

Andrzej MARKIEWICZ¹

WYBRANE PROBLEMY SYNTEZY WYMIARÓW KONSTRUKCYJNYCH PŁASKIEGO MANIPULATORA O DWÓCH STOPNIACH SWOBODY

W artykule podjęto problematykę syntezy wymiarów konstrukcyjnych płaskiego manipulatora o dwóch stopniach swobody. Szczególną uwagę zwrócono na względne położenie osi obrotów obu ogniw napędowych. Jako kryterium porównawcze przyjęto przebiegi czasowe momentów napędowych oraz reakcji w przegubach w trakcie realizacji zadanej tej samej trajektorii końcówki roboczej.

Analiza przeprowadzonych symulacji numerycznych dynamiki manipulatora wskazuje na znaczne zmiany parametrów dynamicznych, nawet przy niewielkich zmianach położenia względnych osi napędowych.

SELECTED PROBLEMS IN SYNTHESIS OF CONSTRUCTIONAL MEASUREMENTS FOR PLANAR MANIPULATOR WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

This paper presents a problem in a synthesis of constructional measurements for flat manipulator with two degrees of freedom. Particular attention was given to relative position of the axes of rotation for the two driving cells. The timing of the driving torques and the performance of the joints during the implementation of the same trajectory of the working tip was the benchmark for the study.

The analysis of the results of the numerical simulations for the manipulator dynamics indicates significant changes in dynamic parameters, even when there is a slight change in the position of the driving axes.

1. WSTĘP

Ważnym zagadnieniem realizowanym przez manipulator jest realizacja ruchu programowego jego końcówki roboczej. Najogólniej pod pojęciem ruchu programowego kryje się określenie toru (oraz jego parametrów kinematycznych) końcówki roboczej manipulatora. Przemieszczanie końcówki roboczej jest wynikiem złożenia ruchów realizowanych przez wszystkie ogniwa i węzły danego manipulatora. Charakter i parametry ruchu w poszczególnych złączach są różne i zależą nie tylko od parametrów ruchu programowego, ale również od wymiarów poszczególnych ogniw oraz struktury kinematycznej manipulatora. Charakter tych zależności jest mocno nieliniowy.

Modelowanie mechanizmów wiąże się najczęściej z przeprowadzanymi symulacjami numerycznymi. Wymaga to opracowania modelu wraz z niezbędnymi parametrami geometrycznymi, kinematycznymi i dynamicznymi wszystkich jego członów.

Do realizacji zadanego ruchu programowego może być wykorzystany manipulator płaski o dwóch stopniach swobody [3, 4, 6]. Syntezę jego wymiarów konstrukcyjnych można przeprowadzić w oparciu o nowy, zaprojektowany mechanizm lub już istniejący, co w zasadzie ogranicza zmianę wymiarów geometrycznych do położenia osi napędowych.

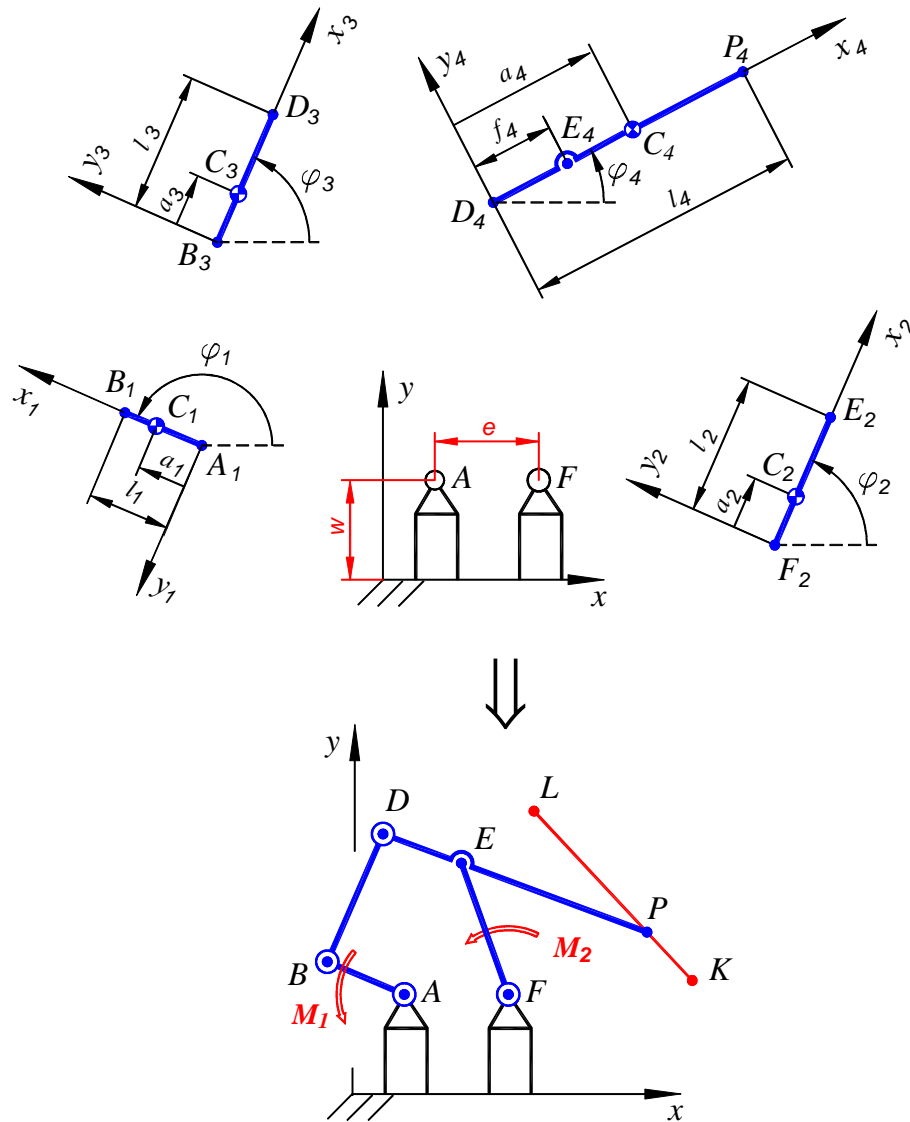
Symulacje dynamiki ruchu mechanizmu wymagają sformułowania i rozwiązania dynamicznych równań ruchu. Jest to tzw. odwrotne zadanie dynamiki. Do jego zdefiniowania stosuje się równania Eulera-Lagrange'a lub Newtona-Eulera, które mogą być sformułowane we współrzędnych absolutnych albo złączowych [1]. Pierwsze z nich to współrzędne środków mas i kąty orientacji poszczególnych członów względem inercjalnego układu odniesienia, drugie to współrzędne odpowiadające kierunkom ruchów względnych w parach kinematycznych zastępczego układu otwartego (obroty lub translacje w zależności od rodzaju par kinematycznych).

