

# Zastosowanie technik CAD/CAE do projektowania i analiz nożycowych podnośników samochodowych

Jan Jereczek, Zbigniew Budniak, Andrzej Karaczun

## Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania technik komputerowych CAD/CAE do modelowania i analizy ruchu nożycowego podnośnika samochodowego. Opracowany model symulacyjny, zawierający szkieletowy model podnośnika, pozwala na symulowanie pracy mechanizmu nożycowego podczas wykonywania przez niego złożonego cyklu pracy. Wyniki analiz wykorzystano do opracowania wirtualnego modelu konstrukcji podnośnika.

**Słowa kluczowe:** nożycowy podnośnik samochodowy, analiza ruchu, modelowanie parametryczne, CAD/CAE.

## Wstęp

W artykule przedstawiono wirtualny model nożycowego podnośnika samochodowego oraz jego model kinematyczny. Do opracowania konstrukcji posłużono się metodyką projektowania z wykorzystaniem technik komputerowych CAD/CAE [1, 2]. Podstawowymi elementami realizowanej metody są:

- opracowanie schematu kinematycznego układu mechanicznego;
- wstępna analiza kinematyczna;
- parametryczne modelowanie części i złożenia;
- analiza kolizji w ruchu;
- analiza wielkości kinematycznych i dynamicznych modelu dla cyklu jego pracy;
- analiza wytrzymałościowa konstrukcji metodą elementów skończonych MES;
- analiza technologiczności konstrukcji;
- wizualizacja projektu – opracowanie dokumentacji technicznej 2D, rysunki montażowe;
- fotorealistyczna prezentacja projektu;
- animacja pracy podnośnika.

Do modelowania wirtualnego podnośnika samochodowego wykorzystano program CAD-SolidWorks, a późniejsze jego analizy kinematyczne przeprowadzono z użyciem modułu Motion SolidWorks [3].

## 1. Podnośniki samochodowe

Podnośniki samochodowe są urządzeniami transportu bliskiego wykorzystywanymi do pionowego przemieszczania pracowników oraz niezbędnego oprzyrządowania potrzebnego podczas wykonywania prac na wysokości. Podnośniki te mają szerokie zastosowanie w pracach na wysokości takich jak: prace remontowe, tynkarskie oraz naprawcze na słupach wysokiego napięcia. Odgrywają one również znaczącą rolę w różnego rodzaju akcjach ratowniczych, np. podczas pożaru. Podnośniki samochodowe służą nie tylko do przenoszenia ciężarów, tak jak jest to w przypadku dźwigów, ale również

do szybkiego przemieszczania ludzi na różne wysokości. Ze względu na budowę podnośniki samochodowe dzielą się na: ramieniowo-teleskopowe (rys. 1) i nożycowe (rys. 2).



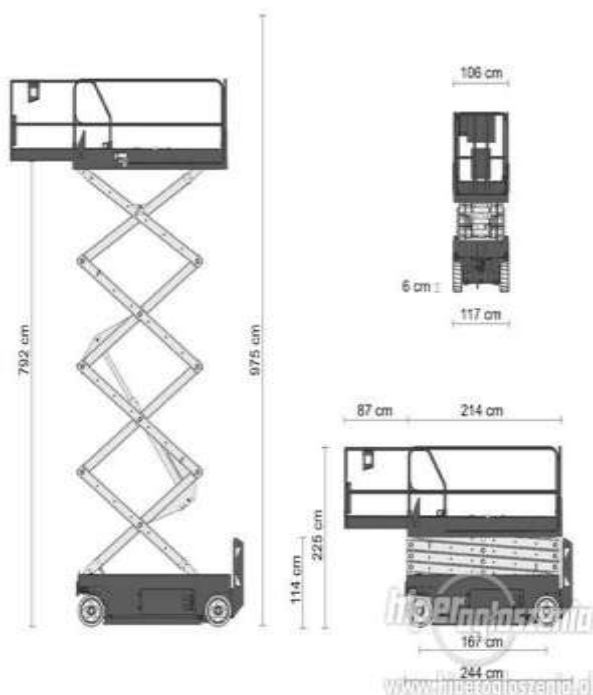
Rys. 1. Podnośnik samochodowy ramienno- teleskopowy [4]

Nazwa *nożycowe* dla tych urządzeń wzięła się z ich krzyżowych konstrukcji, które przypominają nożyce, napędzanych silnikami hydraulicznymi. Trafiają się również modele podnośników nożycowych o napędzie pneumatycznym wykorzystywanych w wulkanizacji.

