

Analiza kinematyczna i dynamiczna
mechanizmów za pomocą
MSC.visualNastran

Spis treści

- Omówienie programu MSC.visualNastran
- Analiza mechanizmu korbowo – wozikowego
- Analiza mechanizmu drgającego
- Analiza mechanizmu młotkowiartarki
 - Wnioski

MSC.visualNastran 4D

MSC.visualNastran 4D (nV4D) jest oprogramowaniem służącym do łączenia symulacji ruchu i obciążeń w jeden działający model. Pozwala na wykonanie zintegrowanych symulacji ruchów dynamicznych i obciążeń w jednym programie bez potrzeby użycia pośrednich plików lub łączenia się z innymi programami.

Za pomocą nV4D można prowadzić symulację ruchu zamodelowanej konstrukcji, zrozumieć warunki obciążenia dynamicznego, zakładać warunki brzegowe w analizie wytrzymałościowej w funkcji czasu i przedstawiać wyniki tej analizy.

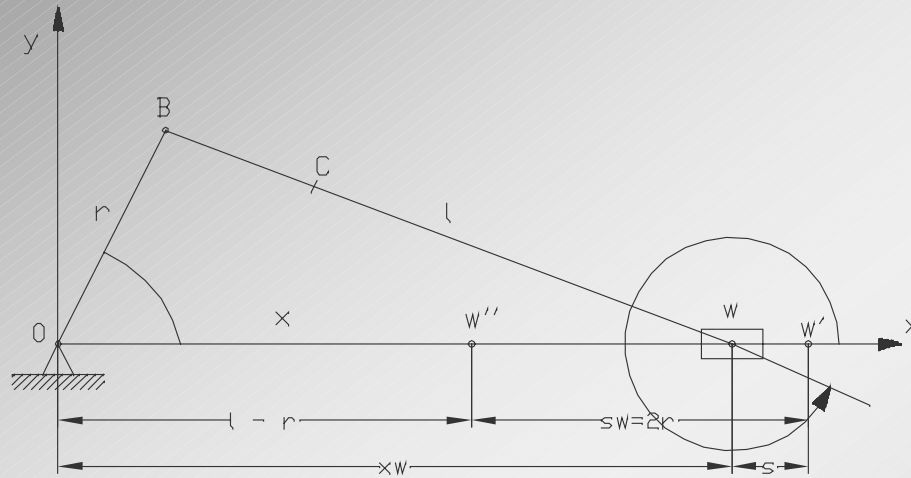
- **Ruch** – używając symulacji ruchu możemy konstruować proste modele ze skomplikowanymi elementami takimi jak siłowniki, tłumiki, przekładnie i sprężyny. Istnieje również możliwość wczytywania danych modelu geometrycznego z większości środowisk CAD.

- **Analiza wytrzymałościowa** – w vN4D można przedstawić symulację naprężeń, odkształceń lub drgań elementów modelu i wykonać analizę strukturalną.
- **Wizualizacja** – szybki dostęp do prawie każdego pliku CAD. Możliwość zmiany widoku, wymiarów, oznakowań elementów i własności modelu.
- **Fizyczna animacja** – użycie realistycznej animacji, łącznie z kierowaną kamerą, możliwością ustawienia świateł i rozdzielaniem elementów modelu.

Analiza mechanizmu korbowo – wodzikowego

Rozpatrzmy symetryczny mechanizm korbowo – wodzikowy (zwykły mechanizm korbowy) składający się z korby $OB = r$, obracającej się w płaszczyźnie pionowej względem punktu O , i korbowodu $AW = l$ połączonego przegubowo z korbą. Na końcu W korbowodu umieszczony jest wodzik poruszający się po torze poziomym.

W obliczeniach porównamy wyniki przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia wadzika, prędkości i przyspieszenia kątowe korbowodu. Wyniki otrzymane analitycznie porównamy z wynikami numerycznymi otrzymanymi za pomocą systemu visualNastran. Rozpatrywany mechanizm korbowo – wodzikowy przedstawiony został na rysunku.



Rys.1. Mechanizm korbowo - wozkowy

Dane:

Długość korby:

$$r = 0,1 \text{ [m]}$$

Długość korbowodu:

$$l = 0,3 \text{ [m]}$$

Prędkość kątowna korby:

$$\omega_1 = 10 \text{ [rad/s]}$$

Przyspieszenie kątowne korby:

$$\varepsilon_1 = 100 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

Krok czasu:

$$t = 0,005 \text{ [s]}$$

Stosunek dł. korby do dł. korbowodu:

$$\lambda = 0,3$$

Obliczenia:

Przemieszczenie wozzika

$$s = r(1 - \cos \alpha) - r \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\alpha)$$

Prędkość wozzika

$$v = \omega_1 r \sin \alpha - \omega r \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha$$

