ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 10(82)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

IV MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA
EXPLO-SHIP 2006

Krzysztof Nozdrzykowski

Analiza błędów graficznej interpretacji zarysów okrągłości

Słowa kluczowe: zarys kształtu, błędy, wykresy

W artykule przedstawiono analizę i ocenę błędów geometrycznej interpretacji pomiarów zarysów okrągłości części maszyn, realizowanych metodami bezodniesieniowymi. Wyniki tej analizy i oceny znalazły zastosowanie przy korygowaniu wykresów biegunowych zarysu okrągłości.

Error Analysis of Graphical Interpretation of Circularity Profile

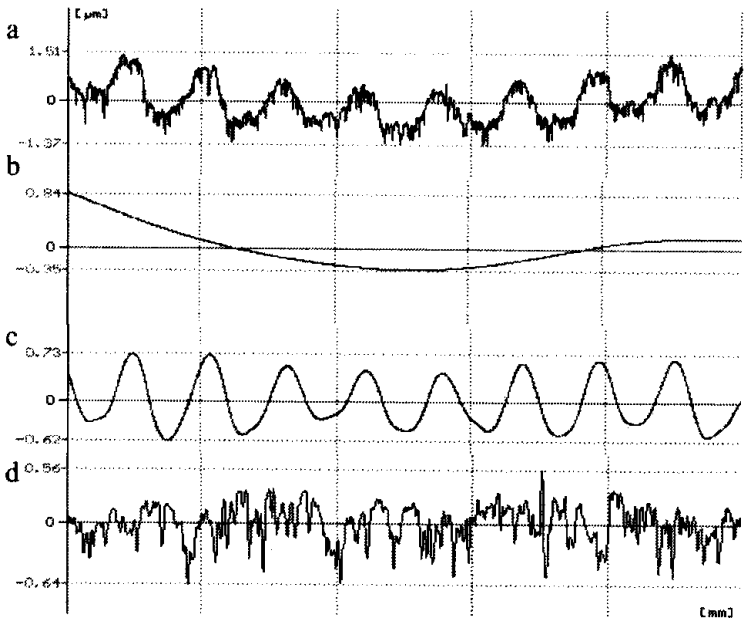
Key words: shape contour, errors, graphs

This paper deals with an analysis and error estimation of geometrical interpretation of circularity profile of machinery parts using non-reference methods. The obtained results were applied in the correction of polar circularity profile graphs.

Wprowadzenie

Prawidłowa współpraca elementów maszyn o zarysie cylindrycznym uzależniona jest w dużej mierze od dokładności wymiarowo-kształtowej i odpowiedniej jakości powierzchni produkowanych elementów maszyn. W związku z tym nowoczesny proces technologiczny wymaga stałej kontroli i oceny jakości wytwarzanych powierzchni, w tym w szczególności pomiarów zarysów kształtu.

Strukturę geometryczną powierzchni (SGP) tworzą cztery rodzaje nieregularnych nierówności: zarysy (błędy) kształtu (określane mianem nieregularności I klasy), falistość powierzchni (określana mianem nieregularności II klasy), chropowatość powierzchni (określana mianem nieregularności III klasy) oraz mikrochropowatości (nieregularności IV klasy), rys. 1. Każda z tych nierówności może powstawać z różnych przyczyn, ma inny charakterystyczny przebieg i dlatego z jednej strony struktura geometryczna jest elementem końcowym procesu technologicznego, a z drugiej – czynnikiem warunkującym prawidłową eksploatację gotowego wyrobu [1].



Rys. 1. Struktura geometryczna powierzchni przedstawiająca podstawowe rodzaje nierówności: a) profil pierwotny, b) zarys kształtu – prostoliniowość, c) profil falistości powierzchni, d) profil chropowatości powierzchni [1]

Fig. 1. Geometrical surface structure showing the basic kinds of deformation: a) primary profile, b) profile shape – rectilinearly, c) waviness profile, d) roughness profile

Jak już wcześniej podkreślano, ważnym zagadnieniem na etapie wytwarzania jest pomiar i ocena zarysu kształtu czyli nierówności zaliczanych do I klasy nieregularności powierzchni, gdyż jest to jeden z podstawowych warunków jakości procesu technologicznego. Obecnie w zakresie wszystkich niezbędnych elementów geometrycznych, przy ocenie zarysu kształtu obowiązują normy PN-EN ISO 14660-1 i PN-EN ISO 14660-2 [4, 5].

