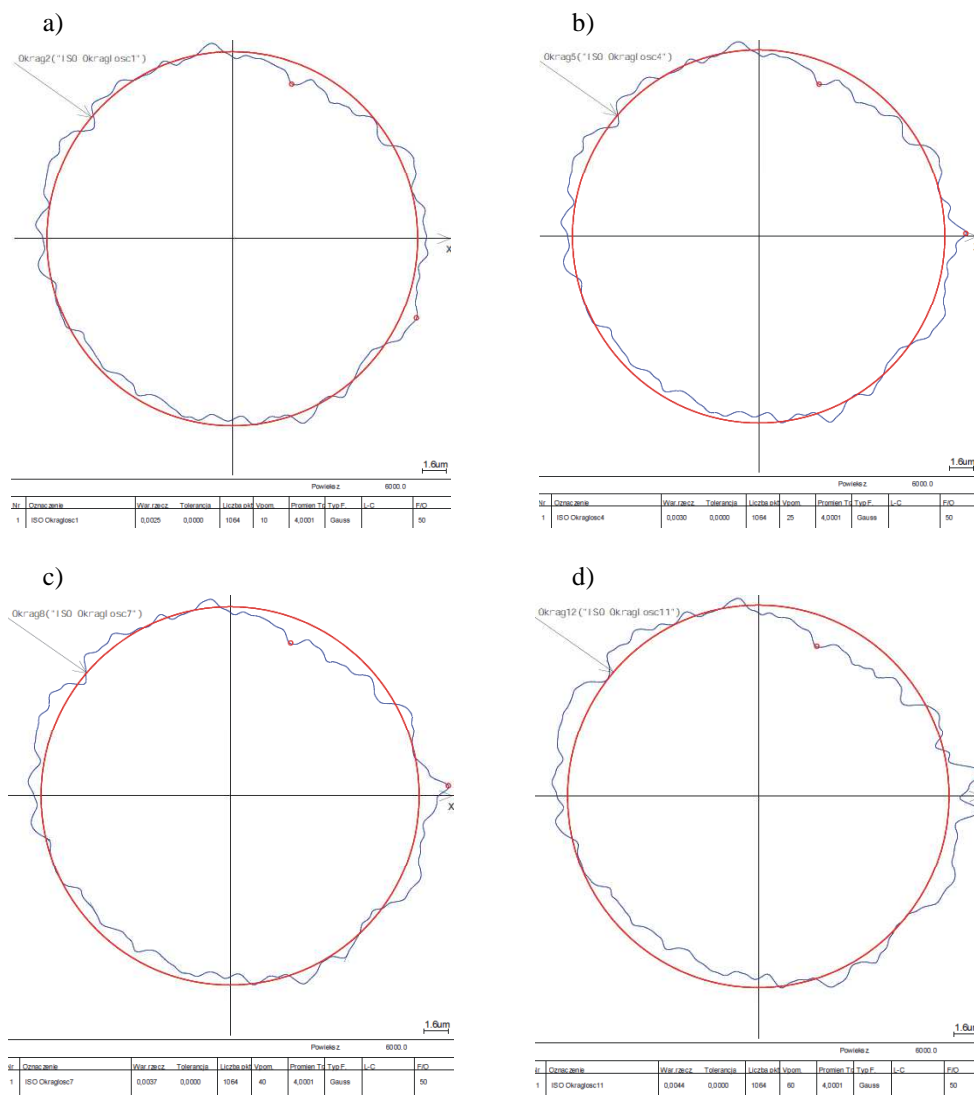
Na rysunku 3 przedstawiono zmierzone zarysy okrągłości przy dla liczby punktów pomiarowych na okręgu równej 1024 oraz dla czterech prędkości skanowania: a) 10 mm/s, b) 25mm/s, c) 40mm/s, d) 60 mm/s przy zastosowaniu dojazdu głowicy pomiarowej prostopadle po normalnej do mierzonego przedmiotu.

Z kolei, na rysunku 4 przedstawiono protokół pomiaru badanego elementu na przyrządzie wzorcowym, czyli przyrządzie Talyrond 365.

