

Dr inż. Krzysztof Chrapek, dr inż. Piotr Górski,
dr inż. Stanisław Iżykowski, mgr inż. Paweł Maślak
Politechnika Wrocławska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji

Zastosowanie przyrządu pomiarowego typu ball-bar do badania właściwości mechanizmu o kinematyce równoległej

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów dokładności odwzorowania trajektorii kołowej przez platformę mechanizmu o kinematyce równoległej. Interpretacja wyników pozwala na ocenę właściwości mechanizmu oraz wskazuje kierunek dalszych prac nad kalibracją oraz diagnostyką hexapodów.

Use of the ball-bar measuring system to investigate the properties of parallel kinematics mechanism

The article presents the measurement results of the parallel mechanism platform position accuracy during movement along circular trajectory. Interpretation of results allows the assessment of the mechanism properties and also indicates directions for further work on calibration and diagnostic of the hexapod-type machines.

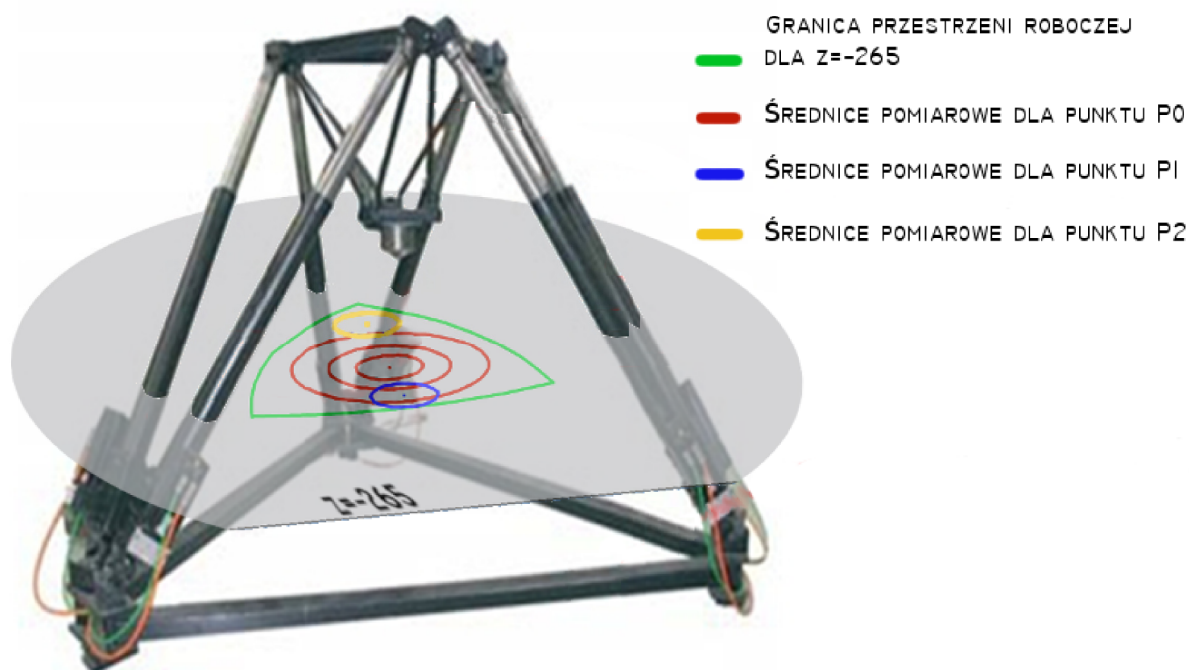
1. WSTĘP

Badany mechanizm o kinematyce równoległej (hexapod Felix II) posiada 6 stopni swobody. Ruch platformy jest uzyskiwany poprzez zmianę długości ramion połączonych przegubowo z podstawą i z platformą (rys.1). Do ich napędu zastosowano sześć jednostek serwonapędowych z tocznymi śrubami pociągowymi. Takie i podobne mechanizmy równoległe są używane w konstrukcji robotów, obrabiarek i innych maszyn technologicznych [1,4].

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej prowadzone są aktualnie prace, których celem jest przystosowanie badanego mechanizmu do realizacji określonych zadań obróbkowych na drodze frezowania. W tym celu wyposażono go m.in. we wrzeciono szybkoobrotowe.

