

Principles of good metrological practice of form deviation measurements

Zasady dobrej praktyki metrologicznej pomiarów zarysu kształtu

STANISŁAW ADAMCZAK
JACEK ŚWIDERSKI
TOMASZ DOBROWOLSKI
IRENEUSZ PIOTR CHMIELIK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2023.5-6.10>

The article concerns the measurements of form using the radial method. The most important factors influencing the obtaining of reliable measurement results of the outlines of the form of rotary elements with the use of measuring instruments operating on the principle of the method of measuring changes in the radius were presented. The principles of good metrological practice ensuring obtaining reliable measurement results at the stage of preparing the instrument, carrying out measurements and performing the analysis of the obtained results in order to determine the parameters are discussed.

KEYWORDS: form deviation, geometrical tolerance, measurement uncertainty

Artykuł dotyczy pomiarów zarysów kształtu metodą promieniową. Przedstawiono najważniejsze czynniki wpływające na wiarygodność wyników pomiarów zarysów kształtu elementów obrotowych przeprowadzonych z użyciem przyrządów wykorzystujących metodę pomiaru zmian promienia. Omówiono zasady dobrej praktyki metrologicznej zapewniającej uzyskiwanie wiarygodnych wyników pomiarów na etapie przygotowywania przyrządu, przeprowadzania pomiarów oraz analizowania wyników w celu wyznaczenia parametrów.

SŁOWA KLUCZOWE: zarysy kształtu, tolerancje geometryczne, niepewność pomiaru

Wprowadzenie

We współczesnym świecie urządzenia z obracającymi się częściami odgrywają ogromną rolę. Elementy obrotowe, takie jak wał, tuleja, części składowe łożysk tocznych i łożysk ślizgowych, wchodzi w skład wielu maszyn oraz sprzętów powszechnego użytku. Ze względu na coraz bardziej restrykcyjne wymagania dotyczące niezawodności, energooszczędności, występowania drgań i szumów, elementy te muszą spełniać coraz ostrzejsze kryteria związane z tolerancjami geometrycznymi. Tym wymaganiom muszą sprostać zastosowane techniki obróbki, ale również przyrządy pomiarowe służące do oceny zgodności ze specyfikacją.

W zakresie dokładnych pomiarów odchyłek kształtu powierzchni obrotowych największe znaczenie odgrywa metoda pomiaru zmian promienia – nazywana często metodą bezodniesieniową. Przyrządy pomiarowe wykorzystujące tę metodę powinny zapewniać precyzyjny ruch obrotowy czujnika pomiarowego względem mierzonego elementu (przyrządy z obrotowym czujnikiem) lub elementu względem czujnika (przyrządy z obrotowym stołem). Ograniczeniem stosowania tych przyrządów są gabaryty mierzonych elementów.

Zasady dobrej praktyki pomiarowej przy pomiarach zarysów kształtu przyrządami wykorzystującymi metodę zmian promienia dotyczą trzech etapów postępowania:

- przygotowania przyrządu,
- przeprowadzenia samego pomiaru,
- analizy otrzymanego wyniku w celu wyznaczenia parametrów.

Czynności związane z przygotowaniem przyrządu pomiarowego są cennym źródłem informacji o potencjalnych źródłach błędów mających wpływ na niepewność pomiaru [1]. Mogą one posłużyć do sporządzenia budżetu niepewności.

Do czynności związanych z przygotowaniem przyrządu pomiarowego można zaliczyć:

- adjustację czujnika pomiarowego,
- pomiar błędu promieniowego wrzeciona,
- pomiar błędu osiowego wrzeciona,
- pomiar prostoliniowości osi Z,
- wyznaczenie szumu pomiarowego,
- sprawdzenie pełzania sygnału.

Z etapem przeprowadzania pomiarów zarysu kształtu związane są następujące zagadnienia:

- przygotowanie powierzchni mierzonego przedmiotu,
- mocowanie przedmiotu na stoliku pomiarowym,
- dobór końcówki pomiarowej (geometria),
- ustawienie siły nacisku,
- przeprowadzenie centrowania i poziomowania (dokładność),
- dobór zakresu pomiarowego,

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak – adamczak@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7797-6330> – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Polska
Dr inż. Jacek Świdorski – swiderski@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0009-0009-1234-0807> – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Polska
Mgr inż. Tomasz Dobrowolski – t.dobrowolski@tu.kielce.pl, <https://orcid.org/0009-0008-6083-7319> – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, Polska
Dr inż. Ireneusz Piotr Chmielik – p.chmielik@taylor-hobson.pl – Taylor Hobson Polska

- dobór prędkości obrotowej stolika podczas pomiarów.

Z etapem analizy otrzymanego wyniku związane są:

- dobór elementu odniesienia,
- dobór typu filtra i jego wartości.

Przygotowanie przyrządu pomiarowego

Przyrządy przeznaczone do pomiaru zarysów kształtu metodą zmian promienia mogą mieć obrotowy stół lub obrotowy czujnik. W przypadku przyrządów z obrotowym stołem najczęściej stosuje się w konstrukcji wrzeciono z łożyskowaniem aerostatycznym. Konstrukcja przyrządu umożliwia centrowanie i poziomowanie mierzonego elementu zamocowanego na stole pomiarowym z określoną dokładnością.

W przyrządach stykowych zmiany wartości profilu mierzonego elementu rejestrowane są za pomocą indukcyjnych czujników przemieszczeń o nieliniowej charakterystyce. Charakterystyka indukcyjnego czujnika przemieszczeń przypomina literę „S”. Czułość czujnika jest największa w środkowej części zakresu pomiarowego.