Podstawowymi parametrami podnośników samochodowych są: wysokość robocza, wysokość platformy, zasięg roboczy, udźwig nominalny, waga, moc itp. Przykładowy widok nożycowego podnośnika samochodowego, wraz z jego podstawowymi parametrami, pokazano na rys. 3.



Rys. 2. Podnośnik samochodowy nożycowy [5]



Rys. 3. Podnośnik samochodowy nożycowy z napędem elektrycznym Sky Jack SJ III 4626 [6]

W konstrukcjach podnośników są stosowane napędy elektryczne (rys. 3) lub spalinowe.

Podnośniki można również podzielić na: nisko (rys. 4) i wysoko profilowe.

Urządzenia dźwigowe są zakończone koszem lub platformą koszową, służącą do podnoszenia osób i materiałów w czasie prac budowlanych lub montażowych na wysokościach. Podesty ruchome, ze względu na sposób podnoszenia, dzielimy na [4]:

- masztowe,
- nożycowe,
- przegubowe,
- teleskopowe,
- przegubowo-teleskopowe.



Rys. 4. Podnośnik nożycowy niskoprofilowy [5]

Ze względu na sposób pracy podnośniki dzielimy na:

- stacjonarne,
- samojezdne,
- przewoźne,
- montowane na podwoziu samochodów ciężarowych i dostawczych.

Wszystkie podnośniki służące do wykonywania prac na wysokości podlegają Dozorowi Technicznemu. Ponadto kosze i podesty montowane w podnośnikach muszą spełniać następujące wymagania:

- balustrady, które składają się z: bariery głównej umieszczonej na wysokości min. 1,1 m, krawężnika o min. wysokości 0,15 m, oraz bariery pośredniej na wysokości 0,55 m;
- w balustradach mogą znajdować się wejścia, które powinny być odpowiednio zabezpieczone przed przypadkowym ich otwarciem podczas pracy urządzenia.

## 2. Model symulacyjny

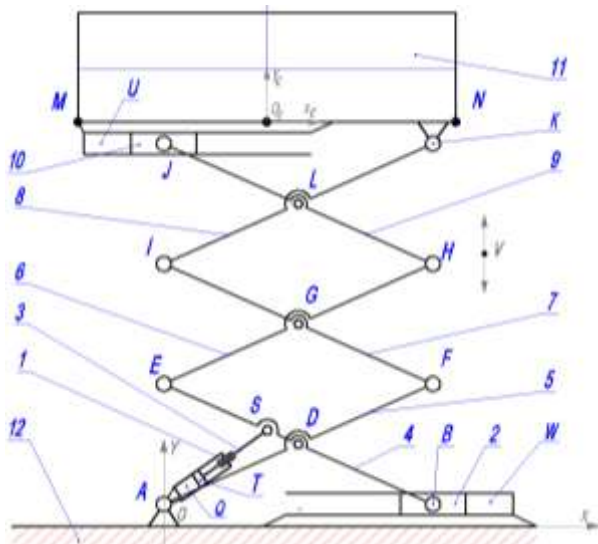
Struktura układu nożycowego podnośnika samochodowego przedstawiona na rys. 5 przedstawia jego możliwości ruchowe. Ruchy dla poszczególnych elementów mechanizmu nożycowego są nadawane przez siłownik hydrauliczny, przekazujący energię kinetyczną ruchomym członom za pomocą zespołów przekazywania ruchów. Struktura układu mechanicznego nożycowego jest schematem mechanicznym, wirtualnego podnośnika.

Podstawowymi parametrami tego podnośnika są:

- ciężar podnoszenia max. – 5000 N;
- wysokość całkowita podnoszenia platformy od ramy – 5,5 m;
- szerokość platformy – 1,5 m;
- długość platformy – 2,5 m;
- szerokość ramy podstawy – 2 m;
- długość ramy podstawy – 3 m;
- czas podnoszenia/opuszczania – 16 s/16 s;
- prędkość wysuwu siłownika – 26 mm/s.

