

Stanisław ADAMCZAK, Dariusz JANECKI, Włodzimierz MAKIEŁA, Krzysztof STĘPIEŃ
POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, WYDZIAŁ MECHATRONIKI I BUDOWY MASZYN, Al. 1000-lecia P. P. 7, 25-314 Kielce

Eksperymentalna weryfikacja pomiaru elementów o zmiennej średnicy metodą promieniową

Prof. dr hab. inż. Stanisław ADAMCZAK

Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak, dr h.c., pełni funkcję Rektora Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Jego zainteresowania naukowe obejmują podstawy metrologii i metrologię wielkości geometrycznych. Jest członkiem wielu organizacji i stowarzyszeń naukowych, m.in. Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN. W swoim dorobku ma ponad 200 publikacji i 120 referatów, jest także autorem lub współautorem szeregu patentów.

e-mail: adamczak@tu.kielce.pl



Dr hab. inż. Dariusz JANECKI

Studia wyższe na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej ukończył w 1981, a w 1986 obronił tam pracę doktorską. W 1996 obronił pracę habilitacyjną w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN. Zainteresowania naukowe obejmują teorię sterowania ze szczególnym uwzględnieniem metod identyfikacji i sterowania adaptacyjnego, matematyczne podstawy metrologii powierzchni oraz problemy związane z modernizacją przyrządów pomiarowych.

e-mail: djanecki@tu.kielce.pl



Dr inż. Włodzimierz MAKIEŁA

Dr inż. Włodzimierz Makiela jest adiunktem w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. W swoich pracach zajmuje się zagadnieniami inżynierii jakości oraz podstaw metrologii i pomiarów wielkości geometrycznych, a w szczególności analizą amplitudowo-częstotliwościową zarysów chropowatości, prostoliniowości i okrągłości. Posiada ponad 20-letnią praktykę pracy w przemyśle w zapleczu naukowym branży armatury przemysłowej.

e-mail: wmakeiela@tu.kielce.pl



Dr inż. Krzysztof STĘPIEŃ

Dr inż. Krzysztof Stępień jest adiunktem w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. W swoich pracach zajmuje się zagadnieniami podstaw metrologii i pomiarów wielkości geometrycznych, a w szczególności pomiarami zarysów okrągłości i walcowości. Jest współautorem 40 prac prezentowanych w czasopiśmie krajowych i zagranicznych oraz na konferencjach międzynarodowych.

e-mail: kstepien@tu.kielce.pl



Streszczenie

W praktyce przemysłowej istnieje duża grupa elementów, które nominalnie nie stanowią idealnych walców, np. elementy stożkowe czy baryłkowe. Ogólnie można je zdefiniować jako elementy walcowe o zmiennej średnicy. Niestety, obecnie istniejące specjalistyczne systemy pomiarowe posiadają jedynie opcje umożliwiające pomiar odchylek kształtu elementów nominalnie walcowych. Z tego powodu istnieje konieczność opracowania metod i procedur umożliwiających pomiar odchylek kształtu elementów, których element skojarzony nie jest idealnym walcem. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentalnej weryfikacji koncepcji pomiaru elementów o zmiennej średnicy za pomocą metody promieniowej, stosowanej dotychczas do pomiaru i oceny zarysów okrągłości i walcowości.

Słowa kluczowe: odchyłka kształtu, pomiar, metoda promieniowa.

Experimental verification of measurement of diameter changing elements by the radial method

Abstract

Nowadays, there are special-purpose systems allowing accurate measurements of form deviations of machine elements that are nominally cylindrical [1, 2]. However, in industrial practice there is a large group of rotary elements, which are not nominal cylinders. They may be, for example, conical or barrel-shaped elements. In general, they may be defined as changing diameter elements. Unfortunately, available special-purpose measuring systems have only an option of measurements of elements that are nominally cylindrical. This is the reason why it is necessary to develop new methods and procedures allowing measurements of form deviations of elements that are not nominally cylindrical but, for example, conical or barrel-shaped [3, 4]. In order to measure form deviations reliably, it is necessary to calculate parameters of so-called reference feature (according to new standards it is also called as an associated feature) [6, 8]. In case of nominally cylindrical elements an associated feature is a mathematically ideal cylinder. However, if one wants to measure elements that are not nominally cylindrical applying a nominal cylinder as a reference will be the source of errors when calculating deviation parameters. In order to avoid such errors, it is necessary to apply a reference feature, that would be similar to the nominal shape of measured element as much as possible. In order to obtain accurate measurement results it is also necessary to select appropriate method of