Przyrządy do pomiarów zarysu kształtu są wyposażone w czujniki z wymienną końcówką pomiarową. W takiej konfiguracji ramię czujnika obraca się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś Z (oś obrotu wrzeciona). Obrót ramienia wywołany zmianami promienia mierzonego elementu będzie powodował dodatkowe przesunięcie końcówki wzdłuż osi Z.

W praktyce stosowane są ramiona pomiarowe o różnej długości, zakończone kulkami o różnych średnicach. Najczęściej stosowanym materiałem kulek jest rubin. Bazę odniesienia przy pomiarach odchyłki walcowości i prostoliniowości pionowej stanowi kolumna przyrządu. Przy realizacji pomiarów płaskości wielopłaszczyznowej oraz prostoliniowości poziomej jako bazę wykorzystuje się ramię pomiarowe (oś X), na końcu którego zamontowany jest czujnik pomiarowy. Pozycjonowanie osi Z i X odbywa się w oparciu o liniały inkrementalne [9].

Adjustacja wzmocnienia czujnika pomiarowego

Adjustacja wzmocnienia czujnika pomiarowego jest podstawową czynnością zapewniającą uzyskiwanie wiarygodnych wyników, ponieważ mogą z nim współpracować końcówki pomiarowe o różnej długości i pozycjonowane pod różnymi kątami w stosunku do osi czujnika, wynikającymi z geometrii mierzonego elementu. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że każdy z zakresów pomiarowych czujnika powinien być adjustowany oddzielnie.

Adjustację wzmocnienia czujnika pomiarowego można zrealizować z wykorzystaniem:

- wzorca walcowego ze ścięciem (*flick standard*),
- płytek wzorcowych,
- liniału inkrementalnego ramienia poziomego przyrządu.

Najczęściej stosowaną metodą adjustacji wzmocnienia czujnika pomiarowego jest zastosowanie wzorca walcowego ze ścięciem (*flick standard*) (rys. 1a) w po-

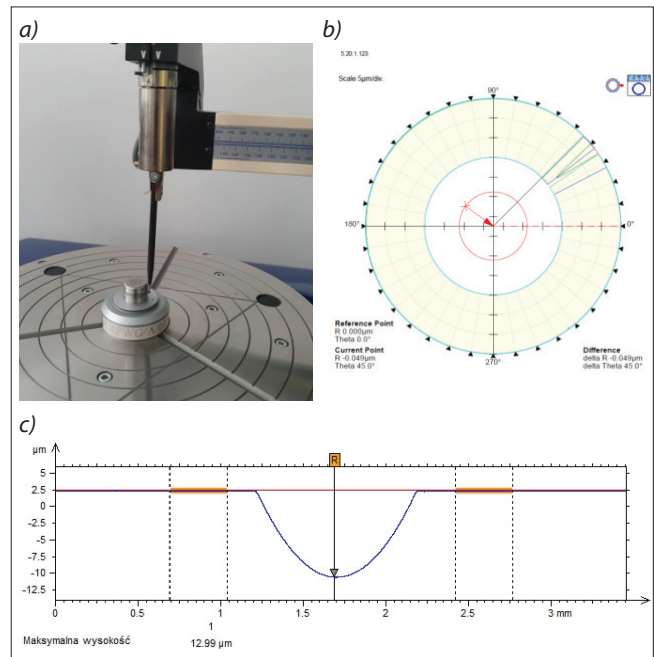


Fig. 1. Adjustment of the measuring sensor gain using a cylindrical standard with a shear (*flick standard*): a) calibration process, b) standard measurement result, c) standard calibration result using a contact profilometer

Rys. 1. Adjustacja wzmocnienia czujnika pomiarowego za pomocą wzorca walcowego ze ścięciem (*flick standard*): a) proces wzorcowania, b) wynik pomiaru wzorca, c) wynik wzorcowania wzorca za pomocą profilometru stykowego

staci precyzyjnie wykonanego walca z płaską częścią o określonej wartości strzałki łuku. Podczas pomiaru zarysu okrągłości płaska część powierzchni walca generuje ugięcie, gdy trzpień pomiarowy przechodzi przez tę część wzorca (rys. 1b). Zmierzone odchylenie jest następnie porównywane z wartością wzorca ze świadectwa wzorcowania i obliczany jest współczynnik korekcji wzmocnienia.

Wzorcowanie tego typu wzorców można przeprowadzić profilometrem stykowym lub współrzędnociową maszyną pomiarową o wysokiej dokładności z zastosowaniem metody wielopozycyjnej [2, 4–6]. Wynik wzorcowania za pomocą profilometru stykowego przedstawiono na rys. 1c. Kolejne pomiary wykonuje się już z wyznaczonym współczynnikiem korekcji wzmocnienia.

Przed wykonaniem adjustacji wzorec powinien być dokładnie wyśrodkowany i wypoziomowany, aby uniknąć niedokładności, które mogą być wprowadzone przez nachylenie i mimośrodowość. Gdy końcówka pomiarowa styka się ze wzorcem, należy ją ustawić w taki sposób, aby zapewnić, że jej ruch jest mierzony w połowie zakresu czujnika przyrządu. Wynik pomiaru wzorca należy analizować, przyjmując najmniejszy opisany okrąg odniesienia (rys. 1b).