Ruchliwość teoretyczną podnośnika nożycowego, zgodnie z uproszczonym schematem kinematycznym przedstawionym na rys. 5, można rozpatrywać w układzie płaskim. W rzeczywistości podnośnik nożycowy jest układem

przestrzennym 3D zawierającym dwa równoległe mechanizmy nożycowe oraz siłownik (para kinematyczna tłok  $T$  – cylinder  $Q$ ). Układ ten pokazuje funkcjonalność takich urządzeń.



Rys. 5. Schemat kinematyczny podnośnika nożycowego (wariant 1). Źródło: Opracowanie własne

W celu uzyskania możliwości podnoszenia (ludzi oraz oprzyrządowania niezbędnego do pracy na wysokości), kosz 11 powinien być prowadzony w kierunku pionowym. Położenie kosza 11 uzyskuje się przez zapewnienie ściśle określonego położenia kąтового siłownika hydraulicznego 1. Przesuw siłownika hydraulicznego 1 wymusza ruch obrotowy ramion. Układ taki pracuje, stąd można przypisać mu ruchliwość rzeczywistą  $W_r=1$ .

Ruchliwość teoretyczną można obliczyć ze wzoru Grublera-Artobolewskiego [7], które wiąże w formułę matematyczną ruchliwość teoretyczną  $W_T$  liczby członów ruchomych  $k$  oraz par kinematycznych  $p_i$   $i$ -tej klasy. Ruchliwość teoretyczna  $W_T$  wynika z faktu, że jest ona wyznaczana wyłącznie na podstawie parametrów strukturalnych układów kinematycznych, tj. liczby członów i par kinematycznych poszczególnych klas. Zależności te dla układów płaskich mają następującą postać (1):

$$w_T = 3 \cdot k - 2 \cdot p_1 - p_2 \quad (1)$$

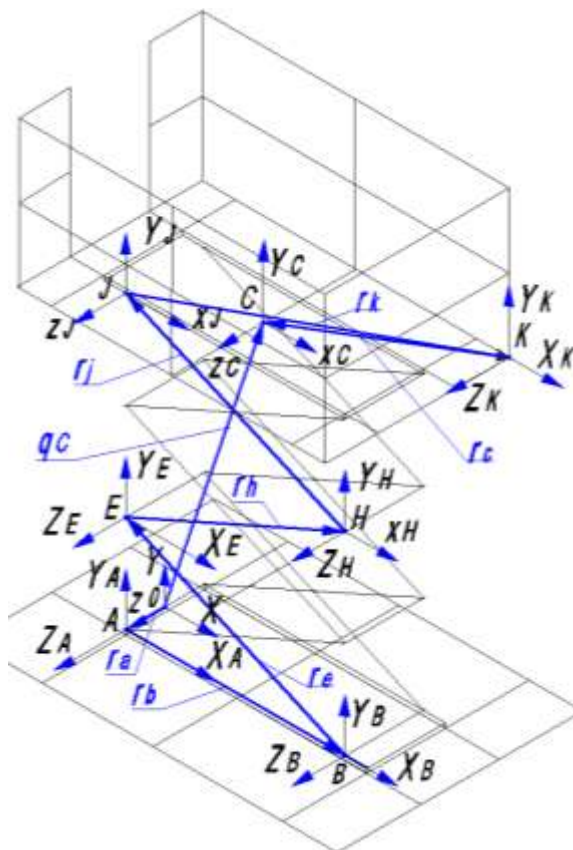
Z analizy układu kinematycznego, zawierającego tylko mechanizm nożycowy (bez siłownika 1 - rys. 5) wynika, że:

- liczba członów ruchomych  $k = 9$  – człony 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 (każdy swobodny człon ma na płaszczyźnie 3 stopnie swobody);
- wszystkie połączenia członów (A, B, D, E, F, G, H, I, J, K, L – pary obrotowe; W, U – pary postępowe) są parami kinematycznymi I klasy, więc  $p_1 = 13$ ;
- pary II klasy nie występują, więc  $p_2 = 0$ .

Z zależności (1) wynika, że ruchliwość  $W_T = W_r = 1$ .

W rozpatrzonym przykładzie, na podstawie zależności (1), stwierdzono, że ruchliwość teoretyczna  $W_T = W_r = 1$  odpowiada stanowi rzeczywistemu. Jednakże zapewnienie poprawnej pracy mechanizmu nożycowego będzie jednak zależało od istotnych wymiarów poszczególnych elementów mechanizmu i ich dokładności z uwzględnieniem jego przestrzennej konfiguracji.

