

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

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

**Nr 2**

**Badanie dokładności pozycjonowania osi obrotowych  
sterowanych numerycznie**

Opracował:  
Dr inż. Wojciech Ptaszyński  
Mgr inż. Krzysztof Netter

Poznań, kwiecień 2005

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z obowiązującymi normami oraz metodami pomiarów dokładności pozycjonowania osi maszyn sterowanych numerycznie.

## 2. Wyciąg z normy PN ISO-230

### 2.1. Wstęp

Norma Międzynarodowa ISO 230 „Acceptance code for machine tools” jest zatwierdzona przez Polski Komitet Normalizacyjny. Norma ISO ma na celu znormalizowanie metod sprawdzania dokładności obrabiarek, z wyłączeniem obrabiarek przenośnych. Przedmiotem normy są wymagania i wytyczne dotyczące sprawdzania dokładności geometrycznej obrabiarek do obróbki metali i obróbki drewna oraz wymagania i wytyczne dotyczące sposobów badań i środków mierniczych. Norma ta może być stosowana do sprawdzania innych maszyn przemysłowych w zakresie dotyczącym badań geometrycznych i pracą.

Norma składa się z kilku części:

- Część 1: Sprawdzanie dokładności geometrycznej obrabiarek pracujących bez obciążenia lub w warunkach obróbki wykańczającej.
- Część 2: Wyznaczanie dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi sterowanych numerycznie.
- Część 3: Wyznaczanie efektów cieplnych.
- Część 4: Test okrągłości dla obrabiarek sterowanych numerycznie.
- Część 5: Emisja akustyczna.

W niniejszym opracowaniu głównie skupiono się na części drugiej związanej bezpośrednio z tematem. Arkusz ten uwzględnia statystyczną obróbkę wielkości mierzonych dla określenia różnych parametrów odnoszących się do działania obrabiarki. Arkusz ISO 230 określa metody badania oraz oceny dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi obrabiarek sterowanych numerycznie przez pomiary w kierunkach poszczególnych osi maszyny. Metody te mają zastosowanie zarówno do osi liniowych, jak i obrotowych. Jednak jest zastrzeżenie, że nie wolno stosować tej metody kiedy jest jednocześnie badanych kilka osi.

### 2.2. Podstawowe definicje i symbole

Odpowiednie parametry zdefiniowano i obliczono w „Przewodniku do wyznaczania niepewności pomiarów” normy ISO-230 (ang. *Guide to the expression of uncertainty of measurments*). Są to następujące definicje i symbole.

**Przesuw osiowy** – maksymalne przemieszczenie liniowe lub obrotowe elementu ruchomego poruszającego się w wyniku sterowania numerycznego.

**Przesuw pomiarowy** – część przemieszczenia pomiarowego wykorzystywana dla zbierania danych.

**Położenie zadane  $P_i$**  ( $i = 1$  do  $m$ ) – położenie, do którego zaprogramowano ruch zespołu ruchomego. Indeks  $i$  wskazuje określoną pozycję między innymi położeniami zadanymi wzdłuż lub dookoła osi.

**Położenie rzeczywiste  $P_{ij}$**  ( $i = 1$  do  $m$ ;  $j = 1$  do  $n$ ) – położenie zmierzone osiągnięte przez zespół ruchomy w  $j$ -tym najeździe do  $i$ -tego położenia zadanego.

**Odchyłka położenia (odchyłka pozycjonowania)  $x_{ij}$**  – różnica między położeniem rzeczywistym osiągniętym przez zespół ruchomy i położeniem zadanym.

$$x_{ij} = P_{ij} - P_i$$

**Jednokierunkowość** – odnosi się do serii pomiarów, podczas których najazd do położenia zadanego realizowanego w tym samym kierunku wzdłuż lub dookoła osi. Symbol  $\uparrow$  oznacza najazd z kierunku dodatniego, a symbol  $\downarrow$  z kierunku ujemnego.

**Dwukierunkowość** – odnosi się do serii pomiarów, podczas których najazdy do położenia zadanego są realizowane z dwóch kierunków wzdłuż lub dookoła osi.