the filtration of measuring signal [7]. The article presents results of experimental verification of measurements of changing diameter elements by the radial method, which have been previously applied to measurements of cylindricity and roundness only [5]. In section 1 the scope of the research activities is described. Section 2 provides details of the measuring system (Fig. 1) that was used during the experiments. In section 3 the description of the experiments and measurement results are given (see Fig. 2 to 6). Section 4 provides summary and conclusions.

Keywords: form deviation, measurement, radial method.

1. Wprowadzenie

W chwili obecnej istnieją już specjalistyczne systemy umożliwiające dokładny pomiar odchylek kształtu części maszyn, których kształt nominalny jest idealnym walcem [1, 2]. Jednak w praktyce przemysłowej istnieje duża grupa elementów, które nominalnie nie stanowią idealnych walców. Można wśród nich wymienić np. elementy stożkowe czy baryłkowe. Ogólnie można je zdefiniować jako elementy walcowe o zmiennej średnicy. Z tego względu współczesny przemysł wymaga stosowania systemów pomiaru i oceny powierzchni obrotowych o zmiennych średnicach z dokładnością podobną do uzyskiwanych przy kontroli powierzchni walcowych. Jednak w przypadku występowania powierzchni obrotowych o zmiennych średnicach, w zasadzie nie mogą być wykorzystane metodyka i procedury oceny przyjęte do powierzchni walcowych. Wynika to głównie z istnienia silnych nieliniowości charakteryzujących związek pomiędzy zmianami promienia przedmiotu a wskazaniami czujnika pomiarowego, które w tradycyjnych metodach pomiaru stosowanych przy małych odchyłkach od walca średniego są nieznaczne i są pomijane.

Wspomniane nieliniowości mają trzy podstawowe przyczyny:

- nieliniowości związane z nieliniową charakterystyką czujnika pomiarowego, a więc nieliniową zależnością pomiędzy wskazaniami czujnika a przesunięciem rdzenia,
- nieliniowości związane z ruchem obrotowym ramienia czujnika (własność charakterystyczna dla przyrządów typu konturoskop),
- nieliniowości pomiędzy wartością promienia w wybranym punkcie zarysu a odległością punktu od osi obrotu przedmiotu lub wrzeciona.

Dlatego też istnieje potrzeba przystosowania typowych przyrządów do oceny zarysów walцовości do pomiaru powierzchni obrotowych o zmiennej średnicy poprzez opracowanie specjalnej metodyki wykonywania pomiaru oraz przystosowanie do niej istniejących przyrządów pomiarowych. Z tego względu w Politechnice Świętokrzyskiej podjęto się realizacji projektu badawczego dotyczącego tej problematyki. W ramach badań teoretycznych celem projektu było opracowanie metodyki i procedur pomiaru i oceny zarysów kształtu, w tym:

1. Zdefiniowanie elementów geometrycznych niezbędnych do oceny zarysów kształtu powierzchni obrotowych o zmiennej średnicy, ustalenie teoretycznych zależności umożliwiających wyznaczenie elementów geometrycznych, a w szczególności powierzchni i osi skojarzonych (stożek – oś stożka, baryłka – oś baryłki, siodło – oś siodła), zdefiniowanie parametrów oceny.
2. Opracowanie metod identyfikacji charakterystyk czujników pomiarowych, co pozwoliłyby na przeliczanie wskazań czujnika pomiarowego na rzeczywiste położenie jego końcówki.
3. Opracowanie podstaw teoretycznych filtracji zarysów powierzchni obrotowych.
4. Opracowanie programów komputerowych w języku *Mathematica* umożliwiających ocenę zarysów kształtu stożkowości, baryłkowości i siodłowości.