Analizę ruchu podnośnika nożycowego przeprowadzono na podstawie schematu kinematycznego przedstawionego na rys. 6. Model mechanizmu jest pokazany w postaci krawędziowego szkicu przestrzennego 3D.



Rys. 6. Model szkieletowy 3D mechanizmu podnośnika nożycowego. Źródło: Opracowanie własne

W absolutnym układzie współrzędnych wektor położenia środka ciężkości kosza  $q_c$ , obliczymy ze wzoru (2):

$$\vec{q}_c = \vec{r}_a + \vec{r}_b + \vec{r}_e + \vec{r}_h + \vec{r}_j + \vec{r}_k + \vec{r}_c \quad (2)$$

gdzie: wektory  $\vec{q}_c, \vec{r}_a, \vec{r}_b, \vec{r}_e, \vec{r}_h, \vec{r}_j, \vec{r}_k, \vec{r}_c$  są opisane

w następujących układach współrzędnych:

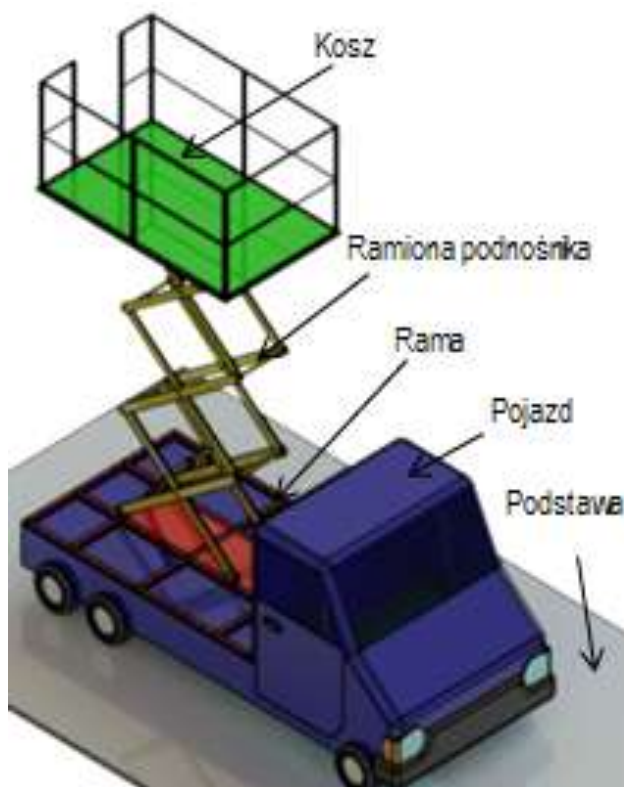
OXYZ – absolutny układ współrzędnych;  
 $O_A X_A Y_A Z_A, O_B X_B Y_B Z_B, O_E X_E Y_E Z_E, O_H X_H Y_H Z_H, O_J X_J Y_J Z_J, O_K X_K Y_K Z_K, O_C X_C Y_C Z_C$  – lokalne układy współrzędnych, których początki znajdują się w punktach A, B, E, H, J, K, C.

W lokalnym układzie współrzędnych kosza  $O_K X_K Y_K Z_K$ , z wykorzystaniem narzędzi właściwości masy w programie SolidWorks, określono położenie środka ciężkości punktu C. Punkt ten posiada następujące współrzędne:  $X_c = 1,34 \text{ m}$ ;  $Y_c = 0,17 \text{ m}$ ;  $Z_c = -0,74 \text{ m}$ . Z kolei wektor  $q_c$  położenia tego punktu  $C(X_c, Y_c, Z_c)$  w absolutnym układzie współrzędnych, według wzoru (3):

$$\bar{q}_C = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,46 \\ 3,56 \\ 0,27 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1,34 \\ 0,17 \\ -0,74 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,12 \\ 3,39 \\ 1,01 \end{bmatrix} \text{ [m]} \quad (3)$$

### 3. Model podnośnika nożycowego

Zaprojektowana konstrukcja podnośnika nożycowego (rys. 7-8) służy do podnoszenia pracowników oraz niezbędnego osprzętu do pracy na zadanych wysokościach. Konstrukcja ta posiada ruchomy kosz, przemieszczający się pionowo, który jest napędzany siłownikiem hydraulicznym poprzez ramiona mechanizmu nożycowego.