Frezarka jako urządzenie technologiczne musi charakteryzować się dokładnym odwzorowaniem zadanej trajektorii ruchu ponieważ ma to bezpośrednie przełożenie na cechy geometryczne obrabianej powierzchni. Konieczne więc stało się sprawdzenie posiadanej maszyny pod kątem dokładności odtworzenia zadanej trajektorii. Do realizacji tego celu wybrano przyrząd pomiarowy

(urządzenie diagnostyczne) QC-10 Ball-bar służący do pomiaru dokładności odwzorowania trajektorii kołowej. Jest to urządzenie wykorzystywane do badania frezarek o standardowej kinematyce, które oprócz możliwości pomiarowych ma również moduł diagnostyczny wskazujący potencjalne przyczyny powstania zarejestrowanych błędów odwzorowania trajektorii [5].



Rys. 1. Hexapod Felix II z zaznaczonym rozmieszczenie okręgów, dla których zmierzono dokładność odwzorowania trajektorii

2. POMIARY

Przestrzeń robocza mechanizmów o kinematyce równoległej ma nieregularny kształt wyznaczany przez minimalną i maksymalną długością każdego ramienia. Oprócz nierównomiernego kształtu cechuje się również niejednorodnym rozkładem właściwości.

Wybrano trzy punkty jako środki mierzonych okręgów (rys. 1.), leżące na płaszczyźnie równoległej do podstawy i przecinającej przestrzeń roboczą w połowie jej wysokości. Taka lokalizacja pomiarów jest uzasadniona tym, że płaszczyzna ta przecina obszar przewidziany do wykonywania obróbki oraz największym zakresem zmian orientacji platformy w „otoczeniu” tej płaszczyzny.

W punkcie P0 wykonano pomiary za pomocą przyrządu Ball-bar o długości (promień okręgu pomiarowego) 150, 250, 400, 600 mm. W punktach P2 i P3 wykonano pomiary tylko dla długości promienia 150 mm co wynika z bezpośredniego sąsiedztwa granicy określającej gwarantowaną przestrzeń roboczą. Co oznacza, że okręgi o większym promieniu nie mieściłyby się w jej obrębie.

Pomiary wykonano przy prędkość ruchu platformy 3000 mm/min i próbkowaniu 250 cykli na

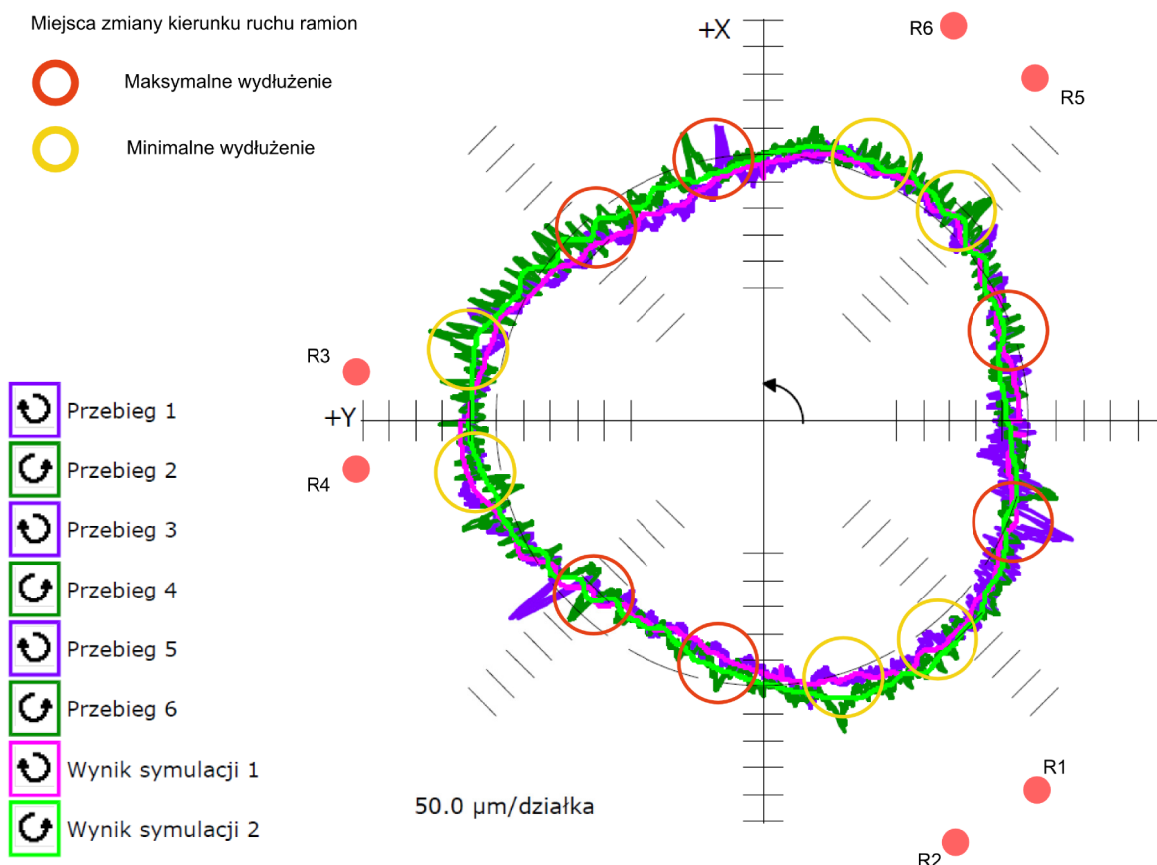
sekundę. Ruch odbywał się zgodnie i przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara. Dla każdego położenia środka okręgu i długości promienia wykonano kilka cykli pomiarowych. Uzyskane z tych pomiarów wartości średnie stanowiły podstawę do analizy i oceny.

