

WIRTUALNE MODELOWANIE UKŁADÓW MECHANICZNYCH Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU *Working Model*

Grabski J., Strzałko J.

Technology of motion simulation used in the Working Model system is presented. Some models of laboratory stands used in practice in Division of Analytical Mechanics at the Technical University of Łódź are shown.

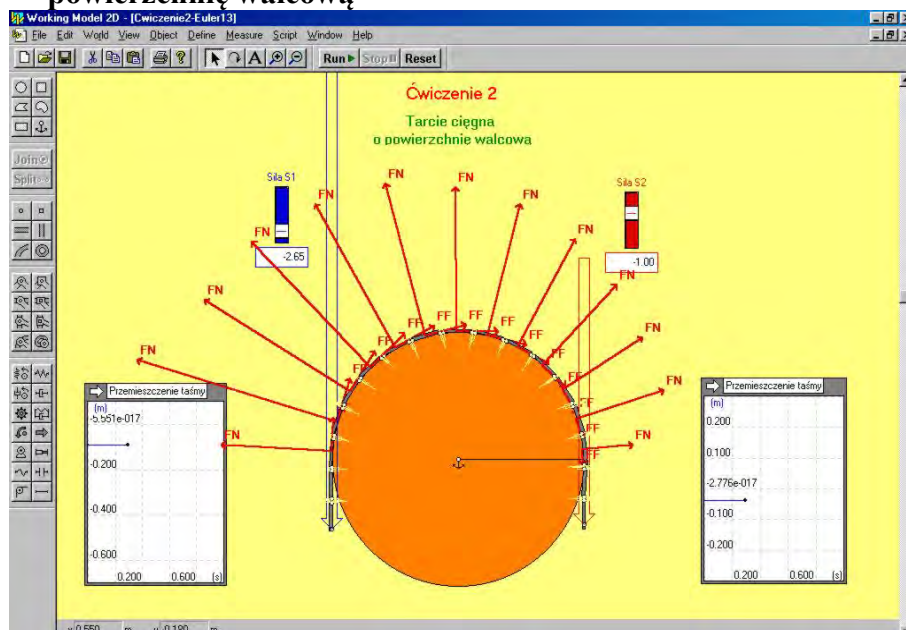
1. Wstęp

Rozwiązywanie zadań z mechaniki przy pomocy komputera jest obecnie koniecznością. Wpływa to na rozwój klasycznych metod mechaniki, ich adaptację do nowych potrzeb, a także na powstawanie nowych metod, stosowanych w licznych systemach komputerowo wspomaganą analizy układów mechanicznych. Istnieje bogate specjalistyczne oprogramowanie przeznaczone do analizy złożonych urządzeń i maszyn. Przykładami takich programów są: *ADAMS*, *DADS*, *Working Model*, *MSC.visualNastran 4D*. Analiza dynamiki układu przy użyciu takich systemów komputerowych polega na określeniu modelu badanego obiektu, działających nań obciążeń, oddziaływań otoczenia – w sposób właściwy dla danego systemu. Obliczenia wykonywane są w sposób zautomatyzowany, a wyniki przedstawiane są w formie graficznej (symulacja ruchu, wykresy wyznaczonych wielkości). Utworzony w ramach programu model urządzenia lub maszyny nazywany jest modelem wirtualnym.

System *Working Model* [1] służy do rozwiązywania i symulacji ruchu złożonych układów mechanicznych. Umożliwia zbudowanie modelu odpowiadającego analizowanemu rzeczywistemu układowi mechanicznemu, prowadzenie obliczeń i wizualizację wyników. Wykorzystywana w laboratorium mechaniki wersja programu pozwala na analizę układów, których ruch jest ograniczony do jednej płaszczyzny. (Kolejne wersje tego programu – *Working Model 3D* oraz *MSC.visualNastran 4D* – pozwalają na analizę przestrzennych ruchów ciał.)

Przedstawione dalej przykłady ilustrują możliwości wykorzystania systemu *Working Model* do analizy dynamiki układów, które są częścią stanowisk badawczych wykorzystywanych w ćwiczeniach laboratoryjnych prowadzonych w Zakładzie Mechaniki Analitycznej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej.

2. Model układu służącego do wyznaczania współczynnika tarcia taśmy opasującej powierzchnię walcową



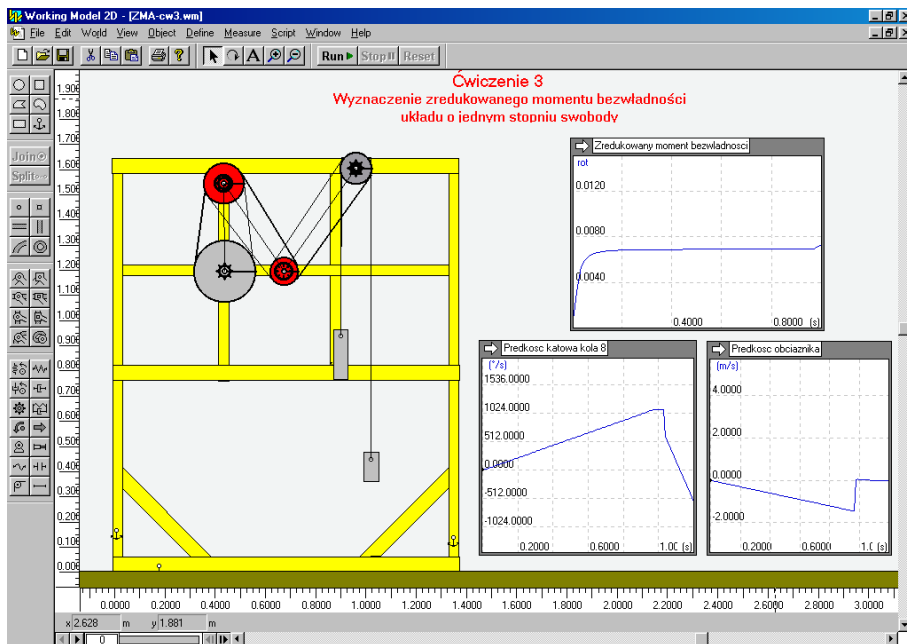
Rys. 1. Model taśmy złożony ze sztywnych brył połączonych elementami sprężystymi (widoczne są siły normalne i styczne działające na elementy taśmy)

Widok ekranu edytora systemu *Working Model* z widocznym na nim modelem układu jest przedstawiony na rys. 1. Wiotka taśma (układ ciągły) jest modelowana za pomocą szeregu sztywnych elementów połączonych elementami sprężysto-tłumiącymi. Końce taśmy są obciążone siłami *S1* i *S2*, których wartości mogą być zmieniane za pomocą suwaków. Rezultaty obliczeń są pokazane w formie sił stycznych i

normalnych, z jakimi ciało oddziałuje na taśmę. Wykresy przemieszczeń końców taśmy wskazują, czy dla zadanych obciążeń taśma jest w położeniu równowagi (przemieszczenia nie ulegają zmianie), czy też nastąpił poślizg taśmy.

3. Model układu służącego do wyznaczania zredukowanego momentu bezwładności

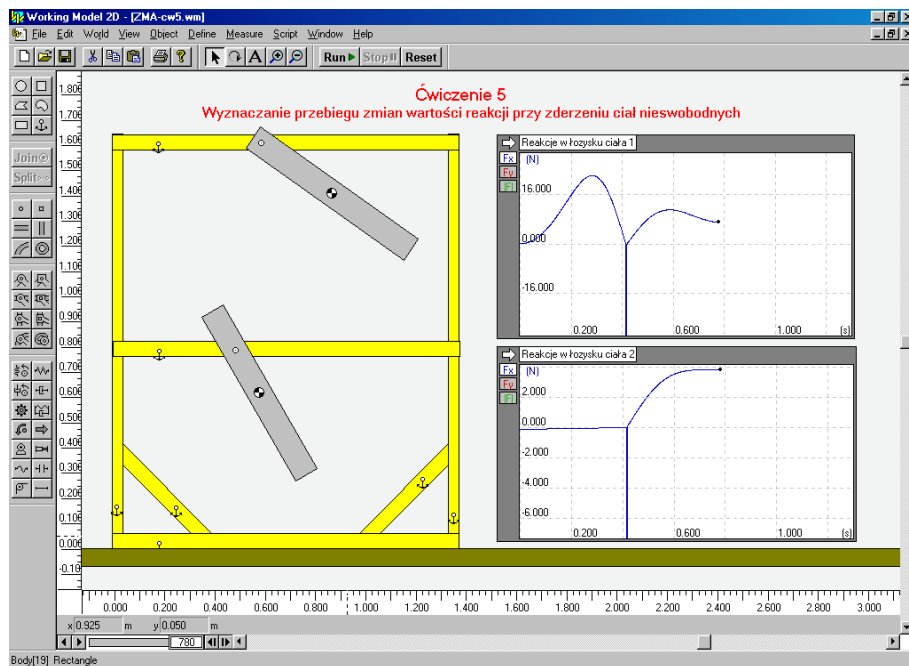
Widok ekranu edytora systemu *Working Model* z widocznym na nim modelem układu krążków jest przedstawiony na rys. 2. Używana w laboratorium wersja programu (*Working Model 2D-4.0.1*) nie pozwala na bezpośrednie modelowanie przekładni pasowej. Model przekładni pasowej można zbudować, wykorzystując możliwość tworzenia przekładni zębatych. Przełożenie przekładni pasowej oraz kierunki obrotu kół mogą



Rys. 2. Układ współpracujących krążków

4. Modelowanie zderzenia nieswobodnych ciał

Podczas badań przeprowadzanych w ćwiczeniu 4 określone są doświadczalnie masowe momenty bezwładności zderzających się ciał. Pomiar polega na pomiarze okresu wahań każdego z ciał. Symulację ruchu takiego wahadła można przeprowadzić w programie *Working Model*. Dzięki symulacji można sprawdzić, czy wyznaczony doświadczalnie masowy moment bezwładności ciała prowadzi do uzyskania ruchu ciała o takim samym okresie jak w doświadczeniu.



Rys. 3. Przebiegi sił reakcji działających na łożyska (przed, w trakcie i po zderzeniu ciał)

Teoretyczna analiza zjawisk zachodzących podczas zderzenia dwu ciał nieswobodnych jest przeprowadzona przy założeniu, że opory ruchu (tarcie w łożyskach, opór powietrza) nie wpływają na przebieg zjawiska. Korzystając z programu *Working Model*, można w prosty sposób przeprowadzić symulację zjawiska z uwzględnieniem takich oporów. Możliwe jest również wyznaczenie reakcji łożysk obciążających łożyska podczas zderzenia ciał.

Przebiegi reakcji łożysk zostaną pokazane na wykresie po wskazaniu punktu oznaczającego łożysko i wybraniu opcji **Force** z menu **Measure** (rys. 3).

5. Badanie stateczności położen równowagi

Położenie równowagi układu oraz jego stateczność bądź niestateczność, są określane na podstawie własności funkcji opisującej energię potencjalną rozpatrywanego modelu układu. Lokalne ekstrema tej funkcji wskazują położenia, w których równowaga jest stała (minimum energii) lub chwiejna (energia osiąga lokalnie największą wartość).

System *Working Model* umożliwia przeprowadzenie analizy stateczności w podobny sposób. Dla wirtualnego modelu układu można określić przebieg energii potencjalnej w funkcji kąta wychylenia układu (φ).

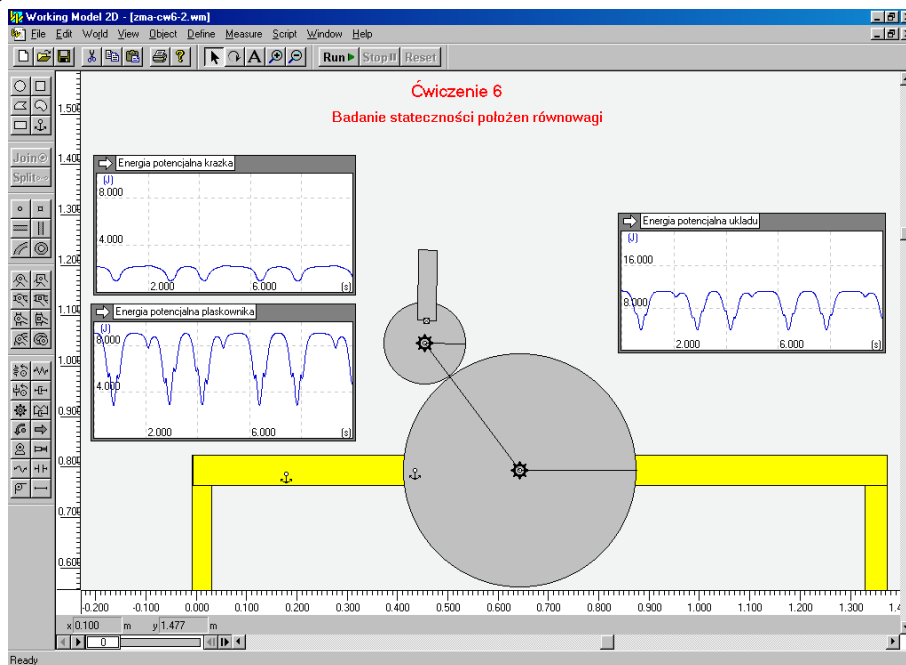
Widok ekranu edytora systemu *Working Model* z widocznym na nim modelem i przykładowymi rezultatami jest przedstawiony na rys. 4. Na wykresach pokazane są przebiegi zmian energii potencjalnej układu w funkcji czasu. Pokazana krzywa pozwala wskazać położenia równowagi niestatecznej i statecznej.

Wyznaczanie całkowitej energii potencjalnej układu

Użycie opcji „**Potential energy**” z menu „**Measure**” umożliwia otrzymanie przebiegu zmian energii potencjalnej dla wybranego ciała.

Żeby otrzymać tego rodzaju przebieg, należy – dla jednego z ciał – wybrać w menu **Measure** opcję **Gravity Potential**, a następnie zmodyfikować wyrażenie określające energię tego ciała – zastępując je wyrażeniem na energię kinetyczną całego układu. W ten sposób otrzymuje się przebieg energii potencjalnej w funkcji czasu.

Możliwe jest wygenerowanie wykresu energii potencjalnej w funkcji kąta obrotu jednego z ciał (koła ruchomego lub łącznika). W tym celu w oknie określającym własności wykresu (**Properties**) należy wpisać (w polu odciętej **x**) zamiast zmiennej **t** nową zmienną **Body[4].p.r** (oznaczającą kąt obrotu ciała 4) – przy założeniu, że energię potencjalną układu chcemy określić w funkcji kąta obrotu ciała 4.

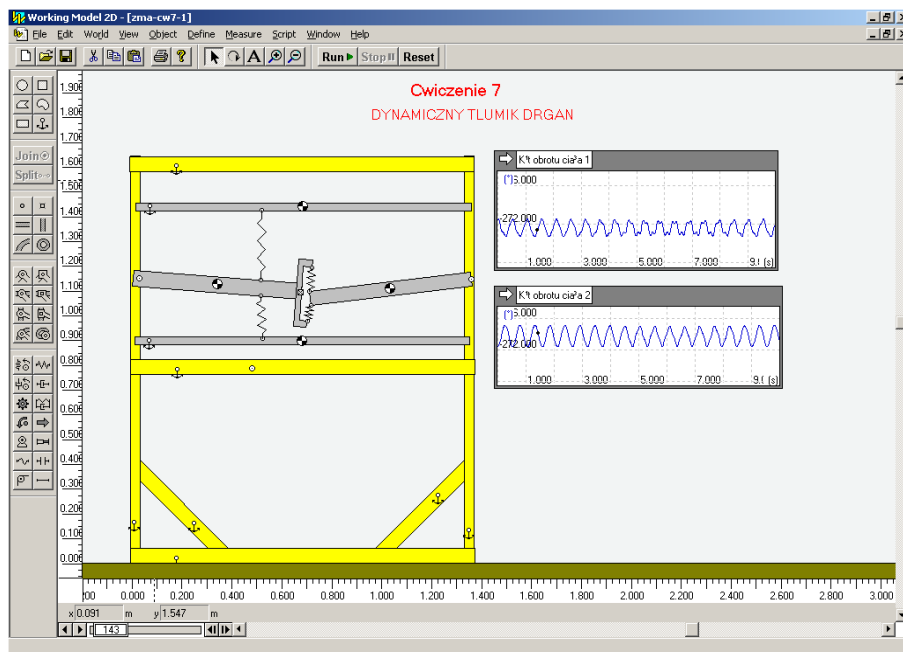


Rys. 4. Analizowany mechanizm i jego model wirtualny

6. Dynamiczny tłumik drgań

Badany układ drgający składa się z dwu ciał zamocowanych w taki sposób, że mogą one poruszać się ruchem obrotowym (o ograniczonym zakresie kąta obrotu). Ciała te połączone są ze sobą sprężynami. Drgania układu są wymuszane silnikiem zamocowanym do jednego z ciał, który

napędza tarczę o nierównomiernie rozmieszczonej masie. Model wirtualny stanowiska wykorzystywanego do badań w tym ćwiczeniu jest pokazany na rys. 5.



Rys. 5. Model układu drgającego o dwóch stopniach swobody

7. Podsumowanie

Uzupełnienie eksperymentów wykonywanych w czasie ćwiczeń laboratoryjnych z mechaniki o modelowanie i symulację komputerową badanych zjawisk pozwala na:

- zapoznanie studentów ze współczesnymi metodami numerycznej analizy układów mechanicznych,
- uzupełnienie teoretycznej analizy modelu badanego układu o wyniki obliczeń dla różnych wartości zadawanych parametrów,
- uwzględnienie w przeprowadzanych obliczeniach efektów wywołanych tarciem w łożyskach, oporem powietrza, tłumieniem, podatnością elementów itp.

LITERATURA

1. Working Model 2D. Version 4.0. User's Manual. Knowledge Revolution, 1996.
2. Strzałko J., Grabski J. Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki. Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej, 2006.