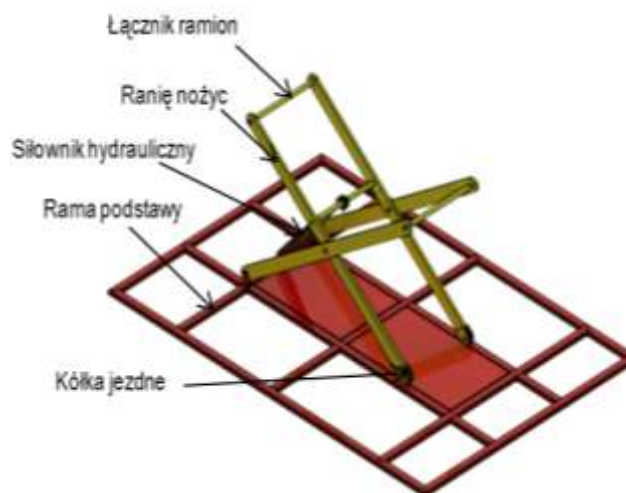
Rys. 7. Model bryłowy samochodowego podnośnika nożycowego. Źródło: Opracowanie własne

### 4. Analiza kinematyczna

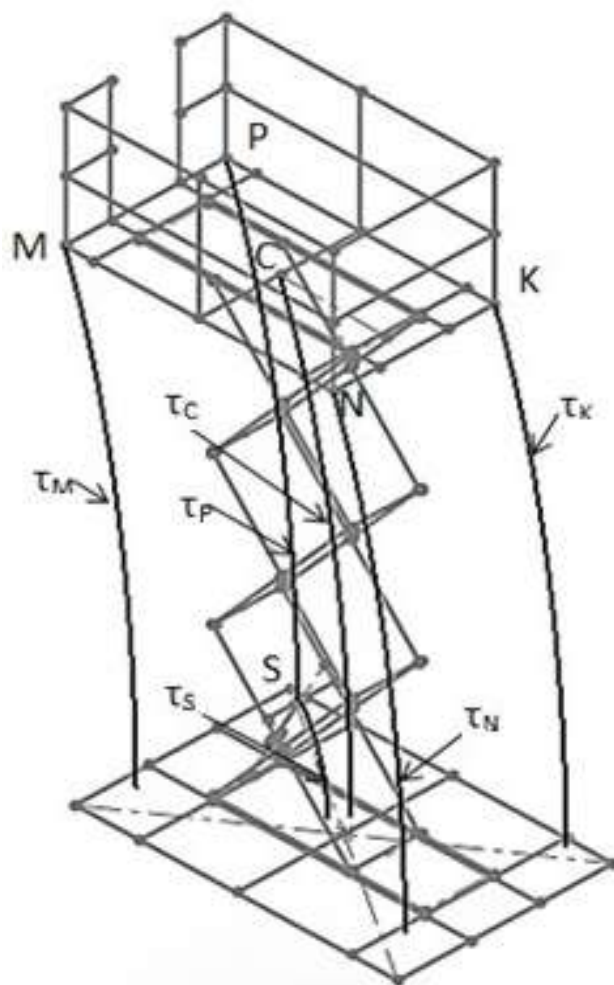
Zastosowanie opracowanego modelu kinematycznego pozwoliło na znalezienie położenia charakterystycznych punktów członów układu podnośnika. Położeń tych punktów poszukuje się na ich trajektoriach wynikających z więzów narzuconych przez poszczególne człony i pary kinetyczne.

Na rys. 9 przedstawiono układ podnośnika z trajektoriami  $\tau_S, \tau_C, \tau_M, \tau_N, \tau_K, \tau_P$  zakreślonymi przez punkty S, C, M, N, K, P. Trajektorie te zakreślają powierzchnię określającą przestrzeń roboczą podnośnika nożycowego. Analizę ruchu przeprowadzono dla stałej prędkości siłownika  $v_S = 26$  [mm/s].

