

**Politechnika Poznańska**  
**Instytut Technologii Mechanicznej**

**Laboratorium**  
**Badania Maszyn CNC**

**Nr 3**

**Badanie dokładności obrabiarek Szybkim Testem QC-10**  
**(Ballbar)**

Opracował:  
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, luty 2005

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z pomiarem diagnostycznym obrabiarek sterowanych numerycznie pracujących w interpolacji kołowej na przykładzie Szybkiego Testu QC-10 (ballbar). Celem ćwiczenia jest również zapoznanie się z typowymi błędami występującymi w obrabiarkach, sposobami ich usuwania oraz sposobem wykonywania pomiarów diagnostycznych obrabiarek pracujących w interpolacji kołowej.

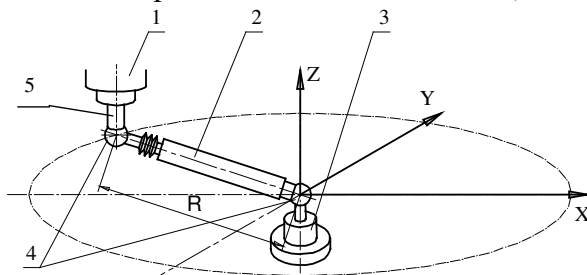
## 2. Wprowadzenie

Diagnostyka obrabiarek sterowanych numerycznie jest bardzo ważnym zagadnieniem, które powinno być rozpatrywane przez producentów oraz użytkowników tych maszyn. Dla uzyskania wymaganej dokładności pracy nie wystarczy tylko naprawa bieżących usterek, konieczne jest okresowe badanie obrabiarek połączone z ewentualną regulacją np. układów sterowania i napędów.

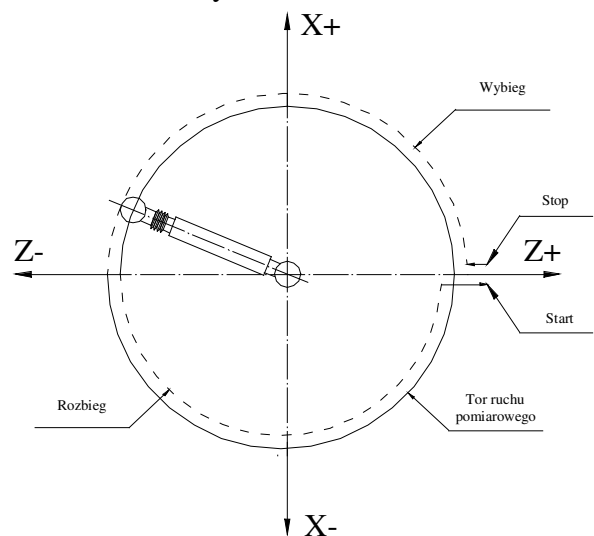
Urządzenie diagnostyczne Szybki Test QC-10 umożliwia wykrycie błędów geometrycznych występujących w układach napędowych obrabiarek CNC zwłaszcza wprowadzanych przez układ mechaniczny, układ pomiarowy oraz błędów wprowadzanych przez serwonapędy.

Szybki Test QC-10 pozwala na pomiar okrągłości ruchu w interpolacji kołowej obrabiarki sterowanej numerycznie (rys. 1). W czasie pomiaru za pomocą przetwornika pomiarowego 2 mierzony jest aktualny promień wykonywanego ruchu kołowego. Aktualne położenie katowe przetwornika obliczane jest na podstawie czasu wykonywania ruchu ze stałym posuwem stycznym. Do wykonania poprawnej analizy wymagane jest wykonanie pomiarów w zakresie ruchu  $360^\circ$  ( $0\div 360^\circ$ ), w obu kierunkach (zgodnie i przeciwnie do ruchu wskazówek zegara rys. 2). Aby w czasie pomiaru była stała prędkość posuwowa, każdy ruch pomiarowy powinien być poprzedzony rozbiegiem i zakończony wybiegiem (rys. 2). Dla pomiarów w zakresie ruchu  $360^\circ$  cykl pomiarowy składa się z następujących ruchów (rys. 2):

- ustawienie obrabiarki w położeniu  $X = \pm(R+1.5)$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$ ,
- zamontowanie przetwornika,
- wykonanie w sposób ciągły kolejno:
  - przemieszczenia na  $X = \pm R$  – rozpoczęcie cyklu,
  - wykonanie dwóch pełnych okręgów,
  - przemieszczenia na  $X = \pm(R+1.5)$  – zakończenie cyklu.