Przyspieszenie wozzika

$$p = \omega_1^2 \sin \alpha - \omega_1^2 r \lambda \cos 2\alpha$$

Prędkość kątowna korbowodu

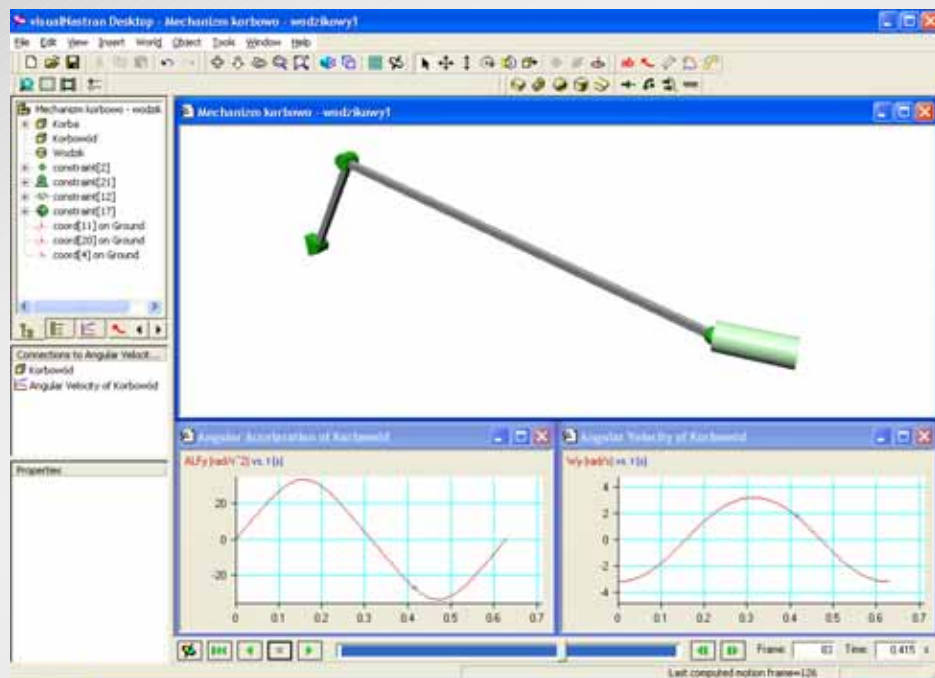
$$\omega_2 = \omega \lambda \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

Przyspieszenie kątowne korbowodu

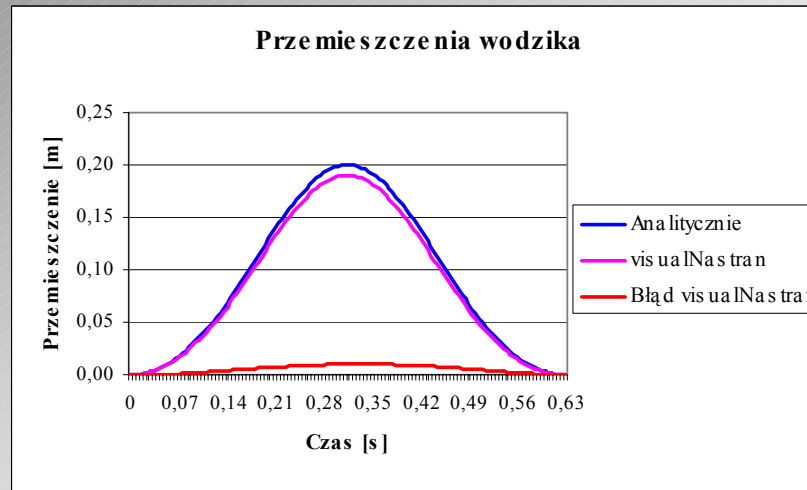
$$\varepsilon_2 = \frac{\omega_1^2 \lambda \sin \alpha - \varepsilon_1 \lambda \cos \alpha + \omega_1^2 \sin \beta}{\cos \beta}$$

Wartości przemieszczeń, prędkości, przyspieszeń, prędkości kątowych i przyspieszeń kątowych zostały obliczone za pomocą systemu visualNastran i odczytane z wyeksportowanego pliku.

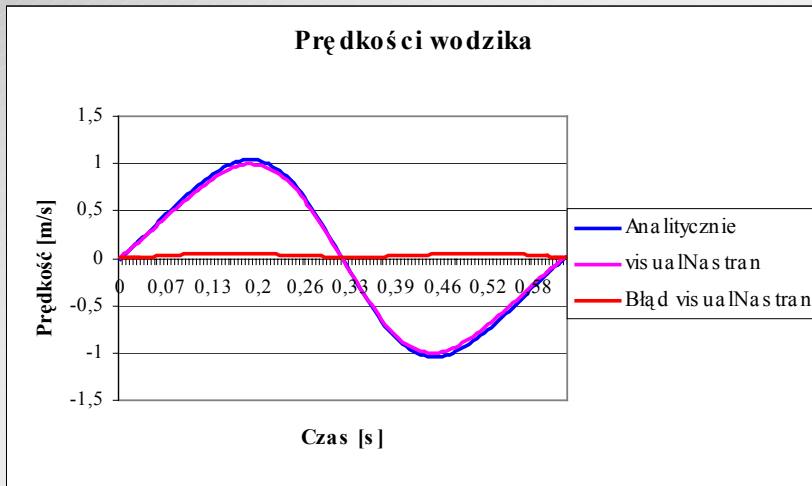
Obliczenia analityczne zostały wykonane co 0,005 sekundy i zestawione w programie Microsoft Excel.



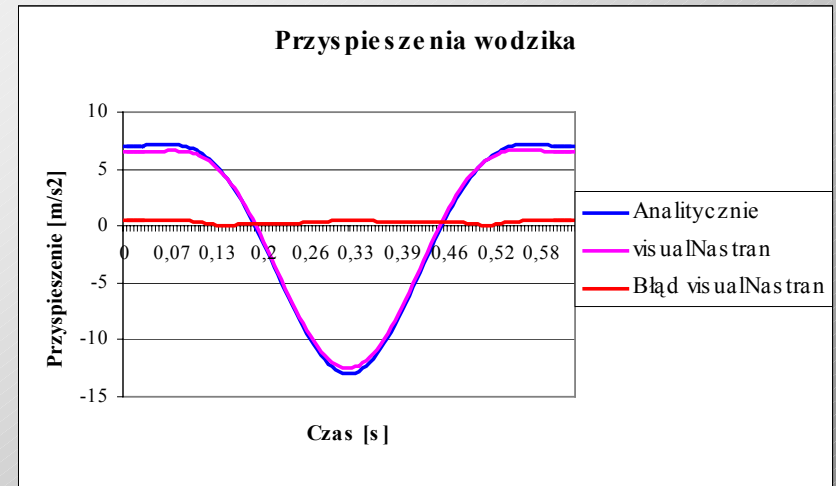
Rys.2. Widok mechanizmu korbowo – wodzikowego w systemie visualNastran.