Do pomiarów zarysu okrągłości powierzchni cylindrycznych stosowane są obecnie dwie grupy metod pomiaru:

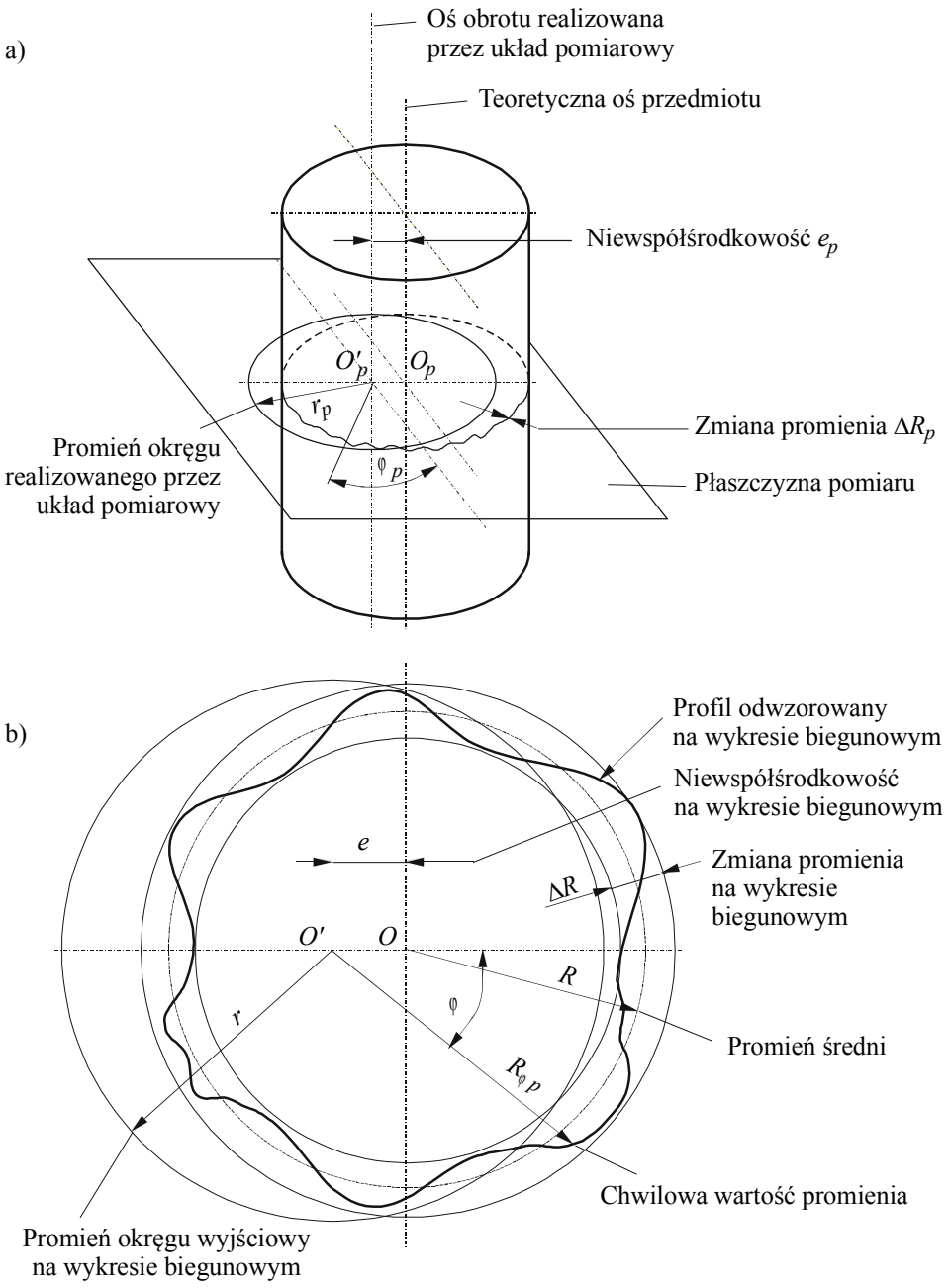
- bezodniesieniowe, wykorzystujące jako bazę pomiarową oś mierzonego elementu;
- odniesieniowe, polegające na ocenie położenia rozpatrywanych punktów zarysu w stosunku do jednego lub kilku innych punktów, zwanych punktami podparcia mierzonego przedmiotu.

Metody bezodniesieniowe charakteryzują się dużą uniwersalnością i dokładnością. W metodach tych zmiany wskazań czujnika przemieszczeń uzależnione są od zmian promienia (odchyłek kształtu) obiektu mierzonego w określonych położeniach kątowych tego obiektu. Zarys zmierzony można przedstawić graficznie w układzie biegunowym, którego środek pokrywa się z osią obrotu czujnika pomiarowego realizowanego przez układ pomiarowy. Wyniki pomiarów wymagają opracowania w celu wyznaczenia parametrów charakteryzujących mierzony profil cylindryczny, a obowiązującą normą jest wtedy norma PN-93/M-04262 [3]. Norma ta w załączniku E podaje również zasady sporządzania i odczytywania wykresów biegunowych oraz graficznej interpretacji wyników pomiarów.

1. Błędy graficznej interpretacji zarysów okrągłości

Typowym przedstawieniem wyników pomiaru odchyłki kształtu metodą bezodniesieniową jest wykres odchyłki okrągłości w biegunowym układzie współrzędnych (rys. 2). Wykres taki powstaje poprzez nanoszenie powiększonych odpowiednio wartości różnic między promieniem zmierzonym a wartością stałą promienia realizowanego przez układ pomiarowy. Wartości tych różnic przedstawia się w stosunku do pewnego przyjętego odpowiednio na wykresie okręgu wyjściowego (rys. 2b).

Powiększenie na wykresie jedynie zmian promienia (zarysu kształtu), bez powiększania proporcjonalnego promienia wyjściowego, prowadzi do zniekształceń takiego wykresu.

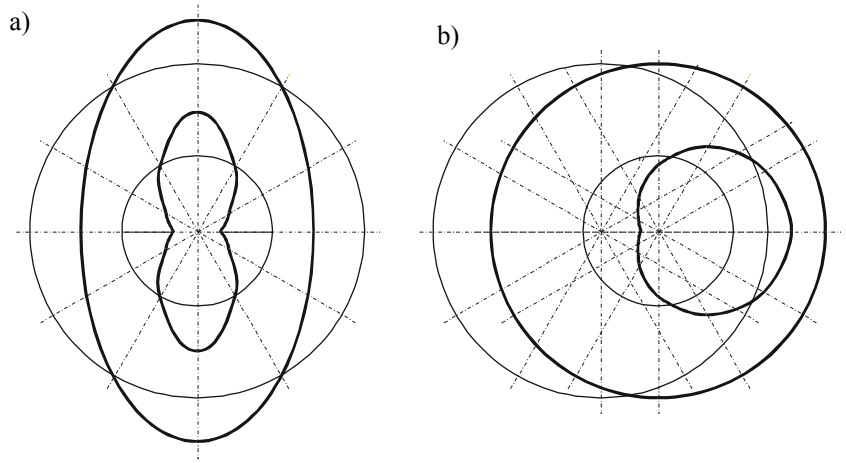


Rys. 2. Podstawowe terminy i definicje dotyczące zarysu mierzonego i odwzorowanego na wykresie biegunowym zarysu okrągłości

Fig. 2. Basic terms and definitions referring to the measured profile and a circularity profile transformed in the polar graph

Zniekształcenia te uzależnione są od zastosowanego powiększenia oraz, co jest istotniejsze, od ewentualnego niewspółosiowego ustawienia osi mierzonego zarysu z osią obrotu czujnika realizowaną przez układ pomiarowy [2].

Przykłady zniekształcenia wykresów zarysu kształtu profilu owalnego spowodowane powiększeniem przedstawiono na rysunku 3a, natomiast na rysunku 3b przedstawiono zniekształcony wykres zarysu kształtu (idealnego koła) spowodowany niepokrywaniem się osi mierzonego zarysu z osią obrotu czujnika realizowaną przez układ pomiarowy.



Rys. 3. Wpływ powiększenia i niewspółśrodkowości osi na zniekształcenie wykresu biegunowego zarysu okrągłości

Fig. 3. Influence of magnification and eccentricity on the deformation of the polar graph circularity profile

2. Ocena zniekształcenia graficznej interpretacji zarysów okrągłości

Norma [3] mówi, że przy pomiarach zarysu kształtu przedmiot powinien być ustawiony dokładnie współśrodkowo lub w taki sposób, aby mierzony przekrój był wystarczająco współśrodkowy z osią obrotu czujnika realizowaną przez układ pomiarowy, podając pewne zalecenia odnośnie dopuszczalnej niewspółśrodkowości. Norma ta podaje również, że maksymalne zniekształcenie występuje na wykresie w kierunku usytuowanym prostopadle do odchyłki współśrodkowości, a wartość tej deformacji jest proporcjonalna do kwadratu odchyłki współśrodkowości ($e^2/2R$, gdzie: e – niewspółosiowość, a R – przyjęta wartość promienia wyjściowego na rysunku).

W pomiarach praktycznych niewspółśrodkowość jest trudna do wyeliminowania i może przyjmować znaczne wartości, w niektórych pomiarach elemen-

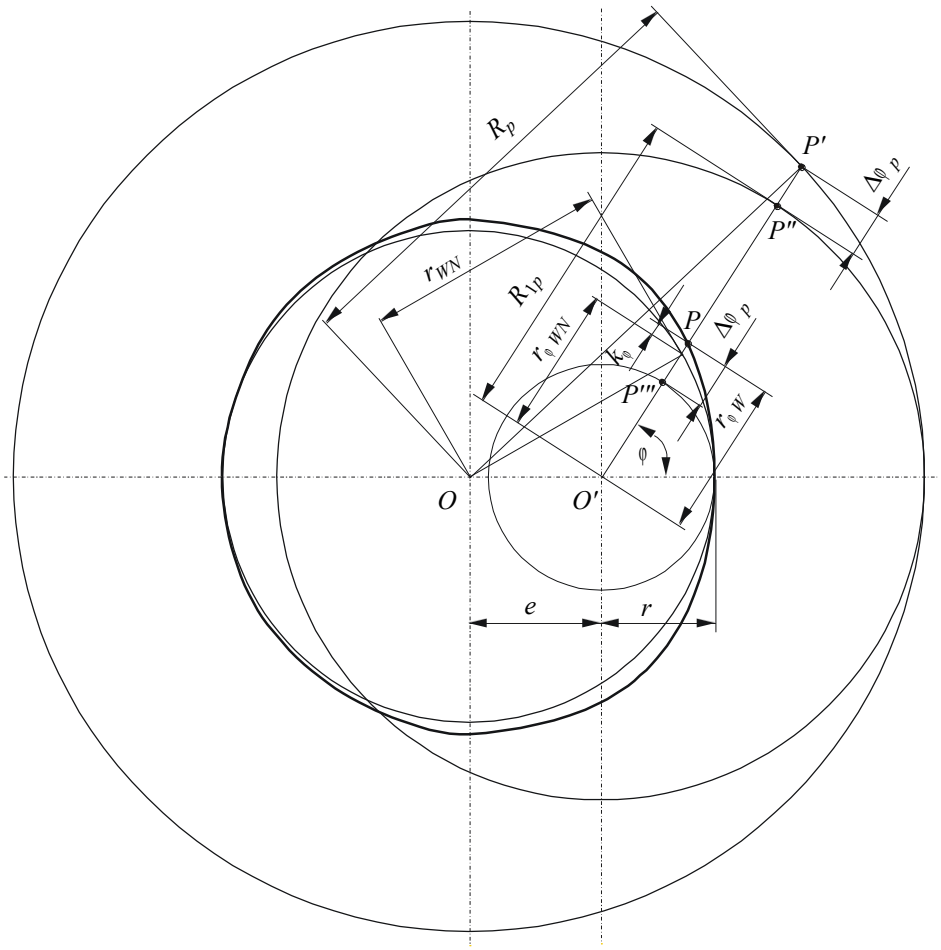
tów maszyn (zespół czopów głównych wału korbowego) niewspółśrodkowość jest nieodłącznym elementem pomiarów wynikającym z ich konstrukcji i technologii wykonania.

Przeprowadzona analiza wykazała, że oprócz wymienionej wcześniej niewspółśrodkowości i powiększenia, na zniekształcenie wykresów kształtu mają dodatkowo wpływ: przyjęta wartość promienia wyjściowego na wykresie, usytuowanie początkowego punktu pomiarowego na zarysie mierzonym oraz kształt samego profilu mierzonego. W oparciu o schemat przedstawiony na rysunku 4 wyprowadzona została zależność wiążąca wymiary rzeczywiste przekroju mierzonego R_p i przyjęte wymiary wyjściowe na wykresie biegunowym zarysu kształtu r z otrzymanymi zmiennymi wymiarami na wykresie biegunowym $r_{\varphi w}$. Zależność ta dotyczy przypadku niepokrywania się osi zarysu mierzonego O z osią obrotu czujnika realizowaną przez układ pomiarowy O' (wyrażoną za pomocą mimośrodowości e). Zmiana promienia $r_{\varphi w}$ uzależniona jest od kąta obrotu φ czujnika pomiarowego względem zarysu mierzonego. Przyjmując jednocześnie, że początek układu współrzędnych biegunowych na wykresie zarysu kształtu znajdować się będzie w punkcie O' zależność tę można zapisać w następującej postaci:

$$r_{\varphi W} = r + e - e \cdot \cos\varphi - R_p + \sqrt{R_p^2 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi} \tag{1}$$

gdzie:

- R_p – promień okręgu mierzonego w układzie tego okręgu;
- e – mimośrodowość wynikająca z niepokrywania się osi okręgu mierzonego z osią obrotu czujnika realizowaną przez układ pomiarowy;
- r – przyjęty promień wyjściowy na wykresie biegunowym;
- $\Delta\varphi_p$ – odchyłka mierzona od promienia wyjściowego realizowanego przez układ pomiarowy;
- R_{1p} – promień wyjściowy układu pomiarowego;
- $R_{\varphi p}$ – promień okręgu mierzonego na kącie φ w układzie pomiarowym jako suma promienia wyjściowego R_{1p} oraz odchyłki mierzonej $\Delta\varphi_p$;
- $r_{\varphi wn}$ – różnica $r_{\varphi w} - k_\varphi$;
- r_{wn} – promień okręgu na wykresie biegunowym zarysu okrągłości bez zniekształcenia w układzie tego okręgu równy $e + r$;
- k_φ – wielkość zniekształcenia promienia na wykresie biegunowym zarysu okrągłości na kącie φ;
- φ – kąt obrotu czujnika pomiarowego.



Rys. 4. Schemat służący do wyznaczania zależności wiążących wymiary rzeczywiste z przyjętymi na wykresie biegunowym zarysu okrągłości

Fig. 4. A diagram for determining relations between real dimensions and dimensions used in the polar graph circularity profile

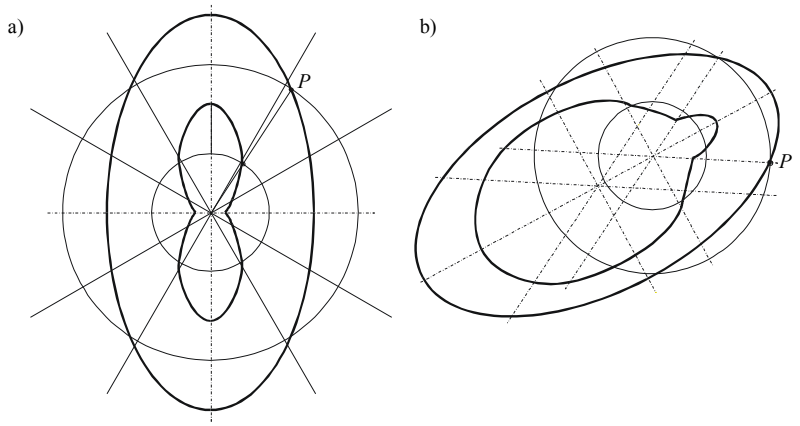
Jednocześnie poprawka k_φ, wyrażająca wielkość zniekształcenia promienia na wykresie biegunowym zarysu okrągłości, wyznaczona na kącie obrotu czujnika pomiarowego φ wynosi:

$$k_\varphi = r_{\varphi W} - r_{\varphi WN} \tag{2}$$

$$k_\varphi = r + e - R_p + \sqrt{R_p^2 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi} - \sqrt{e^2 \cdot \cos^2 \varphi + 2e \cdot r + r^2} \tag{3}$$

Zgodnie z tym, co wcześniej podkreślano, wielkość tej poprawki zmienia się odpowiednio wraz ze zmianą kąta φ i przyjmuje największą wartość w przypadku, gdy $r = 0$, a kąt $\varphi = 90°$. Uwzględnienie poprawki k_φ na wykresie biegunowym powoduje, że zniekształcony wykres zarysu okrągłości (kardioida) staje się zarysem foremnego okręgu.

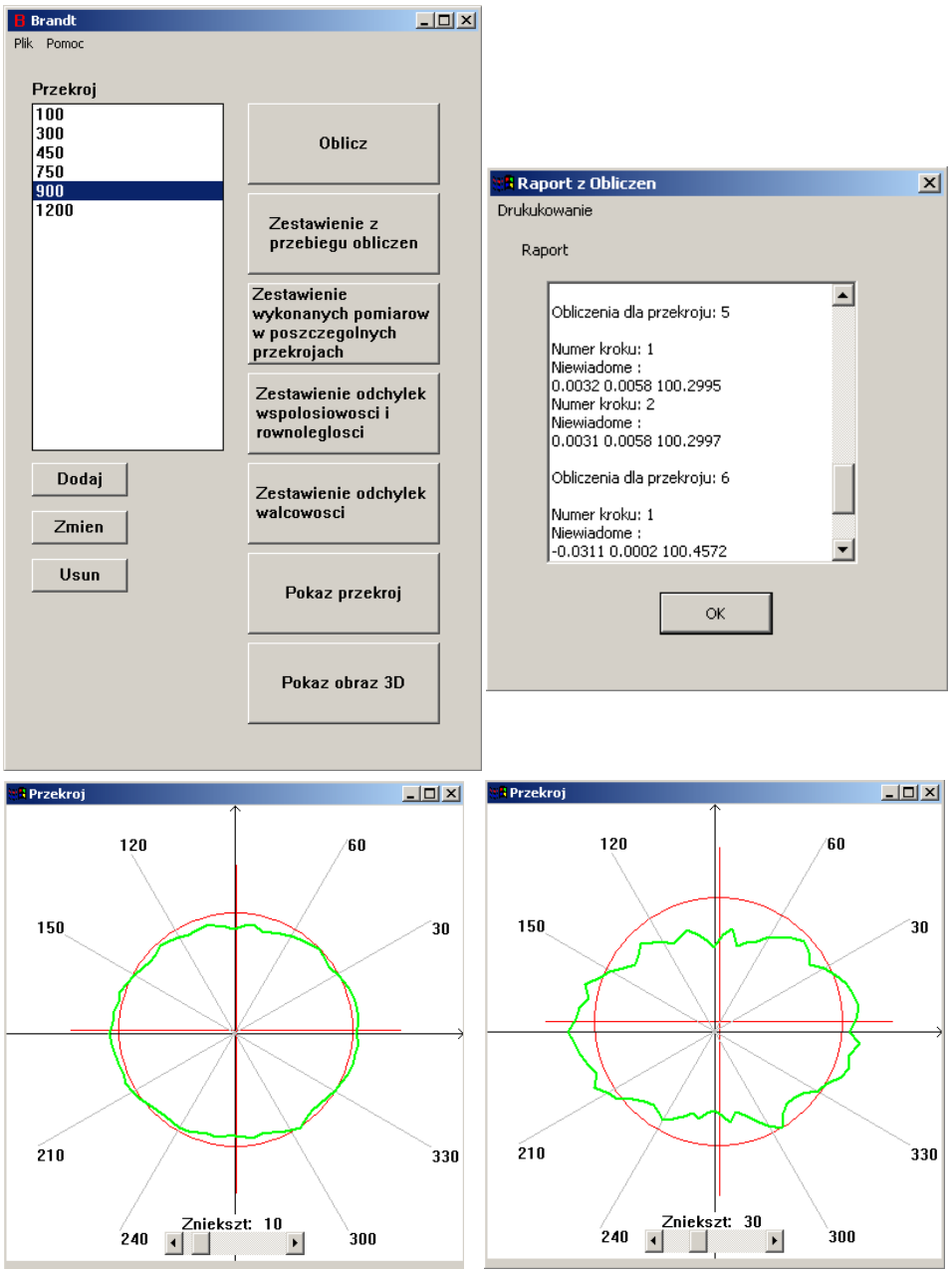
Wpływ kształtu powiększonego zarysu mierzonego oraz usytuowanie początkowego punktu pomiarowego P na zarysie mierzonym na zniekształcenie wykresu biegunowego przedstawiono na rysunkach 5a i b. Na obu rysunkach występuje identyczny owalny profil mierzony, przedstawiony w tym samym powiększeniu. Oczywiście w praktyce wszystkie wymienione wcześniej przyczyny zniekształcenia wykresów błędu kształtu mogą występować równocześnie, co znacznie utrudnia analizę wykreślonego zarysu (rys. 5b).



Rys. 5. Wpływ kształtu i usytuowania początkowego punktu pomiarowego na zniekształcenie wykresu biegunowego zarysu okrągłości

Fig. 5. Influence of the shape and the location of starting point of measurements on the deformation of the polar graph circularity profile

Uwzględniając powyższe trudności opracowano program obliczeniowy z możliwością wizualizacji zarysu kształtu profilu okrągłości. W programie tym dla zachowania proporcjonalności zmian promieni i odchyłek zastosowano procedurę normalizacji ich wartości, dzięki czemu istnieje możliwość przedstawienia obrazu zarysu okrągłości w rzeczywistych wymiarach, jak również wprowadzania dowolnych powiększeń w sposób ciągły. Na wstępie, po wprowadzeniu danych wejściowych, w trakcie niezbędnych obliczeń wyznaczona jest ewentualna niewspółosiowość e, w oparciu o którą wyliczane są poprawki k_φ, umożliwiające korygowanie obrazu zarysu okrągłości. Przykład obrazu zarysu okrągłości profilu korygowanego dla dwóch różnych powiększeń przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Przykłady wizualizacji obrazu zarysu okrągłości profilu korygowanego dla różnych powiększeń

Fig. 6. Visualisations of the circularity profile corrected for different values of the magnification ratio

Podsumowanie

Przedstawiony sposób wizualizacji pozwala na rzetelną ocenę obserwowanego zarysu okrągłości w różnych fazach powiększeń. Jednocześnie połączenie obliczeń z formą graficzną interpretacji ich wyników pozwala na bieżące korygowanie wykresu biegunowego zarysu okrągłości.

Przedstawiona procedura może być wykorzystana do oceny geometrycznej zarysu okrągłości powierzchni cylindrycznych zewnętrznych i wewnętrznych.

Literatura

1. Adamczak S., *Elementy geometryczne i strategie pomiarowe oceny zarysów kształtów*, Przegląd Mechaniczny, Zeszyt 9S/2005, Suplement, s. 87 – 91.
2. Jakubiec W., Malinowski J., *Metrologia wielkości geometrycznych*, WNT, Warszawa 1999.
3. PN-93/M-04262. Metody oceny odchyłki okrągłości. Pomiar zmian i promieni (idt ISO U291:1985).
4. PN-EN ISO 14660-1. Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS). Elementy geometryczne. Podstawowe terminy i definicje.
5. PN-EN ISO 14660-2. Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS). Linia środkowa zaobserwowana walca i stożka, powierzchnia środkowa zaobserwowana, wymiar lokalny elementu zaobserwowanego.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2006 r.

Recenzent

dr hab. inż. Tadeusz Iglantowicz, prof. PS

Adres Autora

dr inż. Krzysztof Nozdrzykowski
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nauk Podstawowych Technicznych
70-205 Szczecin, ul. Podgórna 51/53