Celem eksperymentalnej części pracy było:

1. Zbudowanie modelowego, laboratoryjnego stanowiska badawczego.
2. Przeprowadzenie doświadczalnej weryfikacji opracowanej metodyki i przyjętych procedur oceny zarysów.
3. Zweryfikowanie opracowanej koncepcji w warunkach przemysłowych.

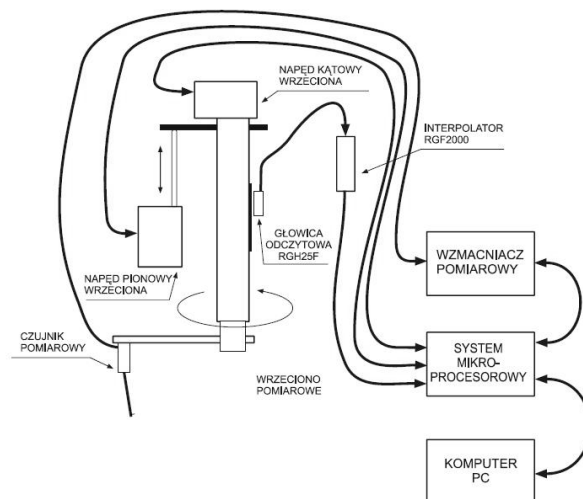
Rozwiązanie zagadnień teoretycznych opisano, m.in. w pracach [3, 4].

2. Stanowisko badawcze

W związku z pozytywnym zakończeniem teoretycznej części pracy badawczej przystąpiono do części eksperymentalnej. W tym celu konieczne było zbudowanie odpowiedniego stanowiska badawczego. Stanowisko to zostało zbudowane w oparciu o używany przyrząd pomiarowy TALLYROND 3. Przyrząd TALLYROND 3 angielskiej firmy *Taylor Hobson* był produkowany w początku lat 70-tych ubiegłego wieku. Służył do pomiaru parametrów powierzchni walцовych metodą promieniową bezodniesieniową. Z jego pomocą można było mierzyć okrągłość, walцовość metodą przekrojów poprzecznych, niecentryczności między powierzchniami obrotowymi zewnętrzną i wewnętrzną (dla pierścieni), prostoliniowość tworzących itp. [5]. W przyrządzie TALLYROND 3 mierzony detal spoczywa na nieruchomym stole. Czujnik pomiarowy jest zamocowany do wrzeciona pomiarowego i wykonuje ruch obrotowy wokół detalu. Wrzeciono pomiarowe może być przesuwane pionowo wzdłuż osi obrotu. Bezwzględne położenie wrzeciona w osi Z odczytuje się na przmiarze kreskowym, zamontowanym w przyrządzie. Stół można przemieszczać w niewielkim zakresie w płaszczyźnie poziomej co daje możliwość wycentrowania detalu względem osi obrotu wrzeciona. Przy zastosowaniu dodatkowego oprzyrządowania możliwe jest doprowadzenie do równoległości osi powierzchni mierzonej z osią obrotu czujnika. Do napędu wrzeciona i pionowego przesuwu wrzeciona użyto silników synchronicznych, dzięki czemu nie ma konieczności stosowania regulatorów prędkości. Wyboru prędkości obrotowej wrzeciona i prędkości przesuwu dokonuje się przez określone ustawienie przekładni mechanicznych. W przyrządzie zastosowano różnicowy, dławikowy czujnik indukcyjny. Jest on zasilany napięciem sinusoidalnym o częstotliwości 10 kHz. Sygnał z czujnika był doprowadzony do wzmacniacza tranzystorowego z wbudowanym zestawem filtrów analogowych. Po wzmocnieniu i ukształtowaniu widma amplitudowego sygnał wyjściowy był zapisywany przez dwa rejestratory elektroiskrowe: biegunowy i liniowy. Rejestrator biegunowy był synchronizowany z ruchem obrotowym wrzeciona przy pomocy sygnału referencyjnego,

pojawiającego się w określonym położeniu kątowym czujnika. Współbieżność rejestratora i ruchu czujnika zapewniało zastosowanie w napędach obu tych urządzeń silników synchronicznych. W ten sam sposób zapewniono zgodność ruchu wrzeciona w osi Z i przesuwu taśmy w rejestratorze liniowym. Dzięki temu możliwe było skalowanie pomiarów po tworzącej. Wyznaczenie parametrów mierzonej powierzchni sprowadzało się do analizy otrzymanych z obu rejestratorów wykresów.