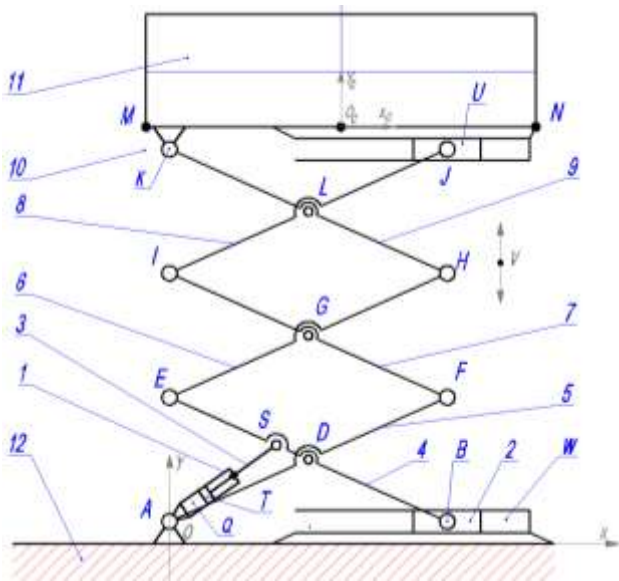
Na podstawie analizy trajektorii zakreślonych przez punkty K, M, N, P (rys. 5), aby zapewnić prostoliniowy ruch kosza, zmieniono budowę mechanizmu nożycowego. Schemat zmodyfikowanej konstrukcji pokazano na rys. 10.



Rys. 8. Model bryłowy mechanizmu siłownika Źródło: Opracowanie własne

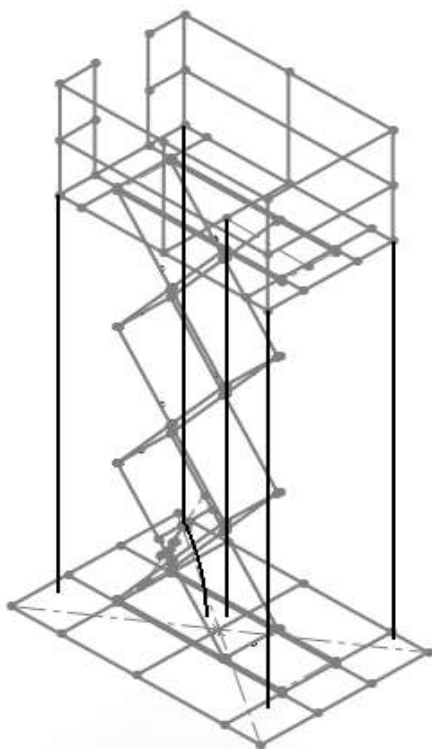


Rys. 9. Trajektorie wybranych punktów charakterystycznych podnośnika nożycowego (wariant 1). Źródło: Opracowanie własne



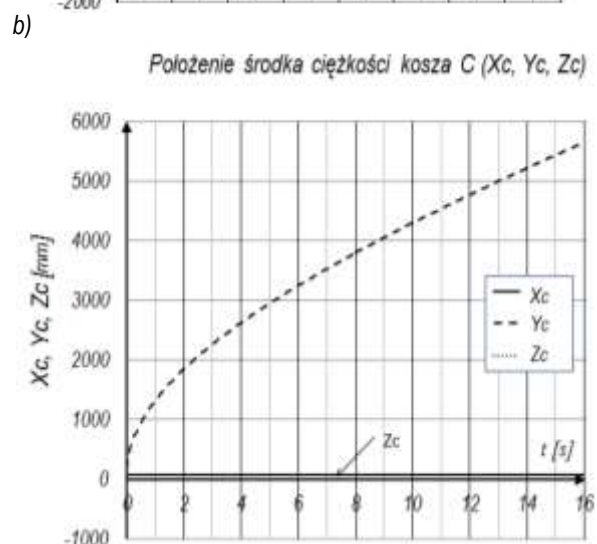
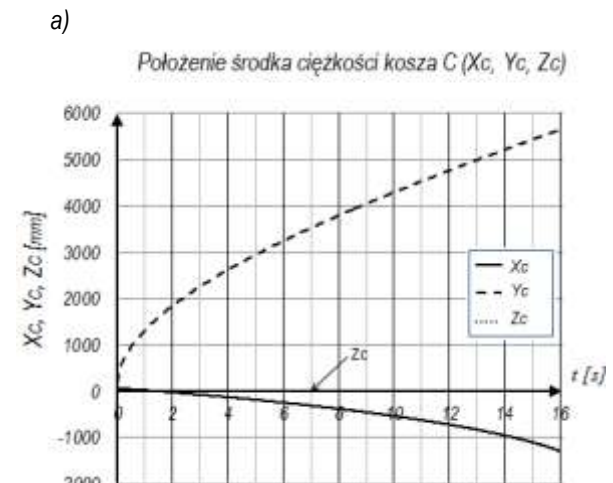
Rys. 10. Schemat kinematyczny podnośnika nożycowego (wariant 2). Źródło: Opracowanie własne

Trajektorie zakreślone przez punkty K, M, N, P pokazano na rys. 11.



