Dynamika maszyn roboczych i pojazdów - Projekt

Wtorek 7:30-9:00

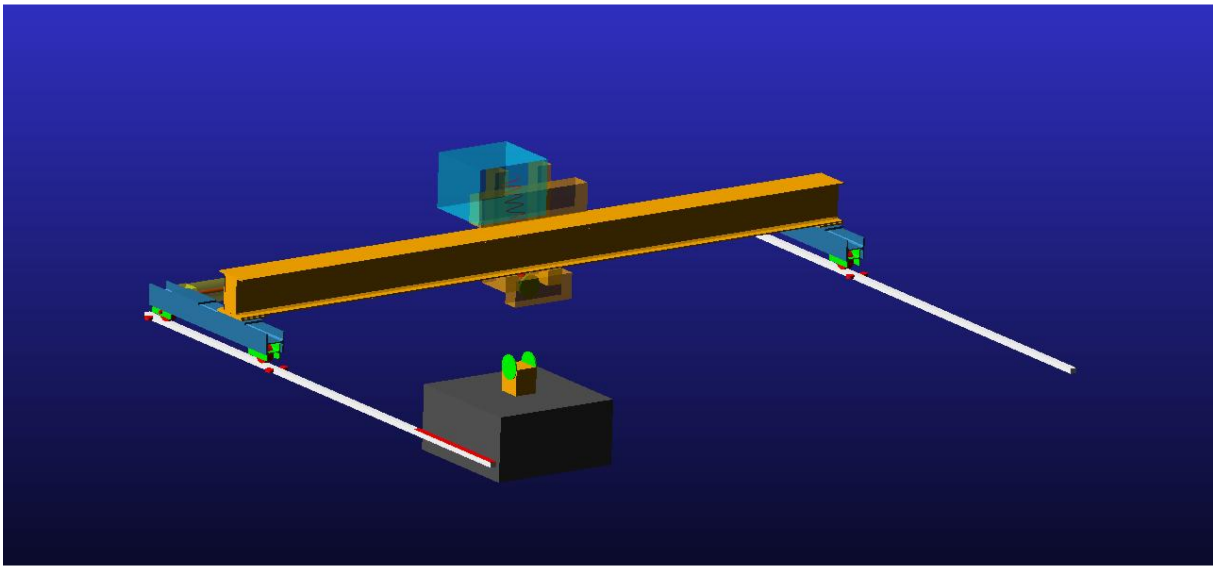
Prowadzący: Mgr. Inż. Jakub Chołodowski

Projekt dźwignicy w programie ADAMS, optymalizacja rozruchu antywahaniowego

Rafał Olejniczak, 194587
Filip Solarczyk, 205476

1. Opis projektu

Dźwignice należą do grupy urządzeń dźwigowo-transportowych, służących do przemieszczania pionowego/poziomego ładunków, zwierząt i ludzi na niewielkie odległości, w ruchu przerywanym. Dźwignice stanowią liczną grupę środków transportu bliskiego, a ich eksploatacja wymaga odpowiednich kwalifikacji.
Suwnica jest dźwignicą pracującą w ruchu przerywanym wyposażona w mechanizm podnoszenia i opuszczania: wciągarka lub wciągnik. Przeznaczona jest do przemieszczania materiałów w pionie i poziomie w przestrzeni ograniczonej długością toru jazdy, wysokością podnoszenia i opuszczania oraz szerokością mostu.



Rys. 1.1. - model suwnicy w programie ADAMS 2013

2. Potrzebne obliczenia

W projekcie trzeba wyznaczyć na drodze symulacji w programie ADAMS częstotliwości drgań ustroju suwnicy wraz z ładunkiem w kierunkach osi x i y modelu (odpowiednio drgań pionowych i wahań ładunku).
Zestaw danych: (zestaw 1)

długość liny [m]	prędkość [m/s]	masa podnoszona [kg]
3	0,1	500
3	0,1	2000
0,5	0,1	500
0,5	0,1	2000

przy czym materiałem nośnym rolek jest PA6.
Dane wejściowe:

EA	3000000	[N]
ξ	0,03	
E_{st}	210000	[MPa]
ν_{st}	0,3	
E_{pa}	1600	[MPa]

ν_{pa}	0,45	
r_{11}	75	[mm]
r_{12}	270	[mm]
r_{21}	∞	[mm]
r_{22}	∞	[mm]

gdzie:
EA - sztywność przekroju liny na rozciąganie
ξ - współczynnik tłumienia
E_{st}, E_{pa} - moduły Younga stali, PA6
ν_{st}, ν_{pa} - współczynnik Poissona stali, PA6
r_{11}, r_{12}, r_{21}, r_{22} - promienie krzywizny w kontakcie rolka - prowadnica (czołownica jeżdżąca po prowadnicach)

Należy policzyć sztywność i tłumienie w linach oraz sztywność w kontakcie rolka - prowadnica. Dla lin należy rozważyć łącznie 4 przypadki:
1) masa podnoszonego ładunku m=500 kg, długość liny - ok l=0,5 m
2) m=2000 kg, l=0,5 m
3) m=500 kg, l=3 m
4) m=2000 kg, l=3 m