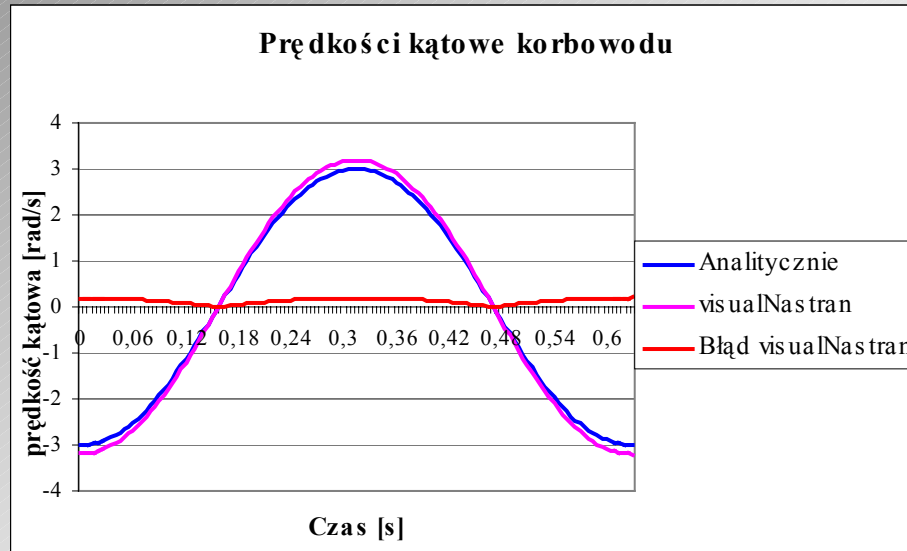
Rys.3. Wykres przemieszczeń wozika.



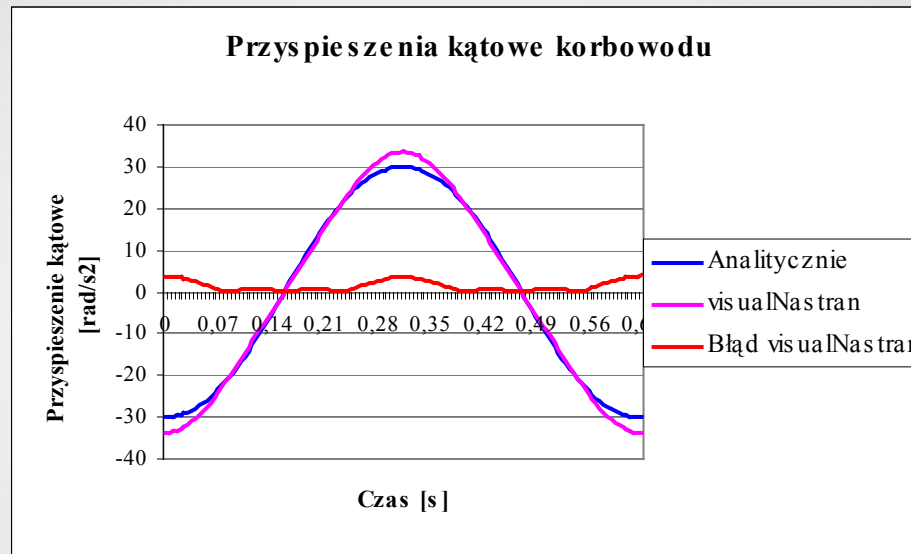
Rys.4. Wykres prędkości wozika.



Rys.5. Wykres przyspieszeń wozika.



Rys.6. Wykres prędkości kątowych korbowodu.



Rys.7. Wykres przyspieszeń kątowych korbowodu.

Wnioski

Import danych z systemu visualNastran umożliwił obliczenie przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń wozzika, a także prędkości i przyspieszeń kątowych korbowodu dla każdego kroku czasu. Obliczenia analityczne i numeryczne były przeprowadzone dla tych samych kroków czasu.

Jak widać na wykresach obliczenia analityczne i numeryczne w większości przypadków pokrywają się. Błędy możemy zaobserwować w miejscach, w których mechanizm zmieniał kierunek ruchu. Największy błąd wystąpił w obliczeniach przyspieszenia wozzika i wyniósł średnio 8%.

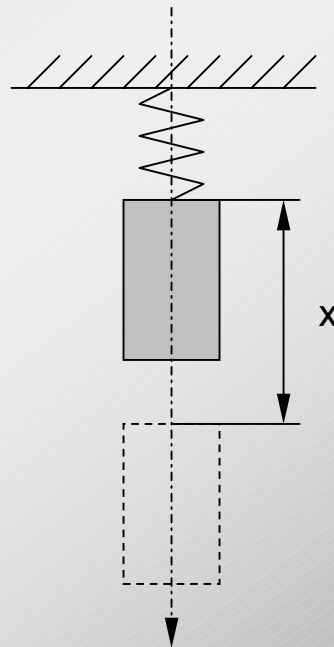
Średnie błędy wartości obliczonych numerycznie w stosunku do obliczeń analitycznych wynoszą:

Przemieszczenia wozzika	7,5%
Prędkości wozzika	7%
Prędkości kątowych korbowodu	6,7%
Przyspieszeń kątowych korbowodu	6,8%

Analiza mechanizmu drgającego.