**Rozszerzona niepewność** – wielkość definiująca brak wyników pomiarów, który może obejmować znaczącą część rozdziału wartości.

**Współczynnik pokrycia** – współczynnik numeryczny użyty jako mnożnik wspólnej standardowej niepewności w celu otrzymania rozszerzonej niepewności.

**Średnia jednokierunkowa odchyłka pozycjonowania w położeniu  $\bar{x}_i \uparrow$  lub  $\bar{x}_i \downarrow$**  - średnia arytmetyczna odchyłek pozycjonowania uzyskanych podczas serii  $n$  jednokierunkowych najazdów do położenia  $P_i$

$$\bar{x}_i \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \uparrow$$

$$\bar{x}_i \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \downarrow$$

**Wartość zwrotna w położeniu  $B_i$**  – różnica między średnimi jednokierunkowymi odchyłkami pozycjonowania uzyskanymi przy najeździe z dwóch kierunków do położenia  $P_i$ .

$$B_i = \bar{x}_i \uparrow - \bar{x}_i \downarrow$$

**Osiowa wartość zwrotna  $B$**  – największa bezwzględna wartość zwrotna  $|B_i|$  we wszystkich położeniach zadanych wzdłuż lub dookoła osi.

$$B = \max[|B_i|]$$

**Średnia osiowa wartość zwrotna  $\bar{B}$**  – średnia arytmetyczna wartości zwrotnej  $B_i$  we wszystkich położeniach zadanych wzdłuż lub dookoła osi.

$$\bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$$

**Estymator jednokierunkowej standardowej niepewności pozycjonowania w danym położeniu  $s_i \uparrow$  lub  $s_i \downarrow$**  - estymator standardowej niepewności odchyłek pozycjonowania uzyskany z serii  $n$  jednokierunkowych podejść do położenia  $P_i$ .

$$s_i \uparrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} \uparrow - \bar{x}_i \uparrow)^2}$$

i

$$s_i \downarrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} \downarrow - \bar{x}_i \downarrow)^2}$$

**Jednokierunkowa powtarzalność pozycjonowania w danym położeniu  $R_i \uparrow$  lub  $R_i \downarrow$**  - zakres rozszerzonej niepewności odchyłek pozycjonowania jednokierunkowego w położeniu  $P_i$ , z użyciem współczynnika pokrycia 2.

$$R_i \uparrow = 4s_i \uparrow$$

i

$$R_i \downarrow = 4s_i \downarrow$$

**Dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania w danym położeniu  $R_i$** 

$$R_i = \max[R_i \uparrow + R_i \downarrow + |B_i| - 2s_i \uparrow - 2s_i \downarrow]$$

**Jednokierunkowa powtarzalność pozycjonowania  $R \uparrow$  lub  $R \downarrow$  i dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania  $R$  osi** – największa wartość powtarzalności pozycjonowania w dowolnym położeniu  $P_i$ , wzdłuż lub dookoła osi.

$$R \uparrow = \max[R_i \uparrow]$$

$$R \downarrow = \max[R_i \downarrow]$$

$$R = \max[R_i]$$

**Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania osi  $A$**  – kombinacja dwukierunkowych systematycznych odchyłek i estymatora standardowej niepewności pozycjonowania dwukierunkowego z wykorzystaniem współczynnika pokrycia 2.

$$A = \max[\bar{x}_i \uparrow + 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow + 2s_i \downarrow] - \min[\bar{x}_i \uparrow - 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow - 2s_i \downarrow]$$

**Tolerancje pozycjonowania osi obrotowych**

W tabeli poniżej, zgodnie z normą PN-ISO 10791-4:2001 pokazano zalecane tolerancje pozycjonowania osi obrotowych centrów obróbczych.

| Tolerancje<br>sekundy kątowe                          |                               |    |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----|
| Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania               | A                             | 28 |
| Jednokierunkowa dokładność pozycjonowania             | $A \uparrow$ i $A \downarrow$ | 22 |
| Dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania            | R                             | 16 |
| Jednokierunkowa powtarzalność pozycjonowania          | $R \uparrow$ i $R \downarrow$ | 8  |
| Osiowa wartość zwrotna                                | B                             | 12 |
| Średnia osiowa wartość zwrotna                        | $\bar{B}$                     | 8  |
| Dwukierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania   | E                             | 20 |
| Jednokierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania | $E \uparrow$ i $E \downarrow$ | 14 |
| Średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania         | M                             | 12 |