3. WYNIKI POMIARÓW

Na wykresach zaobserwowano następujące niedoskonałości odwzorowania trajektorii kołowej:

- odchyłkę kołowości,
- wyraźne regularne odkształcenie okręgu,
- wzrost wartości odchyłki w miejscach zmiany kierunku ruchu ramion,
- znaczna amplituda i częstość zmian długości promienia.

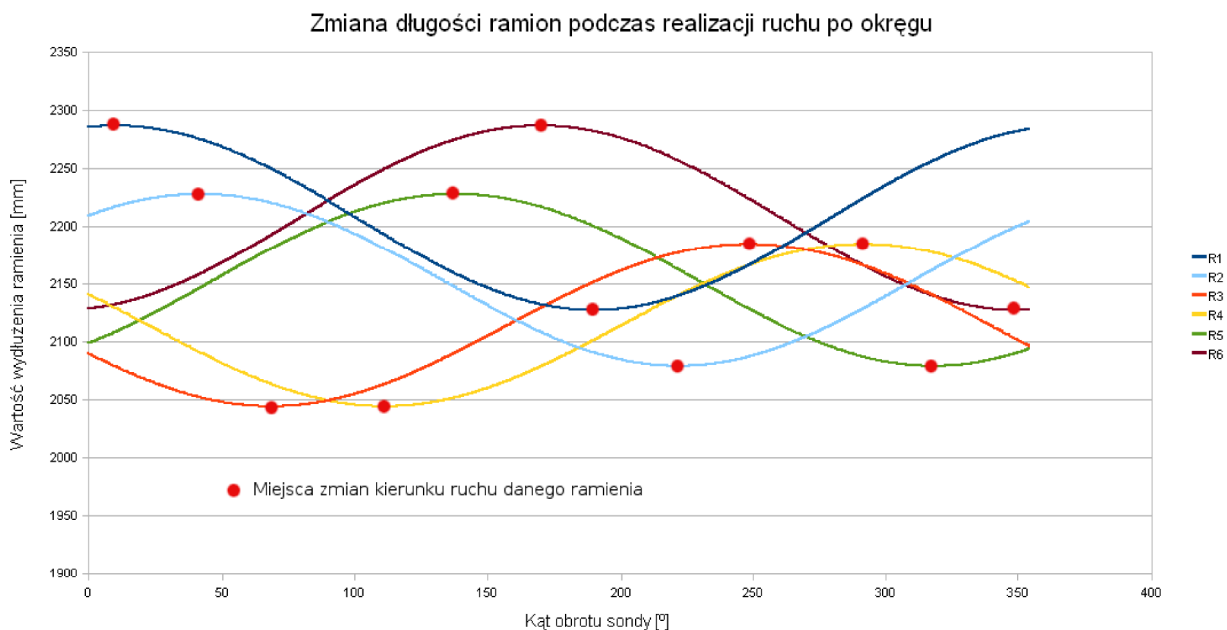
Zarejestrowane wartości błędów odwzorowania okręgu o promieniu 150 mm mieściły się w przedziale od $\pm 0,1$ mm (rys. 1) dla okręgów o środku w punkcie P0 do $\pm 0,5$ mm dla okręgów o środkach w punktach P1 i P2. Dla większych promieni okręgu testowego zaobserwowano błędy w przedziale od $\pm 0,2$ mm do $\pm 0,7$ mm. Wyniki takie uzyskano bez pełnej kalibracji mechanizmu tzn. wykonano pomiary geometrii mechanizmu oraz uwzględniono charakterystyki wysuwu ramion. Pomiary takie znacząco poprawiają funkcjonowanie mechanizmu są jednak obarczone błędami, które nie pozwalają na przekroczenie pewnego progu dokładności działania mechanizmu. Dalsza poprawa wymaga zastosowania dedykowanych procedur łączących pomiary i dokładną parametryzację modelu matematycznego mechanizmu.