Będziemy rozpatrywać walec o wysokości h , promieniu podstawy r i masie m zawieszony na sprężynie o sztywności k . Porównamy wyniki przemieszczenia i przyspieszenia masy, otrzymane za pomocą obliczeń analitycznych z wynikami obliczeń dokonanych w programie visualNastran.

Mechanizm przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Mechanizm drgający

Dane:

Promień walca: $r = 0,03 \text{ [m]}$

Wysokość walca: $h = 0,1 \text{ [m]}$

Masa walca: $m = 2 \text{ [kg]}$

Stała sprężyny: $k = 100 \text{ [N/m]}$

Krok czasu: $t = 0,02 \text{ [s]}$

Obliczenia:

Przemieszczenie

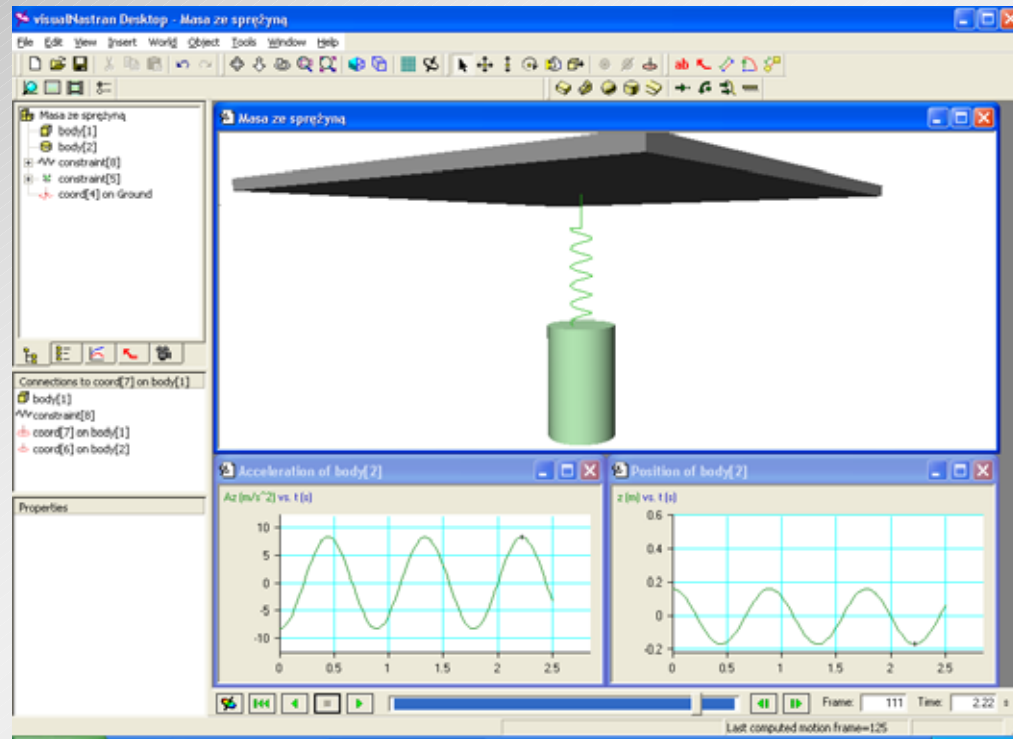
$$x = \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t$$

Przyspieszenie

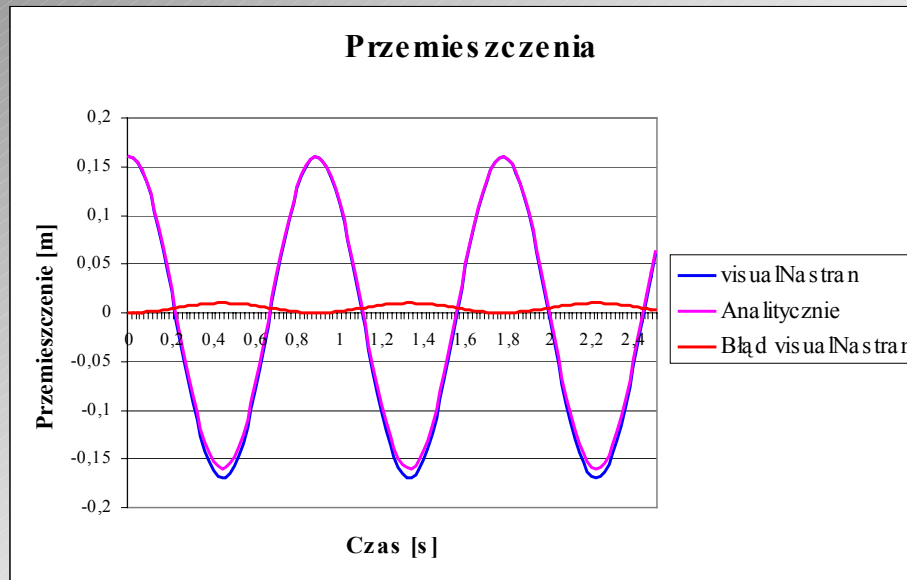
$$p = \frac{k}{m} \cdot x$$

Wartości przemieszczeń i przyspieszeń zostały obliczone za pomocą systemu visualNastran i odczytane z wyeksportowanego pliku.

