

XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom II



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

ROBOTY

BADANIE MODELOWE MANIPULATORA ELEKTROPNEUMATYCZNEGO TYPU TRIPOD

Paweł ŁASKI*, Ryszard DINDORF**

* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: laskip@eden.tu.kielce.pl

** Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: dindorf@eden.tu.kielce.pl

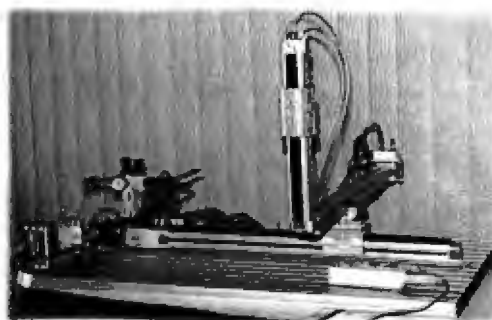
Streszczenie: W artykule przedstawiono badania modelowe manipulatora pneumatycznego o kinematyce równoległej typu tripod. Zaprezentowano model bryłowy manipulatora w programie CAD oraz zastępczy model bryłowy utworzony w bibliotece SimMechnaik pakietu Matlab. Przedstawiono wyniki symulacji kinematycznych manipulatora.

Słowa kluczowe: Napęd elektropneumatyczny, kinematyka równoległa. SimMechanik, tripod.

1. WPROWADZENIE

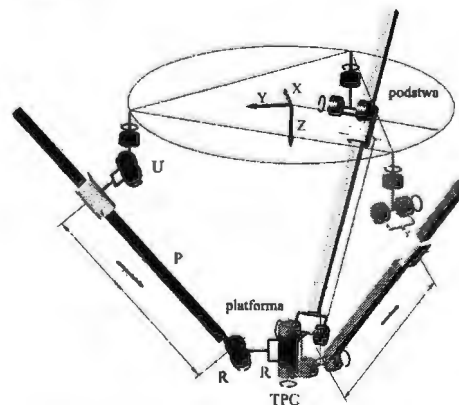
Rozwój automatyzacji i robotyzacji produkcji zwiększa zainteresowanie systemami elastycznymi o dużej dynamice i zarazem precyzyjnym działaniu. Wieloosiowe napędy elektropneumatyczne są w stanie zaspokoić potrzeby związane z pozycjonowaniem przemysłowym. Odznaczają się wysoką dynamiką i niezawodnością działania. Jednak niezadowalająca dokładność pozycjonowania ogranicza ich wszechstronne zastosowanie. Konkurencyjne napędy hydrauliczne i elektryczne oferują obecnie wyższą dokładność pozycjonowania. W latach dziewięćdziesiątych minionego stulecia wprowadzono sterowanie siłownikami pneumatycznymi od zmiennych stanu. Taki rodzaj sterowania pozwala na uzyskiwanie dowolnej pozycji z zakresu pracy siłownika, lepszą kontrolę prędkości i przyspieszenia. Wieloosiowe napędy elektropneumatyczne ze względu na ich modułową konstrukcję są często stosowane w manipulatorach i robotach. W manipulatorach siłownik pneumatyczny, nazywany osią pneumatyczną, jest jednocześnie jednostką wykonawczą oraz konstrukcyjną nośną. Manipulatory o kartezyjskim układzie osi (rys. 1) składają się z szeregowo naborowywanych na sobie osi, co prowadzi do otwartego łańcucha kinematycznego. Rozwiązanie takie powoduje kumulację odkształceń sprężystych poszczególnych elementów na końcu tego łańcucha co znacznie zmniejsza dokładność pozycjonowania manipulatora. In-

nym problemem jest to, że ruchome masy pojedynczych osi sumują się, a w konsekwencji zwiększa się obciążenie bezwładnościowe, wpływające na dynamikę manipulatora.



Rys. 1. Trzyosiowy manipulator o kartezyjskim układzie osi.

W latach czterdziestych V.E Gough zbudował jedną z pierwszych konstrukcji równoległych opracowaną na potrzeby firmy Dunlop. Następnie w latach sześćdziesiątych D. Stewart opracował dla przemysłu lotniczego symulatory o sześciu stopniach swobody, składające się jednakowych łańcuchów kinematycznych połączonych z podstawą i platformą roboczą przegubami (rys.2).

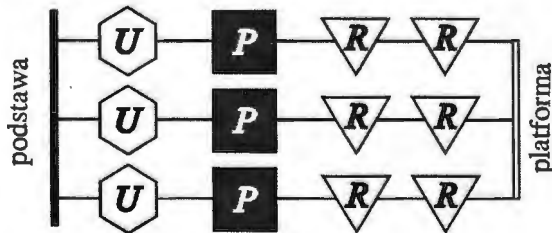


Rys. 2. Uproszczony model platformy D. Stewarta.

Mechanizmy platformowe stosuje się w: manipulatorach, robotach, obrabiarkach, teleskopach, maszynach pomiarowych i zawieszaniach (wahaczach) pojazdów samochodowych. Układy platformowe przyjęto nazywać kinematyką równoległą. W opisywanym rozwiązaniu kinematycznym elementy napędowe nie przenoszą sił zginających, co wpływa na poprawę dokładności pozycjonowania manipulatora.

2. OPIS KINEMATYKI MANIPULATORA TYPU TRIPOD

Do opisu zasady działania manipulatora równoległego wystarczy odniesienie się do pojedynczego łańcucha kinematycznego. Elementarne części składowe manipulatora równoległego są identyczne. Nazewnictwo używane do opisu kinematyk równoległych zawarto w pracy [14]. Nazwy członów wynikają bezpośrednio z typu połączenia i ilość stopni swobody. Wielką literą U oznaczono połączenia przegubowe typu kardana, literą P połączenie przesuwne typu pryzmatycznego (rys. 3). Kinematykę manipulatora typu tripod schematycznie pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Systematyka mechanizmu tripod.

Ilość stopni swobody manipulatora może wynikać bezpośrednio z liczby członów napędowych. W przypadku struktury równoległej aby zaistniał ruch przymusowy, liczba członów napędowych musi być równa liczbie stopni swobody.[12]. Do obliczania liczby stopni swobody korzysta się z następującej zależności [13].

$$f = 6(l - n - 1) + \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

gdzie:

- l – liczba poruszanych członów manipulatora (podstawa, platforma, siłowniki)
- n – liczba połączeń przegubów i członów napędowych manipulatora
- d_i – liczba odebranych stopni swobody
- f – liczba stopni swobody mechanizmu manipulatora

Dla manipulatora o kinematyce równoległej zależność ta przedstawia się następująco:

$$l = 1 \text{ podstawa} + 1 \text{ platforma} + 3 * 2 (\text{siłowniki} + \text{wózki}) = 8$$

$$n = 3 (\text{siłowniki}) + 3 (\text{przeguby podstawy}) + 3 (\text{przeguby platformy}) = 9$$

$$\sum_{i=1}^n d_i = 3 * 1 (\text{siłownik jeden stopień swobody}) +$$

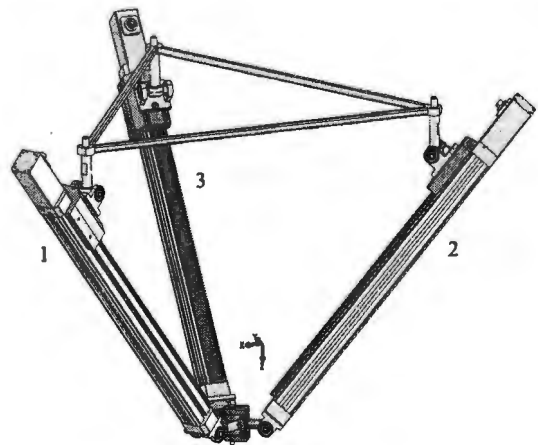
$$3 * 2 (\text{przegub kardana podstawy dwa stopnie swobody}) + 3 * 2 (\text{przegub kardana platformy dwa stopnie swobody}) = 15$$

$$6(8-9-1) + 15 = 3 \text{ stopnie swobody}$$

Obliczenie liczby swobody pozwala na określenie własności użytkowych i jednocześnie kontrolę poprawności założeń konstrukcyjnych. Projektowany tripod posiada 3 stopnie swobody i może poruszać się w przestrzeni trójwymiarowej.

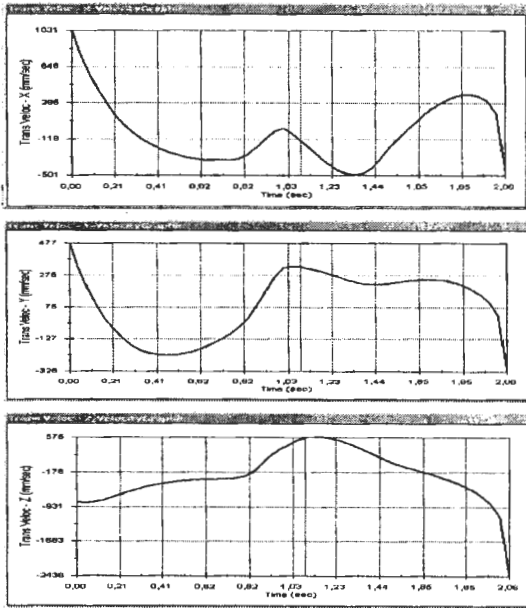
3. BADANIA MODELU BRYŁOWEGO MANIPULATORA O KINEMATYCE RÓWNOLEGŁEJ

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych kinematyki i dynamiki został zbudowany model bryłowy manipulatora w oprogramowaniu CAD. Nadane zostały więzy kinematyczne i określone własności materiałowe. Na rysunku 4 przedstawiony został model bryłowy manipulatora w górnym położeniu.



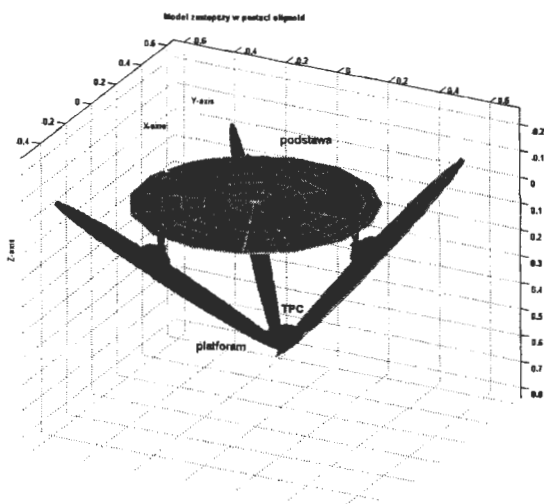
Rys. 4. Model bryłowy manipulatora o kinematyce równoległej typu tripod.

Prowadzone badania symulacyjne ukierunkowane były na wyznaczenie przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń platformy manipulatora, określenie przestrzeni roboczej oraz kolizji członów napędowych z konstrukcją nośną. Przemieszczenie siłowników modelowane było jako krzywa sklejana typu (spline) uzyskana z pomiarów przeprowadzonych na manipulatorze o kartezjańskim układzie osi. Przykładowe wyniki prędkości platformy roboczej uzyskane podczas symulacji przedstawia rys. 5. Analizując przeprowadzone symulacje można wnioskować, że wartość prędkości i przyspieszeń platformy zbliżone będą do prędkości pojedynczego siłownika beztłoczkowego i wynoszą ok. 2m/s.



Rys. 5. Przykładowe wykresy składowych prędkości platformy roboczej.

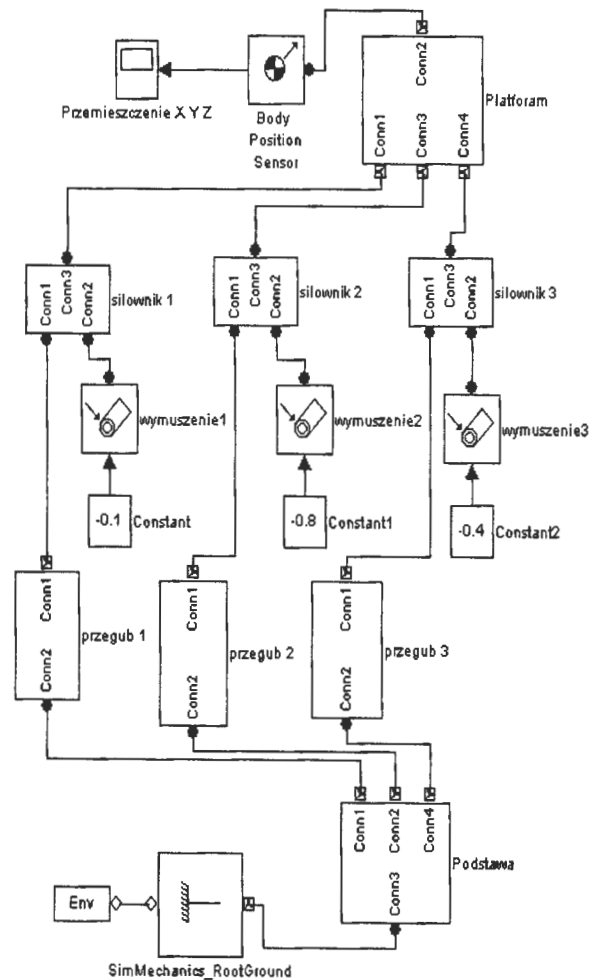
Bryłowe oprogramowanie CAD posiada znaczne ograniczenia w modelowaniu dynamiki manipulatora z tego względu dalsze badania prowadzone były z użyciem biblioteki SimMechanik pakietu Matlab. Utworzony został zastępczy model bryłowy z zachowaniem więzów kinematycznych, własności materiałowych i zdefiniowaną orientacją przestrzenną. W bibliotece SimMechanik elementy bryłowe opisywane są z użyciem geometrii zastępczych w postaci elipsoid z określoną masą i tensorem bezwładności. W trakcie budowy modelu manipulatora konieczne jest określenie środka ciężkości brył, centralnych i lokalnych układów współrzędnych. Rysunek 6 przedstawia w postaci elipsoid manipulator typu tripod.



Rys. 6. Zastępczy schemat kinematyczny manipulatora równoległego typu tripod.

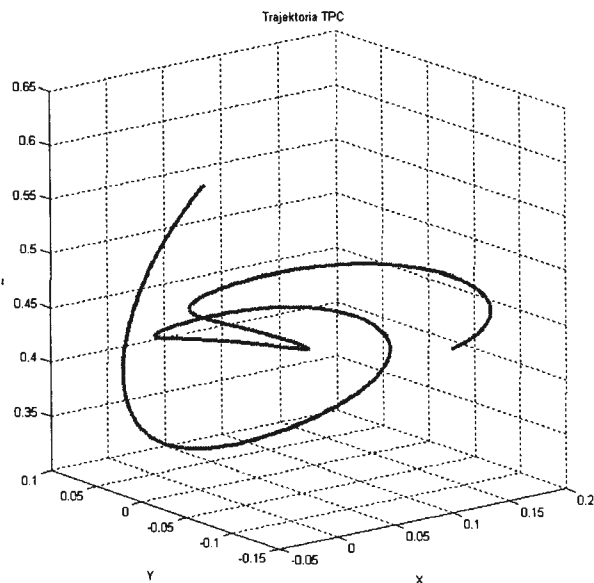
W celu prowadzenia pełniejszych badań symulacyjnych schemat blokowy manipulatora może być uzupełniany o czujniki sił, momentów, prędkości, przy-

spiesznień, przemieszczeń itp. rys.7. Określenia przemieszczenia środka platformy manipulatora równoległego we współrzędnych kartezjańskich na posadawie wysunięć siłowników przysparza znacznych problemów i staje się trudna do analitycznego rozwiązania. Przemieszczenie platformy jest wypadkową przesunięć siłowników wraz z łączącymi je przegubami i wymaga jednoczesnego sterowania trzema członami napędowymi. Wykorzystując bibliotekę SimMechanik pakietu Matlab nie jest konieczne definiowanie modelu matematycznego kinematyki i dynamiki manipulatora. Takie podejście do projektowania skraca czas i pozwala na rozwiązania kinematyki prostej i odwrotnej skomplikowanych układów kinematycznych.



Rys. 7. Schemat blokowy kinematyki manipulatora równoległego typu tripod.

Badania modelowe manipulatora pozwalają na wybór typu i sposobu sterowania. Ze względu na znaczne nieliniowości w zachowaniu się układów pneumatycznych obiecujące wyniki uzyskano dla sterowania opartego na logice rozmytej. Zastosowanie takiego sterowania daje możliwość dokładniejszego odwzorowywania zadanej trajektorii ruchu. Przykładowe wyniki badań modelowania przemieszczenia platformy roboczej w manipulatora przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Przykładowa trajektoria przemieszczenia platformy roboczej manipulatora równoległego typu tripod.

4. POSUMOWANIE

Badania modelowe i symulacyjne pozwoliły na etapie projektowania wnioskować o własnościach kinematycznych i dynamicznych oraz kierunku prac konstrukcyjnych. Umożliwiły zaprojektowanie manipulatora, optymalizację jego konstrukcji oraz wybór rodzaju i sposobu sterowania. Zaprojektowany manipulator o kinematyce równoległej typu tripod składa się z trzech beztłoczyskowych siłowników pneumatycznych o długości roboczej 600mm i średnicy 25mm. Siłowniki połączone trzema przegubami do podstawy i trzema do platformy roboczej. Siłowniki beztłoczyskowe są członami napędowymi i jednocześnie stanowią konstrukcję nośną manipulatora. Zastosowanie kinematyki równoległej w budowie manipulatorów elektropneumatycznych pozwoli na uzyskanie dużej sztywności całej struktury kinematycznej, poprawy dokładności pozycjonowania i własności dynamicznych. Przewiduje się, że wartość prędkości platformy zbliżona będzie do prędkości pojedynczego siłownika beztłoczyskowego. Dzięki nowej strukturze kinematycznej manipulatory pneumatyczne mogą stać się częściej wykorzystywane w elastycznych systemach produkcji.

Literatura

- [1] Chudzik Z. (1997) *Synteza pneumatycznego napędzonego układu pozycyjnego*. Rozprawa doktorska Politechnika Warszawska.
- [2] Dindorf R., Łaski P. (2002) Manipulatory z kinematyką równoległą. *Pneumatyka*, 6, 48-50.
- [3] Götter M., Neumann R., Ohmer M. (2000) *Pneumatische Antriebssysteme in der Handha-*

bungstechnik und Robotik. *Olhydraulik und Pneumatik*, 10.

- [4] Heisel U., Gringel M. (1996) Machine Tool Design Requirements for High-Speed Machining. *Annals of the CIRP*, 45.
- [5] Ihara Y., Ishida T., Kakino Y. (2000) *Kinematic calibration of a hexapod machine tool by using circular test*. 2000 Japa/USA Flexible Automation Conference, July 23-26, 2000, Ann Arbor, Michigan. ASME.
- [6] Katalog firmowy HOERBIGER-ORIGA, *Napędy liniowe OSP*. Wrocław 2001.
- [7] Kosmol J. (1998) *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*. WNT, Warszawa.
- [8] Koyachi N., Adachi H., Arai T., Murakami A. (1996) *Mechanical desing of a hexapod with integrated limb mechanism*. Japan/USA Symposium of Flexible Automation, ASME 1996, 1.
- [9] Łaski P. (2002) Analiza odkształcenia wielosiowego napędu elektropneumatycznego. *Pneumatyka*, 4, 10-12.
- [10] Łaski P. (2002) *Analiza nowych struktur kinematycznych napędów elektropneumatycznych*. I Seminarium Naukowe Automatyzacja Systemów Płynowych. Kielce 12.06.2002.
- [11] Morecki A., Knapczyk J., Kędzior K. (2002) *Teoria mechanizmów i manipulatorów*. WNT Warszawa.
- [12] Oczko K.E., Weiss E. (2002) Kinematyka równoległa w budowie obrabiarek, robotów i równoległa w budowie obrabiarek, robotów i manipulatorów. *Mechanik*, 5-6.
- [13] Hebsacker M. (2000) *Entwurf und Bewertung, Paralleler Werkzeugmaschinen - das Hexaglide*. Zürich.
- [14] Merlet J.P. (1997) *Les robots paralleles*, 2e édition, Hermes, Paris.
- [15] Di Gregorio R. et Parenti-Castelli V. A translationnal 3-dof parallel manipulator. In *ARK*, pages 49-58, Strobl, 29 Juin-4 Juillet, 1998.
- [16] Tsai L-W. (1996) Kinematics of a three-dof platform with three extensible limbs. In J. Lenarcic V. Parenti-Castelli, editor, *Recent Advances in Robot Kinematics*, 401-410. Kluwer.



Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4