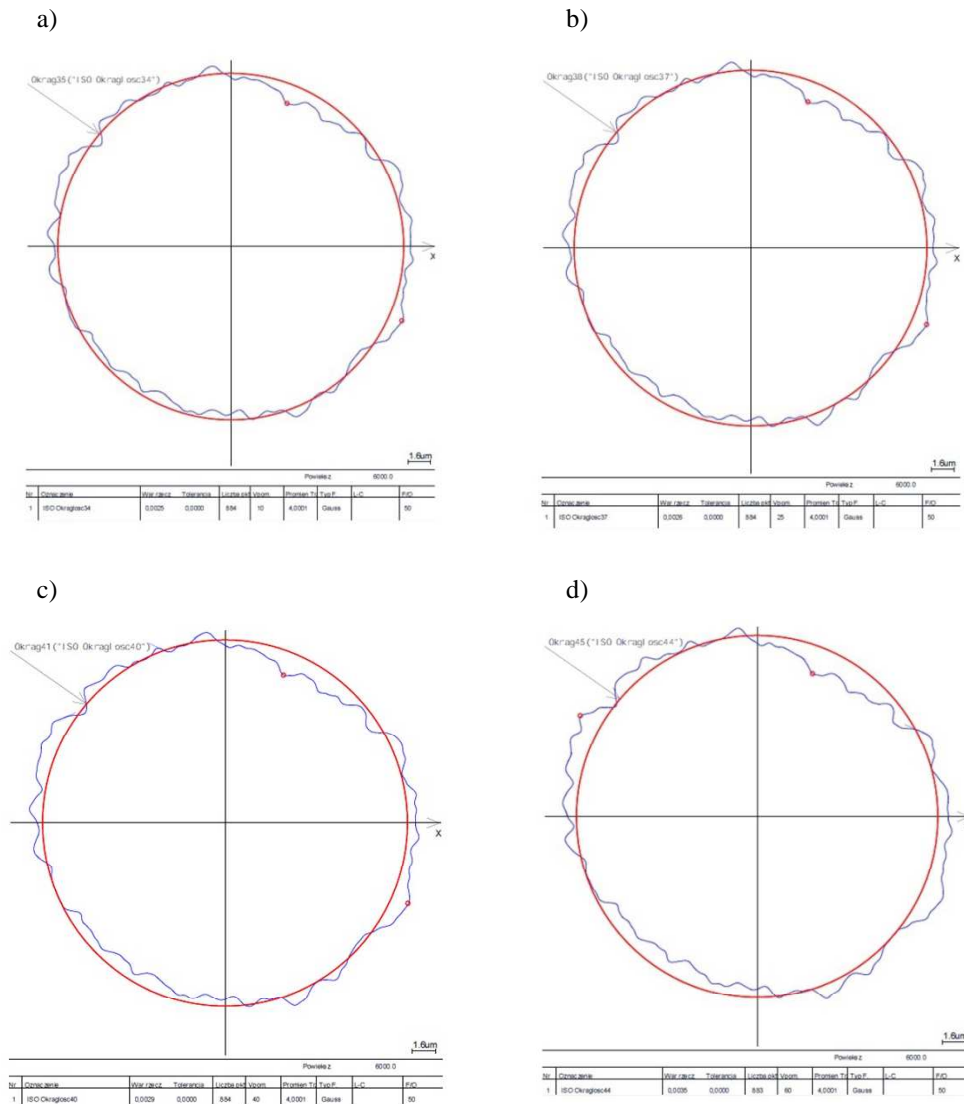
Z protokołu zamieszczonego na rysunku 4 wynika, że wzorcowa wartość całkowitej odchyłki okrągłości $RONt$ badanego przedmiotu wynosiła 3,81 μm . Z kolei, dane przedstawione w tabeli 2 pokazują, że liczba punktów pomiarowych nie miała wpływu na uzyskaną wartość odchyłki okrągłości na maszynie współrzędnościowej. Jest to związane z zastosowaniem aktywnej głowicy skanującej. Wyniki pomiarów pokazują także bardzo jasno, że prędkość pomiaru może mieć bardzo znaczący wpływ na wynik pomiaru. Jak dowiodły badania zwiększając prędkość pomiaru przyczyniamy się do powstawania błędów pomiarowych, dzięki czemu uzyskujemy niepoprawną wartość odchyłki okrągłości. Prędkość jako parametr pomiaru jest szczególnie ważna przy pomiarach przedmiotów z błędem kształtu n-graniastością. Analizując zarysy okrągłości pokazane na rysunku 3 można zauważyć, iż wraz ze wzrostem prędkości pomiaru pojawiają się błędy w momencie dojazdu kulki pomiarowej do

Tab. 2. Zestawienie wyników pomiarów odchyłki okrągłości mierzonego elementu przy zastosowaniu dojazdu głowicy pomiarowej prostopadle po normalnej do mierzonego przedmiotu.

Prędkość pomiarowa	Odchyłka okrągłości, μm	
	512 punktów pomiarowych	1024 punkty pomiarowe
10 mm/s	2,40	2,50
15 mm/s	2,50	2,50
20 mm/s	2,60	2,70
25 mm/s	3,10	3,00
30 mm/s	3,30	3,30
35 mm/s	3,50	3,50
40 mm/s	3,70	3,70
45 mm/s	3,80	3,90
50 mm/s	4,00	4,00
55 mm/s	4,10	4,10
60 mm/s	4,40	4,40



Rys. 3. Zarysy okrągłości badanego przedmiotu. Pomiar przy zadanych parametrach: liczba punktów 1024, prędkości a) 10 mm/s, b) 25 mm/s, c) 40 mm/s, d) 60 mm/s przy zastosowaniu dojazdu głowicy pomiarowej prostopadle po normalnej do mierzonego przedmiotu.