Rys. 11. Trajektorie wybranych punktów charakterystycznych podnośnika (wariant 2)  
Źródło: Opracowanie własne

Zmianę wartości położenia środka ciężkości C kosza, w absolutnym układzie współrzędnych, w funkcji czasu  $t$ , przedstawiono na rys. 12. Z poniższego wykresu wynika, że największe przemieszczenie punktu C występuje w kierunku pionowym wzdłuż osi Y.



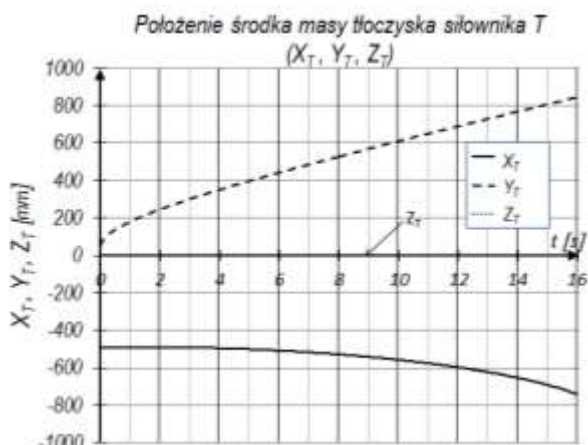
Rys. 12. Położenie środka ciężkości kosza w absolutnym układzie współrzędnych OXYZ, dla: a) 1-szego wariantu (rys. 5), b) 2-giego wariantu (rys. 10). Źródło: Opracowanie własne

Na kolejnych wykresach pokazano zmianę położenia środka ciężkości masy tłoczyska T (rys. 13) oraz środka ciężkości siłownika S (rys. 14).

Wyniki analiz mogą być przydatne do określenia optymalnej konstrukcji mechanizmu podnoszenia podnośnika nożycowego. Szczególne znaczenie posiada rozmieszczenie punktów węzłowych A i S. Odległość pomiędzy tymi punktami wpływa na wymiary gabarytowe siłownika oraz wysokość podnoszenia. Z kolei minimalny kąt pochylenia  $\varphi$  osi siłownika w pozycji startowej w stosunku do osi X musi być większy od wartości  $\varphi_{min}$ . Zbyt duże pochylenie osi siłownika w pozycji startowej może spowodować problemy z jego uruchomieniem ze względu na nadmierne opory ruchu.

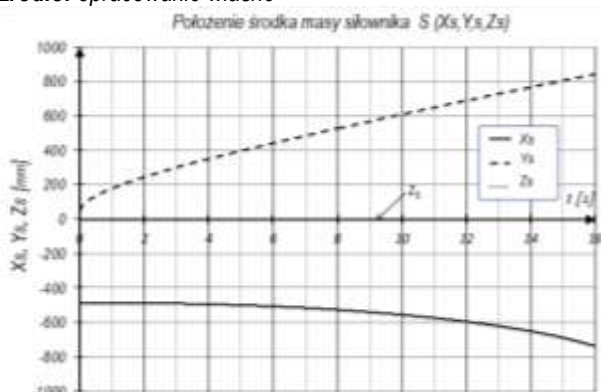
Znając wielkości opisujące konfigurację układu kinematycznego, można przystąpić do opisu ruchu w zakresie

prędkości i przyspieszeń, które definiujemy jako kolejne pochodne przemieszczenia względem czasu. Do wyznaczenia prędkości i przyspieszeń wykorzystuje się współrzędne wektorowe, liczby zespolone, współrzędne absolutne i inne. W prezentowanym artykule parametry te wyznaczono na podstawie obliczeń numerycznych w programie *SolidWorks Motion* [3]. Na rys. 15 pokazano zmianę prędkości środka ciężkości masy kosza  $v_C$ .