Obrane długości lin (przy założonym układzie zbloczy w obu przypadkach mamy 5 lin):

lina 3m [mm]	lina 0,5m [mm]
3964	1464
3130	630
3130	630
3179	679
673	673

SZTYWNOŚĆ I TŁUMIENIE LIN:
Przypadek 1:

długość [mm]	sztywność liny k [N/mm]	sztywność liny [N/m]	tłumienie wiskotyczne b [kg/s]	współczynnik tłumienia [Ns/mm]
1464	2049,2	2049180,3	960	0,96
630	4761,9	4761904,8	1464	1,46
630	4761,9	4761904,8	1464	1,46
679	4418,3	4418262,2	1410	1,41
673	4457,7	4457652,3	1416	1,42

Przykłady obliczeń:
- sztywność liny $k = \frac{EA}{L} = \frac{3000000}{1464} = 2049{,}2\ N/mm$
- tłumienie wiskotyczne $b = 2 \times \xi \times \sqrt{\mathrm{m} \times \mathrm{k}} = 2 \times 0{,}03 \times \sqrt{500 \times 2049180{,}3} = 960\ kg/s$

Przypadek 2:

długość [mm]	sztywność liny k [N/mm]	sztywność liny [N/m]	tłumienie wiskotyczne b [kg/s]	współczynnik tłumienia [Ns/mm]
1464	2049,2	2049180,3	1921	1,92
630	4761,9	4761904,8	2928	2,93
630	4761,9	4761904,8	2928	2,93
679	4418,3	4418262,2	2820	2,82
673	4457,7	4457652,3	2833	2,83

Przypadek 3:

długość [mm]	sztywność liny k [N/mm]	sztywność liny [N/m]	tłumienie wiskotyczne b [kg/s]	współczynnik tłumienia [Ns/mm]
3964	756,8	756811,3	584	0,58
3130	958,5	958466,5	657	0,66
3130	958,5	958466,5	657	0,66
3179	943,7	943693,0	652	0,65
673	4457,7	4457652,3	1416	1,42

Przypadek 4:

długość [mm]	sztywność liny k [N/mm]	sztywność liny [N/m]	tłumienie wiskotyczne b [kg/s]	współczynnik tłumienia [Ns/mm]
3964	756,8	756811,3	1167	1,17
3130	958,5	958466,5	1313	1,31
3130	958,5	958466,5	1313	1,31
3179	943,7	943693,0	1303	1,30
673	4457,7	4457652,3	2833	2,83

OBLICZENIA SZTYWNOŚCI W KONTAKCIE Hz:

Najpierw należy obliczyć wartość odkształcenia sprężystego w kontakcie rolka-prowadnica:

$$\delta_k = 1{,}5 \times \delta^* \times \sqrt[3]{\frac{1}{\mathrm{E}'} \times \frac{\Sigma\rho}{3} \times P^2}$$

Przy czym:

$$\frac{1}{\mathrm{E}'} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{1-\nu_{st}}{E_{st}} + \frac{1-\nu_{pa}}{E_{pa}}\right) = \frac{1}{2} \times \left(\frac{1-0{,}3}{2{,}1\times 10^{11}} + \frac{1-0{,}45}{1{,}6\times 10^{9}}\right) = 0{,}000251385\ \mathrm{mm^2/N}$$

$$\rho_{11} = \frac{1}{r_{11}} = \frac{1}{75}\ mm^{-1}$$

$$\rho_{12} = \frac{1}{r_{12}} = \frac{1}{270}\ mm^{-1}$$

$$\rho_{21} = \frac{1}{r_{21}} = \frac{1}{\infty} = 0\ mm^{-1}$$

$$\rho_{22} = \frac{1}{r_{22}} = \frac{1}{\infty} = 0\ mm^{-1}$$

$$\Sigma\rho = \rho_{11} + \rho_{12} + \rho_{21} + \rho_{22} = 0{,}017037037\ mm^{-1}$$

$$F(\delta) = \frac{(\rho_{11}-\rho_{12}) + (\rho_{21}-\rho_{22})}{\Sigma\rho} = 0{,}565217391$$