Rys. 2. Wykres dokładności odwzorowania trajektorii kołowej dla punktu P1 i promienia 150 mm; (R1-R6 – symboliczne oznaczenie położenia ramion mechanizmu)

W teście kołowości oprócz wartości błędów istotny jest również kształt wykresu, który wskazuje nieprawidłowości w funkcjonowaniu mechanizmu. Kształt zbliżony do trójkąta (rys.2.) o zaokrąglonych wierzchołkach wskazuje na błąd prostoliniowości [5].

Na wykresie zmiany długości ramion mechanizmu podczas realizacji ruchu kołowego (rys. 3) zaznaczono miejsca zmiany kierunku ruchu każdego ramienia. Porównując ten wykres z wykresem pomiaru (rys. 2) można stwierdzić, że dla wartości kątów, w których następuje zmiana kierunku ruchu, pojawiają się nieznacznie silniejsze zakłócenia trajektorii. Jest to błąd nawrotu którego przyczyną są niewielkie luzy układu napędowego każdego z ramion.



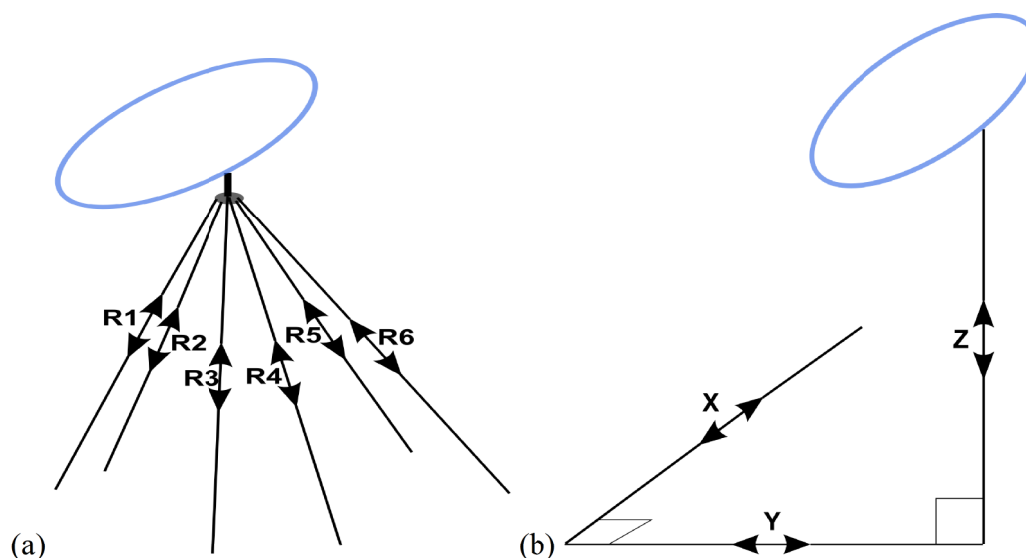
Rys. 3. Wydłużenie ramion mechanizmu podczas ruchu po okręgu

Na wykresie (rys. 3) jest widoczna również znaczna amplituda i częstość zmian długości promienia. Przyczyną mogą być drgania mechanizmu pochodzące ze źródeł zewnętrznych albo generowane przez jego układy napędowe. Wartość amplitudy tych drgań jest na tyle duża, że konieczne będą dalsze badania mające na celu wykryci przyczyny ich powstawania.

4. ANALIZA WYNIKÓW

Tak duże różnice w wartości błędów dla różnych okręgów pomiarowych wynikają z niejednorodnego rozkładu właściwości mechanizmu w obrębie przestrzeni roboczej. W każdym jej miejscu inaczej sumują się błędy wykonania i montażu mechanizmu na co nakładają się błędne wartości parametrów modelu matematycznego, który jest wykorzystywany przez układ sterowania. Zgodnie z oczekiwaniami najlepsze właściwości mechanizm wykazuje w centralnym regionie przestrzeni roboczej [4].

Wyniki pomiarów uznano za zadowalające a znacząca poprawa jest spodziewana po dokończeniu kalibracji. Procedura kalibracji, przynajmniej w pierwszej wersji będzie opierała się o wyniki pomiarów uzyskanych przyrządem Ball-bar. Za wykorzystaniem tego urządzenia do kalibracji przemawia duża dokładność pomiarów oraz łatwość i szybkość przeprowadzania testu. Wadą jest jednak pomiar błędów tylko promienia okręgu co znacznie utrudnia wyznaczanie dokładnych wartości parametrów układu kinematycznego mechanizmu [2].



Rys. 4. Różnice w sposobie realizacji trajektorii kołowej przez mechanizm równoległy (a) i o kinematyce szeregowej (b)

Odrębną kwestią jest opracowanie modułu diagnostycznego dla mechanizmów równoległych. Na korzystanie z modułu dla maszyn o kinematyce szeregowej nie pozwalają istotne różnice w konstrukcji i całkowicie odmienny sposób nadzorowania i realizacji ruchu roboczego (rys. 4). Każdy rodzaj trajektorii ruchu platformy mechanizmu równoległego wymaga zsynchronizowanej pracy wszystkich napędów co znacząco komplikuje sterowanie a relacje pomiędzy błędami wykonania maszyny, parametrami modelu matematycznego układu i błędami odwzorowania trajektorii kołowej są trudne do uchwycenia.

Diagnoza deformacji wykresu pokazanego na rysunku 2 w wersji dla obrabiarek konwencjonalnych brzmi: błędy prowadnic, wygięte lub zużyte [5]. Opisywany mechanizm równoległy prowadnic jednak nie posiada, a ewentualna prostoliniowość jest realizowana przez układ sterowania co znowu sugeruje błąd modelu matematycznego w algorytmie sterowania. Również na podstawie tego przykładu można stwierdzić, że mechanizmy równoległe będą wymagały opracowania nowego modułu pozwalającego na podstawie danych uzyskanych w teście kołowości wskazać usterki mechaniczne bądź błędy generowane przez układ sterowania. Moduł taki, ze względu na różnice pomiędzy modelami matematycznymi różnych klas mechanizmów równoległych, będzie dedykowany tylko do oceny jednej z nich. Jeśli jednak obrabiarki wykorzystujące mechanizmy równoległe będą szerzej stosowane w przemyśle opracowanie tego typu narzędzia wydaje się niezbędne.

Moduł diagnostyczny powinien się składać z następujących składników:

- bazy wiedzy o relacji pomiędzy błędami i usterkami mechanizmu i zmianami w przebiegu trajektorii ruchu po okręgu,
- bazy wiedzy o błędach trajektorii kołowej generowanych przez niewłaściwe działanie układu sterowania i napędów,
- interpretera konfrontującego wyniki pomiarów z wiedzą zgromadzoną w bazach.

Konieczne może być również opracowanie innego przyrządu pomiarowego umożliwiającego pomiar podczas testów więcej niż jednej wartości. Za takim rozwiązaniem przemawia znacznie większa liczba zależności pomiędzy parametrami układu a realizowaną trajektorią. Nowy układ pomiarowy pozwoli również na poprawę przebiegu procesu kalibracji [3].

Tworzenie baz wiedzy wymagać będzie w pierwszej kolejności wykonania szeregu symulacji a później ich weryfikacji w badaniach na obiekcie. Dla celów pomiarowych można rozregulować układ sterowania maszyny i za pomocą pomiarów dokładności jej pracy znaleźć źródło i wartości wprowadzonych błędów. Znacznie trudniejsze w weryfikacji będzie odwzorowanie trajektorii kołowej błędów generowanych przez usterki układu mechanicznego.

5. PODSUMOWANIE

Opisane w artykule badania stanowią pierwszy krok w kierunku opracowania systemu umożliwiającego szybką diagnozę maszyn o kinematyce równoległej. W tym celu konieczne będzie wykonanie szeregu badań symulacyjnych, pomiarów oraz opracowanie metod interpretacji wyników. Stopień skomplikowania tego zadania może wymusić opracowanie nowego przyrządu pomiarowego dostarczającego więcej danych do analizy.

LITERATURA

- [1] Koch T., Iżykowski S.: Zastosowanie kinematyk równoległych w budowie obrabiarek. Konf. Nauk. "Manufacturing '01", ITM Polit.Pozn., Poznań, 2001.
- [2] Grossmann K., Kauschinger B.: Räumliche Referenzierung an Werkzeugmaschinen mit dem Double-Ball-Bar, ZWF Jahrg. 103 (2008) 3.
- [3] Honczarenko J., Kwaśniewicz J.: Nowe systemy pomiarowe do sprawdzania dokładności obrabiarek CNC. Mechanik, nr 12/2008.
- [4] Merlt J.-P.: Parallel Robots, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
- [5] Instrukcja obsługi przyrządu Ball-bar firmy Renishaw.