Pomiary zarysów okrągłości i walcowości wykonywane są dla układu czujnika z obrotowym ramieniem. W takiej konfiguracji ramię czujnika obraca się w płaszczyźnie przechodzącej przez oś Z. Wówczas obrót ramienia wywołany zmianami promienia będzie powodował dodatkowe przesunięcie końcówki wzdłuż osi Z [3]. Należy zwrócić uwagę, że adjustację wzmocnienia czujnika pomiarowego przeprowadza się dla takiego kąta nachylenia ramienia końcówki

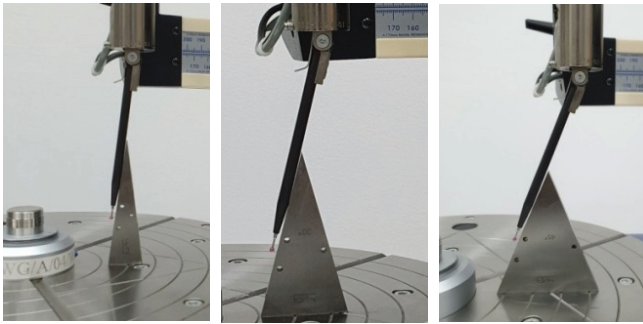


Fig. 2. Adjustment of the angle of inclination of the measuring tip arm using angle gauge blocks: a) 15° angle, b) 30° angle, c) 45° angle
Rys. 2. Regulacja ustawień kąta nachylenia ramienia końcówki pomiarowej z wykorzystaniem wzorcowych płytek kątowych: a) kąt 15°, b) kąt 30°, c) kąt 45°

pomiarowej, dla jakiego będą wykonywane pomiary badanych elementów.

Potwierdzeniem tej zasady są wyniki pomiarów wzorca ze ścięciem przeprowadzone dla czterech położeń kątowych ramienia końcówki pomiarowej: 0°, 15°, 30° i 45°. Ustawienie kąta nachylenia ramienia końcówki pomiarowej przeprowadzano z wykorzystaniem wzorcowych płytek kątowych (rys. 2). Wyniki pomiarów wzorca ze ścięciem dla poszczególnych położeń kątowych przedstawiono w tabl I.

TABLE I. Measurement results of a flick standard
TABLICA I. Wyniki pomiarów wzorca ze ścięciem

Kąt nachylenia [°]	0	15	30	45
RONt [mm]	12,14	12,51	12,69	12,92

Druga metoda adjustacji wzmocnienia czujnika pomiarowego polega na wykorzystaniu zestawów dwóch płytek wzorcowych przywarzonych do płaskiej płytki interferencyjnej (rys. 3a–b). Długości nominalne płytek wzorcowych w zestawie tworzące schodek powinny być dopasowane do adjustowanego zakresu pomiarowego czujnika. Przed przystąpieniem do adjustacji należy wypoziomować powierzchnię płytki interferencyjnej. Przywarte powierzchnie pomiarowe płytek wzorcowych obserwowane przez płytkę interferencyjną powinny być pozbawione prążków interferencyjnych oraz barwnych i jasnych plam. W długości środkowej płytek wzorcowych należy uwzględnić odchylenie długości środkowej ze świadectwa wzorcowania lub przeprowadzić wzorcowanie zestawu płytek wzorcowych w postaci schodka za pomocą profilometru stykowego (rys. 3c). To ostatnie rozwiązanie będzie uwzględniało potencjalne błędy wynikające z niedokładnego przywarzenia płytek do powierzchni płytki interferencyjnej.

W systemach pomiarowych z liniami inkrementalnymi została zaimplementowana metoda adjustacji czujnika polegająca na porównaniu sygnału czujnika pomiarowego z dokładnymi wskazaniem położenia ramienia pomiarowego. Adjustacja polega na wykonaniu autokontaktów końcówki pomiarowej z nieruchomym elementem umieszczonym na stoliku pomiarowym. Przesunięcie końcówki pomiarowej odbywa się w całym zakresie pomiarowym czujnika, co jest podstawową zaletą tej metody.

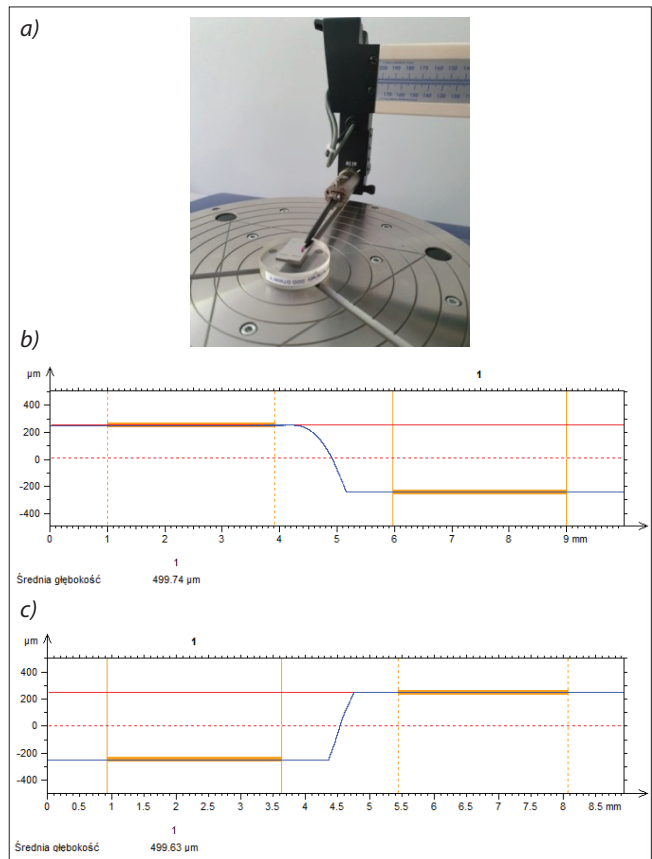


Fig. 3. Adjustment of the measuring sensor using gauge blocks: a) calibration process, b) standard measurement result obtained during adjustment, c) result of the calibration process of a set of gauge blocks obtained using a contact profilometer

Rys. 3. Adjustacja czujnika pomiarowego za pomocą płytek wzorcowych: a) proces wzorcowania, b) wynik pomiaru wzorca uzyskany podczas adjustacji, c) wynik procesu wzorcowania zestawu płytek wzorcowych uzyskany z użyciem profilometru stykowego