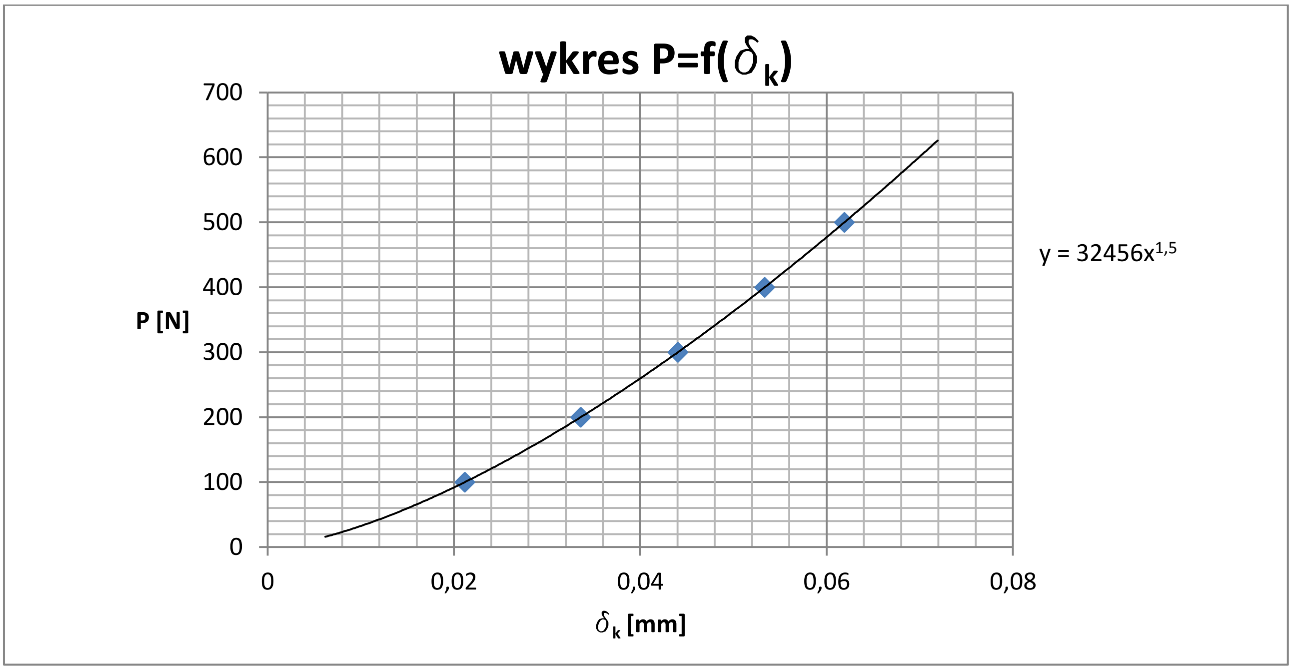
z tabeli dobór δ^*w zależności od $F(\delta)$:

$$\delta^* = 0{,}922$$

zatem, podstawiając 5 wartości siły P, zgodnie z tabelą otrzymujemy wartości δ_k:

siła (kontakt hz) - styk rolka-prowadnica [N]	δk [mm]
100	0,021174175
200	0,033611908
300	0,04404406
400	0,053355578
500	0,061913664

otrzymujemy wykres, z którego otrzymujemy sztywność w styku rolka-prowadnica:



Wykres 2.1. siła w zależności od odkształcenia sprężystego w kontakcie rolka-prowadnica czyli $k_{r\text{-}p}$=32456 N/mm^2, oraz $b_{r\text{-}p}$=324,56 Ns/mm.

3. Symulacja dla przypadku lina 0,5m i masa podnoszona 500 kg

Dla długości liny 0,5 m obliczenie okresu wahań w kierunku wzdłużnym (pod uwagę brana jest lina 28 - o długości 630mm):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,63}{9,81}} = 1,6\ s$$

Częstotliwość drgań własnych liny:

$$f = \frac{1}{2\times\pi}\times\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\times\pi}\times\sqrt{\frac{4761904,76}{500\times\frac{1}{4}}} = 31,06\ Hz$$

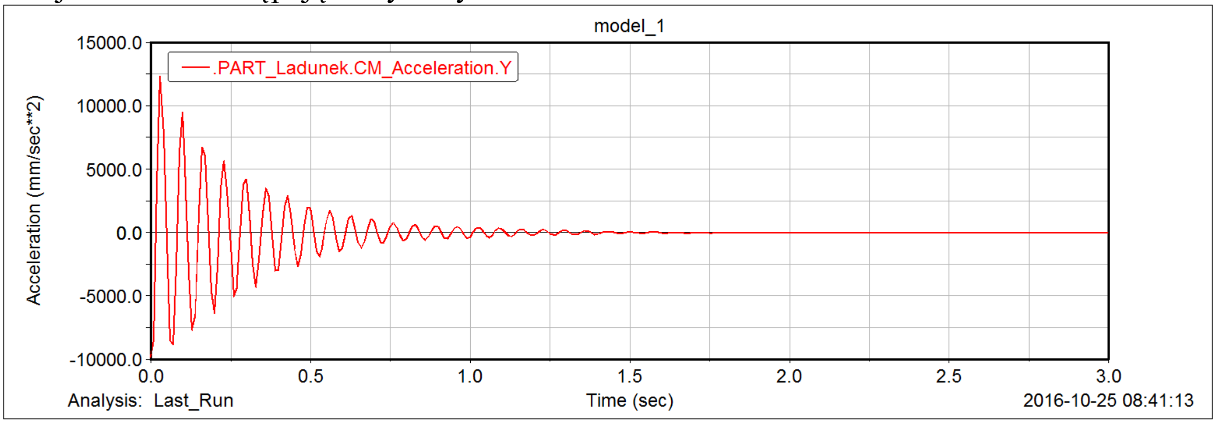
Najpierw w programie ADAMS w zakładce Forces poprawione zostały wszystkie wartości sztywności i tłumienia występujące w linach oraz w kontaktach rolka-prowadnica. Odsunięcie boxa symbolizującego ładunek od wciągarki zostało ustalone na zadane 0,5m, a jego gęstość ustalona została tak żeby masa wynosiła 500 kg. Poprawione zostały także wartości modułu Younga i współczynnika Poissona dla stali i PA6 w zakładce All Other - Materials.