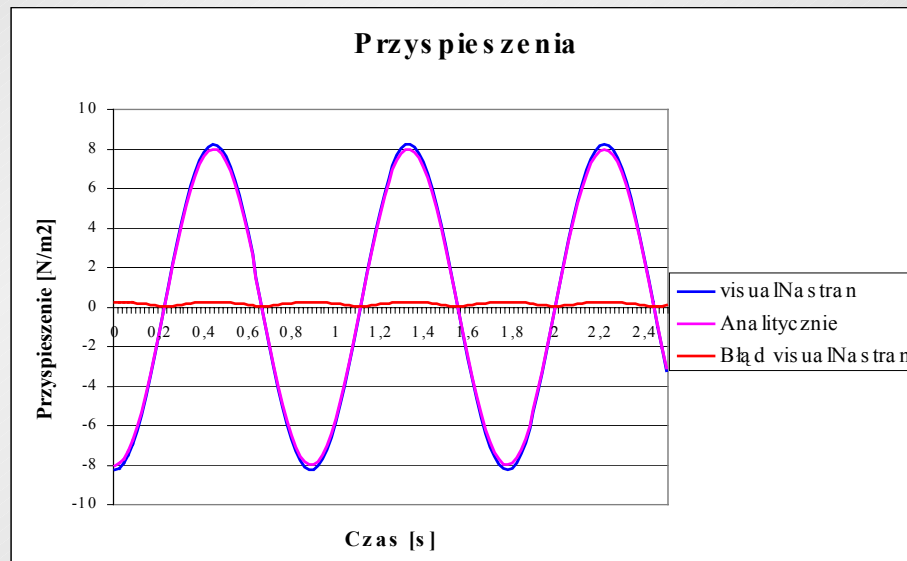
Obliczenia analityczne zostały wykonane co 0,02 sekundy i zestawione w programie Microsoft Excel.



Rys.9. Widok mechanizmu w systemie visualNastran



Rys.9. Wykres przemieszczeń mechanizmu drgającego



Rys.10. Wykres przyspieszeń mechanizmu drgającego

Wnioski

Import danych z systemu visualNastran umożliwił obliczenie przemieszczeń i przyspieszeń dla każdego kroku czasu. Daje nam to pewność, że otrzymane wyniki metodą analityczną i numeryczną będą porównywane dla tych samych kroków czasu.

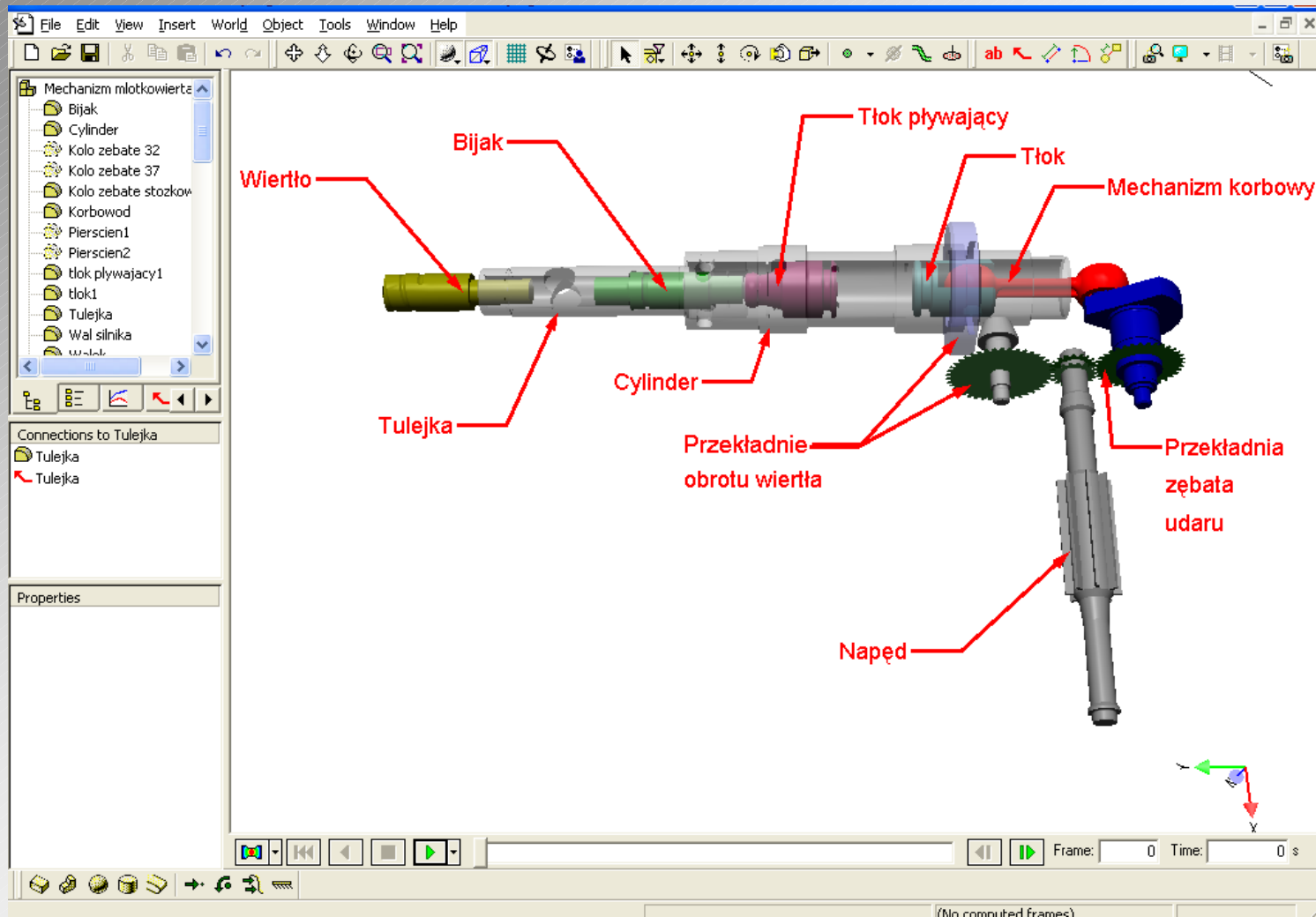
Jak widać na wykresie przemieszczeń, wyniki obliczone analitycznie i numerycznie różnią się tylko nieznacznie. Największa różnica występuje w miejscu maksymalnego wychylenia walca w kierunku osi x. Jest to spowodowane niedokładnościami zamocowania i zdefiniowania własności sprężyny w systemie visualNastran. Pomijając te dane, średni błąd wartości przemieszczeń obliczonych numerycznie w stosunku do obliczeń analitycznych wynosi 8,5 %.

W przypadku obliczonych przyspieszeń występują mniejsze błędy, które mają średnią wartość 3 %.

Analiza mechanizmu młotkowitzarki

Przeanalizujemy elementy młotkowitzarki, której schemat przedstawiono na rys.11. Rozpatrywane będą takie elementy jak: bijak, tłok pływający, tłok, korbowód.

Moment obrotowy z silnika przekazywany jest na korbowód, który wprawia tłok znajdujący się w cylindrze w ruch posuwisto – zwrotny. Między tłokiem a tłokiem pływającym znajduje się gaz. Ruch posuwisto – zwrotny tłoka powoduje ściśnięcie gazu, który oddziałuje ciśnieniem na tłok pływający. Tłok pływający uderza w bijak, zaś ten w wiertło, powodując udar. Z powodu trudności zamodelowania, w systemie visualNastran, ciśnienia gazu zastąpiono je sprężyną pomiędzy tłokiem a tłokiem pływającym.

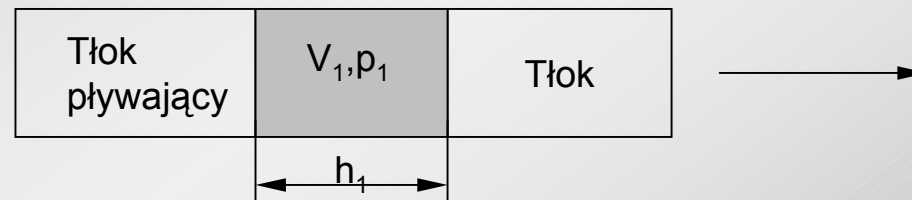


Rys.11. Mechanizm młotkowiertarki

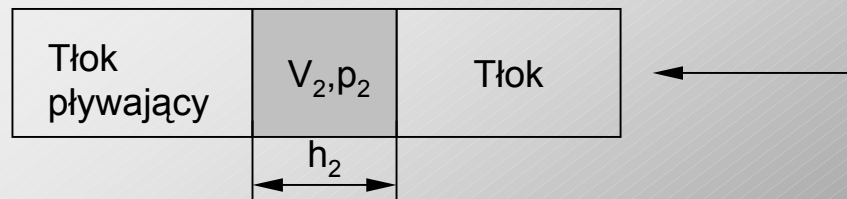
Obliczenia sztywności sprężyny

Ciśnienie pomiędzy tłokami zastępujemy sprężyną o sztywności k . W tym celu musimy obliczyć maksymalne ciśnienie pomiędzy tłokami. Początkowe ciśnienie jest znane i wynosi 1 atmosferę.

Położenie początkowe



Położenie końcowe



Dane:

Ciśnienie początkowe

$$p_1 = 1 \text{ atm.} = 98066,5 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Promień tłoków

$$r = 0,009 \text{ [m]}$$

Przemieszczenie tłoka pływającego

$$u = 0,005 \text{ [m]}$$

Pole powierzchni czoła tłoka

$$A = 0,000254 \text{ [m}^2\text{]}$$

Wys. przestrzeni pomiędzy tłokami

- położenie początkowe

$$h_1 = 0,0378 \text{ [m]}$$

- położenie końcowe

$$h_2 = 0,0241 \text{ [m]}$$

Obliczenia:

$$V_1 p_1 = V_2 p_2$$

Objętość przestrzeni pomiędzy tłokami w położeniu początkowym

$$V_1 = \pi r^2 h_1 = 0,00000962 \text{ [m}^3\text{]}$$

Objętość przestrzeni pomiędzy tłokami w położeniu końcowym

$$V_2 = \pi r^2 h_2 = 0,00000613[m^3]$$

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = 153898 [N / m^2]$$

Zastępujemy ciśnienie działające na tłok pływający siłą punktową działającą na ten tłok.