Modernizacja części mechanicznej przyrządu polegała na zamontowaniu optoelektronicznego czujnika położenia wrzeciona w osi Z. Zastosowano czujnik refleksyjny o konstrukcji otwartej firmy Renishaw. Bardzo małe wymiary urządzenia i prosty montaż umożliwiły umieszczenie go we wnętrzu przyrządu TALLYROND 3. Schemat blokowy zmodernizowanego układu elektronicznego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układu elektronicznego, współpracującego z przyrządem TALLYROND 3

Fig. 1. Block diagram of the electronic unit co-operating with the TALLYROND 3 instrument

Na zestaw do pomiaru przemieszczenia wrzeciona składają się:

- taśma pomiarowa RGS20-S – jest to stalowy liniał ze złożoną powierzchnią odbijającą, zabezpieczoną przed wpływami środowiska. Wykonany jest z podziałką 20 mm.
- głowica odczytowa RGH25F – głowica odczytowa zawiera źródło światła (LED) i zestaw detektorów światła odbitego. Ponadto w głowicy znajdują się układy elektroniczne wzmacniające i formujące sygnały z detektorów światła oraz układy sygnalizujące zakłócenia w pracy systemu: zbyt małe natężenie strumienia światła odbitego od liniału, niewłaściwą odległość głowicy od liniału, uszkodzenie powierzchni liniału itp.
- interpolator RGF2000 – na podstawie dwufazowego, sinusoidalnego sygnału z głowicy RGH25F o długości fali 20 mm interpolator generuje dwufazowy sygnał logiczny o rozdzielczości do 10 nm. Interpolator wyposażony jest w układ autokalibracji i nadajniki linii w standardzie RS422.

Głowica odczytowa RGH25F jest przymocowana do korpusu przyrządu i pozostaje nieruchoma w trakcie ruchu pionowego wrzeciona. Liniał RGS20-S jest naklejony na powierzchnię zewnętrzną wrzeciona pomiarowego i przesuwa się wraz z wrzecionem. Brak jakiegokolwiek mechanicznego kontaktu między liniałem a głowicą daje gwarancję, że pomiar pionowego położenia wrzeciona nie wprowadza dodatkowych błędów do pomiarów.

W przyrządzie TALLYROND 3 zamontowano dodatkowo transformator 230/110 V do zasilania silników napędów oraz przekładniki elektromagnetyczne do zdalnego włączania/wyłączania napędów. Oryginalne urządzenia elektroniczne współpracujące z przyrządem zastąpiono w całości nową aparaturą, która umożliwia sterowanie i rejestrację wyników pomiaru przy pomocy komputera PC. W ramach prowadzonych prac, zbudowano także wzmacniacz pomiarowy zintegrowany z systemem mikroprocesorowym.

3. Eksperyment

Do opracowanej metodyki i przyjętych procedur oceny zarysów kształtu powierzchni obrotowych o zmiennej średnicy metodami pomiaru zmian promieni przyjęto typowe w budowie maszyn elementy obrotowe charakteryzujące się dużą zmiennością wymiarów, które dotychczas były tylko oceniane jako szczególne przypadki zarysów walcowości jako cechy geometrycznych przedmiotów wykonanych w postaci walca. Do tych elementów zaliczono następujące przypadki: baryłka, siódło i stożek.

Biorąc pod uwagę konieczność przeprowadzenia tej weryfikacji zaprojektowano następujące elementy:

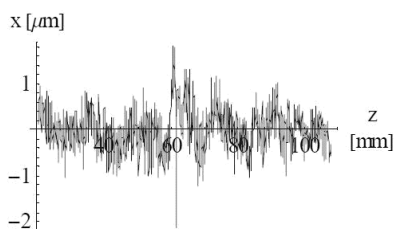
- trzy baryłki o promieniach tworzącej:
 $R = 63 \text{ mm}$, $R = 250 \text{ mm}$, $R = 1000 \text{ mm}$,
- trzy siódła o promieniach tworzącej:
 $R = 63 \text{ mm}$, $R = 250 \text{ mm}$, $R = 1000 \text{ mm}$,
- trzy stożki o zbieżnościach tworzącej: 1:100, 1:50, 1:25.

W tabeli 1 pokazano wartości promieni i odchyłek kształtu (profilu niefiltrowanego ΔC i filtrowanego ΔC_f) dla przedmiotu wzorcowego w postaci baryłki i siódła, a także wartości zbieżności i odchyłek kształtu dla stożkowych przedmiotów wzorcowych.

Tab. 1. Wyniki pomiarów elementów wzorcowych
Tab. 1. Measurement results of reference specimens

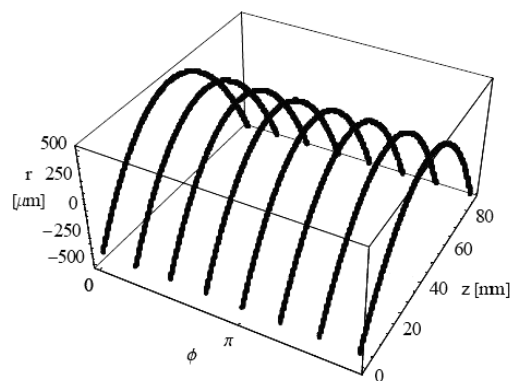
Wyniki pomiarów baryłek			
Baryłka	R , mm	ΔC , μm	ΔC_f , μm
$R=1000$	999,296	5,069	2,571
$R=250$	250,212	4,019	4,202
$R=63$	62,971	5,911	2,904
Wyniki pomiarów siodeł			
Siodło	R , mm	ΔC , μm	ΔC_f , μm
$R=1000$	998,720	8,245	1,54
$R=250$	250,093	4,208	3,071
$R=63$	63,008	5,325	3,738
Wyniki pomiarów stożków			
Stożek	k , $\mu\text{m}/\text{mm}$	ΔC , μm	ΔC_f , μm
$k=1:100$	10,204	7,586	1,541
$k=1:50$	20,459	13,078	4,822
$k=1:25$	41,696	2,713	1,116

Oprócz analizy wartości liczbowych poszczególnych parametrów dokonano także wizualnej oceny zmierzonych zarysów za pomocą różnego rodzaju wykresów. Między innymi, dla każdego pomiaru wyznaczono zarys prostoliniowości tworzącej mierzonego elementu względem linii średniej. Przykładowy wykres dla stożka o zbieżności 1:100 przedstawia rysunek 2.

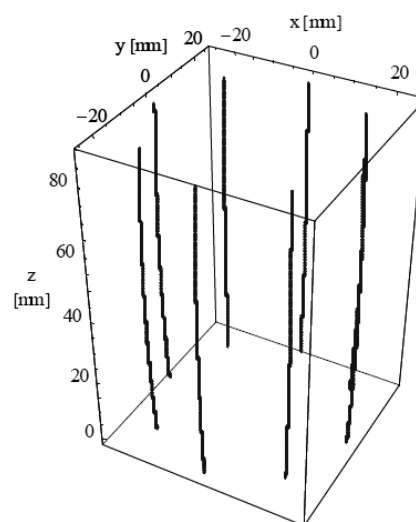


Rys. 2. Zarys prostoliniowości tworzącej wzorcowego elementu stożkowego o zbieżności 1:100
Fig. 2. A straightness profile of the conical reference specimen with nominal conicity 1:100

Dla wszystkich przedmiotów wzorcowych typu baryłka i siódło zastosowano oryginalną metodę wyznaczania elementów skojarzonych, której podstawy teoretyczne zostały przedstawione w pracy [4]. Elementy skojarzone dla stożków wyznaczono metodą opisaną w pracy [6]. W obliczeniach uwzględniono są wszystkie punkty pomiarowe uzyskane poprzez zastosowanie metody n - przekrojów wzdłużnych. Zastosowano również oryginalną metodę filtracji [7] umożliwiającą oddzielenie składowych pochodzących od falistości i chropowatości powierzchni oraz aproksymacji całej powierzchni rzeczywistej. Dla każdego wzorcowego elementu przedstawiono, m.in., wykres profilu zmierzonego w układzie współrzędnych cylindrycznych i prostokątnych. Przykładowy wykres elementu baryłkowego we współrzędnych cylindrycznych przedstawia rysunek 3, natomiast we współrzędnych kartezjańskich rysunek 4.

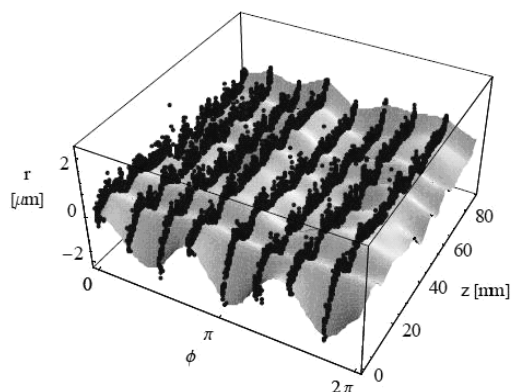


Rys. 3. Wykres zmierzonego profilu baryłkowego we współrzędnych cylindrycznych
Fig. 3. Diagram of measured barrel-shaped profile in cylindrical coordinates



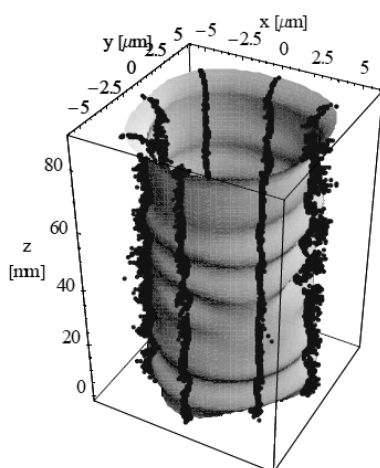
Rys. 4. Wykres zmierzonego profilu baryłkowego we współrzędnych kartezjańskich
Fig. 4. Diagram of measured barrel-shaped profile in Cartesian coordinates

Wykonano także wykresy odchyłek profilu przefiltrowanego wraz z zaznaczonymi wartościami odchyłek profilu nie filtrowanego w układzie współrzędnych cylindrycznych (rys. 5) oraz kartezjańskich (rys. 6).



Rys. 5. Filtrowany i nie filtrowany zmierzony zarys elementu baryłkowego we współrzędnych cylindrycznych

Fig. 5. Filtered and non-filtered profile of the barrel-shaped element in cylindrical coordinates



Rys. 6. Filtrowany i nie filtrowany zmierzony zarys elementu baryłkowego we współrzędnych kartezjańskich

Fig. 6. Filtered and non-filtered profile of the barrel-shaped element in Cartesian coordinates

4. Podsumowanie i wnioski

W przypadku powierzchni obrotowych o zmiennych średnicach, w zasadzie nie mogą być wykorzystane metodyka i procedury oceny przyjęte do powierzchni walcowych. Do pomiaru takich powierzchni muszą być zastosowane systemy pomiarowe, w których występujące czujniki powinny charakteryzować się zminimalizowaną nieliniowością przedstawiającą związek pomiędzy zmianami promienia przedmiotu a ich wskazaniem. W związku z tym przyjęto próbę przystosowania istniejących systemów do oceny zarysów walcowości do pomiaru powierzchni obrotowych o zmiennej średnicy poprzez opracowanie specjalnej metodyki i procedur pomiarowych. Po wykonaniu prac teoretycznych, których wyniki opublikowano, np. w [3] i [4], zbudowane zostało modelowe stanowisko badawcze użyte podczas eksperymentalnej weryfikacji opracowanej koncepcji. Stanowisko wyposażono w typowy przyrząd do oceny zarysów kształtu Talysurf 3 firmy Taylor-Hobson, którego prawidłowe funkcjonowanie zapewnia oryginalne urządzenie elektroniczne składające się z oryginalnego wzmacniacza zintegrowanego z systemem mikroprocesorowym. Sterownik jest obsługiwany przez komputer PC i odpowiednie programy komputerowe. Stanowisko to umożliwiło przeprowadzenie doświadczalnych weryfikacji przeprowadzonych rozważań teoretycznych i opracowanie metodyki i procedur po-