Następnie przeprowadzono symulację dla motion początkowego o funkcji:

IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 3.5 : 2.5/3.5*(time - 3), 2.5, 2.5)),

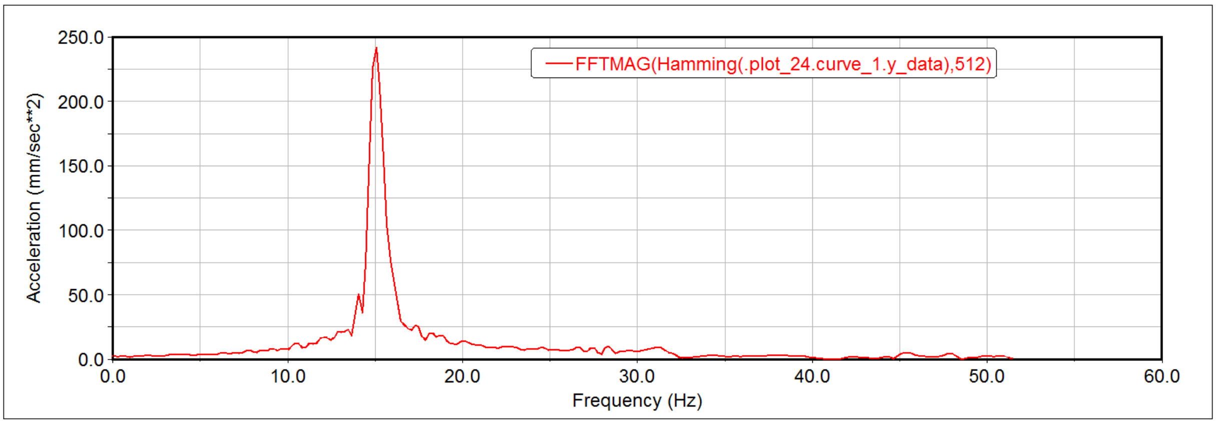
o długości 3s (liczba kroków 300).

Zarejestrowano następujące wykresy:



Wykres 3.1. przyspieszenie w osi Y ładunku w zależności od czasu

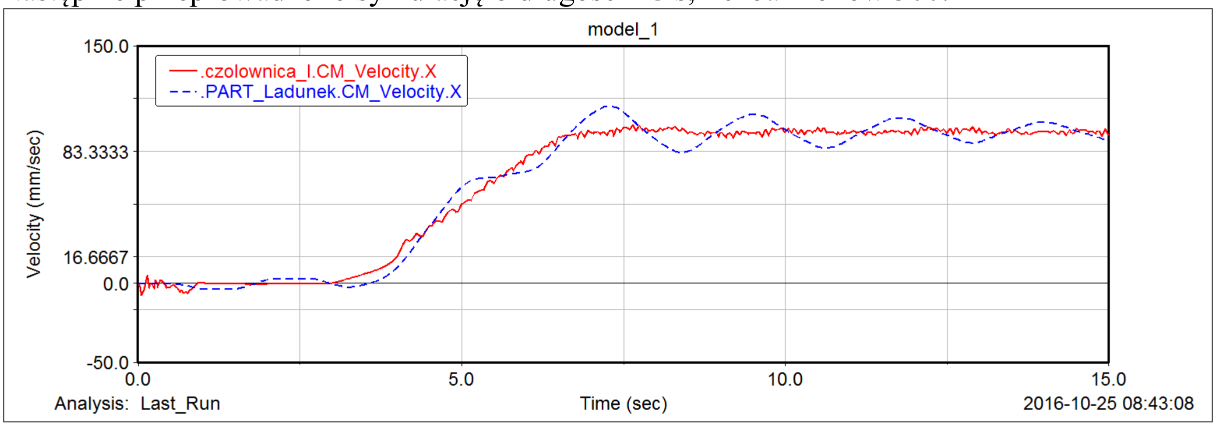
Następnie uzyskana została częstotliwość drgań ładunku poprzez zakładkę Plot-FFT:



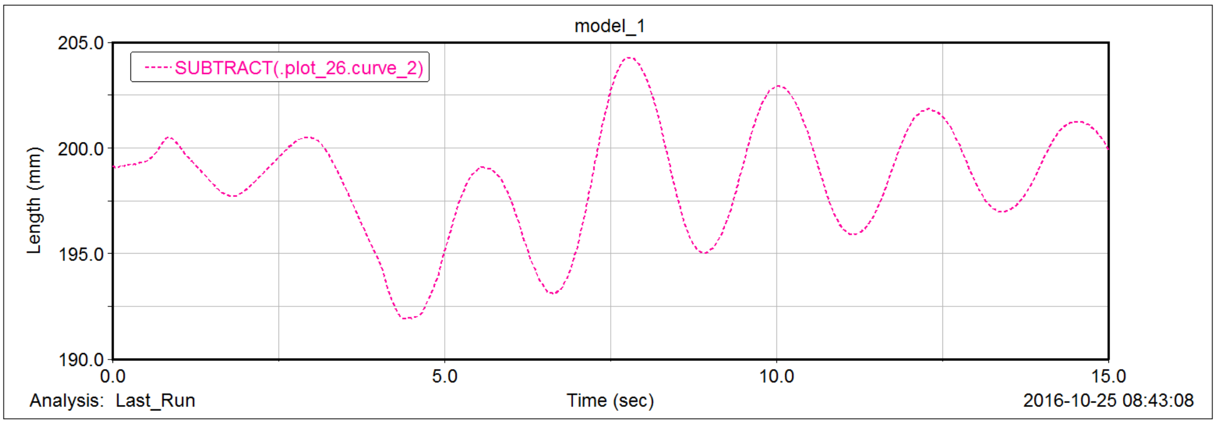
Wykres 3.2. częstotliwość drgań ładunku

Zatem uzyskujemy częstotliwość około 15 Hz.

Następnie przeprowadzono symulację o długości 15 s, liczba kroków 300.



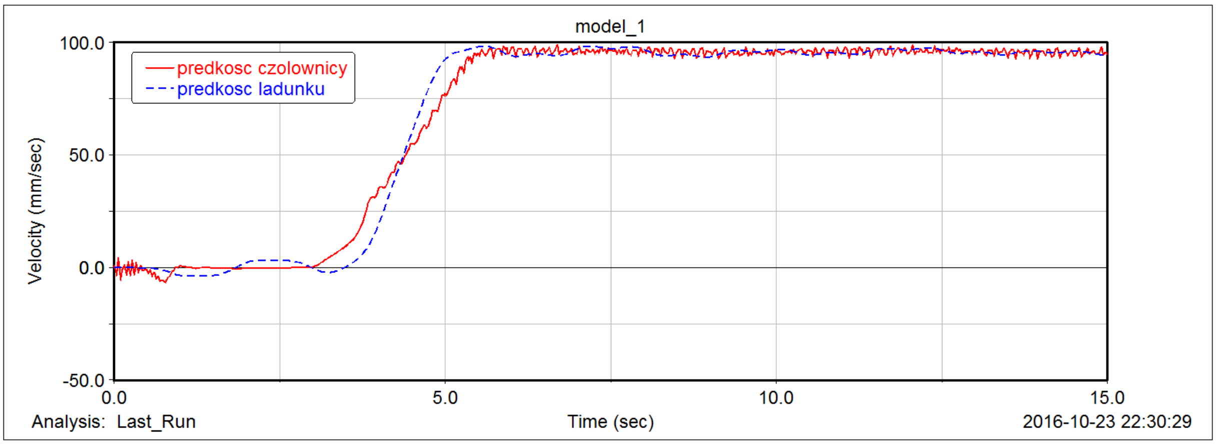
Wykres 3.3. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu



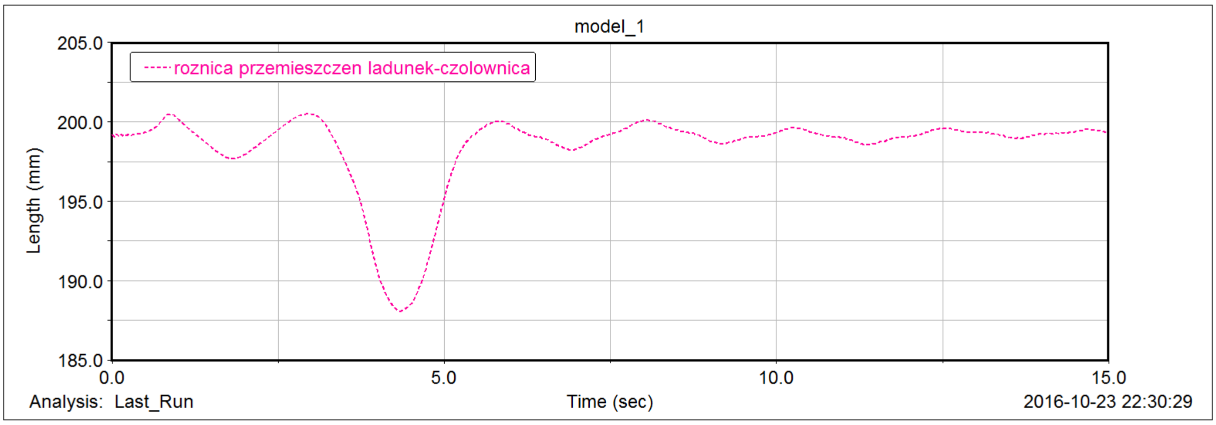
Wykres 3.4. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu

Z tego wykresu odczytano wartości:
T=2.3 s - jako odległość np. szczytu pierwszej sinusoidy po upływie 6,5 s od szczytu drugiej sinusoidy
A_{ref}=9,26 mm - amplituda oscylacji ładunku wokół położenia równowagi dla rozruchu po referencyjnej rampie trójkątnej trwającej 3,5 s (odczyt z wartości występujących po upływie 6,5s, czyli momentu w którym prędkość czołownicy i ładunku jest już stała)

Następnie zamieniono funkcję motion na rampę rozruchową liniową:
IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 2.3:2.5/2.3*(time-3),2.5,2.5))
Wartość 2.5 odpowiada za prędkość po rozruchu która ma wynosić 0,1 m/s. Wartość 2.3 s to wcześniej odczytany czas na rozruch antywahaniowy.
Przeprowadzono symulację o długości 15 s, liczba kroków 500.



Wykres 3.5. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej



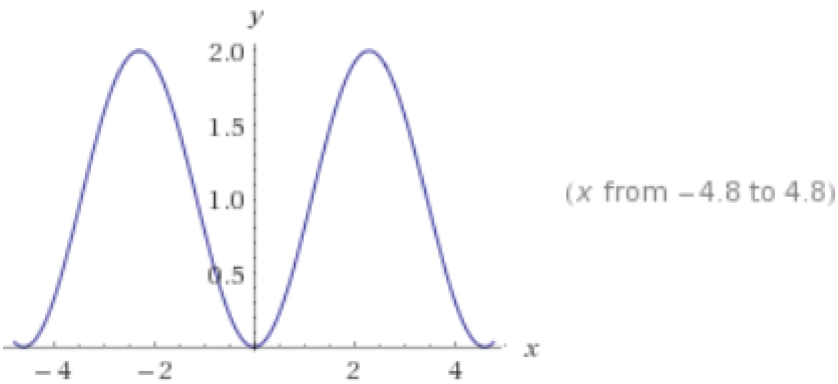
Wykres 3.6. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej

Z tego wykresu odczytano wartość:
A_{awl}=1,79 mm - amplituda oscylacji ładunku wokół położenia równowagi po rozruchu suwnicy wyposażonej w system antywahaniowy liniowy (odczyt z wartości występujących po upływie 5,3)

Następnie zamieniono funkcję motion na rampę rozruchową sinusoidalną:
IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 1.15 : 1.25*(-COS((PI/2.3)*(time - 3)))+1.25, 1.25, IF(time - 3 - 2.3: 1.25*(-COS((PI/2.3)*(time-3-1.15)))+2.5,2.5,2.5)))
Dojście do funkcji wpisanej w motion wygląda następująco:
Aby uzyskać przebieg sinusoidalny należy zapętlić funkcję if tak aby po upływie połowy okresu rozruchu prędkość wynosiła około 0,05 m/s a po całym rozruchu ustalone 0,1 m/s.
Funkcja:

-COS((PI/2.3)*x

wygląda w następujący sposób:

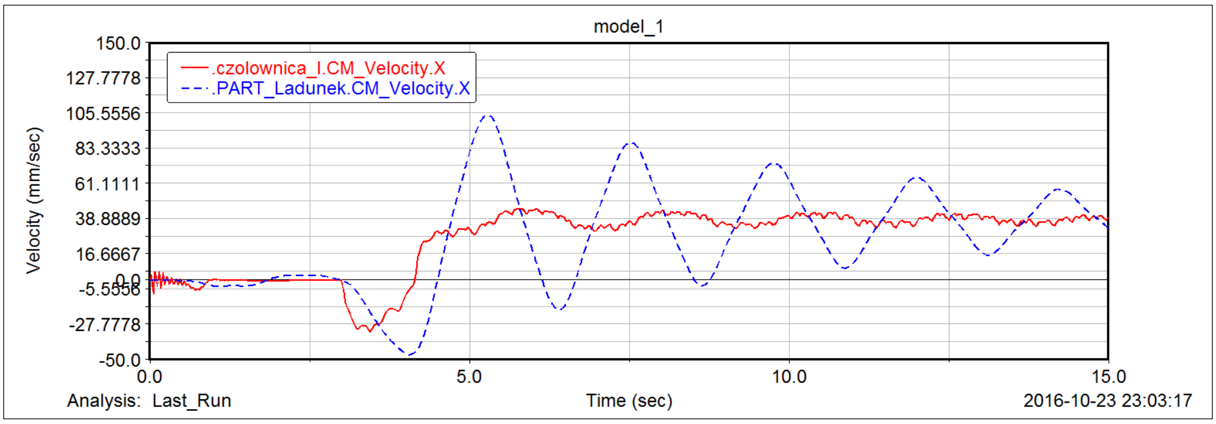


Rys. 3.1. wykres funkcji cosinus

A my chcemy aby rampa od czasu 3s do 4,15 s (plus połowa okresu) wyglądała tak jak na powyższym rysunku od wartości x równej 0 do 2,3.
Sama funkcja -COS((PI/2.3)*(time - 3) powoduje że dla wartości time-3=0 wartość prędkości jest mniejsza od 0 i wynosi około -0,04 m/s, co przy założeniu że 2.5 oznacza dla programu ADAMS około 0,1 m/s odpowiada wartości 1 wpisywanej w program ADAMS. Należy zatem podnieść tę funkcję w górę w następujący sposób:

(1.25/1)*(-COS((PI/2.3)*(time - 3))+1.25

co oznacza że przy pierwszej funkcji if prędkość osiągnie około 0,05 m/s (1.25 dla programu ADAMS).



Wykres 3.7. prędkości czołownicy i ładunku dla funkcji:

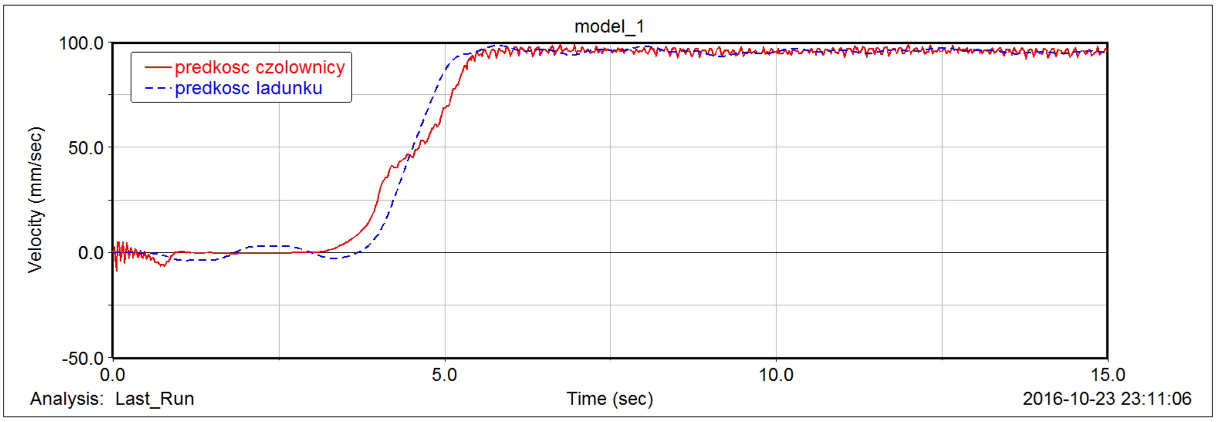
IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 1.15 : -COS((PI/2.3)*(time - 3)),1,1))

Wykres ten pokazuje jak zachowuje się prędkość bez przemnożenia cosinusa przez odpowiedni współczynnik i podniesienia całej funkcji w górę.
Podobnie postąpiono w drugiej części funkcji (od czasu 4,15 do 5,3) gdzie w funkcji if wpisano:

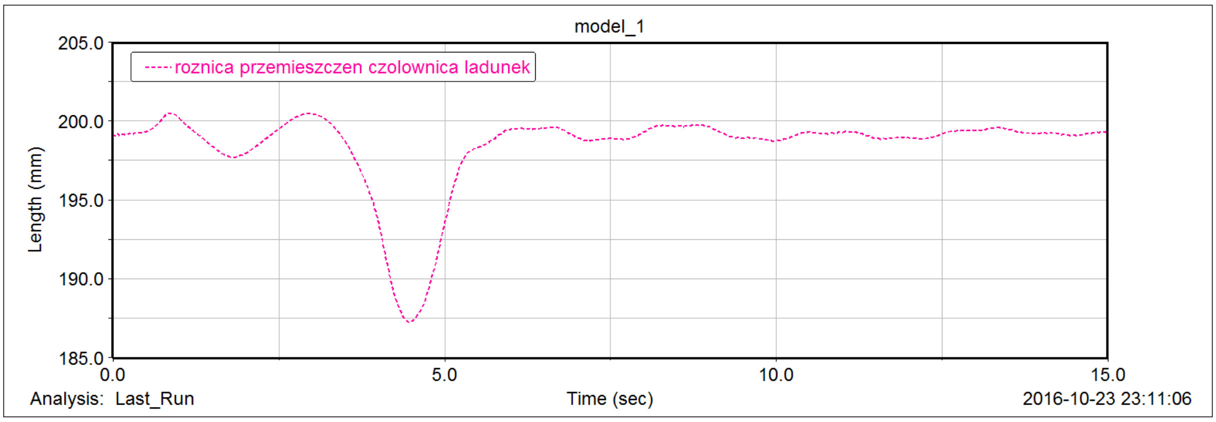
$$1.25*(-COS((PI/2.3)*(time-3-1.15)))+2.5$$

funkcję tą należy oczywiście podnieść w górę o kolejne 1.25, które zostało już wcześniej osiągnięte przez rozruch od czasu 3s do 4,15s.