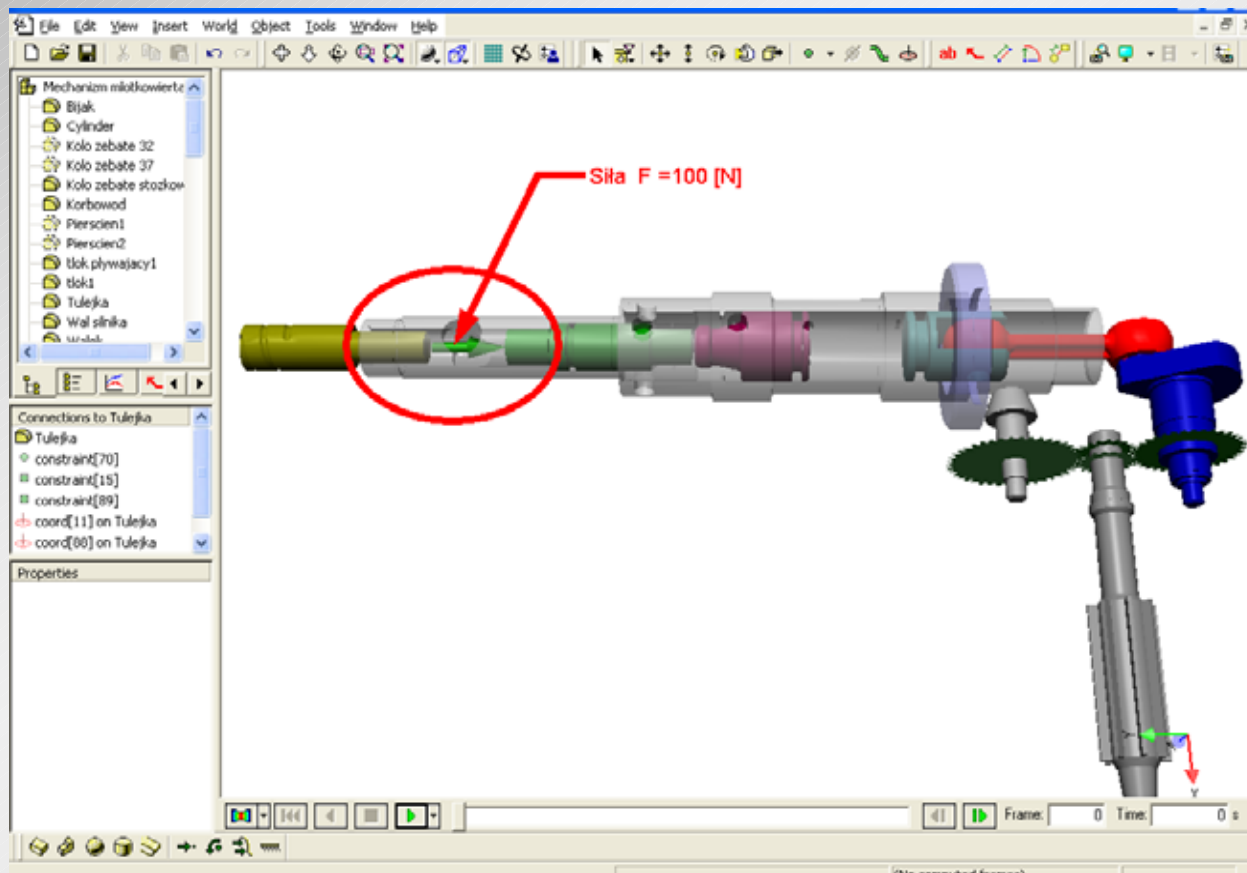
$$F = P_2 \cdot A = 39,1[N]$$

Za pomocą tej zależności obliczamy sztywność sprężyny.

$$k = \frac{F}{u} = 7820[N / m]$$

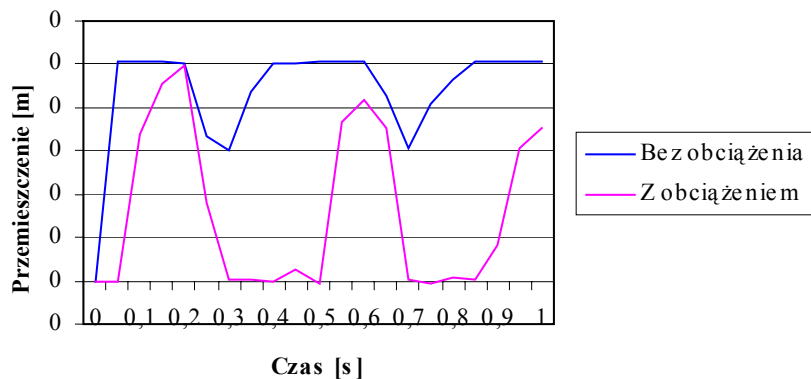
Wyniki analizy bijaka i tłoka pływającego młotkowiertarki

Porównamy wyniki analizy przeprowadzonej w stanie bez obciążenia z wynikami analizy w stanie obciążenia. Obciążenie symulowane będzie poprzez siłę punktową o wartości równej 100 [N] przyłożonej do bijaka, w sposób jaki przedstawiono na rys.12. Za pomocą systemu visualNastran obliczone zostaną przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia bijaka i tłoka pływającego.