Pomiar błędu promieniowego wrzeciona

Wyznaczenie błędu promieniowego wrzeciona można przeprowadzić dwoma metodami: wielostopniową i odwrócenia (rys. 4a). Metoda wielostopniowa polega na wielokrotnym pomiarze wzorca w postaci półkuli szklanej obracanej na stole pomiarowym przyrzędu co 30°. Zarejestrowany w kolejnych położeń wzorca zarys okrągłości jest kombinacją błędów wrzeciona i wzorca. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów można wydzielić błędy wrzeciona i błędy wzorca. Niektóre przyrządy pozwalają na wprowadzenie korekty błędów wrzeciona. Metoda odwrócenia polega na zarejestrowaniu zarysu okrągłości wzorca w dwóch pozycjach: pozycji wyjściowej (rys. 4b) i pozycji obróconej o 180° (rys. 4c).

Pomiar prostoliniowości osi Z

Pomiar prostoliniowości osi Z przeprowadza się z wykorzystaniem wzorca w postaci cylindra o wysokości dostosowanej do wysokości kolumny przyrzędu pomiarowego (rys. 5a). Oceny przeprowadza się w oparciu o pomiary prostoliniowości tworzących wzorca dla kierunków, w których zostało przeprowadzone jego wzorcowanie. Zarejestrowany w kolejnych położeń wzorca zarys prostoliniowości jest

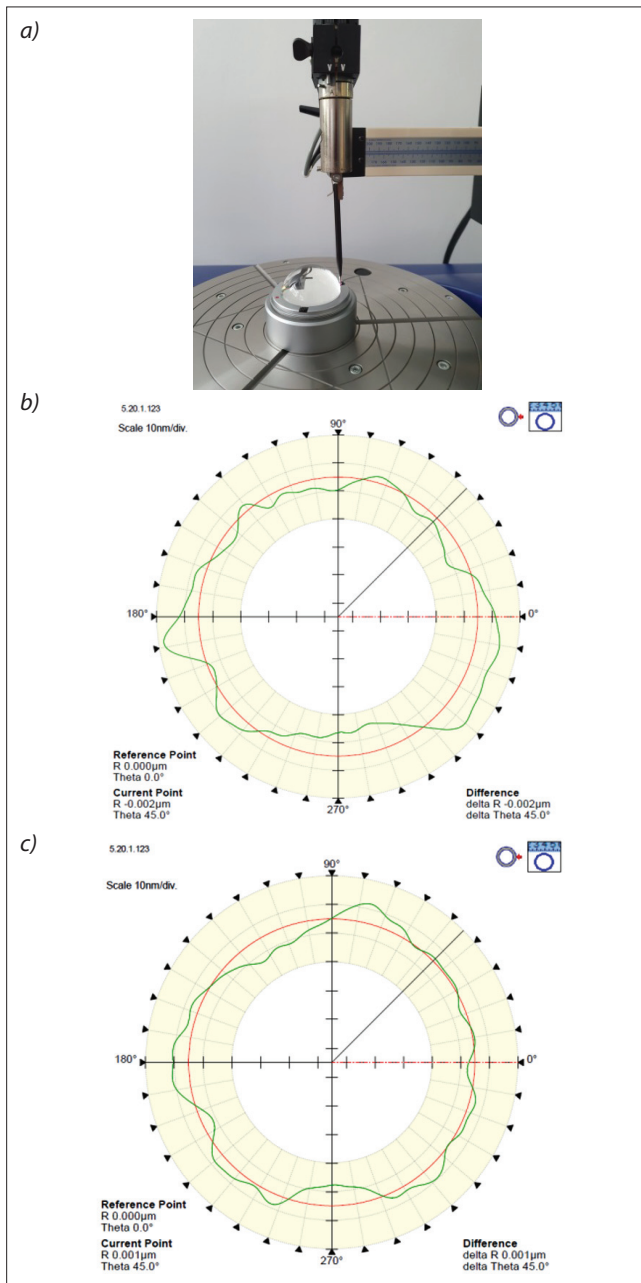


Fig. 4. Determination of the radial error of the spindle using a standard in the form of a glass hemisphere: a) calibration process, b) measurement result in the initial position, c) measurement result in a position rotated by 180°

Rys. 4. Wyznaczanie błędu promieniowego wrzeciona za pomocą wzorca w postaci półkuli szklanej: a) proces wzorcowania, b) wynik pomiaru w pozycji początkowej, c) wynik pomiaru w pozycji odwróconej o 180°

kombinacją błędów kolumny i wzorca (rys. 5b–c). Oceny dokonuje się z zastosowaniem filtra Gaussa o długości fali $\lambda c = 8 \text{ mm}$ i dla prostych odniesienia najmniejszej strefy MZ.

Przeprowadzanie pomiarów

Aby uzyskać poprawne wymiary zarysów kształtu elementów obrotowych, konieczne jest spełnienie następujących warunków [7, 8]:

- zapewnienie kąta pochylenia osi przedmiotu w stosunku do osi wrzeciona $\alpha \approx 0$,
- zapewnienie odległości środka zarysu mierzonego przedmiotu od osi obrotu wrzeciona $e \approx 0$,