miarowych. Weryfikację tę przeprowadzono dla elementów wzorcowych w postaci baryłek, siodeł i stożków.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów porównawczych wykonanych na modelowym stanowisku badawczym i WMP Eclipse 500 firmy Zeiss, stwierdzono, że zaproponowana metodyka i przyjęte procedury pomiarowe do pomiaru promieni baryłek zapewniają dużą dokładność pomiaru zawierającą się w przedziale 0,02% do 0,31% [8]. Stwierdzono także, że zaproponowana korekcja nieliniowości czujnika w większości przypadków poprawia tą dokładność.

W ramach pracy badawczej koncepcja została także zweryfikowana w warunkach przemysłowych.

Weryfikacja ta przeprowadzona została dla partii baryłek jako elementów tocznych łożysk baryłkowych wykonanych w F< Kraśnik i pomierzonych na przyrządzie Formtalsurf w NSK Bearings Poland w Kielcach, a także na modelowym laboratoryjnym stanowisku badawczym. Weryfikacja ta odnosiła się do wartości promieni, a jej szczegółowe wyniki opublikowano w [3]. Stwierdzono, że wyniki pomiarów wykonane na modelowym stanowisku badawczym są bardzo zbliżone do pomiarów wykonanych na wzorcowym przyrządzie Form Talsurf. Dowodzi to, że zaproponowana metodyka i przyjęte procedury pomiarowe, a zwłaszcza propozycja korekcji nieliniowości czujnika są wykonane poprawnie.

Opracowana metodyka i przyjęte procedury pomiarowe umożliwiają również wyznaczenie odchyłek kształtu baryłkowatości, siodłowości oraz stożkowości elementów o dużej zmienności promieni, ale ze względu na brak jakichkolwiek metod oceny takich odchyłek nie było możliwości dokonania eksperymentalnych badań porównawczych wykorzystując inne metody pomiaru lub inne przyrządy pomiarowe.

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego MNiS:W nr 4 T07D 026 26, pt. "Teoretyczno-eksperymentalne podstawy oceny zarysów kształtu powierzchni obrotowych o zmiennej średnicy metodami pomiaru zmian promieni".

5. Literatura

- [1] Osanna P. H. et al.: Cylindricity – a well known problem and solution, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32 (1/2), 1992, pp. 91-97.
- [2] Shuo-Yan Chou and Chung-Wei Sun: Assessing cylindricity for oblique cylindrical features, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40 (3), 2000, pp. 327-341.
- [3] Janecki D., Stępień K., Adamczak S.: Problems of measurement of barrel- and saddle-shaped elements using the radial method, *Measurement*, vol. 43/5, 2010, pp. 659-663
- [4] Janecki D., Adamczak S., Stępień K.: Calculation of the associated feature for barrel and saddle-shaped cylindrical elements. *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 5/2008, Warszawa, s. 229 – 237.
- [5] Żebrowska-Lucyk S.: Bezodniesieniowa metoda badania makrogeometrii powierzchni elementów obrotowych. *Politechnika Warszawska. Prace Naukowe. Mechanika*, zeszyt 187, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [6] Adamczak S., Janecki D., Stępień K.: Obliczanie położenia osi walca skojarzonego dla elementów walcowych mierzonych strategią „klatki”. *Kongres Metrologii 2007 nt. „Metrologia – narzędzie poznania i droga rozwoju”*. Kraków, 9-13 września 2007.
- [7] Raja J, Muralikrishnan B, Fu S.: Recent advances in separation of roughness, waviness and form, *Precision Engineering*, no. 26, 2002, pp. 222–35.
- [8] Janecki D., Stępień K., Adamczak S.: Calculation of reference surface parameters for elements whose generatrix is a fragment of a circle, *XIX IMEKO World Congress, Fundamental and Applied Metrology*, September 6 – 11, 2009, Lizbona, Portugalia.