Celem niniejszej pracy było przedstawienie wpływu nawet niewielkich zmian wybranych wymiarów geometrycznych (położenia osi napędowych) mechanizmu zastosowanego do realizacji zadanego ruchu programowego na charakterystykę ruchu poszczególnych ogniw, przebiegi czasowe momentów napędowych oraz reakcji występujących w poszczególnych węzłach.

¹ UT-H Radom, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54. tel: + 48 48 361-71-62, e-mail: a.markiewicz@uthrad.pl

2. SFORMUŁOWANIE ZADANIA

W pracy symulacje numeryczne zostały przeprowadzone dla modelu mechanizmu przedstawionego na rysunku 1. Jest to mechanizm płaski o dwóch stopniach swobody, zbudowany z czterech ogniw ruchomych połączonych przegubami. Długości ogniw zostały dobrane w taki sposób, że w przypadku nałożenia na siebie osi A i F, powstanie równoległobok. W każdej symulacji realizowano taki sam zadany ruch programowy.



Rys. 1. Płaski manipulator o dwóch stopniach swobody

Ruch programowy został narzucony dla punktu P tego mechanizmu (końcówki manipulatora). Ustalono, że będzie się przemieszczał od punktu L do punktu K , a torem jego trajektorii będzie odcinek. Do parametryzacji toru wykorzystano wielomian siódmego stopnia postaci [4]:

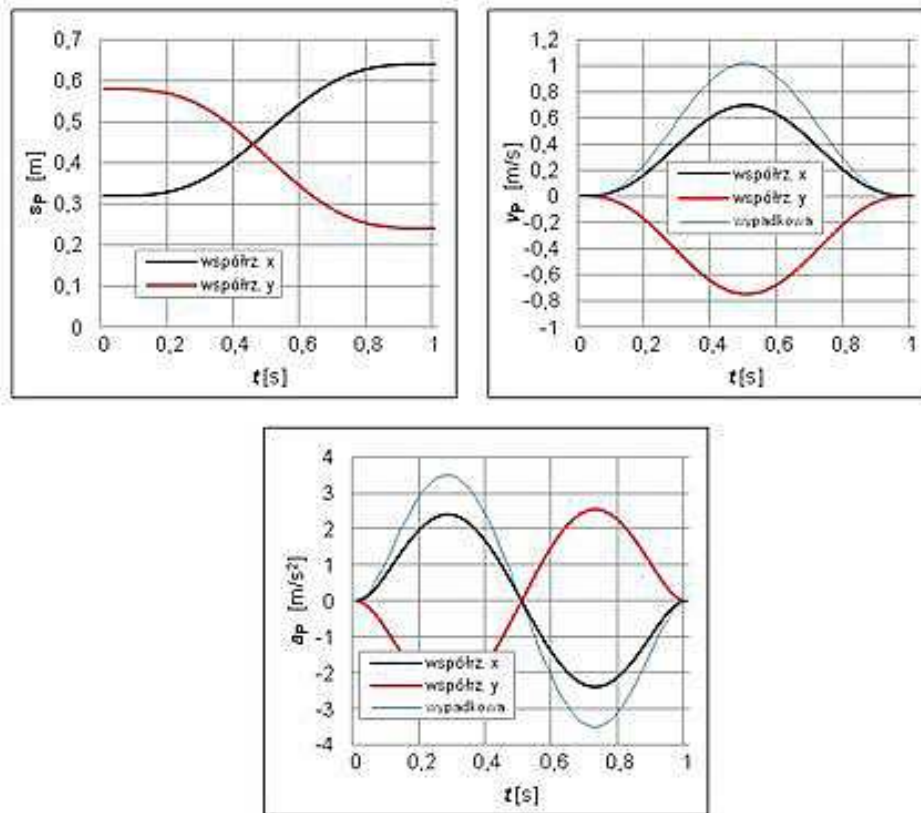
$$s(t) = -s_0 \left[1 - 35 \left(\frac{t}{T_Z} \right)^4 + 84 \left(\frac{t}{T_Z} \right)^5 - 70 \left(\frac{t}{T_Z} \right)^6 + 20 \left(\frac{t}{T_Z} \right)^7 \right] \quad (1)$$

