

Dr hab. inż. Edward MIKO, prof. PŚk;  
mgr inż. Piotr KUPIŃSKI (Politechnika Świętokrzyska):

## **BADANIE DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA CENTRUM FREZARSKIEGO DMG DMU 50**

### Streszczenie

Tematem artykułu jest określanie dokładności pozycjonowania obrabiarki DMG DMU 50. Badania przeprowadzono za pomocą interferometru laserowego XL-80 firmy Renishaw dla przemieszczeń liniowych trzech osi maszyny. Uzyskane wyniki przeanalizowano i porównano z obowiązującymi normami. Ostatecznie stwierdzono zgodność z wartościami normowymi. Podano występujące rodzaje błędów i zaproponowano sposób poprawy dokładności maszyny.

**Słowa kluczowe:** badanie dokładności pozycjonowania, diagnostyka obrabiarek, centrum frezarskie, interferometr laserowy, kompensacja błędów

## **RESEARCH OF POSITIONING ACCURACY OF THE DMG DMU50 MILLING CENTER**

### Abstract

The performed project relates to the positioning machine tool DMG DMU50. The research were made for the three linear axes, which were tested by means of laser interferometer XL-80 Renishaw. The obtained results were analyzed and compared with the current norms. Finally, compatibility of particular machine axis with normalized values was specified. The types of errors causes were shown. A method for improving accuracy was proposed.

**Keywords:** research of positioning accuracy, diagnostics of machine, milling center, laser interferometer, errors compensation

# **BADANIE DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA CENTRUM FREZARSKIEGO DMG DMU 50**

Edward MIKO<sup>1</sup>, Piotr KUPIŃSKI<sup>1</sup>

## **1. WPROWADZENIE**

Problematyka dokładności obrabiarek jest niezwykle ważna z punktu widzenia wykonywania wysokiej jakości elementów maszyn. Istnieje wiele przyczyn powstawania błędów wymiarów, kształtu czy też struktury geometrycznej powierzchni wykonywanych przedmiotów. Na wartość błędów mają wpływ wszystkie składniki układu OUPN ale podstawowym źródłem stają się sama obrabiarka. Między innymi bezpośrednią przyczyną błędów obrabiarek są niedokładności wykonania oraz montażu jej podzespołów, zmiany warunków pracy elementów maszyny, czy też niedokładności wynikające z układu sterowania [2].

Osiągnięcie wysokiej dokładności i powtarzalności pozycjonowania układu narzędzie-przedmiot obrabiany jest podstawowym celem, do którego dążą konstruktorzy maszyn sterowanych numerycznie [2]. Zwiększenie dokładności obrabiarek związane jest z wprowadzaniem zaawansowanych rozwiązań konstrukcyjnych oraz oprogramowania sterującego ale również korekcji i kompensacji błędów. Ważnym aspektem stają się więc metody ich pomiarów [5].

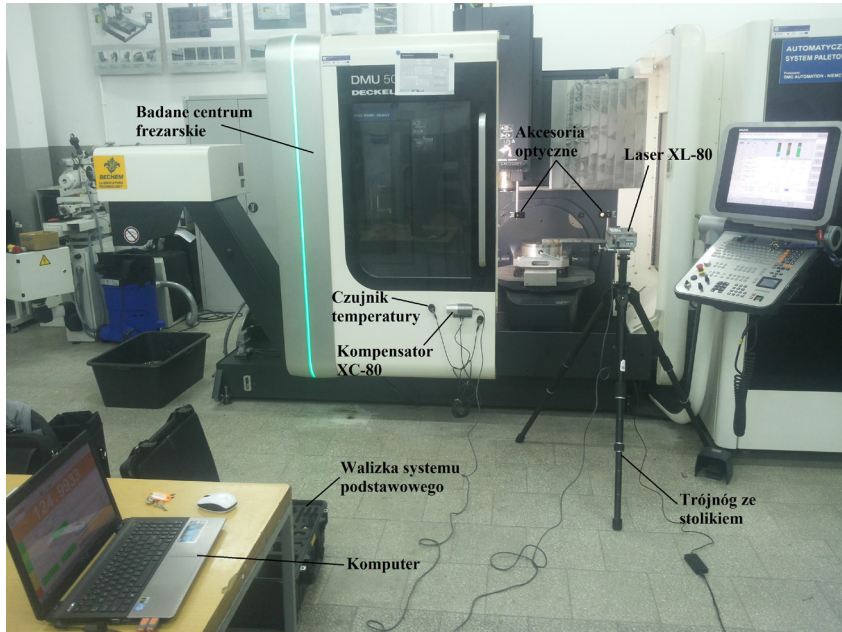
Kalibrację błędów przeprowadza się wprowadzając do układu sterowania maszyny odpowiednią tablicę wartości, dzięki której algorytm zaprogramowany w układzie sterowania oblicza poprawkę przesunięć po czym po dodaniu jej do wartości nominalnej otrzymana zostaje wartość skorygowana położenia zadanego. Wartości takie można uzyskać przeprowadzając badania dokładności pozycjonowania interferometrem laserowym dzięki jego wysokiej dokładności pomiarowej wynoszącej dla pomiarów liniowych  $\pm 0,5 \mu\text{m/m}$  [1, 3].