Rys. 1. Zasada badania diagnostycznego frezarek CNC szybkim testem QC-10 :  
1 – wrzeciono frezarki, 2 – przetwornik pomiarowy, 3 - podstawka magnetyczna centrująca, 4 – końcówki kuliste, 5 – uchwyt magnetyczny, R – promień zarysu nominalnego



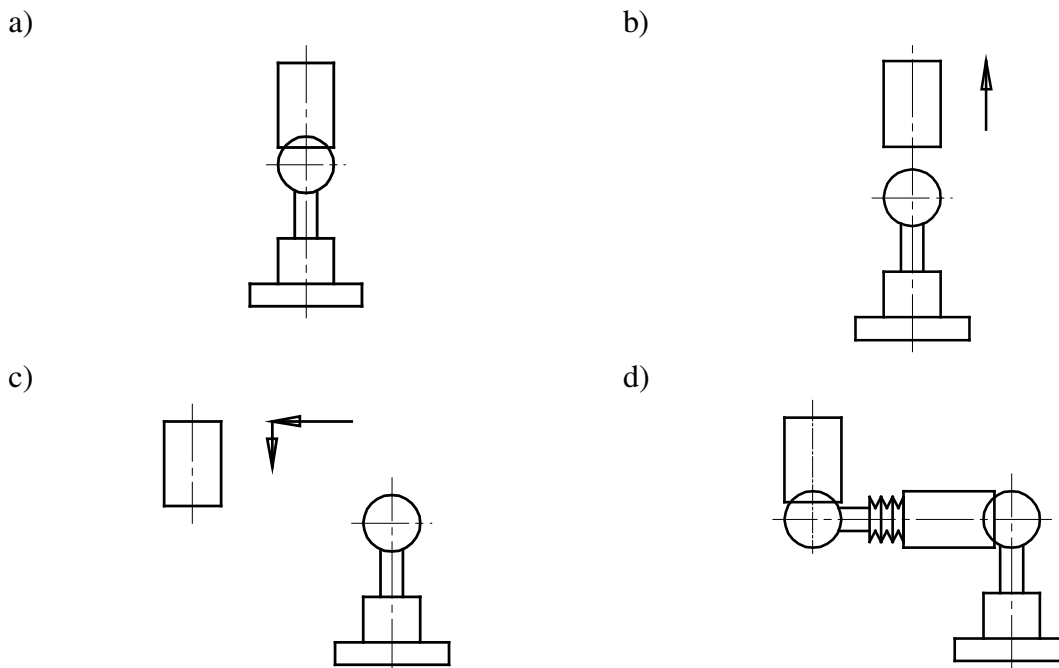
Rys. 2. Schemat pomiaru w zakresie ruchu  $360^\circ$

Jeżeli obrabiarka jest bez wad wykres kołowy ruchu powinien być okręgiem. Obecność jakichkolwiek wad wprowadza zniekształcenia w obrazie okręgu. Analizując taki wykres można określić źródła występowania błędów w układzie napędowym.

Dostarczone oprogramowanie do urządzenia QC-10 umożliwia przeprowadzenie analizy otrzymanych wyników, podając wartości poszczególnych błędów składowych oraz ich procentowy wpływ na okrągłość ruchu.

Instalacja urządzenia QC-10 na frezarkach przebiega następująco (rys. 1 i rys. 3):

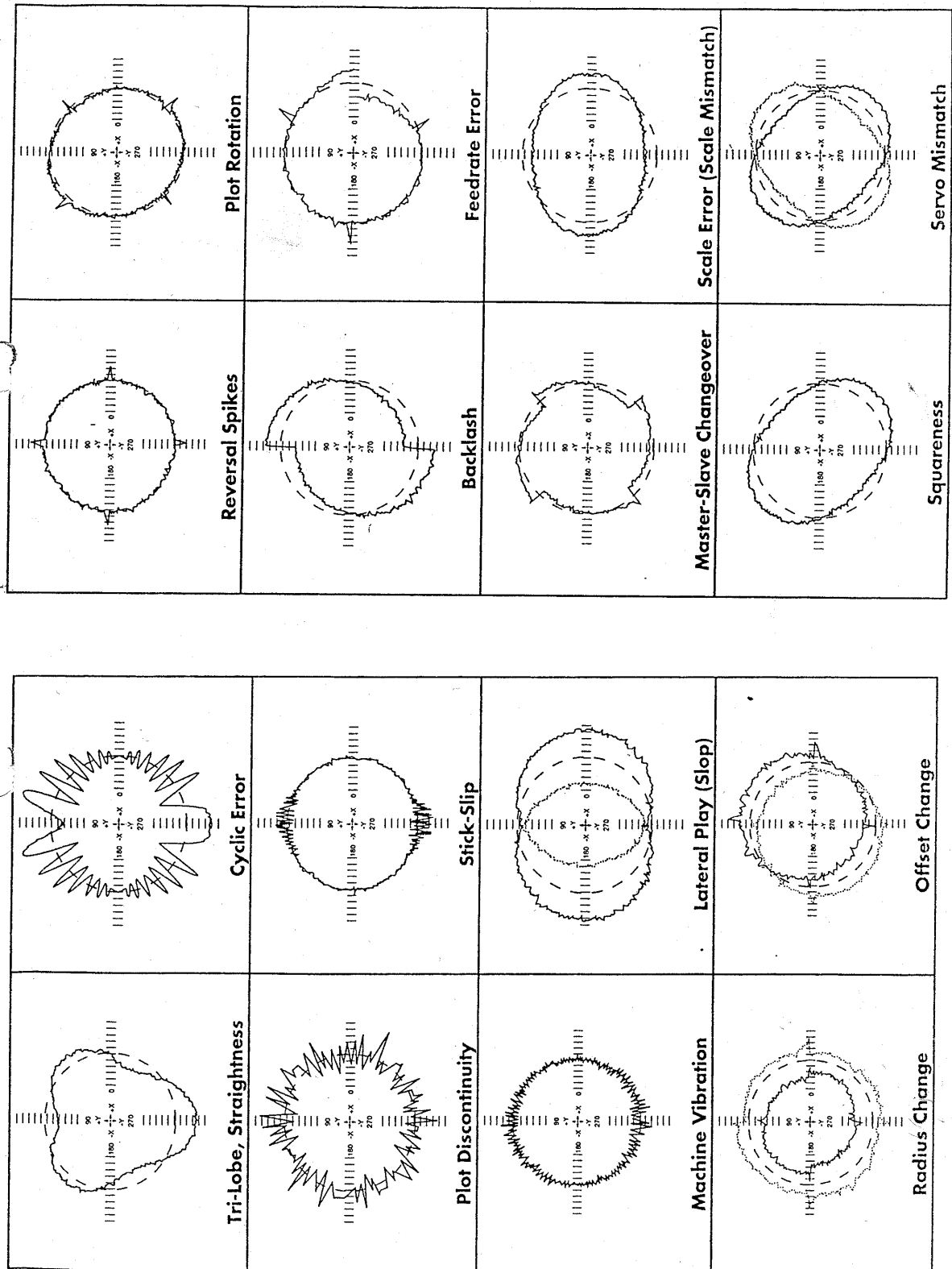
- zamocować uchwyt magnetyczny końcówki kulistej 5 we wrzecionie frezarki 1 za pomocą uchwytu z tulejkami zaciskowymi,
- podstawkę magnetyczną 3 umieszcza się na stole frezarki w takim miejscu aby możliwy był ruch pomiarowy (w środku okręgu pomiarowego). Należy zwolnić zacisk końcówki kulistej podstawki magnetycznej 3,
- następnie należy ustawić punkt bazowy ruchu pomiarowego rys. 3a przez połączenie uchwytu magnetycznego 5 zamocowanego we wrzecionie oraz końcówki kulistej podstawki magnetycznej 3 przesuwając odpowiednio osie obrabiarki (rys. 3a),
- po połączeniu należy zacisnąć końcówkę kulistą podstawki magnetycznej 3 przy pomocy pokrętła oraz należy wprowadzić w układzie sterowania numerycznego obrabiarki współrzędne środka okręgu (DATUM SET X=0, Y=0, Z=0),
- następnie należy odjechać wrzecionem w górę aby nie przestawić punktu bazowego (rys. 3b),
- ustawić wrzeciono w początkowym punkcie pomiaru (rys. 3c) i zamocować przetwornik pomiarowy (rys. 3d),
- połączyć przetwornik z komputerem i uruchomić program pomiarowy.
- wykonać pomiary.



Rys. 3. Schemat instalacji Szybkiego Testu QC-10 na frezarkach CNC:

- a) ustawienie punktu bazowego, b) pionowe odsunięcie gniazda, c) ustawienie w pozycji startowej, d) instalacja przetwornika

Pomiary kołowości można wykonywać również w innym zakresie ruchu niż  $360^\circ$ . Na przykład w zakresie ruchu  $-180^\circ \div 180^\circ$ ,  $0 \div 90^\circ$ ,  $80^\circ \div 100^\circ$  itd.



Rys. 4. Wykresy typowych błędów wykrywanych przez szybki test QC-10

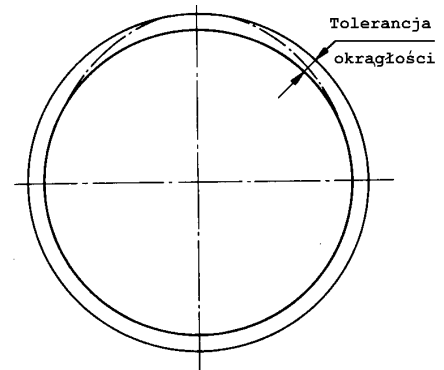
### 3. Błędy diagnozowany szybkim testem QC-10

Zestawienie typowych błędów i kształtów wykresów diagnostycznych przedstawia rys 4. Opisy i przyczyny powstawania najczęściej występujących błędów w układzie posuwowym przedstawiono poniżej.

#### 3.1. Okrągłość

Zgodnie z normą PN-ISO 230-3 linię na płaszczyźnie nazywa się okrągłą, jeżeli wszystkie jej punkty są zawarte między dwoma okręgami współśrodkowymi, w których odległość promieniowa nie przekracza danej wartości (rys. 5).

Okrągłość może dotyczyć kształtu próbki albo kształtu drogi zakreślonej przez przemieszczającą się część (części).

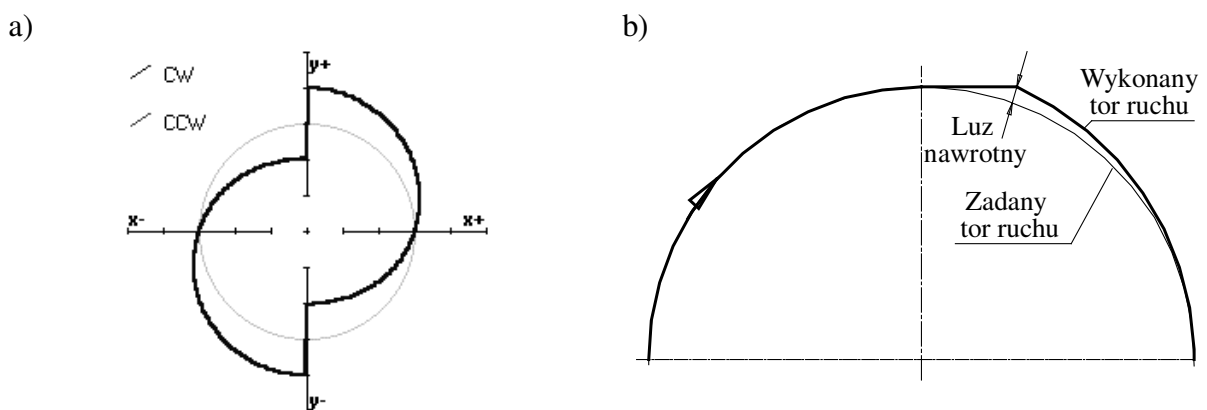


Rys. 5. Wykres błędu okrągłości

#### 3.2. Luz nawrotny (Backlash)

Podczas ruchu w interpolacji kołowej luz nawrotny można zaobserwować na wykresie kołowym jako skok odchyłki promienia ruchu na zewnątrz lub do wewnątrz wykonywanego łuku (rys. 6a).

Błąd ten spowodowany jest luzem w układzie napędowym obrabiarki lub w układzie pomiarowym lub niedostateczną sztywnością tych układów. Najczęstszymi przyczynami tego błędu są: luz w połączeniu śruby-nakrętka, luz w przekładni zębatej układu napędowego lub złe naciągnięcie paska zębatego. W przypadku zmiany kierunku ruchu jedna z osi w wyniku występowania luzu rozpoczyna ruch z opóźnieniem (rys. 6b). Błąd ten uwidacznia się zwłaszcza w obrabiarkach z pośrednim układem pomiarowym.

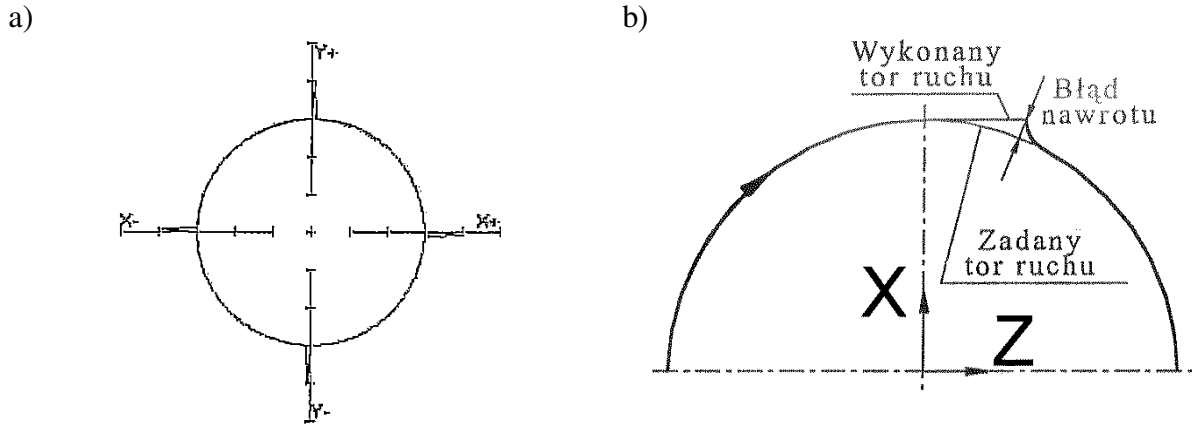


Rys. 6. Luz nawrotny: a) wykres błędu, b) przyczyna powstawania błędu

Aby usunąć ten błąd należy usunąć przyczynę – wykasować luzy w układzie pomiarowym lub napędowym. Możliwe jest również kompensowanie luzu nawrotnego bezpośrednio w układzie sterującym obrabiarki ale wymaga to wykonania dokładnych pomiarów dokładności pozycjonowania na całej długości przesuwu osi.

### 3.3. Błąd nawrotu (Reversal Spikers)

Podczas zmiany kierunku ruchu błąd nawrotu można zaobserwować na wykresie kołowym jako chwilowy skok odchyłki (rys. 7a). Przyczyną tego błędu jest zbyt wolna odpowiedź serwonapędu na sygnał z układu sterowania w przypadku zmiany kierunku ruchu (przejście przez oś w interpolacji kołowej). Po pewnym czasie, od chwili przejścia położenia zadanego osi Z przez oś X, silnik osi X wykona ruch i serwonapęd zlikwiduje błąd w tej osi (rys. 7b).



Rys. 7. Błąd nawrotu: a) wykres błędu, b) powstawanie błędu

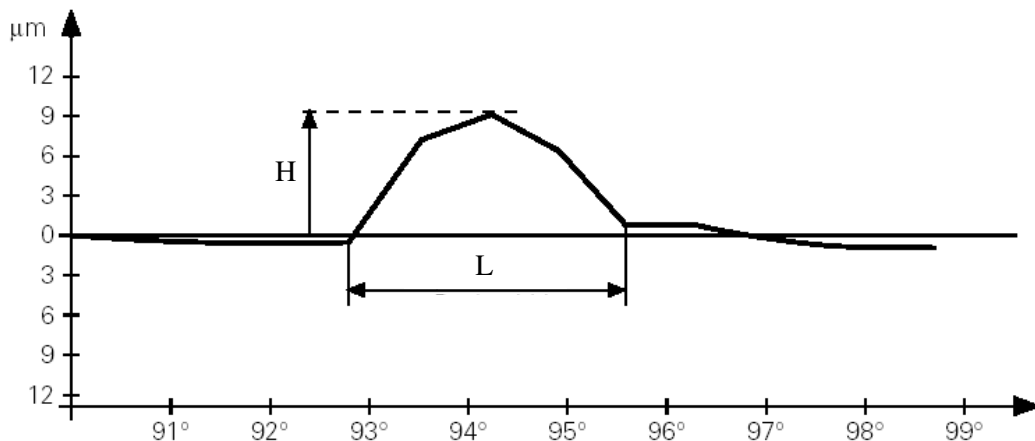
Źródłem tego błędu może być:

- duże opóźnienie ruchu powodowane zbyt małym położeniowym współczynnikiem wzmocnienia  $k_v$ ,
- luz w układzie napędowym (luz na śrubie tocznej lub przekładni zębatej),
- niewłaściwa praca serwonapędów przy małych prędkościach.

Błąd ten jest często spotykany w dużych obrabiarkach szczególnie z bezpośrednim pomiarem położenia.

Aby usunąć ten błąd należy wykasować luzy w układzie napędowym i pomiarowym oraz odpowiednio ustawić współczynniki wzmocnienia regulatora położenia.

W niektórych układach sterujących istnieje możliwość kompensowania tego rodzaju błędów (Heidenhain, Siemens). W przypadku układów sterujących firmy Heidenhain, w celu dokładnego poznania wartości błędu nawrotu, należy wykonać dokładne pomiary w okolicach ich występowania - ćwiartek okręgu (np.  $80^\circ \div 100^\circ$ ;  $170^\circ \div 190^\circ$ ;  $260^\circ \div 280^\circ$ ;  $-10^\circ \div 10^\circ$ ). Pomiar ten powinien być wykonany z taką wartością prędkości posuwowej jaka najczęściej jest wykorzystywana przy dokładnej obróbce. Otrzyma się wówczas wykres tak jak na rys. 8.



Rys. 8. Dokładny wykres błędu nawrotu

Na podstawie tego wykresu można odczytać wartość błędu  $H$  oraz okres błędu  $L$ . Do obliczeń współczynników kompensacji należy uwzględnić wartość średnią błędu dla danej osi (z części ujemnej i dodatniej osi). Kompensując błąd nawrotu w układzie sterowania typu TNC wielkość błędu  $H$  wprowadza się do parametru MP711.x (x – numer osi X=0, Y=1 itd.) w mm z dokładnością do 0.0001 mm. Natomiast w parametrze MP712.x wprowadza się część wartości błędu podlegającą skompensowaniu w czasie jednej pętli sterującej układu sterowania. Dla układu sterującego TNC 407 czas pętli sterującej wynosi  $t_p = 6$  ms, natomiast do układu TNC 415  $t_p = 3$  ms. W celu obliczenia tej wartości kompensacji najpierw należy obliczyć czas trwania błędu nawrotu  $t_b$  [s].

$$t_b = \frac{2 \cdot 60 \cdot \pi \cdot L \cdot R}{360 \cdot v_f},$$

gdzie:  $L$  – szerokość piku [°],  
 $R$  – promień wykonywanego ruchu [mm],  
 $v_f$  – prędkość posuwowa [mm/min].

Następnie należy obliczyć wartość kompensacji przypadająca na czas jednej pętli sterującej  $K$  [mm]:

$$K = \frac{H \cdot t_p}{0.5 \cdot t_b}$$

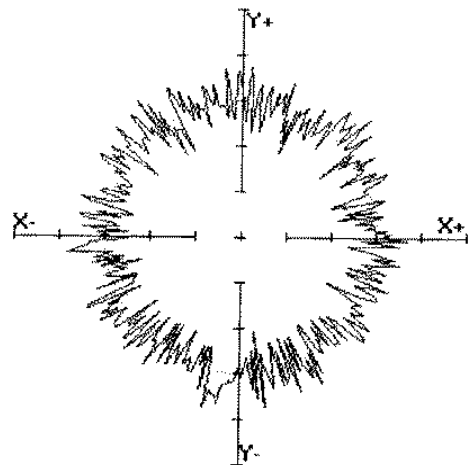
gdzie:  $H$  – wartość błędu [mm]  
 $t_p$  – czas pętli sterującej [s],  
 $t_b$  – czas trwania błędu nawrotu [s].

Wartość  $K$  wprowadzaną się z dokładnością do 0.000001 mm. Edycja tych parametrów wymaga specjalnych uprawnień operatora dlatego powinna być wykonana przez prowadzącego ćwiczenia.

### 3.4. Drgania nieregularne (Plot Discontinuity)

Przyczyny powstawania drgań mogą być źródła zewnętrzne lub wewnętrzne. Drgania mogą być powodowane przez samą obrabiarkę, np. przez niedostateczne smarowanie prowadnic. Mogą również pochodzić z otoczenia, np. z innych obrabiarek, wentylatorów, urządzeń przenoszących materiał lub pojazdów transportowych.

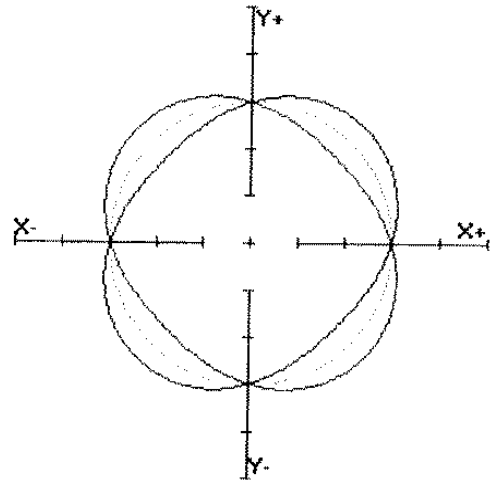
Jeśli występuje tylko jeden powód drgań, przy wnikliwej obserwacji można zauważyć, że amplituda drgań jest różna na całym okręgu, w przeciwieństwie do częstotliwości. W przypadku występowania wielu powodów amplitudy i częstotliwości będą różne.



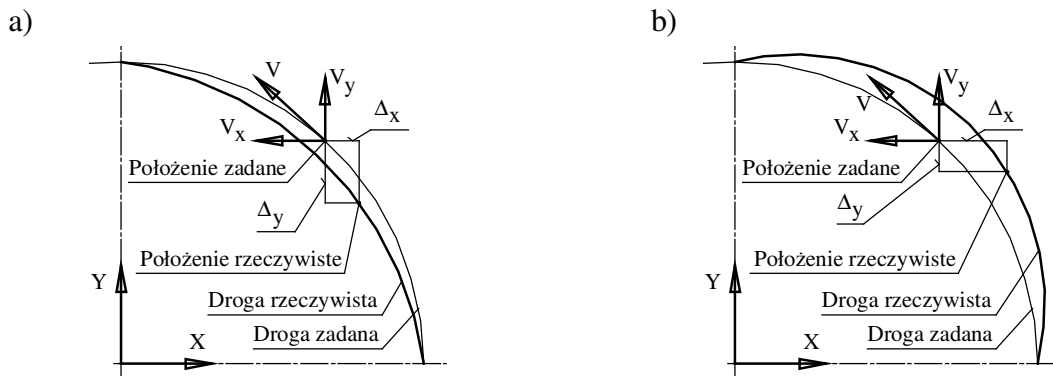
Rys. 9. Wykres drgań nieregularnych

### 3.5. Błąd nadążanie

Błąd ten jest związany z niewłaściwą współpracą serwonapędów. Wielkość błędu nadążania określa jak dobrze dopasowane są układy napędowe poszczególnych osi obrabiarki, a w szczególności położeniowe współczynniki wzmocnienia. Jeśli praca obu osi jest właściwa na wykresie pojawi się idealny okrąg. Gdy układy napędowe poszczególnych osi są źle dobrane lub ustawione na wykresie pojawią się dwie elipsy z głównymi osiami skręconymi o  $+45^\circ$  lub o  $-45^\circ$  w zależności od kierunku ruchu i wartości współczynników  $k_v$  (rys. 10). Wartość błędu wzrasta ze zwiększeniem szybkości posuwu. Na rysunku 11 przedstawiono przyczynę powstawania tego błędu.



Rys. 10. Wykres błędu nadążania



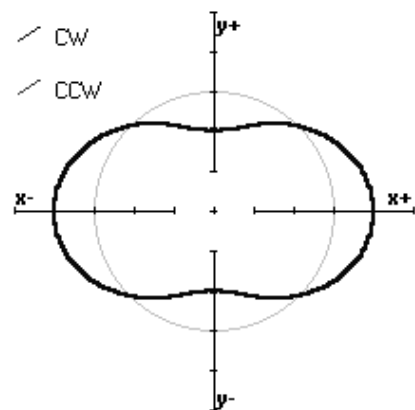
Rys. 11 Przyczyna powstawania błędu nadążania:

- a) uchyb osi Y jest większy od uchybu osi X ( $k_{vX} > k_{vY}$ ),  
 b) uchyb osi X jest większy od uchybu osi Y ( $k_{vX} < k_{vY}$ )

Aby usunąć ten błąd należy odpowiednio ustawić współczynniki wzmocnienia regulatorów położenia.