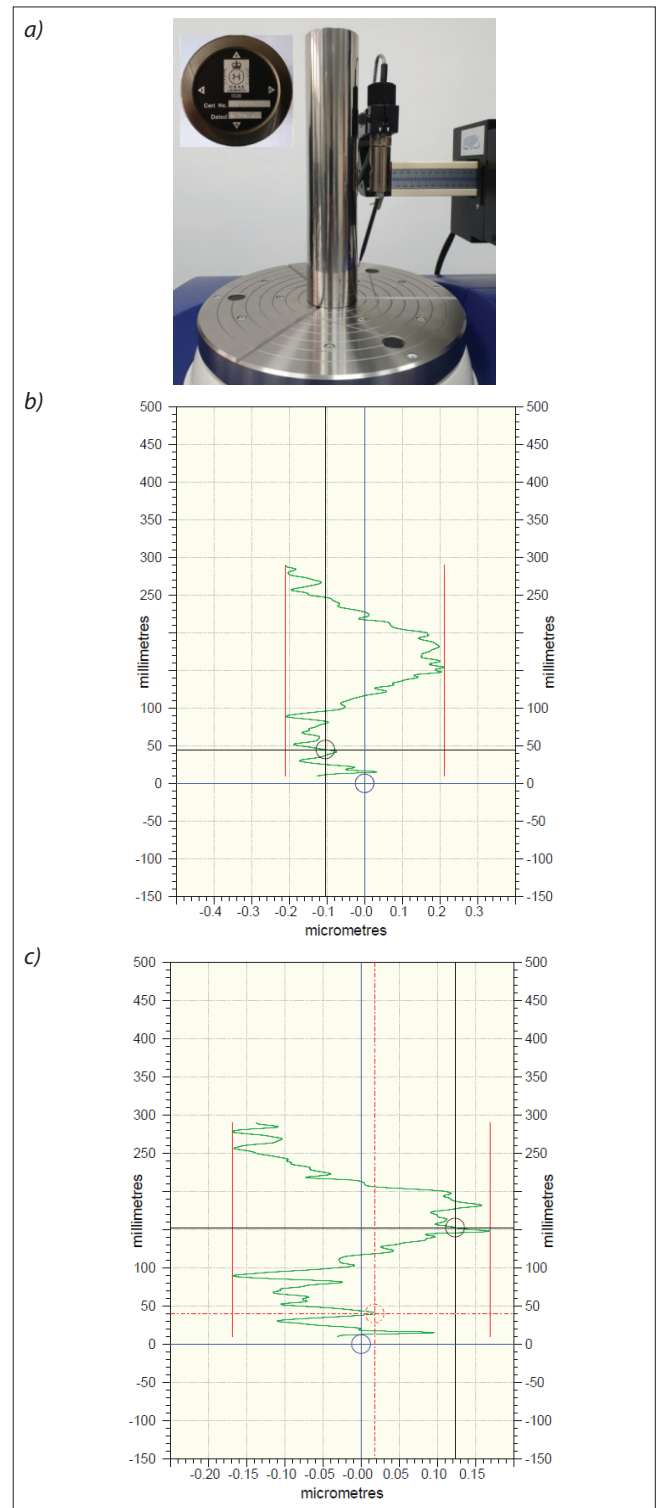


Fig. 5. Determination of the straightness error of the instrument column using a cylindrical standard: a) measurement process, b) measurement of the straightness of the path A, c) measurement of the straightness of the path D

Rys. 5. Wyznaczanie błędu prostoliniowości kolumny przyrządu z wykorzystaniem wzorca cylindrycznego: a) proces pomiaru, b) pomiar prostoliniowości ścieżki A, c) pomiar prostoliniowości ścieżki D

- zapewnienie, że kierunek pomiaru wyznaczony przez linię przesuwu końcówki pomiarowej przecina oś obrotu wrzeciona w odległości $l \approx 0$.

Niespełnienie pierwszego warunku może wynikać z niedokładności wykonania samego przedmiotu (powierzchnia czołowa jest nieprostopadła do osi mierzonego elementu), uszkodzonej powierzchni czołowej lub złego mocowania na stole pomiarowym

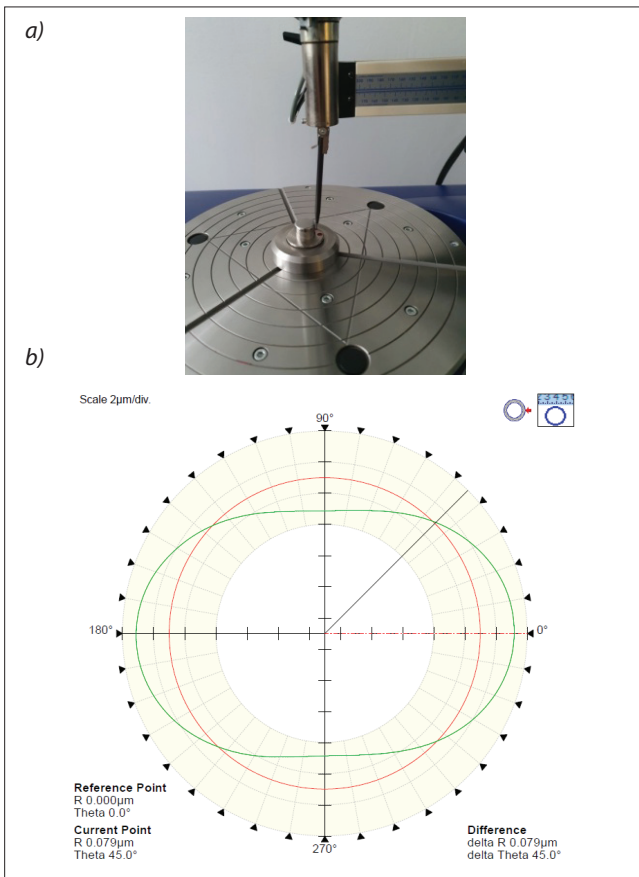


Fig. 6. Influence of the inclination angle of the workpiece axis in relation to the spindle axis on the result of roundness contour measurement: a) measurement course, b) measurement result for the Gaussian filter $2\div 15$ upr and the LS reference circle