---

<sup>1</sup> Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

## 2. STANOWISKO I METODYKA BADAŃ

Po połączeniu ze sobą wszystkich niezbędnych elementów stanowisko badawcze prezentuje się w sposób przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko do pomiarów dokładności pozycjonowania interferometrem laserowym

W jego skład wchodzi:

1. Centrum frezarskie DMG DMU 50 będące przedmiotem badań stanowiące wyposażenie laboratorium Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Podstawowe dane techniczne badanej maszyny [6]:

- Przesuw:
  - Wzdłużny stołu: 500 mm
  - Poprzeczny sań: 450 mm
  - Pionowy wrzeciona: 400 mm
- Rozmiary stołu obrotowego:  $\phi 630$  mm x 500 mm
- Maksymalne obciążenie stołu obrotowego: 200 kg
- Maksymalne obroty wrzeciona: 10000 obr/min
- Końcówka wrzeciona: SK 40
- Moc napędu głównego: 9 kW
- Ilość narzędzi w karuzelowym magazynie: 16
- Rodzaj sterowania: Heidenhain iTNC 530

## 2. Interferometr laserowy XL-80 składający się z [1]:

- Lasera XL – generującego wiązkę laserową
- Kompensatora XC-80 – służącego do pomiaru ciśnienia, wilgotności względnej powietrza oraz temperatury co z kolei wykorzystane zostaje do korekcji długości fali promieniowania laserowego
- Czujników temperatury powietrza i materiału
- Zestawu akcesoriów optycznych – dzięki ich kombinacji można wykonywać pomiary kątowe, liniowe a także prostoliniowości, prostopadłości i płaskości powierzchni
- Elementów dodatkowych jak m.in. trójnog i stolik

## 3. Komputer PC bezpośrednio zbierający wyniki pozycjonowania dzięki wykorzystanemu programowi LaserXL

Przed przystąpieniem do badań przyjęto niezbędne wartości do prawidłowego przebiegu testu diagnostycznego. Wprowadzono je do oprogramowania LaserXL oraz do programu sterującego pracą obrabiarki.

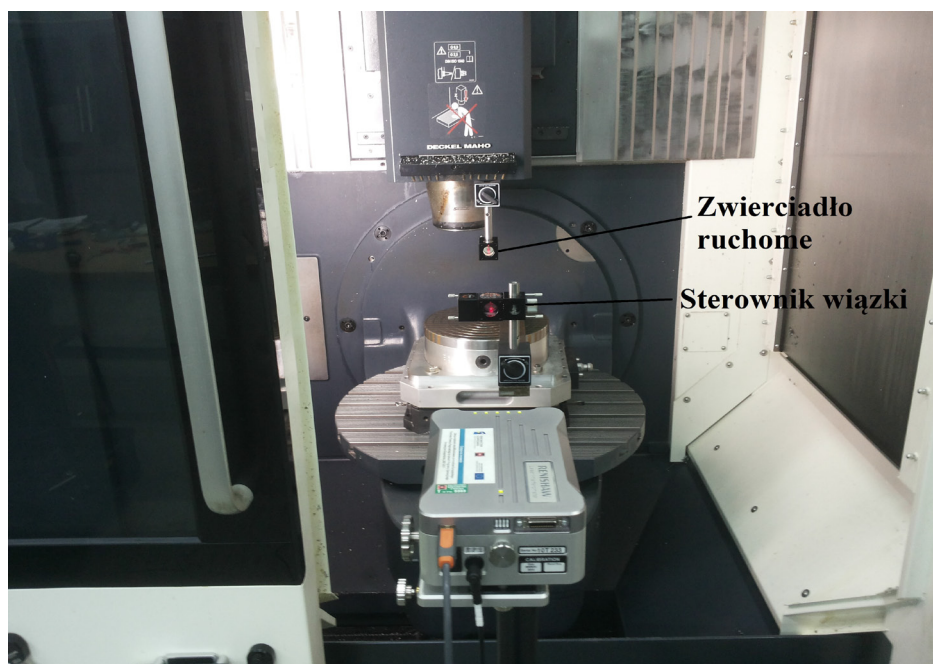
Dla wszystkich badanych osi zostało przyjęte:

- odstęp pomiędzy mierzonymi punktami: 10 mm,
- wartość nabiegu oraz wybiegu poprzedzająca osiągnięcie pierwszego punktu podlegającego pomiarowi: 3 mm,
- ilość najazdów w obydwu kierunkach  $n = 5$
- przerwa czasowa przy każdym zadanym położeniu: 4 sekundy,
- prędkość ruchu posuwowego:  $f = 1500$  mm/min,

W celu przeprowadzenia badań dokładności pozycjonowania maszyny zostało wykonanych szereg czynności składających się z takich samych kroków dla każdej osi. Przed przystąpieniem do badań uruchomiono obrabiarkę w celu jej nagrzania. Następnie zablokowano drzwi odpowiednim kluczem. Po przeprowadzeniu analizy wyposażenia systemu podstawowego interferometru laserowego dokonano wyboru układu optycznego służącego do badania danej osi maszyny. Elementy optyczne w odpowiedniej kombinacji zamocowano na stole obrabiarki oraz we wrzecionie. Laser XL-80 osadzono na stoliku oraz na trójnogu po czym go uruchomiono w celu nagrzania do temperatury poprawnej pracy. Kompensator XC-80 połączono z czujnikami temperatury. Czujniki z kolei zamontowano na obrabiarce. Laser ustawiono względem elementów optycznych interferometru po czym przeprowadzono kalibrację układu. Podstawową czynnością było sprawdzenie czy wiązka laserowa powraca mieszcząc się w zakresie błędu (analizując kontrolki na laserze) przesuwać wrzeciennik w maksymalnym możliwym zakresie przesuwu. W przypadku zgaśnięcia wszystkich kontrolek na laserze podczas przesuwu wrzeciennika czynności kalibracyjne powtarzano aż do osiągnięcia zamierzonego celu. W kolejnym kroku uruchomiono komputer PC oraz połączono go z laserem i kompensatorem. Do zainstalowanego programu LaserXL wprowadzono dobrane parametry pomiaru. Następnie do przygotowanego programu sterującego maszyną wprowadzono odpowiednio przyjęte

wartości prędkości ruchu posuwowego, nabiegu i wybiegu, skoku pomiarowego, przerwy czasowej i ilości najazdów w obydwu kierunkach. Po kontroli przygotowanego stanowiska przystąpiono do pomiarów. Pierwsza zbadana została oś X, następnie Y i na końcu Z. Otrzymane wyniki zapisywano na bieżąco w pamięci komputera. Po przeprowadzeniu badań cały układ pomiarowy zdemontowano. Końcowym etapem stała się analiza otrzymanych wyników zgodnie z zastrzeżeniami zawartymi w normach.