### 3.6. Błąd skali (Scale Error)

Błąd ten jest związany ze złą skalą (podziałką) w układzie pomiarowym. Przy zadanym przemieszczeniu poszczególne osie wykonują za duże lub za małe przemieszczenie wówczas wykres okrągłości ma kształt owalny z głównymi osiami równoległymi do osi obrabiarki (rys. 12). Dłuższa oś owalu jest w tej osi, w której błąd jest dodatni, a krótsza w tej, w której jest ujemny. Ponieważ błąd ten może być związany również ze złym wypoziomowaniem stołu obrabiarki, należy badania przeprowadzić z różnymi wartościami osi Z. Jeśli na otrzymanych wykresach nie widać różnic wówczas świadczy to tylko o błędzie skali. Usunięcie tego



Rys. 12. Wykres błędu skali



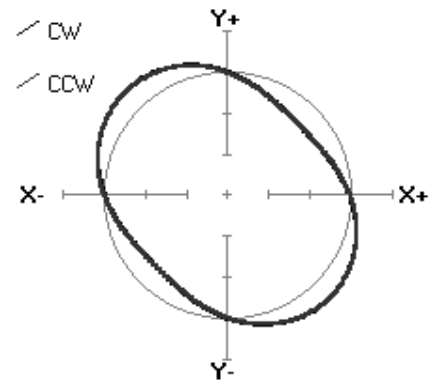
błędu możliwe jest poprzez kompensację błędu osi w układzie sterowania. Wymaga to wykonania dokładnych pomiarów pozycjonowania osi w całym zakresie ruchu osi np. interferometrem laserowym.

### 3.7. Błąd prostopadłości osi (Squareness)

Wykres błędu prostopadłości osi na wykresie okrągłości ma kształt owalu pochylonego pod kątem  $+45^\circ$  lub  $-45^\circ$  w stosunku do osi X (rys. 13). Pochylenie owalu nie zmienia się ze zmianą kierunku ruchu. Wielkość owalu nie zmienia się również ze zmianą prędkości ruchu.

Przyczyną błędu jest złe wzajemne ustawienie prowadnic osi X i Y. W tej ćwiartce układu X-Y, w której znajduje się dłuższa oś owalu kąt pomiędzy osiami X i Y jest mniejszy od  $90^\circ$ .

Ponieważ błąd ten może być związany również ze złym wypoziomowaniem stołu obrabiarki, należy badania przeprowadzić z różnymi wartościami osi Z. Jeśli na otrzymanych wykresach nie widać różnic wówczas świadczy to tylko o błędzie prostopadłości.



Rys. 13. Wykres błędu prostopadłości osi

## 4. Wykonanie ćwiczenia

W celu poprawnego wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

- wprowadzić do układu sterowania program realizujący ruch pomiarowy (rys. 2),
- zamontować czujnik pomiarowy (p.2),
- ustawić odpowiednie parametry zbierania danych w programie Ballbar,
- przeprowadzić pomiar i wydrukować wykres pomiarowy,
- przeanalizować wykres i określić rodzaje występujących błędów,
- w przypadku występowania błędów możliwych do usunięcia należy przeprowadzić ich kompensację,
- w razie konieczności zmienić ustawienia i wykonać pomiar powtórnie.

## 5. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia nr grupy i podgrupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- arkusz wyniku pomiaru testu okrągłości,
- lista błędów odczytanych z wykresu,
- wartości i obliczenia parametrów kompensacji błędów,
- arkusz wyniku pomiaru testu okrągłości po kompensacji,
- wnioski ze zwróceniem uwagi na wartości poszczególnych błędów ze zwróceniem szczególnej uwagi na błąd okrągłości..

## 6. Wymagania

Przed przystąpieniem do ćwiczeń należy zapoznać się z przedmiotem normy ISO-230, charakterystyką typowych błędów wykrywanych testem okrągłości, budową i zasadą pomiaru szybkim testem QC-10 oraz metodami kompensacji błędów osi.

## 7. Literatura

1. Frąckowiak P., Ptaszyński W., Staniek R., „Badania dokładności obrabiarek CNC Szybkim Testem QC-10”. Sprawozdanie z Badań Własnych 1999. Praca niepublikowana.
2. Chojan M., Poszerzenie możliwości badawczych testu diagnostycznego QC – 10 w zakresie pomiaru dokładności napędu posuwowego tokarek sterowanych numerycznie. Praca dyplomowa, Poznań 2002.
3. Chojan M., Diagnostyka układu napędowego tokarek sterowanych numerycznie. Praca dyplomowa inżynierska, Poznań 2000
4. Norma PN-ISO 230-4.