

Zbigniew BUDNIAK

## WYBRANE ZAGADNIENIA KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA PLATFORMY DO TRANSPORTU BLISKIEGO CIĘŻKICH ELEMENTÓW SAMOCHODOWYCH

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono metodę tworzenia i badania wirtualnych modeli mechanizmów maszyn na przykładzie wózka do podnoszenia i transportu ciężkich podzespołów pojazdów samochodowych. Na podstawie opracowanego modelu kinematycznego konstrukcji przeanalizowano jego ruchliwość. Bazując na strukturalnym schemacie kinematycznym opracowano wirtualny model mechanizmu, który poddano badaniom symulacyjnym, stosując metodę elementów skończonych MES.*

### WSTĘP

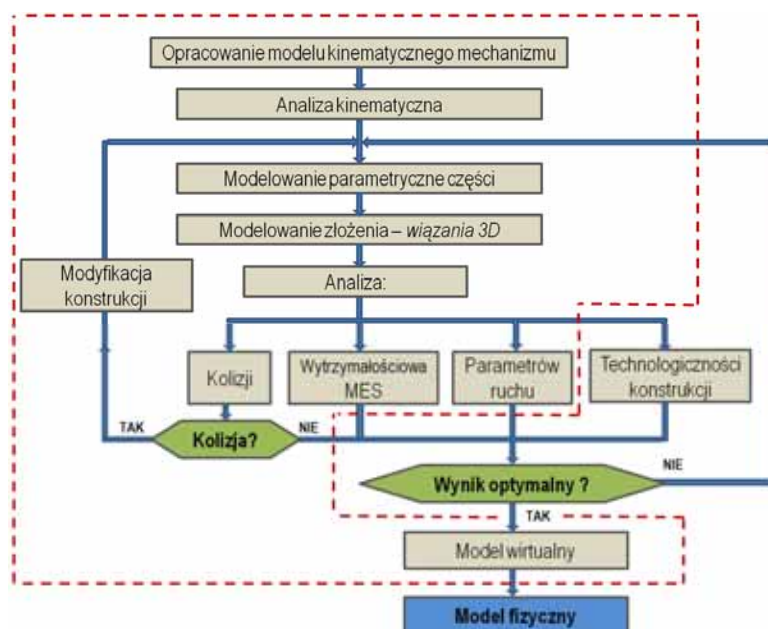
Opracowanie konstrukcji modelu fizycznego wymaga przeprowadzenia wielu prac projektowo-konstrukcyjnych i wymusza opracowanie metodologii prowadzenia tych prac. Prezentowana metoda tworzenia i badania konstrukcji mechanizmów wykorzystuje nowoczesne systemy do komputerowego wspomaganie projektowania *CAD* i obliczeń inżynierskich *CAE*. Na obecnym etapie rozwoju techniki komputerowej programy *CAD* pozwalają radykalnie przyspieszyć każdy niemal etap procesu projektowania, pozostawiając do dyspozycji konstruktora wielorakie narzędzia już w fazie koncepcji, poprzez modelowanie konstrukcji, analizę, wykonanie i kontrolę jakości wyrobu.

Schemat blokowy zastosowanej metodyki przedstawiono na rys. 1. Podstawowymi elementami realizowanej metody są:

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

Do modelowania i analiz wykorzystano system *CAD* – *SolidWorks* [2], zintegrowany z modułem *SolidWorks Motion* (analizy kinematyczne) i *SolidWorks Simulation* (obliczenia wytrzymałościowe metodą elementów skończonych *MES*).

Zakres badań prezentowanych w artykule oznaczono na rysunku 1 linią przerywaną. Istotnym punktem prezentowanej pracy było opracowanie modelu wirtualnego konstrukcji na podstawie strukturalnego schematu kinematycznego mechanizmu, sprawdzenie poprawności modeli parametrycznych części i złożenia, przeprowadzenie analizy kolizji elementów mechanizmu w ruchu oraz wykonanie obliczeń wytrzymałościowych *MES*.

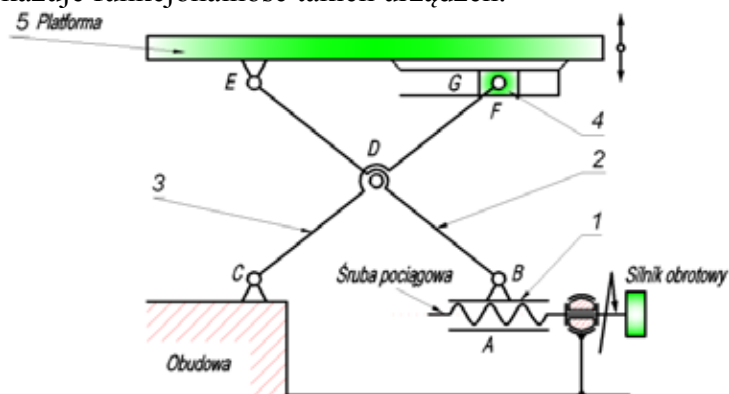


**Rys. 1.** Schemat blokowy komputerowego wspomaganie projektowania mechanizmów maszyn

Źródło: Opracowanie własne

## 1. MODEL KINEMATYCZNY PLATFORMY

Ruchliwość teoretyczną platformy do transportu bliskiego, zgodnie ze schematem kinematycznym przedstawionym na rys. 2, należy rozpatrywać w płaskim układzie kinematycznym. Układ ten pokazuje funkcjonalność takich urządzeń.



**Rys. 2.** Schemat kinematyczny platformy do transportu bliskiego

Źródło: Opracowanie własne

Aby można było uzyskać możliwość podnoszenia i transportu ciężkich podzespołów pojazdów samochodowych (silników, skrzyni biegów, itp.), platforma 5 powinna być prowadzona w kierunku pionowym. Położenie platformy 5 uzyskuje się przez zapewnienie ściśle określonego położenia kąтового śruby pociągowej. W praktyce można to zrealizować za pomocą silnika obrotowego. Z założenia obrót śruby powinien wymusić ruch postępowy karetki 1. Układ taki (wzięty z praktyki) pracuje, stąd można mu przypisać ruchliwość rzeczywistą  $W_{rz} = 1$ .

Ruchliwość teoretyczną można obliczyć z wzoru *Grublera-Artobolewskiego* [1], który wiąże w formułę matematyczną ruchliwość teoretyczną  $W_T$  liczby członów ruchomych  $k$  oraz par kinematycznych  $p_i$   $i$ -tej klasy. Ruchliwość teoretyczna 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 (rys. 2) wynika, że:

- liczba członów ruchomych  $k = 5$  – człony 1, 2, 3, 4, 5 (każdy swobodny człon ma na płaszczyźnie 3 stopnie swobody),
- wszystkie połączenia członów (A – para śrubowa; B, C, D, E, F – pary obrotowe, G – para postępową) są parami kinematycznymi I klasy, więc  $p_1 = 7$ ;
- pary II klasy nie występują, więc  $p_2 = 0$ ;
- z zależności (1) wynika że, ruchliwość  $W_T = W_{rz} = 1$ .

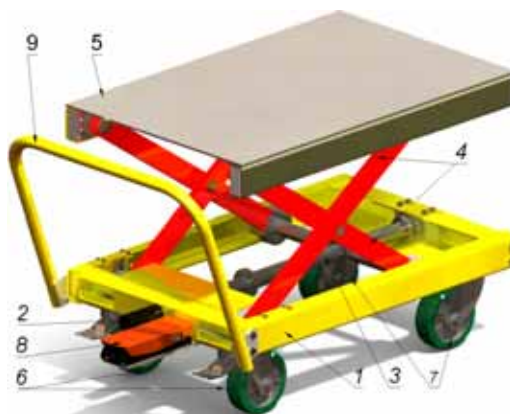
W rozpatrzonym przykładzie stwierdzono, że ruchliwość teoretyczna  $W_T$  odpowiada stanowi rzeczywistości, który można opisywać ruchliwością rzeczywistą  $W_{rz}$ . Spełnienie tego warunku ma bardzo istotny aspekt techniczny i ekonomiczny, tj.: układ nie jest przesztyniony, wytypowane człony do realizacji ruchu są możliwe do zmontowania. Natomiast zapewnienie poprawnej pracy mechanizmu będzie zależało od istotnych wymiarów poszczególnych elementów mechanizmu i ich dokładności.

## 2. PROTOTYP WIRTUALNY WÓZKA PODNOŚNIKOWEGO

Urządzenia transportu bliskiego tworzą dźwignice, przenośniki i wózki transportowe. Dwie pierwsze grupy mają dość ograniczony zakres działania, co znacznie zawęża możliwości ich wykorzystania. Wózki transportowe to najbardziej użyteczna grupa, która dzięki swoim zaletom znajduje zastosowanie w każdej dziedzinie i w każdym miejscu gdzie występuje potrzeba przemieszczania ładunków. Wózki tego typu wyposażone są w urządzenia podnoszące, które umożliwiają unoszenie oraz przewożenie w praktycznie każde miejsce jednostek ładunkowych. W praktyce występuje wiele rodzajów tych urządzeń, zaczynając od małych ręcznych, poprzez elektryczne a kończąc na dużych wózkach spalinowych podnoszących ładunki o dużych ciężarach.

Zaprezentowana konstrukcja wózka podnośnikowego (rys. 3) służy do transportu i podnoszenia ładunków głównie w pomieszczeniach warsztatów samochodowych. Ma ona ruchomą platformę 5 napędzaną silnikiem obrotowym 2, uruchamianym za pomocą nożnej pompy pneumatycznej 8 podłączonej do przemysłowej sieci sprężonego powietrza. Silnik uruchamia śrubę pociągową 3, która z kolei napędza jednonożycowy mechanizm podnoszenia stołu 4.

Po wykonaniu parametrycznych modeli elementów, przystąpiono do składania mechanizmu. W celu uproszczenia złożenia samego mechanizmu podzielono konstrukcję na podzespoły, zgodnie ze schematem kinematycznym (rys. 2). Każdy podzespół mechanizmu zamontowano w środowisku *Assembly* jako złożenie. Składanie modelu wózka z uwzględnieniem kinematyki rozpoczęto od umieszczenia podwozia 1. Dalej poprzez nadawanie wiązań 3D wstawiono mechanizm podnoszenia stołu (śruba pociągowa 2 wraz z zespołem nożyc 4), do którego przytwierdzono podzespół platformy 5. Następnie do podwozia wstawiono silnik pneumatyczny 2 napędzający śrubę pociągową 3, zespół kół przednich 6 (kierowanych) i tylnych 7 (niekierowanych), hamulec nożny 8 oraz rączkę 9.



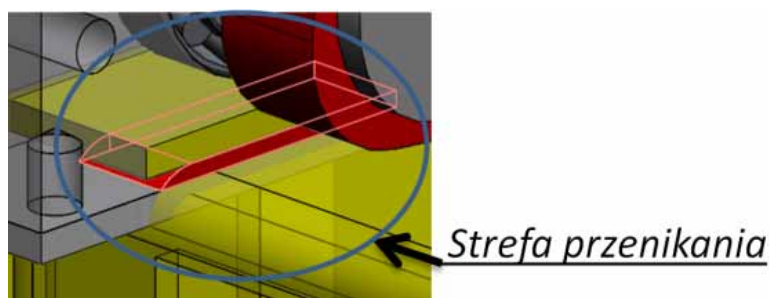
**Rys. 3.** Model bryłowy wózka podnośnikowego

Źródło: Opracowanie własne

### 3. ANALIZA KINEMATYCZNA

Otrzymane złożenie poddano analizie kinematycznej. Cały jej proces można podzielić na trzy etapy: zdefiniowanie modelu ruchu (rys. 2), symulacja i sprawdzenie kolizji, animacja. Na etapie definiowania wirtualnego modelu prototypu mechanizmu zdefiniowano wszystkie więzy kinematyczne, których istnienie i rodzaj wpływają na poruszanie się mechanizmu. Na ogół pary kinematyczne decydujące o sposobie poruszania się mechanizmu można określić poprzez transformację więzów 3D definiowanych podczas składania mechanizmu w zespół. W ramach działań na tym etapie pozostaje jeszcze wskazanie, które pary kinematyczne są napędowe, a które poruszają się biernie. Kończy to fazę zdefiniowania modelu ruchu.

Program *SolidWorks* daje możliwość wykrywania kolizji podczas symulowania modelu mechanizmu, analizując klatka po klatce wykonaną wcześniej symulację, wskazując przy tym te klatki, w których elementy współpracujące w złożeniu wzajemnie przecinają się, co jest równoznaczne w obiekcie rzeczywistym z kolizją. Ta funkcja pozwala konstruktorowi na modyfikacje modelu bryłowego już w fazie projektowania. Możliwość badania i wykrywania sytuacji kolizyjnych została wykorzystana do modelowania konstrukcji w kolejnych etapach projektowania. Na rys. 4 przedstawiono wzajemne przenikanie platformy z podwoziem.



**Rys. 4.** Graficzna prezentacja stanu kolizji

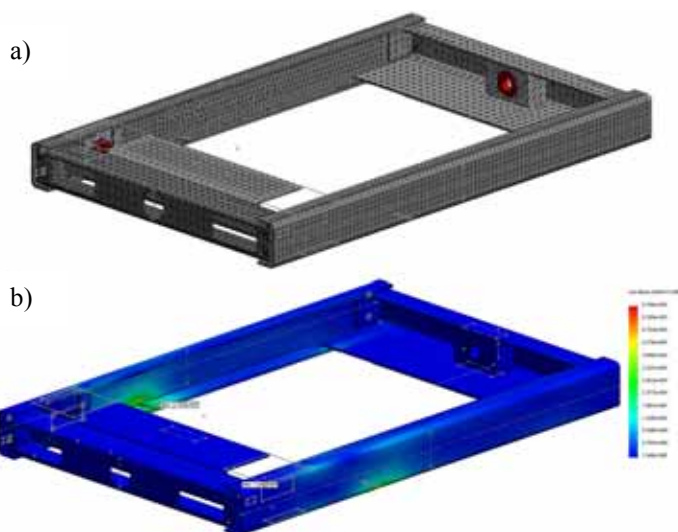
Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzona analiza kinematyczna wózka podnośnikowego dla wybranych konfiguracji i zakresów ruchu pozwoliła wykryć błędy powstałe na etapie modelowania parametrycznego części i złożenia. Bez tego rodzaju weryfikacji takie błędy są często niemożliwe do wykrycia bez żmudnego analizowania geometrii poszczególnych brył. Wykryto również kilka niewłaściwie wprowadzonych więzów podczas składania mechanizmu w jednolity zespół. Po wprowadzonych poprawkach, ponowna analiza kinematyczna nie wykazała już żadnych kolizji i błędów złożenia.

## 4. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA

Wytrzymałościową analizę numeryczną przeprowadzono metodą elementów skończonych *MES*, wykorzystując moduł *CAE – SolidWorks Simulation*, zintegrowany z programem *SolidWorks*. Wybór tego oprogramowania pozwala na: wykorzystanie komputerowej bazy danych właściwości fizycznych materiałów konstrukcyjnych, zdefiniowanie warunków brzegowych badań symulacyjnych, dyskretyzację obszaru analizy, utworzenie raportów analizy i ich wizualizację.

Przeprowadzone statyczne badania wytrzymałościowe miały na celu sprawdzenie czy konstrukcja przeniesie obciążenie pionowe wynoszące 2500 N i nie ulegnie zniszczeniu podczas eksploatacji. Na potrzeby analizy zbudowano odpowiednie modele dyskretne dla poszczególnych podzespołów wózka podnośnikowego. Na rys. 5a przedstawiono przykładowy model dyskretny podwozia konstrukcji, zaś na rys. 5b wyniki analizy w postaci naprężeń zredukowanych wg hipotezy *Hubera-Mises'a*.



**Rys. 5.** Model podwozia wózka podnośnikowego, gdzie: a) model dyskretny, b) mapa naprężeń zredukowanych wg hipotezy *Hubera-Mises'a*

Źródło: Opracowanie własne

Analizując wyniki badań symulacyjnych, oraz porównując wartości naprężeń z wartościami granicznymi, można stwierdzić, że zaproponowana konstrukcja jest dostatecznie wytrzymała.

## PODSUMOWANIE

Przedstawiona w pracy metodyka projektowania, począwszy od opracowania strukturalnego schematu kinematycznego, poprzez parametryczne modelowanie konstrukcji oraz obliczenia i analizy inżynierskie może być wykorzystana do efektywnego projektowania konstrukcji wózków podnośnikowych.

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 wózka podnośnikowego do transportu i podnoszenia ciężkich części samochodowych stwierdzono, że ruchliwość teoretyczna mechanizmu  $W_T$  odpowiada ruchliwości rzeczywistej. Spełnienie tego warunku ma bardzo istotny aspekt techniczny i ekonomiczny.

Otrzymane wyniki analiz kolizji w ruchu i badań symulacyjnych wskazują, że konstrukcja działa poprawnie i są spełnione warunki wytrzymałościowe.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Gronowicz A.: *Podstawy układów kinematycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.
2. Instrukcja obsługi programu *SolidWorks*.

# **SELECTED ISSUES COMPUTER-AIDED DESIGN PLATFORM HANDLING OF HEAVY VEHICLES**

### *Abstract*

*In this article method of creating and testing of virtual models of machines mechanism, on the example of fork-lift truck for lifting and transporting heavy sub – assembly for cars, was presented. Based on structural kinematic scheme virtual model of mechanism was elaborated and tested using finite element method FEM.*

### *Autor:*

dr inż. **Zbigniew Budniak** – Politechnika Koszalińska