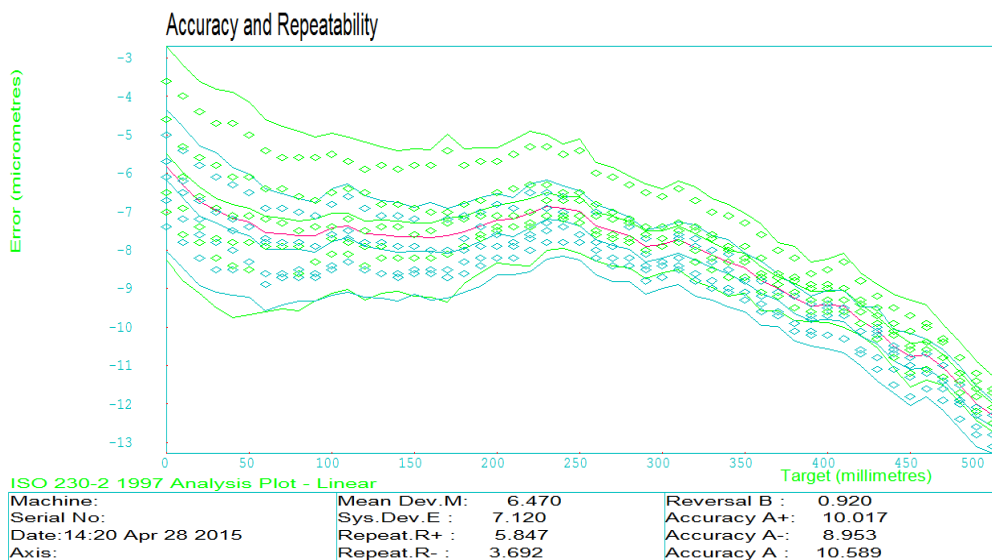
Na rys. 2 dla lepszej wizualizacji została przedstawiona kombinacja akcesoriów optycznych dostosowana do badania osi Y. Sterownik wiązki został zamontowany na stole obrabiarki, natomiast zwierciadło ruchome do wrzecziona maszyny (tak samo w przypadku osi X i Z). Elementy te muszą być odpowiednio względem siebie i lasera ustawione w celu prawidłowego odbijania się wiązki.



Rys. 2. Ustawienie akcesoriów optycznych do badania osi Y maszyny

### 3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Rys. 3 przedstawia wykres dokładności i powtarzalności pozycjonowania otrzymany z wyników badań pozycjonowania osi X, wygenerowany przy użyciu programu LaserXL firmy Renishaw.



Rys. 3. Wykres dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi X

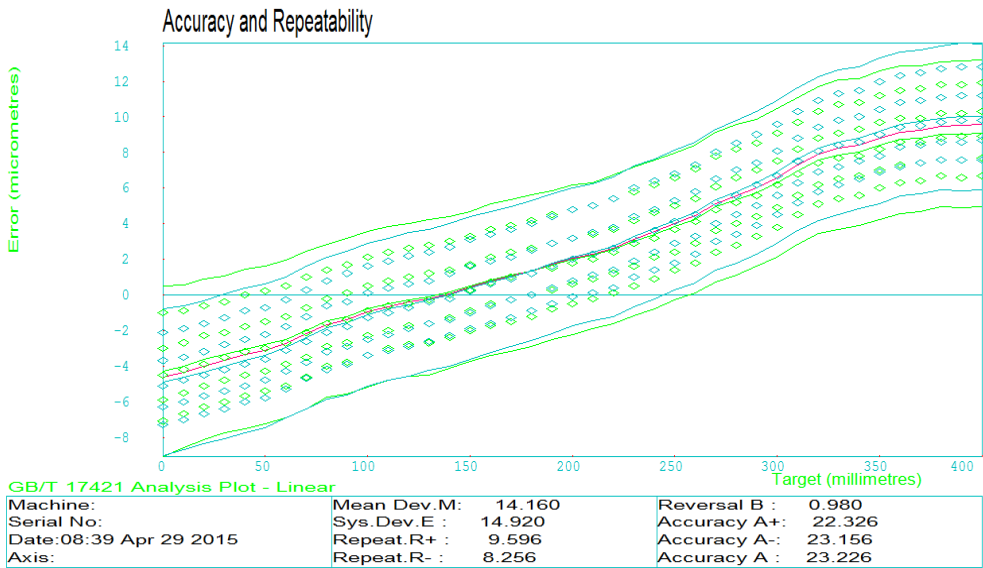
W przypadku każdego przejazdu w obydwu kierunkach w osi X błędy pozycjonowania mają wartości poniżej zera (rys. 3). Niemal w całym zakresie pomiarowym (tutaj 500 mm) im większa jest odległość wrzeczona od punktu zerowego osi X tym odchyłka (błąd) pozycjonowania rośnie. Wyjątek stanowią punkty znajdujące się w okolicy połowy zakresu pomiarowego, gdzie błędy zmniejszają się wartość. Jest to korzystne ze względu na dokładność obróbki, gdyż najczęściej odbywa się ona w okolicy połowy maksymalnego przesuwu danej osi.

W tabeli pod wykresami zostały zestawione poszczególne parametry obliczone przez oprogramowanie podczas wykonywania pomiarów:

- Dwukierunkowa dokładności pozycjonowania A = 10,589  $\mu\text{m}$
- Średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M = 6,47  $\mu\text{m}$
- Jednokierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E = 7,12  $\mu\text{m}$
- Dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania R = 5,847  $\mu\text{m}$
- Osiowa wartość zwrotna B = 0,92  $\mu\text{m}$

Analizując wytyczne podane w normie PN-ISO 10791-4 stwierdzono, że wszystkie parametry mieszczą się w przedstawionych w niej wartościach tolerowanych. Niemal wszystkie wymienione parametry znalazły się na poziomie około połowy wartości tolerowanych zawartych w normie. Wyjątek stanowi osiowa wartość zwrotna B, która ma bardzo małą wartość (norma dopuszcza odchyłkę do 10  $\mu\text{m}$ ). Wynika stąd, że zbadana oś odznacza się bardzo wysoką dokładnością pozycjonowania przez co nie występują przeciwwskazania obróbkowe dokładnych przedmiotów.

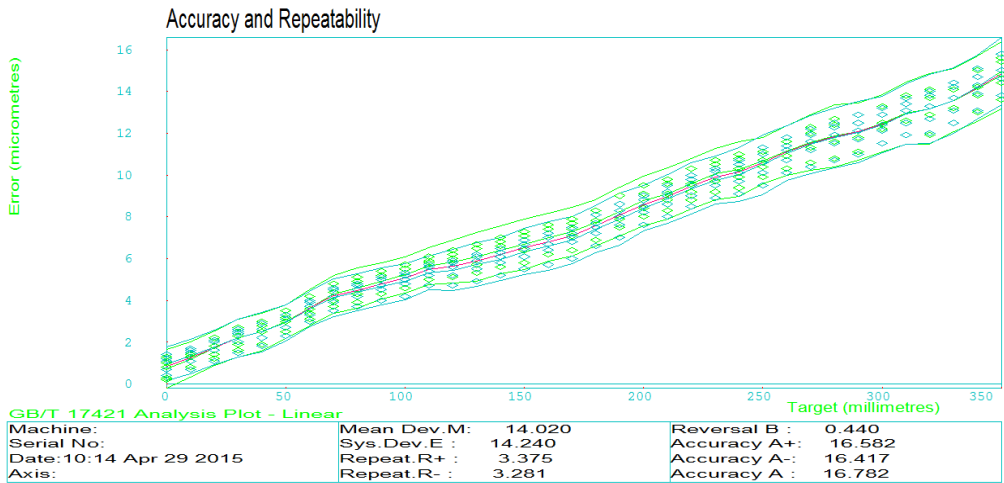
W przypadku osi Y wykres dokładności i powtarzalności pozycjonowania (rys.4) wykazuje tendencje rosnące w miarę wzrostu przemieszczenia. Odchyłki pozycjonowania wahają się od wartości ujemnych do dodatnich analizując wyniki dla maksymalnego przemieszczenia wynoszącego tutaj 400 mm. Stwierdzić należy więc, że w przypadku badania osi Y w każdym z przejazdów wystąpiły punkty, w których błędy pozycjonowania miały wartość zero.



Rys. 4. Wykres dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi Y

Wyniki uzyskane z próby pozycjonowania osi Y pokazują mniejszą dokładność w porównaniu z osią poprzednią. Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania A oraz średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M wyszły poza granice tolerancji zawartych w cytowanej normie. Pozycjonowanie w osi Y nie spełnia więc wymaganych dokładności. W celu eliminacji powstałych błędów należy dokonać ich kompensacji wprowadzając odpowiednie poprawki do oprogramowania maszyny. Po dokonaniu poprawek należy na nowo przeprowadzić próbę pozycjonowania w celu określenia słuszności dokonanej kalibracji błędów.

Na rys. 5 zobrazowano wykresy dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi Z badanej obrabiarki. Podobnie jak w przypadku osi Y wykazują one tendencję rosnącą wraz ze wzrostem przemieszczenia. Odchyłki pozycjonowania niemal w całym zakresie pomiarowym (tutaj 350 mm) przyjmują wartości powyżej zera. Ujemne występują w początkowych fazach przemieszczenia wynoszącego kilka milimetrów.



Rys. 5. Wykres dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi Z

Wyniki znajdujące się pod wykresami pokazują, że jedynym z analizowanych parametrów wykraczającym poza wartość normowaną jest średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M. Przekracza ona dopuszczalną przez normę wartość o około 4  $\mu\text{m}$ . W celu poprawy wyników, podobnie jak w przypadku poprzedniej osi, należy dokonać kompensacji błędów.

Zestawienie wyników dla wszystkich badanych osi oraz porównanie ich z tolerancjami z normy PN-ISO 10791-4 [3] przedstawia tabela 1. Kolorem zielonym oznaczono wartości mieszczące się w tolerancji natomiast czerwonym wykraczające.

Tab. 1. Wyniki badania pozycjonowania osi X, Y i Z zgodnie z normą PN-ISO 10791-4

Wyniki [ $\mu\text{m}$ ]	Osie i dopuszczalna tolerancja			
	Toler.	Oś X	Oś Y	Oś Z
Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania A	22	10,589	23,226	16,782
Dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania R	12	5,847	9,596	3,42
Osiowa wartość zwrotna B	10	0,92	0,98	0,44
Dwukierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E	15	7,12	14,92	14,24
Średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M	10	6,47	14,16	14,02



#### 4. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Wykonane badania dokładności pozycjonowania centrum frezarskiego zostały przeprowadzone zgodnie z normowanymi wytycznymi. Przedstawienie i szczegółowa analiza otrzymanych wyników dla każdej z osi maszyny oraz zestawienie ich w tab.1 pozwoliły na opracowanie wniosków:

1. Najlepszą dokładnością charakteryzuje się oś X badanej obrabiarki, gdyż wszystkie analizowane parametry zmieściły się w wartościach tolerowanych podanych w normie.
2. Najmniejsze dokładności pozycjonowania wystąpiły w osi Y maszyny. Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania przekroczyła dopuszczalną odchyłkę o ponad 1  $\mu\text{m}$ .
3. Bardzo dobra dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania wystąpiła w osi Z maszyny. Wyniosła ona 3,42  $\mu\text{m}$  (norma dopuszcza do 12  $\mu\text{m}$ ).
4. Osiowa wartość zwrotna we wszystkich trzech osiach wyniosła poniżej 1  $\mu\text{m}$  (norma dopuszcza do 10  $\mu\text{m}$ ). Oznacza to, że obrabiarka posiada również małe błędy nawrotu co sprzyja wysokiej dokładności obróbkowej.
5. Średnia dwukierunkowa dokładność pozycjonowania w osi Y i Z przekroczyła odchyłki dopuszczane w normie. Jest to z pewnością przyczyną powstawania błędów obróbkowych.
6. Pojawienie się wartości parametrów wykraczających poza tolerancje stanowią podstawę dla użytkownika do przeprowadzenia kompensacji błędów w sterowaniu maszyny.

#### LITERATURA

- [1] *Laser measurement and ballbar diagnosis for motion systems*, Renishaw 2009.
- [2] MAJDA P.: *Modelowanie i eksperymentalna ocena dokładności przestrzennego pozycjonowania zespołów posuwowych obrabiarek sterowanych numerycznie*, Monografia, Szczecin 2012.
- [3] MAJDA P.: *Pomiary i kompensacja błędów geometrycznych obrabiarek CNC*, Inżynieria Maszyn, R.16, z. 1-2, s. 126-134, Wrocław 2011.
- [4] Polska Norma PN-ISO 10791-4: *Dokładność i powtarzalność pozycjonowania w osiach liniowych i obrotowych*. Listopad 2001.
- [5] TUREK P., KWAŚNY W., JĘDRZEJEWSKI J.: *Zastosowane metody identyfikacji błędów obrabiarek*, Inżynieria Maszyn, R.15, z. 1-2, s.7-11, 2010.
- [6] [www.tu.kielce.pl/laboratoria/pl/laboratoria\\_politechniki/pokaz/16/baza\\_badawcza](http://www.tu.kielce.pl/laboratoria/pl/laboratoria_politechniki/pokaz/16/baza_badawcza)