**2.3. Warunki przeprowadzania badań**

Wszystkie pomiary wykonuje się przy zapewnieniu przyrządom pomiarowym i przedmiotowi mierzonemu temperatury otoczenia wynoszącej 20°C. Jeśli pomiary dokonano w temperaturze innej niż 20°C, wtedy korekta nominalnej różnicy rozszerzalności (NDE) między systemem pozycjonowania osi i wyposażeniem badawczym powinna być doprowadzona do poprawnych wyników odpowiadających otrzymanym w temperaturze 20°C. Spełnienie tego warunku wymaga pomiaru temperatury zarówno wybranego zespołu, jak i wyposażenia badawczego.

Należy zauważyć, że jakiegokolwiek odchylenie od temperatury 20°C może powodować dodatkową niepewność odnoszącą się do niepewności współczynnika (współczynników) skutecznej rozszerzalności zastosowanego do kompensacji. Typową wartością uzyskanej

niepewności jest  $\pm 2 \mu\text{m} / (\text{m}^\circ\text{C})$ . Temperatura rzeczywista powinna być zapisana w raporcie z badań.

Maszyna i przyrządy pomiarowe powinny pozostawać w otoczeniu badań przez wystarczająco długi czas, aby osiągnęły stan stabilności cieplnej przed badaniami.

Wszystkie badania powinny być wykonywane na maszynie nieobciążonej, tzn. bez przedmiotu obrabianego.

Położenie zespołów przesuwnych wzdłuż osi, które nie są przedmiotem badania, powinny być zamieszczone w arkuszu badania.

## 2.4. Program badania

Maszyna powinna być zaprogramowana dla ruchu zespołów wzdłuż lub dookoła osi podczas badań i pozycjonowania ich w serii położenia zadanych, w których pozostaną w spoczynku dopóty, dopóki osiągnięte położenia rzeczywiste nie zostaną zmierzone i zarejestrowane.

Maszyna powinna być zaprogramowana dla ruchu między położeniami zadanymi z uzgodnioną prędkością przesuwu.

Jeżeli wartość każdego położenia może być wybrana dowolnie, to przyjmuje się ją następująco:

$$P_i = (i-1)p + r$$

gdzie:

$i$  – numer bieżącego położenia zadanego;

$p$  – bazowy odstęp równomiernego rozstawienia punktów zadanych na całym przesuwie pomiarowym;

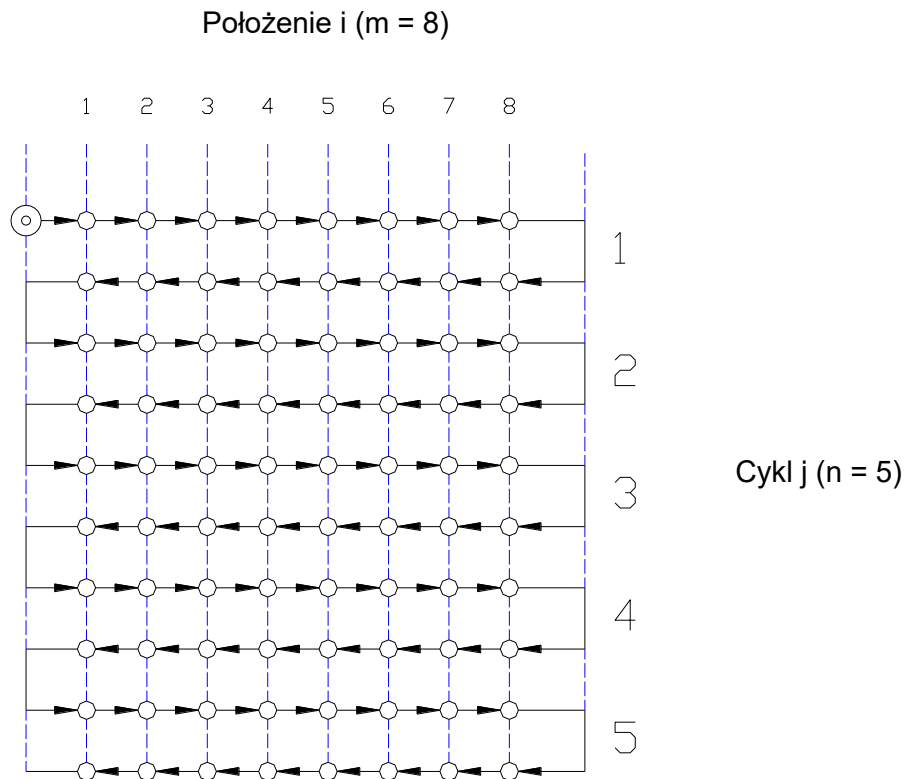
$r$  – przyjmuje różne wartości dla każdego położenia zadanego, tworząc nierównomierne rozstawienie położenia zadanych na całym przesuwie zapewniając, że błędy okresowe (takie jak błędy pochodzące od skoku śruby tocznej, podziałki skali liniowej lub obrotowej) są odpowiednio uwzględnione.

Pomiary powinny zapewniać możliwość mierzenia względnego przesunięcia między częścią, w której jest zamocowane narzędzie i częścią, w której zamocowany jest przedmiot obrabiany w kierunku ruchu osiowego podczas badania.

Na osiach przesuwu do 2000 mm powinno być wybranych co najmniej pięć zadanych położenia na metr.

Pomiary powinny być wykonywane we wszystkich zadanych położeniach zgodnie ze standardowym cyklem badania (rys. 1). Każde zadane położenie powinno być osiągnięte pięciokrotnie w każdym kierunku.

Położenie zmiany kierunku powinno być wybrane tak, aby pozwoliło na prawidłowe działanie maszyny (osiąganie określonego zakresu prędkości posuwu).



Rys. 1. Standardowy cykl badania

W przypadku osi obrotowych do  $360^\circ$  badania powinny być wykonane w zadanych położeniach podanych w tabeli 1. Podstawowe pozycje  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  oraz  $270^\circ$  powinny być uwzględnione oraz pomiędzy należy wybrać dodatkowe położenia.

**Tabela 1.** Wybór liczby punktów pomiarowych

| Przesuw pomiarowy               | Najmniejsza liczba położzeń zadanych |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| $\leq 90^\circ$                 | 3                                    |
| $> 90^\circ$ i $\leq 180^\circ$ | 5                                    |
| $> 180^\circ$                   | 8                                    |

## 2.5. Ocena i przedstawienie wyników

Wyniki pomiarów przedstawi się na arkuszu który powinien zawierać:

- datę badania,
- nazwę obiektu badanego, określenie osi i miejsce przeprowadzania badań,
- rodzaj i położenie przyrządu pomiarowego,
- rodzaj zastosowanego w maszynie napędu i układu pomiarowego,
- prędkość przesuwu,
- liczba przebiegów pomiarowych (n, m),
- tabelę ze zmierzonymi wartościami położzeń,

- tabelę oceny parametrów,
- parametry liczbowe,
- wykres dokładności

Zmierzone wartości przedstawia się w tabeli 2. Dla każdego położenia zadanego  $P_i$  i dla  $n$  ( $n=5$ ) najazdów z każdego kierunku ocenia się parametry zdefiniowane w rozdziale 2.2. i przedstawia w tabeli 3. Natomiast poniższe parametry powinny być określone liczbowo:

- dwukierunkowa dokładność pozycjonowania osi A,
- jednokierunkowe powtarzalności pozycjonowania osi  $R\uparrow$  i  $R\downarrow$ ,
- dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania osi R,
- wartość zwrotna osi B,
- średnia wartość zwrotna osi  $\overline{B}$

Ponadto należy sporządzić wykres dokładności pracy osi, którego przykład pokazano na rys. 2

**Tabela 2.** Zmierzone wartości położeń

| $P_i$ | $P_{i1}\uparrow$ | $P_{i1}\downarrow$ | $P_{i2}\uparrow$ | $P_{i2}\downarrow$ | $P_{i3}\uparrow$ | $P_{i3}\downarrow$ | $P_{i4}\uparrow$ | $P_{i4}\downarrow$ | $P_{i5}\uparrow$ | $P_{i5}\downarrow$ |
|-------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| ...   |                  |                    |                  |                    |                  |                    |                  |                    |                  |                    |
| ...   |                  |                    |                  |                    |                  |                    |                  |                    |                  |                    |

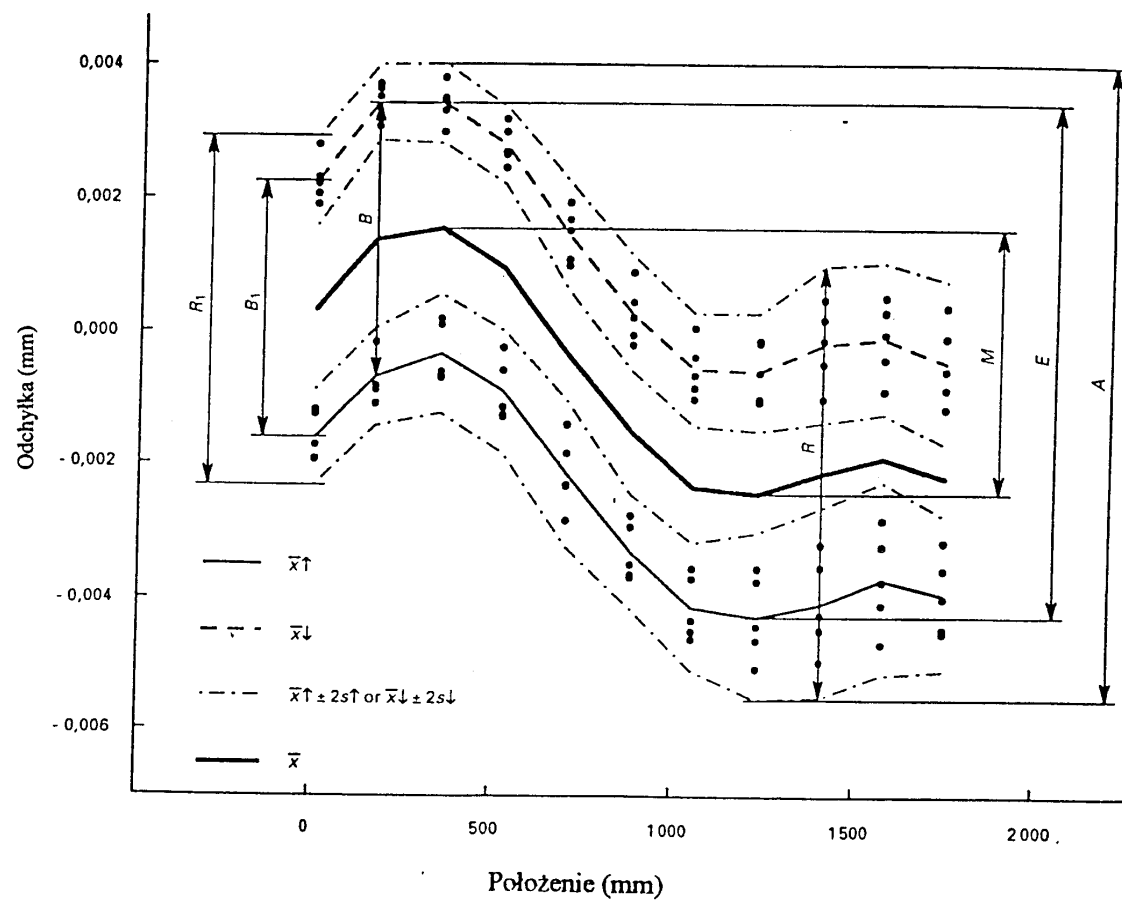
### 3. Stanowisko badawcze

Schemat stanowiska przedstawia rys. 3. W skład stanowiska wchodzi:

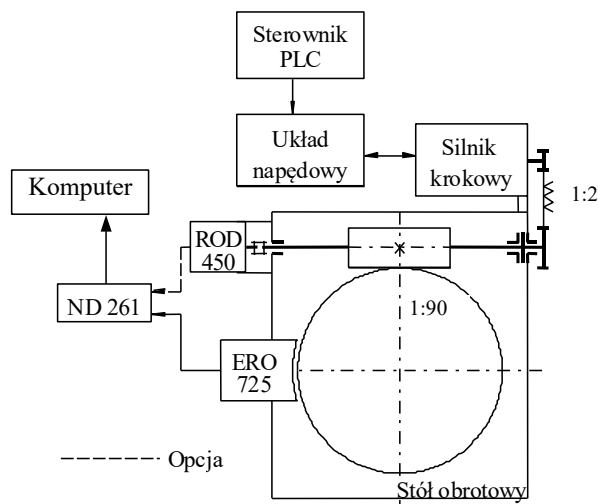
- stół obrotowy FNd 320 z silnikiem krokowym o 1000 kroków na obrót,
- układ sterujący silnikiem krokowym ze sterownikiem PLC OCS 200,
- przetwornik pomiaru kąta obrotu (przetwornik obrotowo-impulsowy) bezpośredni ERO 725 lub pośredni ROD 450,
- czytnik położenia ND 261,
- komputer do zbierania danych.

Tabela 3. Ocena parametrów

| $P_i$ | $x_{i1} \uparrow$ | $x_{i1} \downarrow$ | ... | $\bar{x}_i \uparrow$ | $\bar{x}_i \downarrow$ | $B_i$ | $s_i \uparrow$ | $s_i \downarrow$ | $R_i \uparrow$ | $R_i \downarrow$ | $R_i$ | $\bar{x}_i \uparrow + 2s_i \uparrow$ | $\bar{x}_i \downarrow + 2s_i \downarrow$ | $\bar{x}_i \uparrow - 2s_i \uparrow$ | $\bar{x}_i \downarrow - 2s_i \downarrow$ |
|-------|-------------------|---------------------|-----|----------------------|------------------------|-------|----------------|------------------|----------------|------------------|-------|--------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| ...   |                   |                     |     |                      |                        |       |                |                  |                |                  |       |                                      |                                          |                                      |                                          |
| ...   |                   |                     |     |                      |                        |       |                |                  |                |                  |       |                                      |                                          |                                      |                                          |



Rys. 2. Wykres dokładności pracy osi



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego

#### 4. Przebieg ćwiczenia

- zamontować przetwornik pomiarowy na specjalnym trzpieniu osadzonym w gnieździe stożkowym stołu,
- wyregulować położenie tarczy pomiarowej przetwornika przy pomocy czujnika mikronowego tak aby bicie osiowe na krawędzi tarczy było nie większe niż  $\pm 0.01$  mm oraz bicie promieniowe nie większe niż  $\pm 0.001$  mm,
- zamontować głowicę czytającą na specjalnej podstawie tak aby odległość głowicy czytającej od tarczy wynosiła 0.12 mm (należy skorzystać ze specjalnego szczelinomierza),
- połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem rys. 3,
- ustalić liczbę i wartości punktów pomiarowych do osi obrotowej  $360^\circ$ ,
- dokonać pomiarów zgodnie z cyklem standardowym (rys.1) zapisując wskazane położenia w tabeli 2,

#### 5. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia nr grupy i podgrupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- arkusz pomiarowy tabela 2,
- obliczenia oceny parametrów dokładności zgodnie z tabelą 3,
- wykres dokładności pozycjonowania osi,
- wyznaczone parametry dokładności  $A$ ,  $B$ ,  $R$ ,  $R\uparrow$ ,  $R\downarrow$ ,  $\overline{B}$ ,
- wnioski.

#### 6. Wymagania

Przed przystąpieniem do ćwiczeń należy zapoznać się z przedmiotem normy ISO-230 (punkt 2)

#### 7. Literatura

1. Norma PN ISO-230