gdzie:

- s_0 – przemieszczenie całkowite punktu P ,
- t – czas bieżący,
- T_Z – czas trwania ruchu.

Współczynniki wielomianu zostały tak wyliczone, aby otrzymane po zróżniczkowaniu przebiegi czasowe prędkości, przyspieszeń, a nawet uderów były funkcjami gładkimi.

Parametry kinematyczne trajektorii punktu P przedstawiono na rys.2. Wykresy otrzymano przy założeniu, że $T_z = 1s$ i współrzędne absolutne punktów L i K odpowiednio wynoszą: $x_L = 0,32m$, $y_L = 0,58m$, $x_K = 0,64m$, $y_K = 0,24m$.



Rys. 2. Parametry kinematyczne trajektorii punktu P

3. ZAŁOŻENIA OGÓLNE DLA SYMULACJI NUMERYCZNYCH

W celu porównania własności dynamicznych oraz kinematycznych ruchu mechanizmu przyjęto następujące założenia dla wszystkich symulacji:

1. Tor trajektorii punktu P jest z góry zadany.
2. Stałe parametry kinematyczne trajektorii punktu P .
3. Utrzymywane stałe parametry geometryczne i inercyjne wszystkich ogniw.
4. Jednakowy czas trwania ruchu wynoszący $1s$.

Symulacje numeryczne przeprowadzono z wykorzystaniem autorskiej aplikacji opracowanej w środowisku Fortran. Aplikacja umożliwia badanie mechanizmów o różnych parametrach geometrycznych i inercyjnych. Ogólny sposób formułowania warunków więzów oraz dynamicznych równań ruchu Newtona-Eulera we współrzędnych absolutnych, na których oparto model matematyczny, przedstawiono w pracach [1, 2, 5].

Długości poszczególnych ogniw mechanizmu przyjęto następująco: $l_1=0,28$ m, $l_2=0,12$ m, $l_3=0,28$ m oraz $l_4=0,52$ m.

Parametry inercyjne przyjęte do przeprowadzonych symulacji numerycznych [4] zostały zestawione w tabeli 1.

4. WYNIKI SYMULACJI NUMERYCZNYCH I ICH ANALIZA

Celem artykułu było badanie wpływu położenia osi napędowych A i F (rys.1) na dynamikę mechanizmu. Dla określenia zależności przeprowadzono sześć symulacji numerycznych podzielonych na dwa warianty różniące się wysokościami w . W każdym wariantcie wyróżniono po trzy przypadki różniące się rozstawem osi e (rys.1). Ustalano położenie osi A , a następnie zmieniano odległość e rozstawu osi ($e=0$ dla przypadku 1, $e=0,05m$ dla

przypadku 2, $e=0,1m$ dla przypadku 3), wyznaczając współrzędną x_F osi F . Współrzędne osi oraz oznaczenia symulacji zebrano w tabeli 2.

Tab. 1. Parametry inercyjne ogniów mechanizmu

oznaczenie	wartość
masa ogniwa	[kg]
m_1	2,911
m_2	0,212
m_3	0,964
m_4	3,827
moment bezwładności	[kgm ²]
I_1	0,009344671
I_2	0,000471474
I_3	0,008080584
I_4	0,111901486
położenie środka masy	[m]
a_1	0,016252
a_2	0,068476
a_3	0,117139
a_4	0,248292

Tab. 2. Położenie osi napędowych

oznaczenie	współrzędne [m]			
	oś A		oś F	
	x_A	$y_A=w$	$x_F = x_A + e$	$y_F=y_A = w$
wariant 1-1	0,1	0,15	0,1	0,15
wariant 1-2			0,15	
wariant 1-3			0,2	
wariant 2-1	0,1	0,25	0,1	0,25
wariant 2-2			0,15	
wariant 2-3			0,2	