**Rys. 13.** Położenie środka masy tłoczyska siłownika T w absolutnym układzie współrzędnych XYZ.

**Źródło:** opracowanie własne



**Rys. 14.** Położenie środka masy siłownika S w absolutnym układzie współrzędnych XYZ

**Źródło:** Opracowanie własne

Pokazane wyniki badań symulacyjnych na rys. 9, 11-15 zawierają ilustrację tylko wybranych czynników wpływających na pracę mechanizmu nożycowego podnośnika samochodowego.

## 5. Podsumowanie

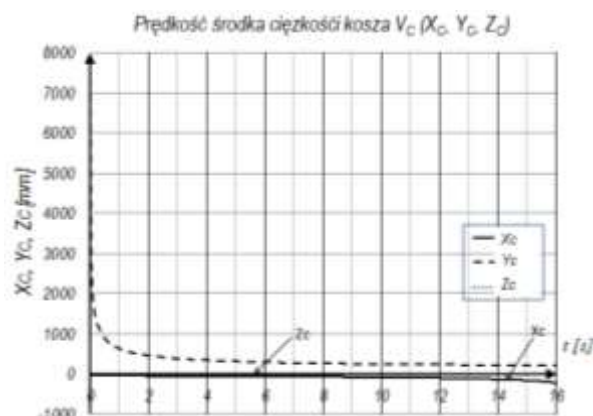
Zaproponowana metodyka projektowania wirtualnych przestrzennych mechanizmów maszyn z wykorzystaniem systemów CAD/CAE stanowi jeden z ważniejszych etapów

w procesie projektowania, a następnie wykonania modelu fizycznego takich mechanizmów.

Na podstawie analizy strukturalnego schematu kinematycznego samochodowego podnośnika nożycowego do transportu pracowników i osprzętu do pracy na wysokości stwierdzono, że zapewnienie poprawnej pracy mechanizmu nożycowego będzie zależało od istotnych wymiarów poszczególnych elementów mechanizmu i ich dokładności.

Otrzymane wyniki analizy kolizji w ruchu i badań symulacyjnych wskazują, że konstrukcja działa poprawnie.

Wyniki analiz kinematycznych można wykorzystać do optymalizacji konstrukcji mechanizmu podnośnika samochodowego.



**Rys. 15.** Prędkość środka ciężkości kosza w absolutnym układzie współrzędnych OXYZ. **Źródło:** Opracowanie własne

Pokazane wyniki badań symulacyjnych na rys. 9, 11-15 zawierają ilustrację tylko wybranych czynników wpływających na pracę mechanizmu nożycowego podnośnika samochodowego.

## Bibliografia

1. Budniak Z., Bil T.: *Simulation of the movement of four-bar spatial linkage*. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2012, vol.17, No.4, pp.723-732.
2. Budniak Z., *Modelowanie przestrzennych łańcuchów wymiarowych układów montażowych z zastosowaniem technik CAD/CAE*. Pomiary Automatyka Kontrola, 2013, vol. 59, s. 652-655.
3. Kuang-Hua Chang: *Motion Simulation and Mechanism Design with SolidWorks Motion 2011*. Schroff Development Corporation, p. 1-19.
4. <http://www.abro-podnosniki.pl/sprzet.html>
5. [http://www.sosnowski.pl/home/oferta-handlowa/podnosniki-nozycowe/224\\_Effemme\\_Energ](http://www.sosnowski.pl/home/oferta-handlowa/podnosniki-nozycowe/224_Effemme_Energ)
6. <http://maszyny.hiperogloszenia.pl/maszyny-budowlane/ogloszenie/97890-elektryczny-podnosnik-nozycowy-sky-jack-sj-iii-4626-oferta/>
7. Gronowicz A.: *Podstawy układów kinematycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

## Using the techniques of CAD/CAE in designing and analyzing of scissor car jacks

### Abstract

*This article presents the possibilities of using computer technology of CAD / CAE for modeling and analysis motion of the scissor car jacks. Developed a simulation model that contains skeletal model of jack, allows you to present simulation of the scissor mechanism during the performance of composite work cycle. The results of this analysis were used to develop of the virtual model of the jacks structure.*

**Key words:** scissor car jacks, motion analysis, parametric modeling, CAD/CAE system.

### Autorzy:

**Jan Jereczek**, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

Dr inż. **Zbigniew Budniak**, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

Dr inż. **Andrzej Karaczun**, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej