

3

Ocena makro i mikro-geometrii powierzchni

Krzysztof Kiszka

Cel ćwiczenia:

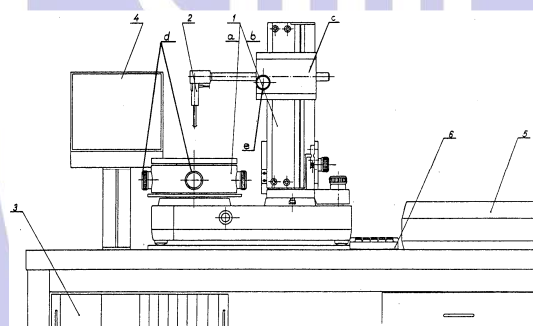
3.1 Pomiary odchyłek geometrycznych kształtu i położenia

- utrwalenie terminologii, zasad oznaczania i identyfikacji tolerancji geometrycznych,
- zapoznanie się ze sprzętem pomiarowym używanym do pomiaru odchyłek kształtu i położenia,
- nabycie umiejętności pomiaru odchyłek:
 - okrągłości,
 - prostoliniowości,
 - współosiowości.

Politechnika
Warszawska

3.1 Pomiary odchyłek geometrycznych kształtu i położenia

System pomiarowy PIK-2 przeznaczony do pomiarów odchyłek kształtu i położenia powierzchni nominalnie walcowych oraz odchyłek kształtu i położenia powierzchni czołowych, jak również odchyłek prostoliniowości i równoległości wszystkich płaszczyzn, które dadzą się ustawić na stole w pozycji pionowej.



Rysunek 3.1.1 System pomiarowy PIK-2: 1 – przyrząd pomiarowy (a – stół obrotowy łożyskowy na wzorcowym wrzecionie, b – kolumna z wzorcową prowadnicą, c – karetką z uchwytem czujnika, d – pokrętła do centrowania i pionowania przedmiotu, e – pokrętło przesuwu czujnika), 2 – czujnik, 3 – blok przetwarzania sygnału, 4 – monitor, 5 – drukarka, 6 – klawiatura.

3.1.1 Wymagane wiadomości

1. Nazwy i określenia
 - element średni, element przylegający;
 - odchyłka, tolerancja kształtu;
 - odchyłka, tolerancja położenia;

- odchyłki i tolerancje kształtu: okrągłości, walcowości, zarysu przekroju wzdłużnego, prostoliniowości;
 - odchyłki i tolerancje położenia: współśrodkowości, współosiowości, prostopadłości, równoległości;
2. Dla każdej z tolerancji należy umieć określić zgodnie z PN:
 - pełną nazwę wymagań podanych na rysunku konstrukcyjnym;
 - element rozpatrywany;
 - element odniesienia (dla tolerancji położenia);
 - postać i wymiary pola tolerancji;
 - położenie pola tolerancji w przestrzeni;
 - co w tym polu ma się zawierać?
 3. Metody pomiaru odchyłki okrągłości:
 - odniesieniowe
 - bezodniesieniowe
 4. Interpretacja geometryczna współczynników w szeregu Fouriera przy analizie harmonicznej profilu okrągłości.
 5. Dokładność pomiarów.
 6. Instrukcja do ćwiczenia.

Definicje

1. Element średni – powierzchnia (lub zarys) o kształcie powierzchni nominalnej (zarysu nominalnego) położona względem powierzchni rzeczywistej (zarysu rzeczywistego) w ten sposób, że suma kwadratów odległości punktów powierzchni rzeczywistej (zarysu rzeczywistego) od powierzchni średniej (zarysu średniego) w granicach obszaru cząstkowego jest najmniejsza.

Przykładowo okrąg średni spełnia warunek:

$$\int_0^{2\pi} [R(\phi) - R_o]^2 d\phi \approx \sum_{i=1}^n [R(\phi_i)]^2 = \min$$

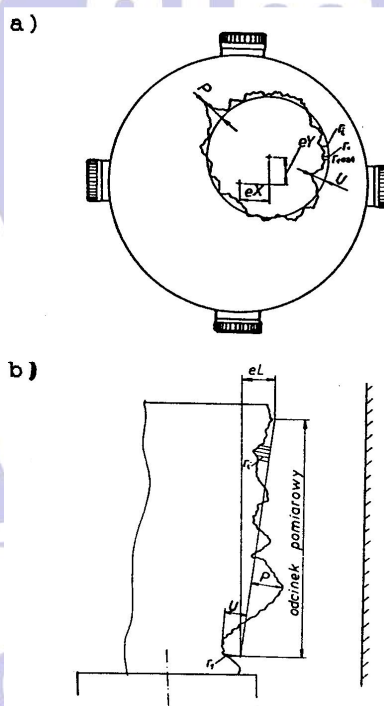
gdzie: R – promień elementu mierzonego;
R_o – promień okręgu odniesienia;
φ - współrzędna w układzie biegunowym.

Element średni jest znacznie wygodniejszy w pomiarach wspomaganych komputerem, można go bowiem łatwo wyznaczyć za pomocą znanych procedur, natomiast algorytmy

identyfikacji elementów przylegających są bardzo skomplikowane. Element średni ma sens wyraźnie technologiczny można go bowiem interpretować jako przeciętny, uśredniony, wynik obróbki dużej partii wyrobów.

2. Maksymalna odchyłka kształtu Δ .

Wg PN-EN ISO 1101 – Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) Tolerancje geometryczne – Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia ocena prawidłowości kształtu elementu może być dokonana przez pomiar odchyłek kształtu względem różnych kryteriów i elementów odniesienia, w tym elementu średniego



Rysunek 3.1.2

Interpretacja parametrów wyznaczanych podczas pomiaru kształtu i położenia:
a) zarysów poprzecznych,
b) zarysów nominalnie prostoliniowych.

Przy określeniu odchyłki kształtu względem elementu średniego przyjmuje się, że odchyłka kształtu Δ jest równa sumie bezwzględnych wartości największych różnoimiennych odległości punktów elementu rzeczywistego (leżących po przeciwnych stronach elementu średniego) od elementu średniego.

$$\Delta = P + V$$

gdzie: P – maksymalna wysokość wzniesienia obserwowanego

V – maksymalna głębokość wgłębienia obserwowanego zarysu (profilu), profile valley depth, zarysu (profilu), profile peak high,

1. Odchylenie średnie kwadratowe zarysu (root-mean-square deviation of the profile, zdefiniowane w normach ISO) określone jest wzorem:

$$rms = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N r_i^2}{N}}$$

gdzie: r_i – odchylenie i-tego punktu zarysu;

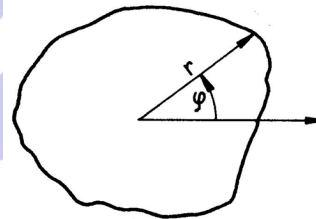
N – liczba punktów podziału odcinka pomiarowego (w systemie PIK-2 przy pomiarach odchyłki okrągłości N = 1024).

Interpretacja geometryczna analizy harmonicznej profilu okrągłości

Dowolny zarys zamknięty (rysunek 3.1.3) można opisać równaniem:

$$r = f(\phi)$$

w biegunowym układzie współrzędnych o początku O wewnątrz zarysu.



Funkcja f jest okresowa i całkowalna w przedziale $\langle 0 ; 2\pi \rangle$, tak więc można ją przedstawić w postaci szeregu Fouriera:

Rysunek 3.1.3. Układ współrzędnych do analizy harmonicznej zarysu okrągłego

$$f(\phi) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \cdot \cos(k\phi - \phi_k) \quad (1)$$

gdzie: $\sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ – amplituda k-tej harmonicznej;

$\phi_k = \arctg \frac{b_k}{a_k}$ – faza początkowa k-tej harmonicznej

Praktycznie, przy pomiarach, przeprowadza się aproksymację funkcji $f(\phi)$ liczbą L wyrazów szeregu, zaś współczynniki a_k i b_k

oblicza się na podstawie N dyskretnych wartości $r_i = f(\phi_i)$ z wzorów:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} r_i \quad (2)$$

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} r_i \cos\left(k \frac{2\pi i}{N}\right) \quad (3)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} r_i \sin\left(k \frac{2\pi i}{N}\right) \quad (4)$$

Interesująca jest interpretacja geometryczna wyrazów szeregu Fouriera dla rozwinięcia funkcji opisującej zarys elementu obrotowego.

Wyraz zerowy a_0 rozwinięcia w szereg (1), jak to wynika z (2), jest równy średniej wartości aproksymowanej funkcji. Ponieważ $f(\phi)$ jest zależnością promienia elementu od kąta, to składowa stała jest równa średniemu promieniowi zarysu.

W systemie PIK-2, ze względu na określony zakres pomiarowy czujnika, faktycznie mierzona jest wartość:

$$\Delta f(\phi) = R(\phi) - R \quad (5)$$

gdzie R wynika z aktualnego dosuwu promieniowego czujnika. Podstawiając do (5) rozwinięcie (1) otrzymujemy wzór na zero wy współczynnik szeregu Fouriera:

$$a_0' = a_0 - R = \Delta R$$

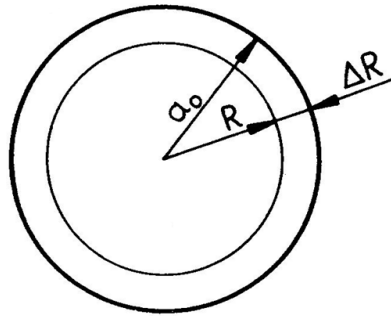
Wartość ΔR , tj. odchylenie wartości średniej sygnału z czujnika od poziomu zerowego podawana jest na monitorze systemu PIK-2. Jeśli czujnik ustawiono by tak, że zerowe wskazanie czujnika odpowiadało by wartości nominalnej wymiaru (czego oczywiście w praktyce nie realizuje się) to zerowy wyraz szeregu Fouriera można by interpretować jako średnie odchylenie wymiaru mierzonego zarysu od wymiaru nominalnego – odchyłkę wymiary (rysunek 3.1.4).

Jeśli rozwinięcie badanej funkcji ma postać:

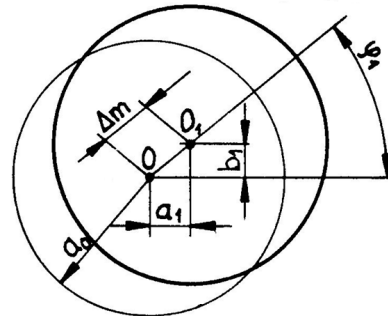
$$R(\phi) = a_0 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \cdot \cos(\phi - \phi_1)$$

to kształt badanego zarysu przedstawia rysunek 3.1.5. Występuje odchyłka położenia – mimośrodkowość:

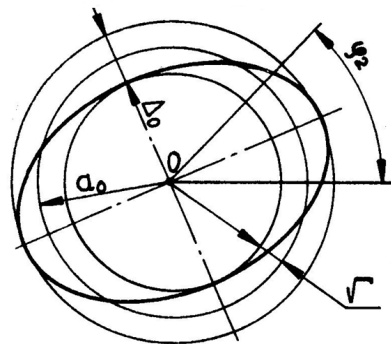
$$\Delta_{\text{mimośrodkowość}} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$



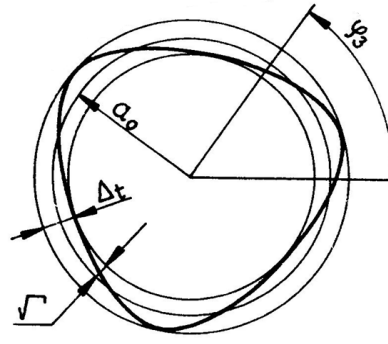
Rysunek 3.1.4 Odchyłka wymiaru



Rysunek 3.1.5 Mimośrodkowość



Rysunek 3.1.6 Owalność



Rysunek 3.1.7 Trójgraniastość

Wartości eX, eY podawane na monitorze systemu PIK-2 odpowiadają współczynnikom a_1 , b_1 i określają mimośrodkowość środka badanego przekroju względem osi obrotu stołu pomiarowego.

Jeżeli rozwinięcie badanej funkcji ma postać:

$$R(\phi) = a_0 + \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \cdot \cos(2\phi - \phi_2)$$

to kształt badanego zarysu przedstawia rysunek 3.1.6. Występuje odchyłka kształtu – owalność:

$$\Delta_{\text{owalność}} = 2\sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$

Jeżeli rozwinięcie badanej funkcji ma postać:

$$R(\phi) = a_o + \sqrt{a_3^2 + b_3^2} \cdot \cos(3\phi - \phi_3)$$

to kształt badanego zarysu przedstawia rysunek 3.1.7. Występuje odchyłka kształtu – trójgraniastość:

$$\Delta_{\text{trójgraniastość}} = 2\sqrt{a_3^2 + b_3^2}$$

Uogólniając podaną interpretację na wyższe harmoniczne można stwierdzić:

- k–ty wyraz rozwinięcia w szereg Fouriera określa przyrost promienia w funkcji kąta wywołany istnieniem odchyłki k–graniastości;
- różnica promieni, czyli odchyłka wywołana błędem k–graniastości równa jest podwójnej wartości amplitudy

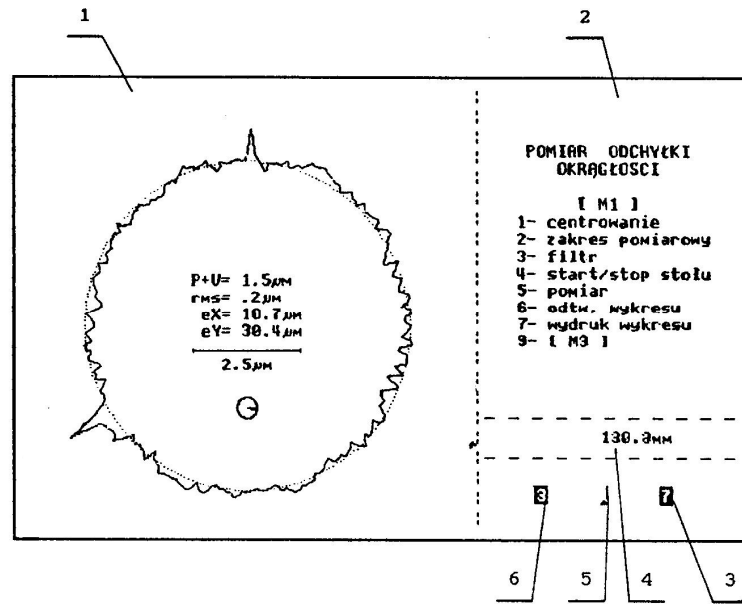
$$\sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

Tak więc opcja wyboru filtru w menu systemu PIK-2 pozwala badać jakiego rzędu k–graniastości decydują o odchyłce kształtu badanego elementu.

Wybrane informacje o systemie pomiarowym PIK-2

Komunikacja operatora z komputerem systemu pomiarowego PIK-2 odbywa się za pośrednictwem klawiatury mającej 10 klawiszy. Funkcje klawiszy zmieniają się w poszczególnych etapach pracy systemu i są zawsze określone przez wykaz dostępnych opcji wyświetlany na ekranie monitora; opcje te ujęte są w strukturę drzewa.

Zestaw opcji wyświetlanych w określonej chwili (w prawej górnej części ekranu – 2 na rysunku 3.1.8) nazywamy katalogiem. Symbol katalogu (litera M z następującą po niej cyfrą lub cyframi) jest wyświetlany „/” poniżej nagłówka. Do opisu funkcji niektórych klawiszy użyto znaku (np. start/stop stołu). Klawisze te mają funkcje podwójne, realizowane naprzemiennie po każdym kolejnym wciśnięciu.



Rysunek 3.1.8. Zawartość ekranu: 1 – obszar graficzny, ilustracja procesu zbierania danych i przedstawienie wyników pomiaru, 2 – katalog dostępnych opcji, 3 – kod liczbowy powiększenia rysunkowego, 4 – wysokość pomiarowa, 5 – wskaz zmiany sygnału pomiarowego, 6 – kod liczbowy zakresu pomiarowego.

Pomiar odchyłki okrągłości jest obsługiwany przez katalog M1. z uwagi na to, że system pomiarowy PIK-2 jest najczęściej stosowany do pomiaru odchyłki okrągłości katalog M1 zgłasza się automatycznie po włączeniu zasilania. Wybór pozycji 9 z katalogu M1 realizuje przejście do katalogu głównego, który zawiera opcję umożliwiającą pomiar odchyłki prostoliniowości wybranej tworzącej elementu. Katalog M1 pozwala poprzez przejście do odpowiedniego podkatalogu na:

- ustawienie czujnika na wymaganej wysokości, a mierzonego przekroju współosiowo z osią obrotu stołu (wybór pozycji 1 o nazwie „centrowanie” prowadzi do podkatalogu M1.1);
- wybór odpowiedniego zakresu pomiarowego (podkatalog M1.2);
- wybór pasma przepustowości filtru (podkatalog M1.3).

Ponadto w trybie dostępu bezpośredniego można:

- włączyć i wyłączyć obrót stołu (pozycja 4 „start/stop” stołu);
- wykonać pomiar odchyłki okrągłości (pozycja 5 „pomiar”);

- odtworzyć wykres tzn., jeśli dokonano pomiarów, a potem zmieniono pasmo filtrów to wybór pozycji 6 o nazwie „odtworzenie wykresu” spowoduje powtórny analizę zapamiętanych danych wejściowych i wyświetlenie nowego wykresu oraz wyznaczonych parametrów;
- wydrukować wykres i wyniki pomiarów.

Lewa część ekranu (1 na rysunku 3.1.8) to obszar graficzny. W czasie pomiaru powstaje tu wykres mierzonych wartości, a po zakończeniu zbierania danych jest wyświetlany wykres wyznaczonych odchyłek kształtu oraz następujące wartości obliczonych parametrów:

- $P + V$ – odchyłka okrągłości;
- rms – średnie kwadratowe odchylenie zarysu od okręgu średniego;
- eX , eY – współrzędne środka okręgu średniego mierzonego zarysu (określają dokładność ustawienia elementu i służą do wyznaczania wzajemnej współosiowości kilku powierzchni elementu);
- ΔR – średnia wartość mierzonego sygnału (środek zakresu pomiarowego ma wartość 0; badając zmianę ΔR w poszczególnych przekrojach można wyznaczyć stożkowatość, baryłkowatość, siodłowość).

Podświetlony na monitorze (zaczerniony na wydruku) wycinek koła w połączeniu z pokazaną podziałką informuje o stosunku zakresu zmian mierzonego sygnału do wybranego zakresu pomiarowego. Ze względu na dokładność pomiarów zaleca się tak wybrać zakres pomiarowy, aby wycinek podświetlony nie stanowił mniej niż 1/8 koła. Przy pomiarach elementów dokładnych należy dążyć, aby całe pole było podświetlone.

W prawej dolnej części ekranu jest widoczny wskaźnik (5 na rysunku 3.1.8), którego położenie zmienia się w funkcji wychYLENIA dźwigni pomiarowej czujnika. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów wykonuje się regulację położenia czujnika (wykorzystując duże zakresy pomiarowe o kodzie 1 lub 2) poprzez dosuwanie go lub odsuwanie od mierzonej powierzchni. Należy dążyć do takiego ustawienia czujnika, aby podczas obrotu przedmiotu wskaźnik przemieszczał się symetrycznie w stosunku do trójkąta wyznaczającego środek zakresu pomiarowego.

Ogranicznikami pola przemieszczeń wskazu są dwa kwadraty, wewnątrz których znajdują się cyfry.

Cyfra w lewym kwadracie (6) oznacza kod wybranego przez użytkownika zakresu pomiarowego. Cyfra ta przyjmuje wartości od 1 do 6; zawsze po włączeniu zasilania system ustawia największy zakres pomiarowy 2500 μm o kodzie 1. Najmniejszy zakres pomiarowy 8 μm ma kod 6.

Wynik pomiaru zostanie przedstawiony poprawnie w każdym wypadku, gdy zakres pomiarowy nie został przekroczony; w celu osiągnięcia maksymalnej dokładności pomiarów jest jednak wskazane stosowanie możliwie najmniejszego zakresu pomiarowego.

Cyfra w prawym kwadracie (3 na rysunku 3.1.8) jest kodem zakresu rysunkowego; zakresy rysunkowe odpowiadające cyfrom 1 do 6 są zgodne z zakresami pomiarowymi odpowiadającymi tym samym cyfrom. Każdemu zakresowi rysunkowemu odpowiada na wydruku stałe pole o szerokości około 25 mm. zakres rysunkowy jest dobierany automatycznie. Kryterium doboru jest najlepsza rozdzielczość wykresu odchyłek.

Powyżej wskazu jest wyświetlana aktualna wysokość pomiarowa (4). W chwili włączenia zasilania komputer przyjmuje bieżącą wysokość pomiarową za równą 0 (niezależnie od położenia czujnika względem stołu). Posługując się odpowiednimi opcjami katalogów można ustawić czujnik na dowolną wysokość i wpisać tę wartość jako zerową.

Dokładność pomiarów

1. Błędy pomiarów wynikają z:
 - A. ograniczonej dokładności wzorcowych układów przemieszczeń: obrotowego stoły i prowadnicy;
 - B. błędów układów przetwarzania sygnału pomiarowego;
 - C. niedokładnego ustawienia elementu względem osi obrotu i czujnika.

Błędy pomiaru odchyłki okrągłości i prostoliniowości nie przekraczają w warunkach najkorzystniejszych następujących wartości:

- błąd pomiaru odchyłki okrągłości:

epom. odch. okr. = $(0,3 + 0,0005H)$ [μm]

gdzie: H – odległość płaszczyzny pomiarowej od powierzchni stołu [mm];

- błąd pomiaru odchyłki prostoliniowości:
epom. odch. pro. = $1 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$

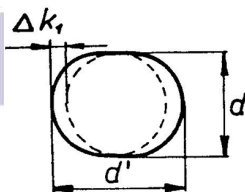
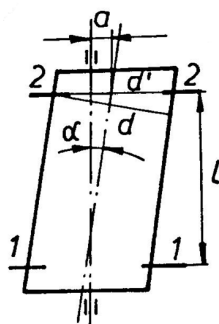
Warunki najkorzystniejsze są wówczas, gdy błędy wymienione w punktach B i C są pomijalne w stosunku do pierwszego z błędów. Ma to miejsce gdy stosowane są najmniejsze zakresy pomiarowe, a element jest dokładnie ustawiony.

2. Zależność błędu przetwarzania od zakresu pomiarowego.

Zakres pomiarowy [μm]	2500	800	250	80	25	8
Błąd przetwarzania [μm]	3	1,2	0,3	0,2	0,1	0,08

3. Błędy wynikające z nieprawidłowego ustawienia mierzonego przedmiotu.

- a. *Błąd pomiaru wynikający z pochylenia osi mierzonego przedmiotu względem osi obrotu stołu pomiarowego.*



Rysunek 3.1.9
Wpływ pochylenia osi elementu na błąd pomiaru odchyłki okrągłości

Ponieważ w czasie pomiarów kąt α pochylenia osi nie jest znany wygodniej jest korzystać z zależności:

$$e_{poch} = \frac{d}{16 \cdot l^2} \cdot \sqrt{(eX_2 - eX_1)^2 + (eY_2 - eY_1)^2}$$

gdzie: d – średnica mierzonego przekroju;
 l – odległość między przekrojami;
 eX_i, eY_i – współrzędne środka i -tego przekroju.

Przykładowo przy odchyleniu osi przedmiotu od osi stołu o 0,6 mm na długości 100 mm i średnicy przedmiotu $d_1 = 100$ mm błąd pochyleń (pozorna odchyłka owalności) $e_{poch1} = 3,8 \mu\text{m}$, zaś przy średnicy $d_2 = 10$ mm, $e_{poch2} = 0,38 \mu\text{m}$. Powyższa analiza wskazuje, jak istotne jest zapewnienie prostopadłości mierzonych przekrojów do osi badanej powierzchni, szczególnie przy przedmiotach o dużej średnicy.

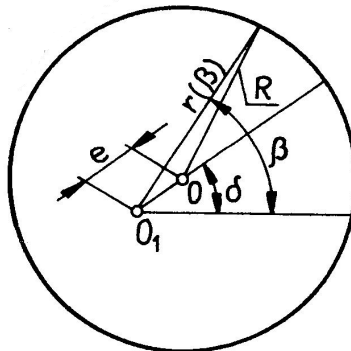
b) *Błąd pomiaru wynikający z przesunięcia osi mierzonego przedmiotu względem osi obrotu stołu pomiarowego.*

Jeżeli R jest promieniem badanego okręgu (idealnego) to zgodnie z rysunku 3.1.10 z twierdzenia cosinusów można zapisać:

$$R = \sqrt{r(\beta)^2 - 2r(\beta) \cdot e \cos(\beta - \delta) + e^2}$$

gdzie:

$r(\beta)$ – długość promienia wodzącego w funkcji stołu β ;
 e, δ – współrzędne środka mierzonego przekroju w biegunowym układzie współrzędnych (układzie współrzędnych stołu).



Rysunek 3.1.10
 Zależności geometryczne przy przesunięciu osi przedmiotu O względem osi obrotu stołu O_1

Rozwiązując powyższe równanie względem zmiennej r otrzymano:

$$r(\beta) = e \cos(\beta - \delta) + R \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{e}{R}\right)^2 \cdot \sin^2(\beta - \delta)} \quad (6)$$

W analizowanej metodzie pomiaru odchyłki okrągłości przyjmuje się założenie $e/2R \ll 1$, co pozwala wykorzystać przybliżenie $\sqrt{1-x} = \frac{1-x}{2}$ i przekształcić ten wzór do postaci:

$$r(\beta) = R + e \cos(\beta - \delta) - \frac{e^2}{4R} \cdot [1 - \cos(2(\beta - \delta))] \quad (7)$$

Łatwo można wykazać, że błąd wynikający z tego przybliżenia jest pomijalnie mały. Powyższe równanie jest równaniem okręgu średniokwadratowego mierzonego elementu.

W systemie pomiarowym PIK-2 (jak w większości przyrządów do pomiaru odchyłki okrągłości) w algorytmie identyfikacji okręgu średniokwadratowego przyjmuje się założenie $e/2R \ll 1$, dzięki czemu równanie (6) można uprościć do następującej postaci:

$$r(\beta) = R + e \cos(\beta - \delta) \quad (8)$$

Porównując (7) i (8) widać, że maksymalna wartość błędu wynikająca z tego uproszczenia wynosi:

$$e_{upr} = \frac{e^2}{4R}$$

Błąd obliczenia okręgu średniokwadratowego (czyli pozorną odchyłką okrągłości okręgu idealnego) istotnie rośnie przy pomiarach przedmiotów o małej średnicy. Przykładowo przy mimośrodowości $e = 0,3$ mm i średnicy przedmiotu $2R_1 = 10$ mm, $e_{upr1} = 4,5$ μm , zaś przy $e = 0,3$ mm i $2R_2 = 100$ mm, $e_{upr2} = 0,45$ μm . Powyższe rozważania wskazują, jak istotne jest właściwe wycentrowanie przedmiotu. Dlatego przy mimośrodowości $e = \sqrt{eX^2 + eY^2}$ przekraczającej 0,3 mm podczas próby wyznaczenia odchyłki okrągłości system automatycznie

zatrzymuje stół i wskazuje na konieczność wycentrowania przedmiotu.

3.1.2 Przebieg ćwiczenia

1. Przed przystąpieniem do pomiarów należy dokonać analizy sposobu tolerowania kształtu i położenia na rysunku przedmiotu podanym w protokole.
2. Ustawić element na stole i przeprowadzić jego centrowanie i pionowanie zgodnie z punktami 1 – 20 w rozdziale VI.1 opisu zastosowań i obsługi (OZO) systemu PIK-1. Wstępne informacje o ustawianiu elementu podano w rozdz. IV.2 (str. 14) zaś o przesuwaniu czujnika w rozdziale IV.3.4 (str. 22) OZO.

UWAGA!

- a. Odstęp po ostatnim wypunktowaniu/wyliczeniu: 9 pt Przekroczenie zakresu pomiarowego podczas zbierania danych jest sygnalizowane na monitorze przez gwiazdkę wyświetlaną przed średnią wartością mierzonego sygnału (*·R). Sytuacja taka może wystąpić przy:
 - błędnym ustawieniu czujnika względem sprawdzanej powierzchni należy skorygować dosunięcie promieniowe (pionowe) czujnika;
 - błędnym ustawieniu przedmiotu, należy powtórzyć centrowanie (pionowanie);
 - zbyt małym zakresie pomiarowym, należy wybrać większy zakres;
 - b. Współrzedną pionową H położenia końcówki pomiarowej czujnika wyzerować w płaszczyźnie neutralnej (25 mm nad płaszczyznę stołu, wymiar 25 realizuje będący na wyposażeniu dodatkowym ustawiak).
 - c. Przedmiot ustawić tylko raz na początku pomiarów optymalnie ze względu na pomiar odchyłki okrągłości;
3. Określić odchyłkę okrągłości wg. p. 22 (str. 39 – 41) OZO. Wybrać odpowiedni zakres pomiarowy, pomiar wykonać z opcją opisaną w menu jako bez filtra, co odpowiada wykonaniu pomiarów z filtrem 0 – 127 fal/obrót. Wydrukować wynik pomiaru. Kolejno wg tabeli zmieniać pasmo przepustowości filtra i korzystając z opcji odtwarzania wykresu – rozdz. VI.1 (str. 41) OZO – wyznaczyć odchyłkę okrągłości.
 4. Określić odchyłkę walcowości wg informacji podanych w rozdziale VI.1 (str. 40) OZO.

5. Określić odchyłkę współosiowości wg rozdz. VII.1.2 (str. 52) OZO.
6. Określić odchyłkę prostoliniowości zgodnie z punktami 3 – 13 (str. 43 – 46) OZO.
7. Określić odchyłkę płaskości wg punktów 1 – 8 (str. 47 – 49) OZO.
8. Obliczyć odchyłkę prostopadłości wg informacji podanych w rozdz. VII.3 (str. 56) OZO.

Czynności wstępne

- 1) Włączyć system PIK-2 przełącznikiem na listwie zasilającej.
- 2) Ustawić pokręta regulacyjne stołu Cx i Cy (przesuwu X-Y stołu) oraz Px i Py (pochylania stołu) w środku ich zakresu przesuwu (kresa na pokrętle powinna pokrywać się z poziomą kresą na tulei, a krawędź pokręta z pionową środkową kresą na tulei). Do pozycjonowania stołu zapewniającego dogodny dostęp do pokręteł wykorzystać klawisz 4 uruchamiający opcję start/stop stołu. Po ustawieniu pokręteł płaszczyzna stołu jest prostopadła do osi obrotu, a mierzący ma do dyspozycji symetryczny zakres przesuwu i pochylania stołu.
- 3) Sprawdzić czy dźwignia pomiarowa jest nieznacznie odchylna w kierunku osi stołu (tak, aby końcówka pomiarowa wystawała ok. 2 mm ponad płaszczyznę obudowy czujnika), ewentualnie ręcznie skorygować wychylenie dźwigni.

Ustawienie mierzonego elementu i czujnika

- 1) Mierzony element ustawić na stole tak, aby powierzchnia walcowa o średnicy d_1 była współśrodkowa z rysami wygrawerowanymi na powierzchni stołu (należy spojrzeć z góry na przedmiot i stół).
- 2) Wybrać opcję 1 z katalogu M1 widocznego na ekranie po włączeniu systemu w celu przejścia do podkatalogu M1.1 centrowanie.
- 3) Wykorzystując klawisze 7, 8, 9 przemieścić czujnik w pionie na taką wysokość, aby jego końcówka pomiarowa znalazła się w płaszczyźnie neutralnej tj. 25 mm nad płaszczyznę

stołu (końcówkę pomiarową ustawić zgrywając jej położenie z powierzchnią płytki wzorcowej).

- 4) Wcisnąć klawisz 3, spowoduje to zmianę wysokości pomiarowej wyświetlanej w prawym dolnym rogu ekranu na wartość 0 mm. Wysokości wyższe będą miały znak dodatni niższe - ujemny. System PIK-2 przyjmuje po włączeniu zasilania za zerową wysokość na której aktualnie znajduje się czujnik. Operator może przesunąć podziałkę wysokości pomiarowej wpisując wybraną przez siebie wysokość końcówki pomiarowej jako poziom odniesienia.
- 5) Wcisnąć klawisz 1 zostanie wyświetlona nowa wersja katalogu M1.1 (w opcji 1 nastąpiła zmiana kolejności komend na pionowanie/centrowanie), a potem klawisz 3 aby wpisać aktualną wysokość 0 mm jako poziom płaszczyzny neutralnej. Wartość 0 mm musi zostać wpisana na ekranie w pozycji 3 płaszczyzna neutralna. Powtórnie wcisnąć klawisz 1, nastąpi powrót do katalogu M1.1 w wersji pierwotnej (w opcji 1 wpisane są kolejno komendy centrowanie/pionowanie).
- 6) Pokręć karetki dosunąć promieniowo czujnik do powierzchni elementu. Kontynuować przesuw promieniowy czujnika do pojawienia się wskaźnika (pionowej kresy) między dwoma kwadratami w prawej dolnej części ekranu, dosunąć czujnik do pokrycia się wskaźnika z trójkątem. Cyfra w lewym kwadracie oznacza kod wybranego zakresu pomiarowego. Zawsze po włączeniu zasilania system ustawia automatycznie zakres 2500 μm o kodzie 1.
- 7) Włączyć obrót stołu klawiszem 4. Obserwować wahania wskaźnika między kwadratami ograniczającymi pole jego przemieszczeń. Ewentualnie skorygować dosunięcie czujnika, tak aby podczas wzajemnego ruchu czujnika i elementu wskaźnik przemieszczał się symetrycznie w stosunku do trójkąta wyznaczającego środek zakresu pomiarowego. Jeżeli wskaźnik zetknie się z jednym z kwadratów oznacza to, że przedmiot nie został ustawiony centrycznie na stole. Należy ponownie ustawić przedmiot.
- 8) Włączyć pomiar klawiszem 5. Spowoduje to odczytanie 1024 wskazań czujnika odpowiadających punktom rozłożonym równomiernie na obwodzie elementu. W czasie pomiaru w

graficznym obszarze ekranu będzie rysowany wykres biegunowy mierzonych wartości. Zostaną obliczone współrzędne eX , eY określające położenie środka okręgu średniego względem układu odniesienia związanego ze stołem, środek tego układu leży na osi obrotu stołu, oś Ox pokrywa się z osią pokręta stołu Cx , oś Oy jest do niej prostopadła. Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu. Wpisać do tab. 1 protokołu wartości eX , eY określające ustawienie przedmiotu przed regulacją jego położenia. Zależnie od wartości eX i eY możliwe są dwa przypadki:

- 9a) Jeżeli mierzony przekrój nie jest ustawiony dostatecznie współśrodkowo to - po zebraniu danych przez komputer - stół zatrzymuje się samoczynnie w pozycji odpowiedniej do przeprowadzenia regulacji w kierunku osi Ox (pokręto Cx wskazuje godzinę 9), zaś na ekranie monitora pojawia się zmodyfikowany katalog M1.1. oraz w części graficznej dwa krzyże i poniżej nich odległość środka przekroju od osi obrotu wyjściowo równa obliczonej wartości eX . Podczas pokręcania pokrętłem Cx następuje zmiana położenia jednego z krzyży oraz jest aktualizowana wartość eX . Przesunięcie krzyża nie jest proporcjonalne do przesuwu stołu - krzyż ruchomy ma największą czułość w pobliżu krzyż nieruchomego. Należy doprowadzić do pokrycia się obu krzyży. Następnie wybrać pozycję 7 z katalogu M1.1, co spowoduje obrót stołu o 90° i ponowne wyświetlenie dwóch krzyży wraz z wartością eY . Obrócić pokręto Cy , tak aby uzyskać pokrycie się krzyży. Po tych czynnościach mimośrodkowość środka przekroju względem osi stołu wynosi od zera do kilkunastu mikrometrów (zależnie od mimośrodkowości wyjściowej). Przy dokładnych pomiarach czynność centrowania zwykle powtarza się, aby zminimalizować wpływ błędów ustawienia na błąd pomiaru. W ćwiczeniu ze względu na ograniczenia czasowe centrowanie wykonuje się tylko jednokrotnie.
- 9b) Jeżeli mimośrodkowość elementu ustawionego wstępnie nie przekroczyła 300 mm oraz nie został przekroczony zakres pomiarowy to po zebraniu danych komputer wyświetli wyniki pomiaru. Zaleca się jednak, w celu zwiększenia dokładności pomiarów, przeprowadzenie centrowania przedmiotu. Klawiszem 6 wybrać opcję centrowania w osi X. Stół zatrzyma się samoczynnie w pozycji odpowiedniej do przeprowa-

dzenia regulacji w kierunku osi Ox (pokrętko Cx wskazuje godzinę 9), zaś w części graficznej ekranu pojawią się dwa krzyże i poniżej nich odległość środka przekroju od osi obrotu wyjściowa równa obliczonej wartości eX . Podczas pokręcania pokrętłem Cx następuje zmiana położenia jednego z krzyży oraz jest aktualizowana wartość eX . Przesunięcie krzyża nie jest proporcjonalne do przesuwu stołu - krzyż ruchomy ma największą czułość w pobliżu krzyż nieruchomego; należy doprowadzić do pokrycia się obu krzyży. Następnie wybrać pozycję 7 z katalogu M1.1, co spowoduje obrót stołu o 90° i ponowne wyświetlenie dwóch krzyży wraz z wartością eY . Obrócić pokrętko Cy , tak aby uzyskać pokrycie się krzyży. Po tych czynnościach mimośrodowość środka przekroju względem osi stołu wynosi od zera do kilkunastu mikrometrów (zależnie od mimośrodowości wyjściowej).

- 10) Po wycentrowaniu, mierzony przedmiot powinien zostać wypionowany. Termin pionowanie oznacza regulację przeprowadzoną pod kontrolą komputera mającą na celu uzyskanie równoległości osi elementu do osi stołu. Brak wypionowania może powodować błąd metody - przy pomiarze odchyłek okrągłości idealnego walca jego profile obserwowane są jako elipsy.
- 11) W ćwiczeniu zrezygnowano z pionowania, aby w krótkim czasie 2h pokazać różnorodne możliwości wykorzystania przyrządu. Ponadto jako próbki dobrano elementy, dla których odchyłka prostopadłości osi do podstawy jest znikoma.
- 12) Klawiszem 2 przełączyć na opcję wyboru zakresu pomiarowego. Na ekranie zostanie wyświetlony katalog M1.2 przeznaczony do zmiany zakresów pomiarowych.
- 13) Klawiszem 2 wybrać zakres $800 \mu\text{m}$. Automatycznie nastąpi powrót do katalogu podstawowego M1.1.
- 14) Wcisnąć klawisz 5 w celu włączenia pomiaru. Po pomiarze system PIK-2 wykona automatyczną „regulację zera”. (Na podstawie odczytanych wartości obliczana jest wartość średnia sygnału po czym następuje przesunięcie składowej stałej sygnału tę wartość, co bywa widoczne na ekranie w postaci nagłego, skokowego, przemieszczenia wskaźnika po za-

kończeniu pomiaru. Wpisać do tab.1 protokołu wartości eX , eY osiągnięte po regulacji.

- 15) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu. Wpisać do tab.1 protokołu wartości eX , eY uzyskane po regulacji.

Pomiar odchyłki okrągłości

Pomiar odchyłki okrągłości zrealizować w połowie wysokości walca o średnicy $d1$ (przekrój C).

- 1) Klawiszami 7, 8, 9 ustawić wysokość pomiarową
- 2) Wybrać właściwy zakres pomiarowy. Ze względu na dokładność pomiaru zaleca się zmniejszenie zakresu na najmniejszy możliwy – taki, który nie zostanie przekroczony podczas obrotu elementu. Z drugiej strony wybór zbyt małego zakresu pomiarowego będzie wymagał dodatkowych czynności przy pomiarze odchyłki walcowości w p.3. Proponuje się wybór zakresu $80\ \mu\text{m}$. W tym celu należy wcisnąć klawisz 2, co spowoduje wyświetlenie katalogu M1.2, a potem klawisz odpowiadający wybranemu zakresowi pomiarowemu.
- 3) Wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru. Jeżeli podczas zbierania danych nastąpiło przekroczenie zakresu pomiarowego to sygnalizowane jest to gwiazdką wyświetlaną przed wartością ΔR .
- 4) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu. Na ekranie narysowany jest profil zaobserwowany oraz podane są wartości maksymalnej odchyłki okrągłości P+V, odchylenia średniego kwadratowego od okręgu średniego rms, współrzędne środka okręgu średniego mierzonego zarysu eX , eY oraz średnia wartość mierzonego sygnału ΔR . Wartości te zostały obliczone dla przyjmowanej przez system po włączeniu zasilania opcji „bez filtru” równoważnej ze względu na cyfrowy sposób obróbki sygnału górnej granicznej liczbie 127 fal. Należy podkreślić, że system PIK-2 cały czas pamięta 1024 dane z przetwornika A/C. Umożliwia to badanie - bez potrzeby powtarzania pomiarów - profilu zmodyfikowanego tj. profilu zaobserwowanego celowo zmodyfikowanego przez cyfrowy filtr o określonej charakterystyce.
- 5) Klawiszem 0 powrócić do katalogu podstawowego M1.

- 6) Klawiszem 3 wybrać opcję zmiany filtra Wybrać filtr 0-50 fal/obrót. Z katalogu wybrać opcję 6 odtworzenie wykresu. Po chwili na ekranie zostanie wyświetlony profil zmodyfikowany oraz jego parametry obliczone dla szeregu Fouriera ograniczonego do 50 wyrazów.
- 7) Klawiszem 3 wybrać opcję zmiany filtra Wybrać filtr 0-15 fal/obrót. Z katalogu wybrać opcję 6 odtworzenie wykresu. Po chwili na ekranie zostanie wyświetlony profil zmodyfikowany oraz jego parametry obliczone dla szeregu Fouriera ograniczonego do 15 wyrazów.
- 8) Klawiszem 3 wybrać opcję zmiany filtra Wybrać opcję filtr inny. Z klawiatury wpisać 005. Z katalogu wybrać opcję 6 odtworzenie wykresu. Po chwili na ekranie zostanie wyświetlony profil zmodyfikowany oraz jego parametry obliczone dla szeregu Fouriera ograniczonego do 5 wyrazów.
- 9) Obserwując profil na ekranie ocenić jakiego typu błędy okągłości są dominujące w badanym przekroju. Wpisać wnioski do protokołu.
- 10) Ocenic, które składowe (harmoniczne) odchyłki okągłości są dominujące.
- 11) Powrócić do opcji pomiaru bez filtra (0-127 fal/obrót).

Pomiar odchyłki walcowości

Zasadę pomiaru odchyłki walcowości powierzchni zewnętrznej przy wykorzystaniu systemu PIK-2 przedstawiono na rysunku 3.1.11 (dla uproszczenia rysunku przyjęto, że oś badanego walca pokrywa się z osią systemu PIK-2). W celu wyznaczenia odchyłki walcowości badany walec rzeczywisty zastapiono walcem zastępczym okręgów średnich. Dla walca zastępczego wyznaczany jest walec przylegający. Za odchyłkę walcowości przyjmuje się największa odległość między walcem przylegającym, a walcem zastępczym okręgów średnich (1).

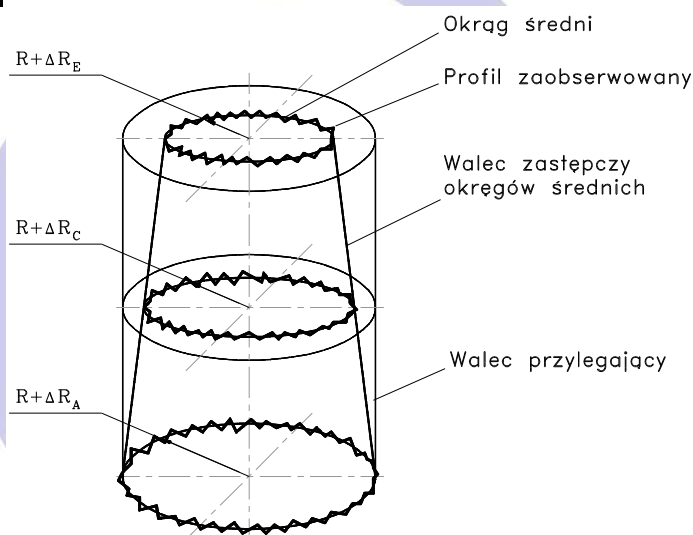
$$\Delta_{\text{walcowości}} = R_{\text{walca przylegającego}} - R_{\text{min.walca zastępcz. okręgów średnich}}$$

Dla szczególnego przypadku przedstawionego na rysunku 3.1.11

$$\Delta_{\text{walcowości}} = (R + \Delta R_A) - (R + \Delta R_E) = \Delta R_A - \Delta R_E \quad (2)$$

UWAGA!

Jak wynika z rysunku 3.1.11 oraz powyższego wzoru przy wyznaczaniu odchyłki walcowości nie jest konieczna znajomość wartości R . Ważne jest jedynie aby w czasie pomiarów wartość R nie ulegała zmianie. Oznacza to, że niedozwolone jest promieniowe przesuwanie czujnika.



Rysunek 3.1.11 Zasada pomiaru odchyłki walcowości powierzchni zewnętrznej.

W ćwiczeniu walec zastępczy okręgów średnich wyznaczany jest przez pomiary w trzech przekrojach A, C, E. Umożliwia to łatwą przybliżoną ocenę dominującej odchyłki walcowości (stożkowość, baryłkowość, siodłowość). Przedstawiona metoda jest ogólna i przy pomiarze w n przekrojach charakter odchyłki można ocenić dokładniej wyznaczając walec zastępczy okręgów średnich np. metodą minimum sumy kwadratów.

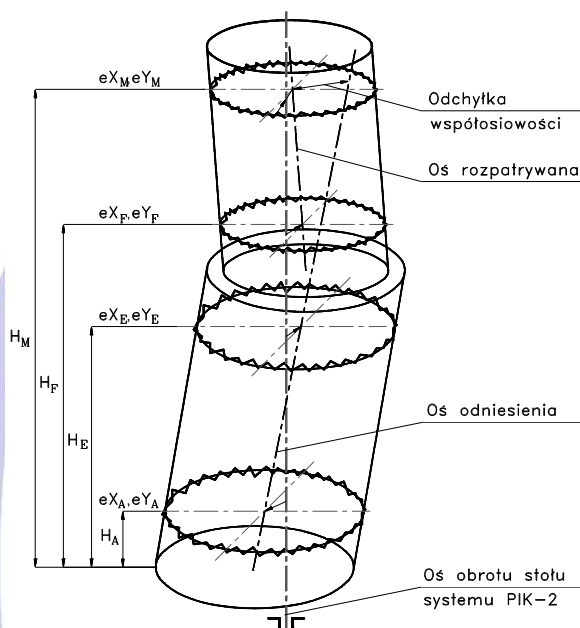
- 1) Klawiszem 8 wybrać opcję pozycjonowanie.
- 2) Klawiszami 7, 8, 9 ustawić wysokość pomiarową w przekroju A. Należy uważać, aby nie uderzyć końcem dźwigni pomiarowej w powierzchnię stołu. Zaleca się, aby odległość dźwigni pomiarowej od stołu była większa od 5 mm. Jeżeli po przemieszczeniu końcówki pomiarowej do przekroju A pionowa kreska pokryje się z jednym z kwadratów oznacza

to, że przekroczono aktualny zakres pomiarowy. Należy wówczas klawiszem 2 przełączyć na katalog wyboru zakresu pomiarowego, wybrać zakres 800 μm , następnie wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru. Po pomiarze system PIK-2 wykona automatyczną „regulację zera”. Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu. Wrócić na pierwotnie wybrany zakres pomiarowy. Jeżeli pionowa kresa wskazu nadal pokrywa się z jednym z kwadratów wykonywanie dalszych pomiarów przeprowadzić na większym zakresie pomiarowym.

- 3) Wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru.
- 4) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu.
- 5) Dla przekroju C wykorzystać wyniki pomiarów z tabeli 3.1.2.
- 6) Klawiszami 7, 8, 9 ustawić wysokość pomiarową w przekroju E. Jeżeli po przemieszczeniu końcówki pomiarowej do przekroju E pionowa kresa pokryje się z jednym z kwadratów oznacza to, że przekroczono aktualny zakres pomiarowy. Należy wówczas klawiszem 2 przełączyć na katalog wyboru zakresu pomiarowego, wybrać zakres 800 μm , następnie wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru. Po pomiarze system PIK-2 wykona automatyczną „regulację zera”. Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu. Wrócić na pierwotnie wybrany zakres pomiarowy. Jeżeli pionowa kresa wskazu nadal pokrywa się z jednym z kwadratów wykonywanie dalszych pomiarów przeprowadzić na większym zakresie pomiarowym.
- 7) Wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru.
- 8) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu.

Pomiar odchyłki współosiowości

Zasadę pomiaru odchyłki współosiowości dwóch powierzchni zewnętrznych przy wykorzystaniu systemu PIK-2 przedstawiono na rysunku 3.1.12. Przekroje pomiarowe A-A i E-E powierzchni bazowej są wykorzystane do wyznaczenia osi odniesienia.



Rysunek 3.1.12
Zasada pomiaru odchyłki współosiowości dwóch powierzchni zewnętrznych. (H - odległość od powierzchni stołu pomiarowego; przy pomiarach na ekranie pokazywana jest odległość od płaszczyzny neutralnej)

Odległość środka dowolnego przekroju $**$ rozpatrywanej powierzchni (środku okręgu średniego dla badanego przekroju) od osi odniesienia wyznacza się ze wzoru na odległość punktu od prostej w przestrzeni

$$F_{w*} = \sqrt{F_{wx*}^2 + F_{wy*}^2} \quad (3)$$

$$F_{wx*} = eX_* - eX_A - \frac{H_* - H_A}{H_E - H_A} (eX_E - eX_A) \quad (4)$$

$$F_{wy*} = eY_* - eY_A - \frac{H_* - H_A}{H_E - H_A} (eY_E - eY_A) \quad (5)$$

gdzie:

- odległość środka okręgu średniego w badanym przekroju $**$ od osi odniesienia w płaszczyźnie xOz okragłościomierza;
- odległość środka okręgu średniego w badanym przekroju $**$ od osi odniesienia w płaszczyźnie yOz okragłościomierza;
- odległość środka okręgu średniego w badanym przekroju $**$ od osi obrotu stołu okragłościomierza w jego płaszczyźnie xOz ;

- odległość środka okręgu średniego w badanym przekroju *–* od osi obrotu stołu okrągłościomierza w jego płaszczyźnie yOz ;
- odległość badanego przekroju *–* od stołu okrągłościomierza.

Za reprezentatywne dla powierzchni rozpatrywanej przyjmuje się przekroje na jej skrajach. Odchyłka współosiowości jest większą z wyznaczonych wartości.

$$F_{\text{współosiowości}} = \max(F_{\text{wF}}, F_{\text{wM}}) \quad (6)$$

UWAGA!

Jak wynika z rysunku 3.1.12 i wzorów (3), (4), (5) istotne jest, aby w czasie pomiarów element nie zmienił swojego położenia w stosunku do osi stolika pomiarowego. Oznacza to, że element nie może zostać przesunięty na stoliku natomiast nieistotne jest promieniowe położenie czujnika.

W ćwiczeniu oś odniesienia wyznaczana jest przez pomiary w dwóch przekrojach. Umożliwia to przybliżoną ocenę jej położenia. Proponowana metoda jest ogólna i przy pomiarze w n przekrojach można dokładniej wyznaczyć położenie osi odniesienia, jako prostej spełniającej warunek minimum sumy kwadratów odległości od środków n przekrojów. Analogicznie można dokładniej wyznaczyć położenie osi rozpatrywanej. Odchyłką współosiowości (wyrażoną promieniowo) będzie wówczas największa odległość między tymi osiami w obszarze wyznaczonym przez zarys elementu rozpatrywanego. łatwo zauważyć, że wybór dwóch skrajnych przekrojów, jako reprezentatywnych dla walca odniesienia i dwóch skrajnych przekrojów jako reprezentatywnych dla walca rozpatrywanego nie wykrywa odchyłki współosiowości, gdy osie rzeczywiste tych walców są regularnie wygięte (są fragmentami elips).

- 1) Dla wyznaczenia osi odniesienia wykorzystać wyniki pomiarów z tab. 1 protokołu.
- 2) Odsunąć czujnik od przedmiotu.
- 3) Ustawić wysokość pomiarową na przekroju F.
- 4) Wybrać zakres pomiarowy 800 μm .

- 5) Dosunąć promieniowo czujnik do powierzchni elementu do pokrycia się wskaźnika z trójkątem.
- 6) Wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru i automatycznej „regulacji zera”.
- 7) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu.
- 8) Wybrać właściwy zakres pomiarowy.
- 9) Wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru.
- 10) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu.
- 11) Klawiszem 8 wybrać opcję pozycjonowanie.
- 12) Ustawić wysokość pomiarową na przekroju M. Jeżeli po przemieszczeniu końcówki pomiarowej do przekroju M pionowa kreska pokryje się z jednym z kwadratów oznacza to, że przekroczono aktualny zakres pomiarowy. Należy wówczas klawiszem 2 przełączyć na katalog wyboru zakresu pomiarowego, wybrać zakres 800 μm , następnie wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru. Po pomiarze system PIK-2 wykona automatyczną „regulację zera”. Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu. Wrócić na pierwotnie wybrany zakres pomiarowy. Jeżeli pionowa kreska wskaźnika nadal pokrywa się z jednym z kwadratów wykonywanie dalszych pomiarów przeprowadzić na większym zakresie pomiarowym.
- 13) Wcisnąć klawisz 5 w celu wykonania pomiaru.
- 14) Klawiszem 4 wyłączyć obrót stołu.

Pomiar odchyłki prostoliniowości

- 1) Wykorzystując opcję start/stop obrotu stołu ustawić stół tak, aby pokrętko Px wskazywało godzinę 9.
- 2) Klawiszem 0 przejść do katalogu nadrzędnego M0.
- 3) Wybrać opcję pomiaru odchyłki prostoliniowości.
- 4) Ustawić zakres pomiarowy na 2500 μm .
- 5) Klawiszem jeden wybrać opcję ustalenia odcinka pomiarowego

- 6) Klawiszem 5 wprowadzić górną granicę zakresu pomiarowego.
- 7) Ustawić wysokość pomiarową w przekroju F. Dźwignia pomiarowa powinna się znajdować co najmniej 4 mm nad kołnierzem elementu, gdyż przed rozpoczęciem pomiaru system przesuwa końcówkę pomiarową ok. 2 mm poniżej dolnej granicy zakresu pomiarowego aby uzyskać odcinek robiegowy zapewniający równomierność przesuwu.
- 8) Klawiszem 6 wprowadzić dolną granicę odcinka pomiarowego.
- 9) Wcisnąć klawisz 0 w celu powrotu do katalogu M2 w wersji pełniejszej. Powinna być dostępna opcja 5 pomiar. Jeśli opcja pomiar jest niedostępna to błędnie wprowadzono granice odcinka pomiarowego (muszą być spełnione warunki: wysokość górnej granicy > wysokości dolnej granicy oraz wysokość górnej granicy > wysokości płaszczyzny neutralnej) lub w czasie dotychczasowych pomiarów przypadkowo wykasowano położenie płaszczyzny neutralnej. Gdy na ekranie nie jest wyświetlana wysokość płaszczyzny neutralnej należy czujnik odsunąć od przedmiotu i ponownie na płytce wzorcowej 25 mm wprowadzić położenie płaszczyzny neutralnej.
- 10) Wcisnąć klawisz 5. Czujnik automatycznie przemieści się do dolnej granicy odcinka pomiarowego, po czym rozpocznie się pomiar. Podczas ruchu czujnika na ekranie monitora rysowany jest wykres czytanych wartości. Po zakończeniu zbierania danych następuje wyznaczenie parametrów P+V, rms oraz eL W zależności od wartości parametru eL możliwe są dwa przypadki:
 - 10a) Jeżeli pochylenie elementu jest duże (sygnał „ucieka”) to po zakończeniu pomiarów na ekranie monitora pojawią się dwa krzyże. Posługując się pokrętką regulacyjną pionowania Px, znajdującą się w płaszczyźnie pomiarowej, należy doprowadzić do pokrycia się krzyży uzyskując w ten sposób ustawienie tworzącej mierzonego elementu równoległe do kierunku przesuwu karetki.

10b) Jeżeli pochylenie tworzącej jest mniejsze od 300 μm oraz nie został przekroczony zakres pomiarowy to po zebraniu danych komputer wyświetli wykres odchyłek i wyniki pomiaru.

11) Wybrać właściwy zakres pomiarowy.

12) Wykonać pomiar.

Czynności zakończeniowe

1) Odsunąć czujnik od przedmiotu.

2) Wyłączyć system PIK-2 przełącznikiem na listwie zasilającej.

Literatura

1. **Białas S.: Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006**
2. **Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, 2009.**
3. **Praca zbiorowa (red. Humienny Z.): Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Podręcznik europejski, WNT, Warszawa, 2004.**

**Politechnika
Warszawska**