Rys. 5. Zarysy okrągłości badanego przedmiotu przy zastosowaniu dojazdu głowicy po stycznej do mierzonego przedmiotu - pomiar przy zadanych prędkościach a) 10 mm/s, b) 25mm/s, c) 40mm/s, d) 60 mm/s

4. WNIOSKI

Przedstawione w poprzednim punkcie wyniki eksperymentu pozwalają na sformułowanie szeregu wniosków. Na podstawie danych przedstawionych w Tabl. 2 można stwierdzić, że w analizowanym przypadku liczba punktów pomiarowych na obwodzie elementu nie miała praktycznie wpływu na uzyskane wyniki pomiaru odchyłki okrągłości na maszynie współrzędnościowej. Należy jednak zauważyć, że zastosowana liczba punktów była stosunkowo duża (najmniejsza wartość wynosiła 512 punktów). Można przypuszczać, że dla dużo mniejszej liczby punktów wyniki byłyby inne.

Badania pokazały także, że prędkość pomiaru ma bardzo znaczący wpływ na wynik pomiaru. Widać tendencję, że im mniejsza prędkość pomiaru tym mniejsza wartość odchyłki okrągłości. Zaskakujący jest fakt, że w przypadku zastosowania małej prędkości pomiarowej uzyskuje się zaniżone wartości odchyłki okrągłości (biorąc pod uwagę wartość odniesienia, ustaloną na przyrządzie Talyrond 365). W przeprowadzonym eksperymencie optymalna prędkość skanowania powierzchni przedmiotu wyniosła 45 mm/s. Dla tej wartości zmierzona odchyłka okrągłości była bliska wzorcowej.

Przeprowadzony eksperyment pokazał także, że duże znaczenie ma sposób dojazdu głowicy pomiarowej do przedmiotu. Dla dojazdu po stycznej uzyskano znacznie lepsze wyniki niż dla dojazdu prostopadłego. Z tego powodu należy stwierdzić, że taki sposób pomiaru powinien być zalecany w pomiarach odchyłek okrągłości za pomocą maszyn współrzędnościowych.

Podsumowując, niektóre uzyskane w ramach badań wyniki są bardzo zaskakujące (np. zaniżone wartości odchyłki okrągłości przy małych prędkościach pomiaru). Dlatego wydaje się, że przeprowadzony eksperyment powinien zostać powtórzony w szerszym zakresie, tj. w pomiarach elementów o innym typie odchyłki (innych dominujących składowych harmonicznych). W ramach kolejnego eksperymentu należałoby także poszerzyć zakres zastosowanych punktów pomiarowych na obwodzie elementu, a także ponownie zbadać wpływ prędkości pomiaru na wynik pomiaru odchyłki okrągłości. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem byłoby powtórzenie eksperymentu dla większej liczby detali (minimum 30), co pozwoliłoby na sformułowanie wniosków o charakterze statystycznym.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczak S., Makiela W.: *Analyzing the variations in roundness profile parameters during the wavelet decomposition process using the MATLAB environment*. Metrology and Measurement Systems. nr 18/1, 2011, 25-34.
- [2] Mathia T.G. et al.: *Recent trends in surface metrology*, Wear, vol. 271, no. 3-4, 2011, 494-508.
- [3] Nozdrzykowski J., Janecki D.: *Comparative studies of reference measurements of cylindrical surface roundness profiles of large machine components*, Metrology and Measurement Systems Volume 21, Issue 1, 2014, Pages 67-76.
- [4] Żórawski W. et al.: *Microstructure and mechanical properties of plasma sprayed nanostructured and conventional Al_2O_3 -13TiO₂ coatings*, Proceedings of the I Thermal Spray Conference and Exposition: Innovative Coating Solutions for the Global Economy, ITSC 2013; Busan; South Korea 2013, Pages 512-51.
- [5] Skowroński P.: *Pomiar odchyłki okrągłości na współrzędnościowej maszynie pomiarowej*, Komisja Budowy Maszyn PAN oddział w Poznaniu, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, Vol. 27 nr 2, 2007, 91-102.
- [6] Jurko J. et al.: *Prediction of selected aspects of machinability of austenitic stainless steels*, Advanced Materials Research, Vol. 739, 2013, 206-209.
- [7] Kundera Cz., Kozior T.: *Research of the elastic properties of bellows made in SLS technology*, Advanced Materials Research, Volume 874, 2014, Pages 77-81.
- [8] Hatala M. et. al.: *Research of the Technological Parameters Importance for Plasma Arc Thermal Cutting*, Applied Mechanics and Materials, 110-116 (2012), 3742-3749.
- [9] Janecki D.: *Edge elimination effect elimination in the recursive implementation of Gaussian filters*, Precision Engineering. 36, 1 (2012), 128-136.
- [10] Janecki D.: *Gaussian filters with profile extrapolation*, Precision Engineering. 35, 4 (2011), 602-606.
- [11] Janecki D.: *A generalized L_2 -spline filter*. Measurement. 42, 6 (2009), 937-943.