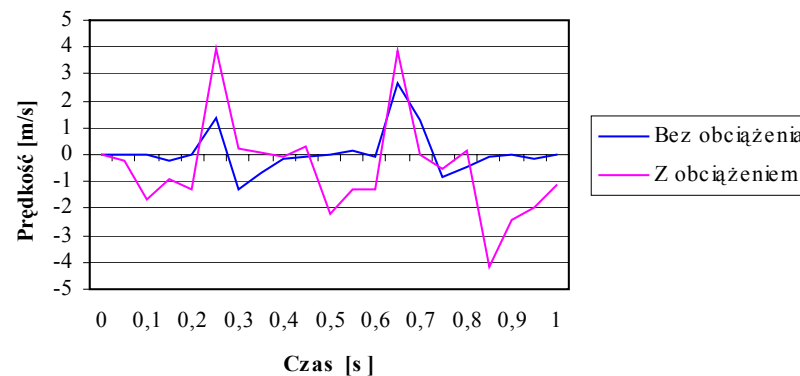


Rys.12. Mechanizm młotkowiertarki z obciążeniem

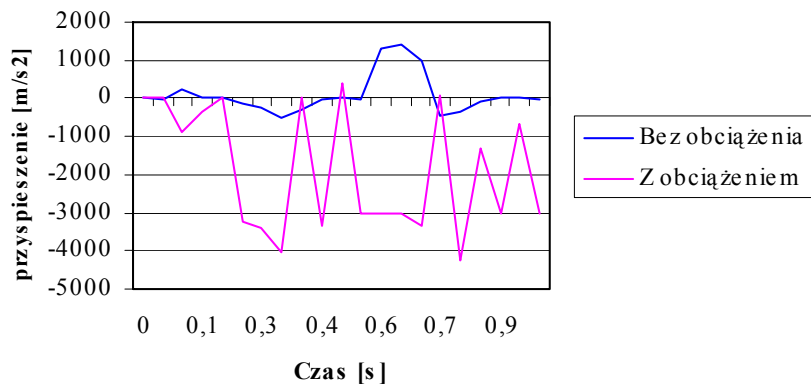
Prze m i e s z c z e n i a b i j a k a



Prę d k o ś c i b i j a k a

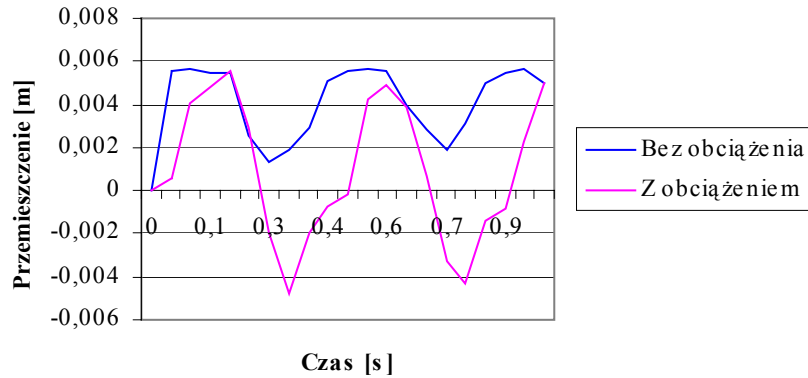


Przys p i e s z e n i a b i j a k a

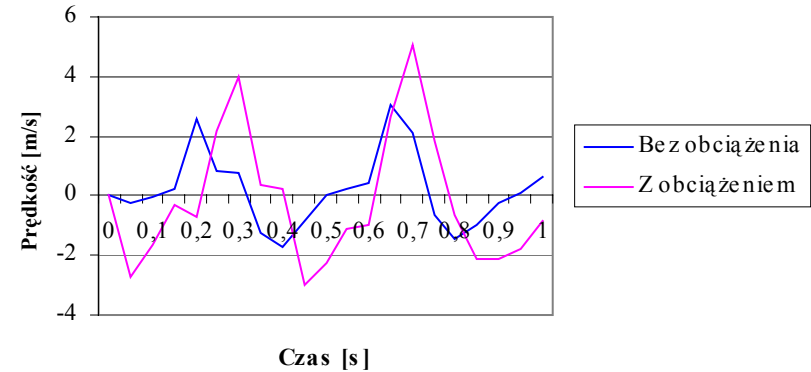


Wykresy obliczeń przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia bijaka młotkowiartarki w stanie z i bez obciążenia.

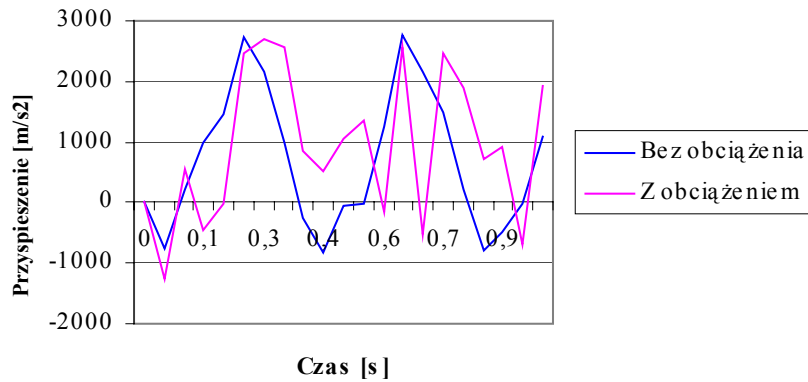
Prze m i e s z c z e n i a t ł o k a p ł y w a j ą c e g o



Prę d k o ś c i t ł o k a p ł y w a j ą c e g o



Przys p i e s z e n i a t ł o k a p ł y w a j ą c e g o



Wykresy obliczeń przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia tłka pływającego młotkowiartarki w stanie z i bez obciążenia.

Literatura

1. Zdzisław Parszewski: „*Teoria maszyn i mechanizmów*”, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 1965.
2. Jerzy Leyko : „*Mechanika ogólna tom 1 Statyka i kinematyka*”, PWN, Warszawa, 1999.
3. Jerzy Leyko: „*Mechanika ogólna tom 2 Dynamika*”, PWN, Warszawa, 1999.
4. Jan Misiak: „*Zadania z mechaniki ogólnej, część II Kinematyka*”, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 1994.
5. Jan Misiak: „*Zadania z mechaniki ogólnej, część III Dynamika*”, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 1994.
6. Ewa Majchrzak, Bohdan Mochnacki: „*Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy*”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998.
7. Strona programu visualNastran <http://www.vndesktop.com>.
8. Help Topics programu MSC.visualNastran 4D 2001.