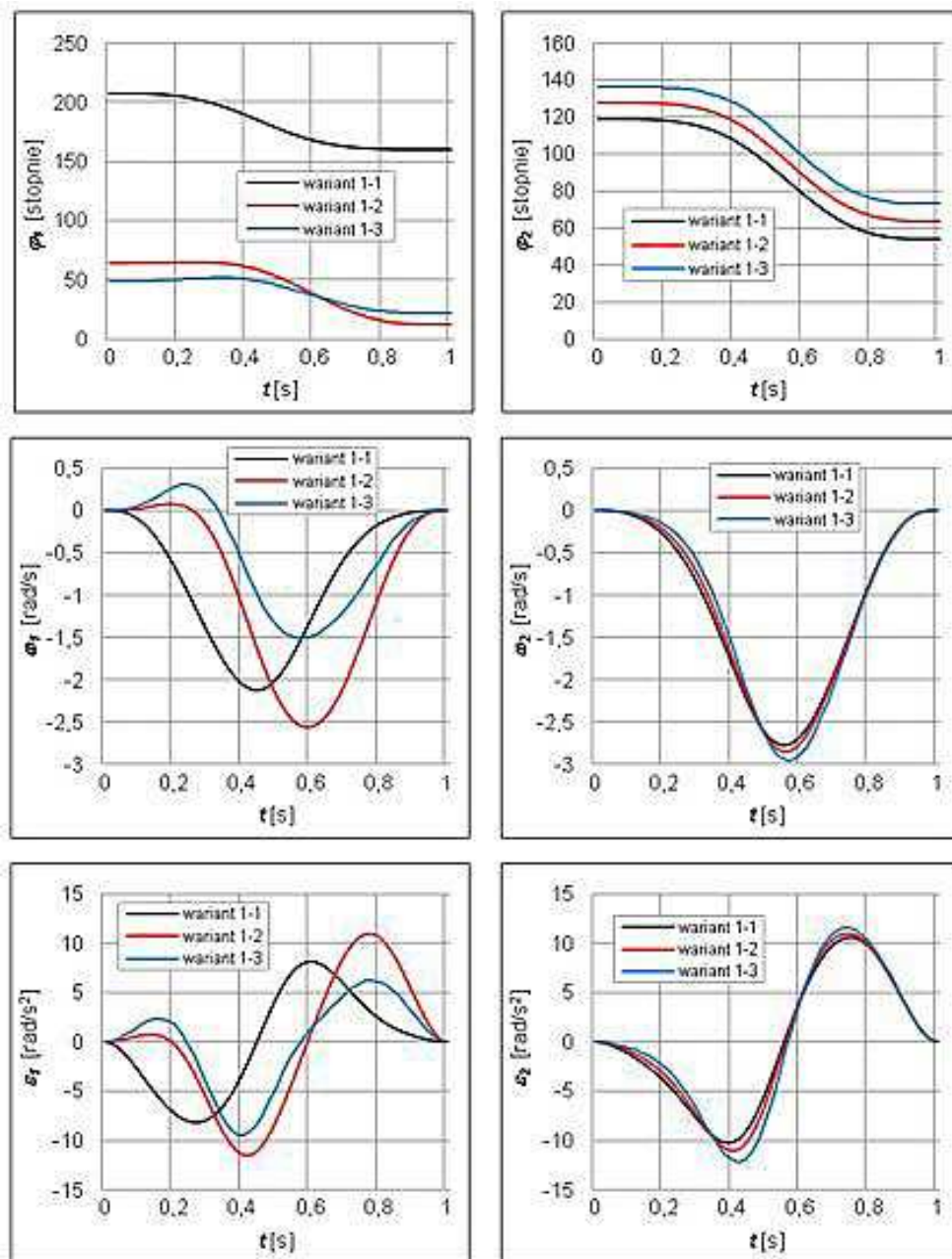
4.1. Wariant 1

Symulacje dynamiczne mechanizmu każdorazowo były poprzedzane symulacjami kinematycznymi. Przebiegi położeń poszczególnych ogniów wynikają z warunków więzów narzucanych przez węzły kinematyczne oraz zadany ruch programowy punktu P . Po dwukrotnym zróżniczkowaniu otrzymano kolejno zależności na poziomie prędkości oraz przyspieszeń.

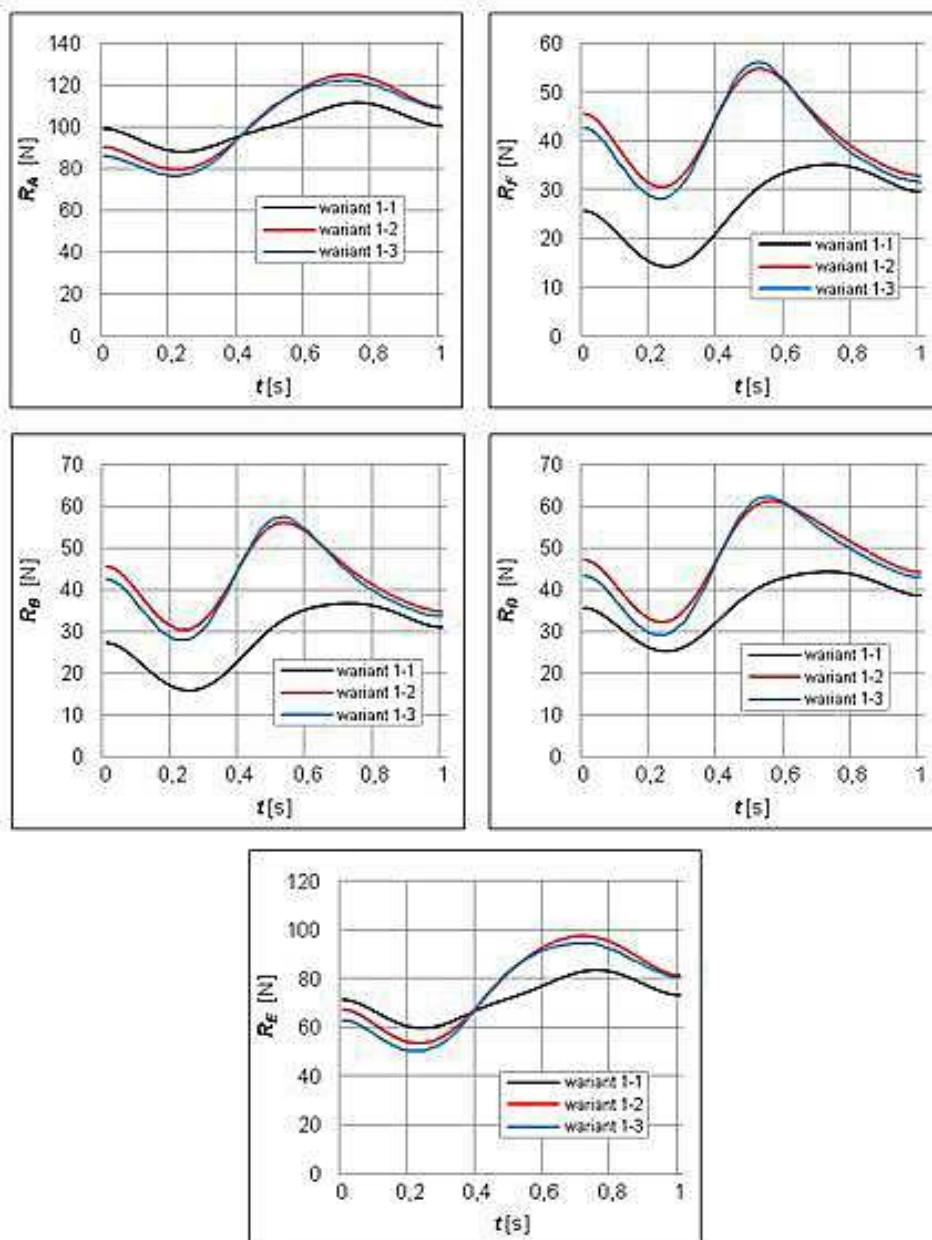
Wyniki symulacji, ograniczone do współrzędnych kątowych ogniów napędowych, zostały przedstawione na rysunku 3. Na przebiegach czasowych widać znaczne różnice w wartościach prędkości i przyspieszeń kątowych, szczególnie dla ogniwa 1. Dla ogniwa 2 nie są już tak duże, ale w przypadku przyspieszeń amplituda różni się ponad 20 %.

Wynikiem przeprowadzonych symulacji dynamicznych są przebiegi czasowe momentów napędowych (rys. 5) oraz reakcji w poszczególnych węzłach kinematycznych (rys. 4).

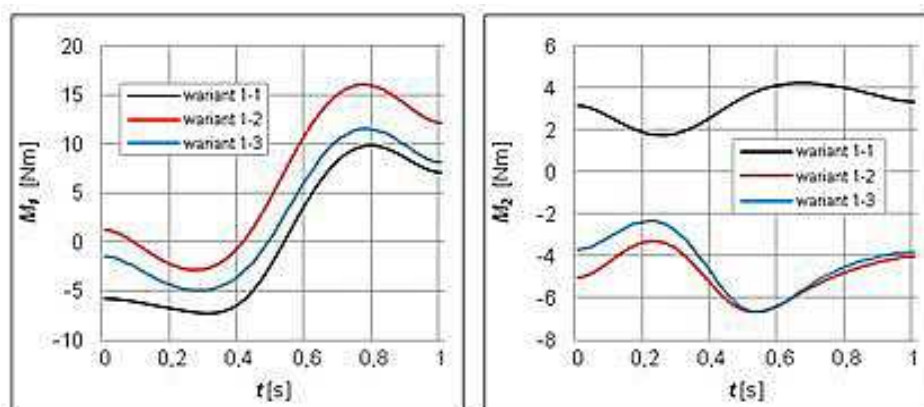
Z przebiegów tych wynika, że największe różnice dotyczą momentu napędowego ogniwa 2. W przypadku reakcji, najmniejsze wartości uzyskano dla wariantu 1-1, w którym osie A i F się nakładają, tworząc manipulator jednokolumnowy. Największe różnice są widoczne w przegubach B , D oraz F (przebiegi reakcji dla przypadków 1-2 i 1-3 są bardzo podobne).



Rys. 3. Przebiegi kinematyczne ogniw napędowych mechanizmu dla wariantu 1



Rys. 4. Przebiegi wypadkowych reakcji w przegubach mechanizmu dla wariantu 1

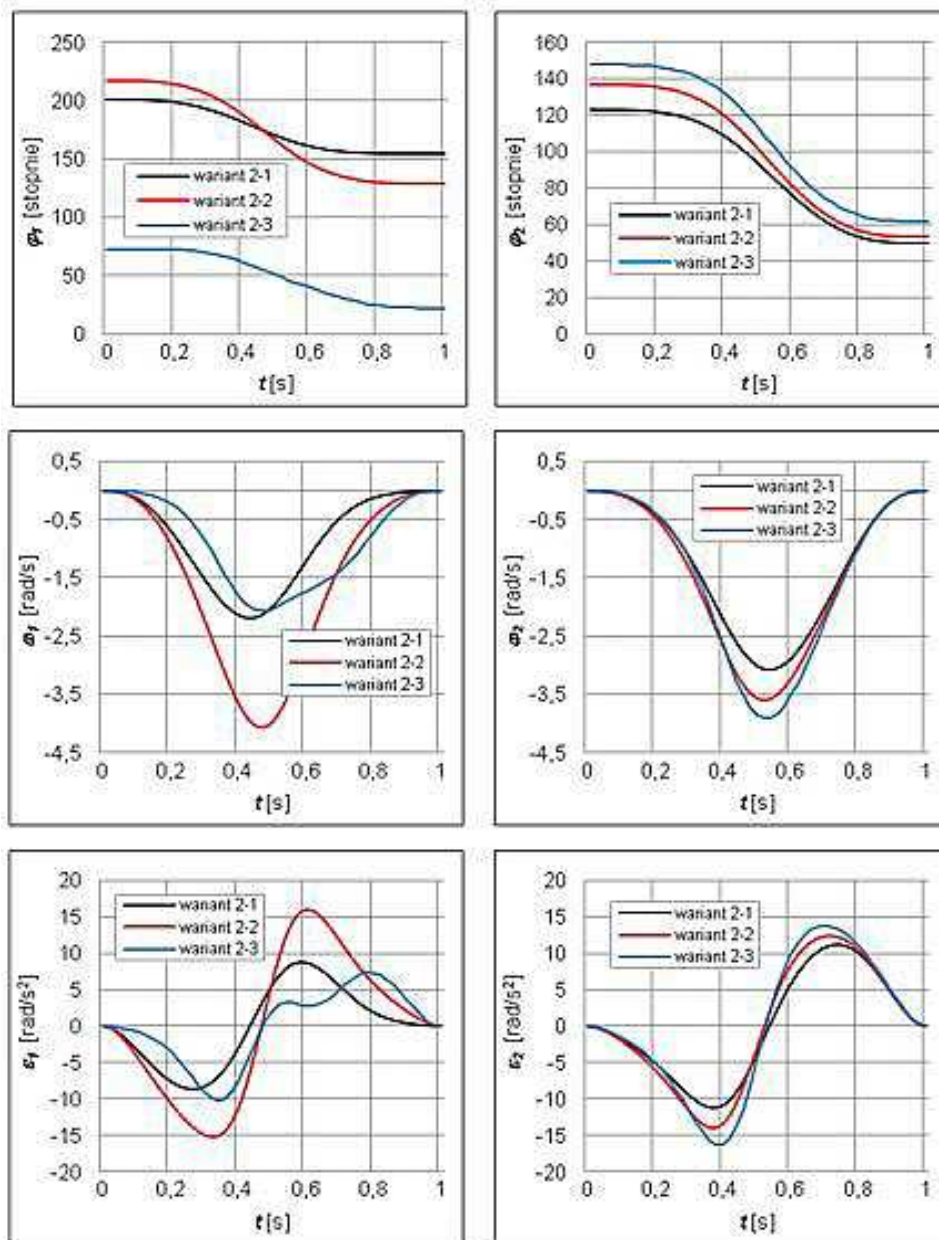


Rys. 5. Przebiegi momentów napędowych dla wariantu 1

4.2. Wariant 2

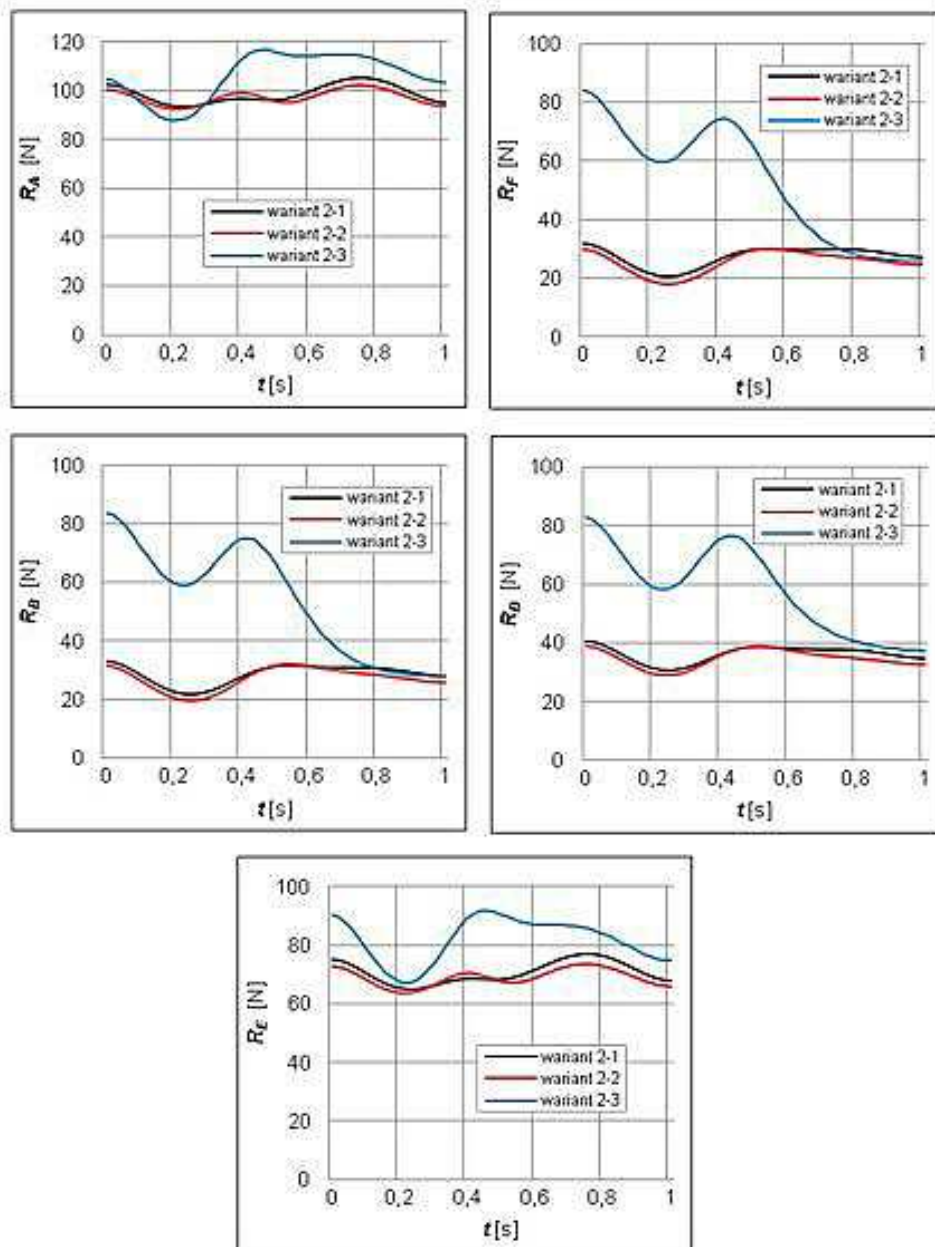
W wariacie 2 w porównaniu do wariantu 1 została zwiększona wysokość kolumn, oznaczona literą w (rys. 1, tab. 2). Miało to bardzo duży wpływ na kinematyczne przebiegi czasowe ogni (rys. 5). Spowodowało to generalnie wzrost maksymalnych wartości prędkości i przyspieszeń kątowych ogni napędowych (największy wzrost w przypadku 2 dla ogniwa 1).

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przebiegi czasowe odpowiednio reakcji w węzłach oraz momentów napędowych. Odnosząc się do otrzymanych wyników można stwierdzić, że o ile reakcje dla przypadku 1 i 2 są bardzo zbliżone (w przypadku 2 nieznacznie mniejsze), to dla przypadku 3 generalnie przyjmują wartości dużo większe.

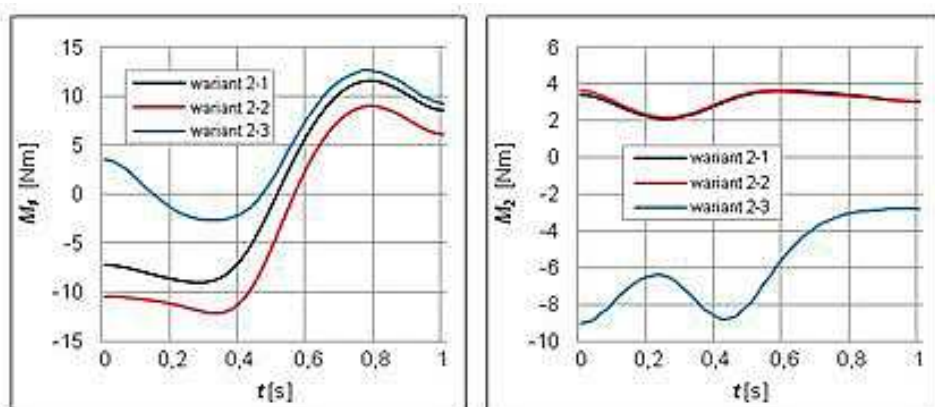


Rys. 6. Przebiegi kinematyczne ogni napędowych mechanizmu dla wariantu 2

Analizując przebiegi momentów napędowych, zauważono znaczne różnice dla poszczególnych przypadków w porównaniu do wersji 1 (z wyjątkiem M_2 w przypadku 2). Mimo iż najmniejsze zmiany, porównując obydwa warianty, można zauważyć dla przypadku 1, to trudno jest jednoznacznie stwierdzić, że struktura jednokolumnowa mechanizmu daje lepsze wyniki w odniesieniu do dwukolumnowej.



Rys. 7. Przebiegi wypadkowych reakcji w przegubach mechanizmu dla wariantu 2



Rys. 8. Przebiegi momentów napędowych dla wariantu 2

5. WNIOSKI

Analiza wyników badań wskazuje na duży wpływ położenia osi napędowych na przebiegi czasowe parametrów kinematycznych i dynamicznych mechanizmu.

Nawet niewielkie zmiany analizowanych wymiarów konstrukcyjnych mają duży wpływ na wartości maksymalne oraz charakter przebiegu prawie wszystkich parametrów kinematycznych i dynamicznych mechanizmu.

Sz szczególnie duży wpływ położenia osi napędowych na parametry kinematyczne jest widoczny dla ogniwa 1, a największe wartości prędkości i przyspieszeń są uzyskiwane dla obu wariantów w przypadku 2, przy czym w wariancie 2-2 są większe.

Największe wartości wypadkowych reakcji w węzłach zaobserwowano w wariancie 2 dla przypadku 2-3.

Analizując przebiegi momentów napędowych, trudno jest jednoznacznie stwierdzić, że dla mechanizmu jednokolumnowego (przypadek 1-1 i 2-1) otrzymano lepsze wyniki niż dla dwukolumnowego.

Przedstawione wyniki symulacji wyraźnie wskazują na możliwość przyjęcia wymiarów określających położenie osi napędowych jako parametrów podlegających optymalizacji w procesie syntezy mechanizmu. Jednocześnie wyniki symulacji wskazują, że przyjęte kryteria oceny wariantów położenia osi napędowych nie muszą stanowić ostatecznego kryterium optymalizacyjnego.

Przedstawione w artykule wyniki symulacji dla sześciu wybranych wariantów położenia osi napędowych nie dają pełnego obrazu badanych zależności.

Na podstawie tych wniosków wynika konieczność podjęcia dalszych prac nad niniejszą problematyką.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Blajer W.: *Komputerowo zorientowane metody modelowania i symulacji mechanizmów*. Teoria Maszyn i Mechanizmów, Bielsko-Biała 2008, 13-28.
- [2] Blajer W., Markiewicz A.: *Numeryczna symulacja ruchu mechanizmów z tarciem*. Materiały konferencyjne XVI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Dydaktycznej Teorii Maszyn i Mechanizmów, Warszawa-Jachranka 2000, 323-329.
- [3] Goncalves RS., Carvalho JCM., Carbone G., Ceccarelli M.: *Indices for stiffness and singularity evaluation for designing 5R parallel manipulators*. The Open Mechanical Engineering Journal 2010, 4, 61-68.
- [4] Gruszka P., Maciąg P., Markiewicz A.: *Kształtowanie własności dynamicznych płaskiego równoległoboku przegubowego o dwóch stopniach swobody poprzez zmianę parametrów inercyjnych jego ogniw*. TTS Technika transportu szynowego, 2013, 10, 797-805.
- [5] Markiewicz A.: *Zastosowanie metod dynamiki układów wielocłonowych w modelowaniu i symulacji mechanizmów z tarciem*. Rozprawa doktorska, PW Warszawa 2002.
- [6] Shang W., Cong S., Zhang Y.: *Nonlinear friction compensation of a 2-DOF planar parallel manipulator*. Mechatronics, 2008, 18, 340.