Rys. 6. Wpływ kąta pochylecia osi przedmiotu w stosunku do osi wrzeciona na wynik pomiaru zarysu okrągłości: a) przebieg pomiaru, b) wynik pomiaru dla filtra Gaussa $2\div 15$ fal/obrót i okręgu odniesienia LS

przyrządu. Zarys powierzchni obrotowej o przekroju idealnie okrągłym, pochylonej względem osi obrotu jest owalny. Zarys powierzchni o przekroju owalnym może w wyniku pochylecia mierzonego przedmiotu wykazywać owalność większą lub mniejszą, a w szczególnym przypadku owalność może nie występować. Zobrazowanie tego zjawiska przedstawiono z wykorzystaniem wzorca, którego oś części walcowej jest pochylona w stosunku do podstawy pod kątem $\alpha = 2,39^\circ$ (rys. 6). Wartość owalu jest proporcjonalna do sumy średniego promienia badanego przekroju i promienia końcówki pomiarowej oraz kwadratu kąta pochylecia osi przedmiotu w stosunku do osi obrotu wrzeciona. Błędy wyznaczania różnicy średnic przekrojów wywołane pochyleciem osi są na ogół mniejsze od błędów wywołanych parametrami e i l .

Spełnienie drugiego warunku uzyskuje się przez wykonanie iteracyjnego procesu centrowania mierzonego przedmiotu aż do uzyskania wymaganej wartości niewycentrowania.

Przygotowanie powierzchni mierzonego przedmiotu

Stan powierzchni mierzonego elementu ma tym większe znaczenie, im większe są wymagania specyfikacyjne dotyczące tolerancji geometrycznych. Do

czyszczenia powierzchni mierzonego elementu należy używać alkoholu, który po odparowaniu nie pozostawia żadnego osadu. Powierzchnia przed pomiarem powinna być sucha i czysta. Szczególną uwagę na czystość powierzchni należy zwracać przy pomiarach z wykorzystaniem wzorców.

Mocowanie przedmiotu na stoliku pomiarowym

Jednym z najważniejszych warunków przy dokonywaniu jakiegokolwiek pomiaru jest zapewnienie stabilności mierzonego elementu. Sposób mocowania przedmiotu jest uzależniony od jego gabarytów, ciężaru, sztywności oraz stanu powierzchni czołowej. Przy elementach cienkościennych należy zwracać szczególną uwagę na możliwości deformacji w przypadku zastosowania różnego typu uchwytów. Do dobrej praktyki należy wykorzystanie trzech rowków znajdujących się na powierzchni stołu przyrządu z użyciem wałeczków (rys. 7). Takie zamocowanie zapewnia stabilne podparcie mierzonego elementu w trzech punktach, jeżeli powierzchnia czołowa mierzonego przedmiotu jest uszkodzona.

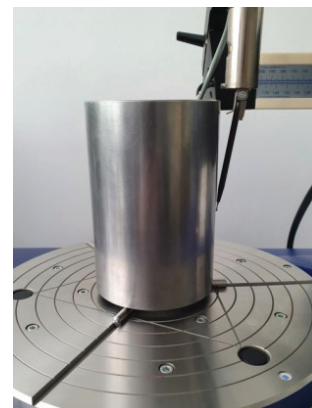


Fig. 7. Fixing the measured object with the use of grooves in the instrument table and rollers

Rys. 7. Mocowanie mierzonego przedmiotu z wykorzystaniem rowków w stole przyrządu oraz wałeczków

Dobór geometrii końcówki pomiarowej

Dobór długości ramienia końcówki pomiarowej jest uzależniony od gabarytów i geometrii mierzonego przedmiotu. Generalną zasadą jest stosowanie ramienia pomiarowego o jak najmniejszej długości ze względu na jego większą sztywność. Stosowanie końcówek pomiarowych z kulkami o większym promieniu będzie skutkowało mechanicznym filtrowaniem składowych zarysu o dużych częstotliwościach. Ma to duże znaczenie, jeżeli analiza otrzymanego zarysu będzie wymagała stosowania filtrów pasmowych, np. $150\div 1500$ fal/obrót.

Regulacja i sprawdzanie siły nacisku końcówki pomiarowej

Operator specyfikacji do pomiarów zarysu kształtu dla siły nacisku końcówki pomiarowej jest ustalony na 0 N [10]. Przyrządy do pomiaru zarysów kształtu mają możliwość programowej lub ręcznej regulacji

siły docisku końcówki pomiarowej. Regulacja i sprawdzanie siły nacisku są istotne, jeżeli przyrząd ma również możliwość pomiaru struktury geometrycznej powierzchni z zastosowaniem diamentowego ostrza odwzorowującego, ponieważ wymagana siła nacisku w tym przypadku jest zdecydowanie mniejsza. Sposób pomiaru siły nacisku końcówki pomiarowej uwzględnia wykorzystanie funkcji autokontaktu (rys. 8). Zastosowanie zbyt małej siły może skutkować utratą kontaktu ramienia pomiarowego zakończonych kulką z mierzoną powierzchnią.



Fig. 8. Measuring the pressing force of the measuring tip
Rys. 8. Pomiar siły nacisku końcówki pomiarowej

Przeprowadzenie centrowania i poziomowania

Niewycentrowanie mierzonego elementu w stosunku do stołu przyrządu pomiarowego jest znaczącym źródłem błędów. Maksymalny stopień niewycentrowania można oszacować na podstawie diagramu opracowanego przez firmę Taylor Hobson (rys. 9).

Stopień dokładności, z jakim należy wycentrować mierzony element, zależy od oczekiwanej wartości odchyłki okrągłości i średnicy mierzonego przedmiotu. Sposób korzystania z wykresu jest następujący:

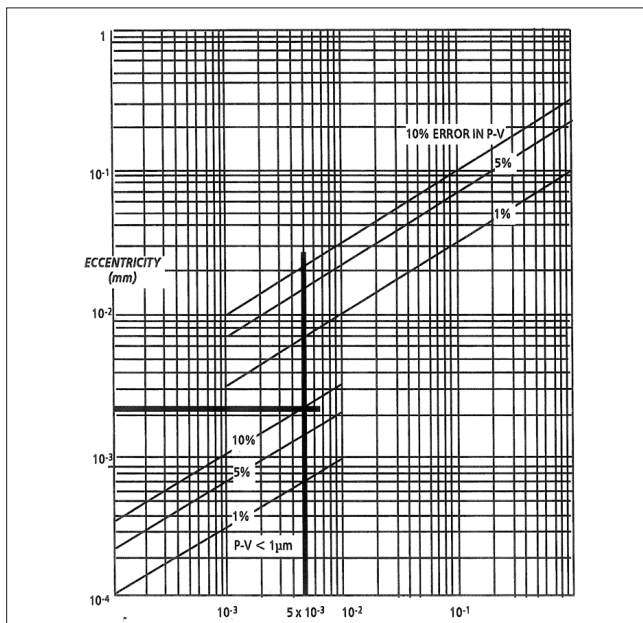


Fig. 9. Taylor Hobson diagram for estimating the maximum degree of non-centering of the measured element
Rys. 9. Diagram firmy Taylor Hobson do oszacowania maksymalnego stopnia niewycentrowania mierzonego elementu

1. Należy pomnożyć oczekiwaną wartość odchyłki okrągłości $RONt$ w milimetrach przez średnicę mierzonego elementu w milimetrach.
2. Należy odłożyć tę wartość na poziomej osi wykresu i poprowadzić z tego punktu pionową linię.
3. Dla oczekiwanej wartości odchyłki okrągłości $RONt < 1$ mm powinno się użyć dolnego zestawu linii, natomiast górnego zestawu dla $RONt > 1$ mm.
4. Poszczególne linie wyznaczają strefy 1%, 5%, 10% błędów wynikającego z niewycentrowania elementu.
5. Rzędna punktu przecięcia wyznaczonej pionowej linii z linią dopuszczalnego błędów wynikającego z niewycentrowania elementu jest maksymalną wartością, z jaką należy wycentrować mierzony przedmiot.

Dobór liczby punktów na obrót

W przyrządach, dla których istnieje możliwość wyboru liczby punktów pomiarowych na obrót, należy wziąć pod uwagę wartość kroku próbkowania wynikającą ze średnicy mierzonego przedmiotu. Zależność ta została zobrazowana na rys. 10 dla typowych wartości liczby punktów pomiarowych na obrót w przyrządach ze stołem obrotowym.

Minimalna liczba punktów próbkowania jest uzależniona od granicznych wartości filtra, który będzie wykorzystany do analizy zmierzonego zarysu. Wynika ona z kryterium Nyquista, które wymaga co najmniej siedmiu punktów próbkowania na graniczną długość fali, żeby nie doszło do deformacji sygnału pomiarowego w postaci cyfrowej.

Filtr falowy wyznacza zakres okresowych fal sinusoidalnych na obrót (UPR) elementu poddanego wyznaczeniu odchyłki okrągłości. W tabl. II zestawiono minimalną liczbę punktów próbkowania, które należy użyć do wyznaczenia zaobserwowanej linii obwodowej, oraz minimalny stosunek średnicy elementu i promienia końcówki (d/r) wymagany do uniknięcia zniekształcenia profilu okrągłości pod wpływem mechanicznego filtrowania przez końcówkę trzpienia pomiarowego [10, 11].

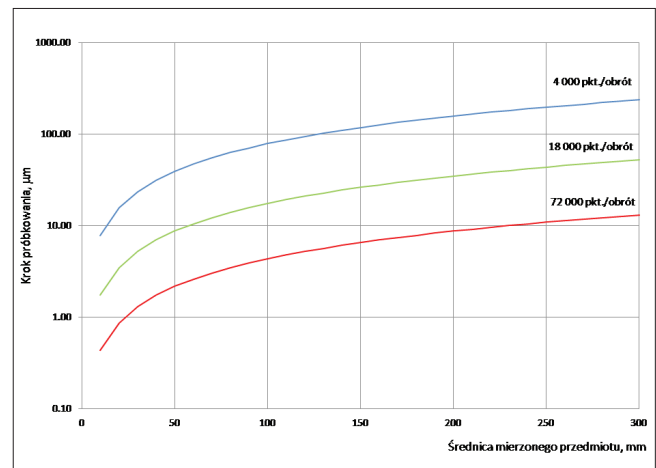


Fig. 10. The dependence of the sampling step as a function of the diameter of the measured object and the number of measurement points per revolution
Rys. 10. Zależność kroku próbkowania w funkcji średnicy mierzonego przedmiotu i ilości punktów pomiarowych na obrót

TABLE II. UPR limits
TABLICA II. Wartości graniczne UPR

Filtry dolnoprzepustowe		
Filtr przenoszący od 1 UPR do	Minimalna liczba punktów próbkowania	Minimalny stosunek d/r
15	105	5
50	350	15
150	1 050	50
500	3 500	150
1 500	10 500	500

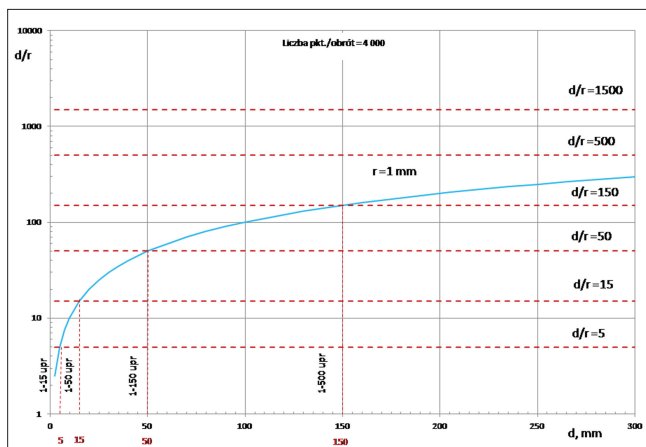


Fig. 11. Dependence of UPR limit values
Rys. 11. Zależność granicznych wartości UPR

Na podstawie danych z tabl. II został opracowany wykres (rys. 11), który przedstawia wymagane parametry pomiarów w przypadku zastosowania końcówki trzpienia pomiarowego o promieniu $r = 1$ mm i wyborze 4000 pkt/obr. Liczba 4000 pkt/obr. dopuszcza zastosowanie maksymalnie filtra dolnoprzepustowego 1÷500 fal/obr. Na osi poziomej kolorem czerwonym zaznaczono graniczne wartości średnic mierzonych przedmiotów, które zapewnią, że nie wystąpią zniekształcenia profilu okrągłości. Przykładowo dla filtra 1÷15 fal/obr. mierzony przedmiot powinien mieć średnicę minimum 5 mm. Z przedstawionego wykresu wynika również, że dla końcówki trzpienia pomiarowego o promieniu $r = 1$ mm nie jest możliwe przeprowadzenie prawidłowej analizy pomiaru dla filtra 1÷1500 fal/obr.

Dobór prędkości obrotowej wrzeciona podczas pomiarów

Przy doborze prędkości obrotowej stolika pomiarowego należy się kierować dwoma zasadami:

- im mniejsza jest średnica mierzonego elementu, tym mniejszą należy zastosować prędkość obrotową ze względu na zależność prędkości liniowej przemieszczania się końcówki pomiarowej po mierzonej powierzchni od prędkości obrotowej i średnicy mierzonego elementu,
- im większa jest chropowatość powierzchni mierzonego elementu, tym mniejszą należy zastosować prędkość obrotową ze względu na ryzyko wystąpienia utraty kontaktu końcówki pomiarowej z mierzoną powierzchnią.

Podsumowanie

Pomiary zarysów kształtów należą do znaczącej grupy pomiarów wielkości geometrycznych. Wynika to m.in. z liczby i różnorodności elementów obrotowych stosowanych we współczesnych rozwiązaniach technicznych. Jednocześnie elementom tym stawiane są często wysokie wymagania dotyczące wartości odchyłek kształtu. Istotne jest więc wprowadzanie i powszechne stosowanie zasad dobrej praktyki pomiarowej – zarówno podczas pomiarów potwierdzających spełnienie wymagań specyfikacji wyrobów, jak i podczas prac badawczych.

Potwierdzeniem zasadności upowszechniania zasad dobrej praktyki pomiarowej jest opracowywanie takich zasad przez poszczególne narodowe instytucje metrologiczne (NMI), czego przykładem są wydawane przez NPL (National Physical Laboratory) przewodniki dobrej praktyki pomiarowej dotyczące różnych dziedzin metrologii. Upowszechnianie tych zasad powinno się przyczynić do zwiększenia wiarygodności wyników pomiarów uzyskiwanych przez służby metrologiczne.

LITERATURA

- [1] Adamczak S., Świdorski J., Kmieciak-Sołtysiak U. „Szacowanie niepewności pomiaru zarysu okrągłości z wykorzystaniem przyrządu z obrotowym wrzecionem”. *Mechanik*. 10 (2017): 912-914, <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.145>.
- [2] Nielsen Henrik S., Malburg Mark C. “Traceability and correlation in roundness measurement”. *Precision Engineering*. 19, 2-3 (October–November 1996): 175-179.
- [3] Janecki D. „Problemy pomiaru i oceny geometrii powierzchni obrotowych części maszyn”. Monografie, Studia, Rozprawy nr M32. Kielce: Politechnika Świętokrzyska (2012).
- [4] Kondo Y., Bitou Y., Sato O., Abe M. “Calibration and uncertainty evaluation of flick standard using coordinate-measuring machine”. 1st Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry 2013 (September 2-5, 2013), Tsukuba, Japan.
- [5] Buajareren J., Phhuaknoi P., Somthong T., Tonmueanwai A. “Development of the probe calibration system for the roundness measuring machine”. *Journal of Industrial Technology*. 9, 1 (January–April 2013).
- [6] Widmaier T., Kuosmanen P., Hemming B., Esala V., Brandt D., Haikio J. “New material standards for traceability of roundness measurements of large scale rotors”. 58th Ilmenau Scientific Colloquium (September 2014).
- [7] Żebrowska-Łucyk S. „Kompensacja błędów pozycjonowania w pomiarach współosiowości i średnic metodą bezodniesieniową”. *Metrologia i systemy pomiarowe*. V, 1-2 (1998): 97-116, bwmeta1.element.baztech-article-BSW9-0004-0794.
- [8] Żebrowska-Łucyk S., Sieniło M. „Metoda kompensacji błędów wynikających z nierównoległości osi mierzonych elementów do osi obrotu”. *PAK*. 56, 1 (2010): 13-14, bwmeta1.element.baztech-article-BSW4-0075-0005.
- [9] “Exploring roundness. A fundamental guide to measurement cylindrical form”. 3rd edition, November 2011. List No 600-5. Taylor Hobson.
- [10] PN-EN ISO 12181-1:2012 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Okrągłość – Część 1: Terminologia i parametry okrągłości.
- [11] PN-EN ISO 12181-2:2012 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Okrągłość – Część 2: Operatory specyfikacji. ■