Zatem ponownie przeprowadzono symulację o długości 15s i liczbie kroków 500, z funkcją motion podaną wcześniej.



Wykres 3.8. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej sinusoidalnej



Wykres 3.9. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej sinusoidalnej

Z tego wykresu odczytano wartość:
A_{aws}=1,03 mm - amplituda oscylacji ładunku wokół położenia równowagi po rozruchu suwnicy wyposażonej w system antywahaniowy sinusoidalny (odczyt z wartości występujących po upływie 5,3)

Teraz można policzyć X (dla systemu antywahaniowego liniowego i sinusoidalnego):

$$X_l = \frac{A_{awl}}{A_{ref}} \times 100\% = \frac{1{,}79}{9{,}26} \times 100\% = 19{,}33\%$$
$$X_s = \frac{A_{aws}}{A_{ref}} \times 100\% = \frac{1{,}03}{9{,}26} \times 100\% = 11{,}12\%$$

4. Symulacja dla przypadku lina 0,5m i masa podnoszona 2000 kg

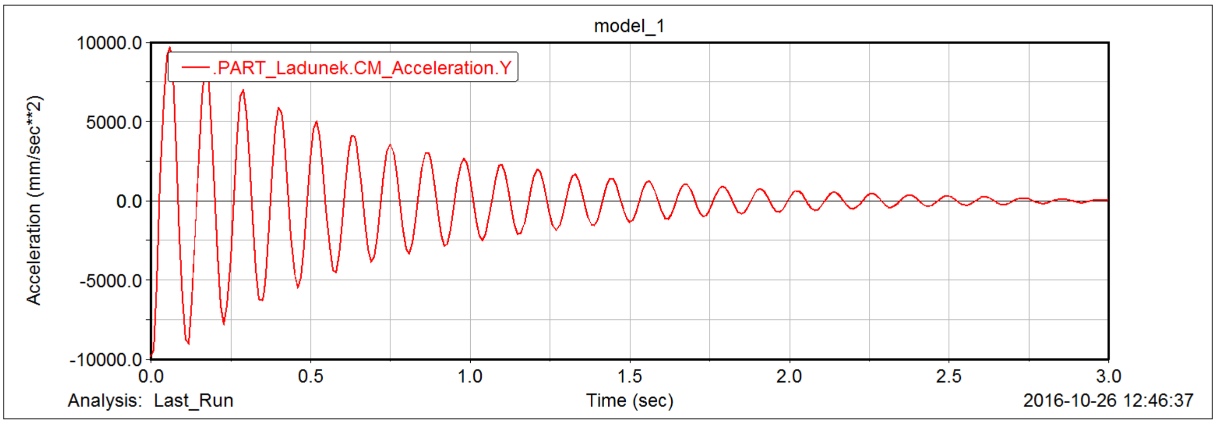
Zmiana masy ładunku nastąpiła poprzez zwiększenie gęstości box'a. Obliczeniowy okres drgań ładunku w kierunku wzdłużnym (pod uwagę brana jest lina 28 - o długości 630mm):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}63}{9{,}81}} = 1{,}6\ s$$

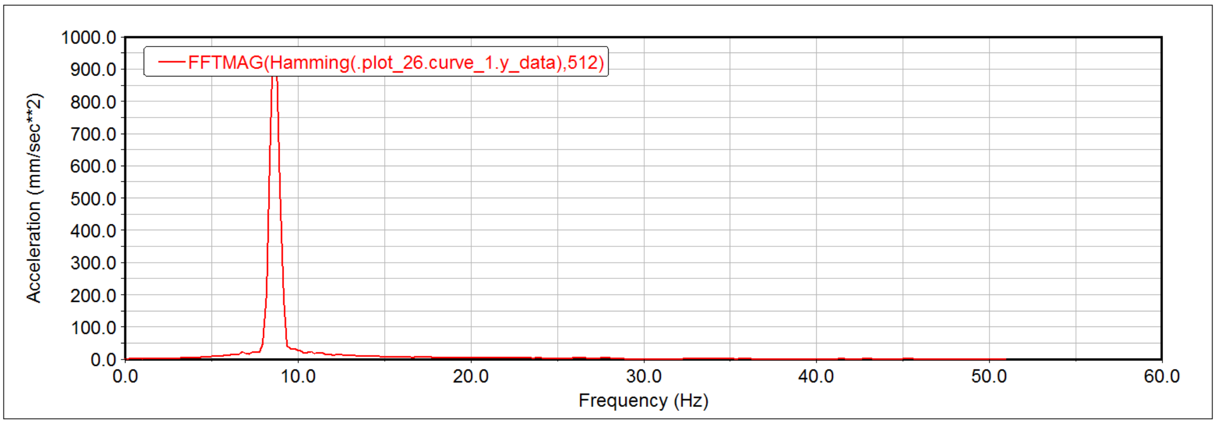
Częstotliwość drgań własnych liny:

$$f = \frac{1}{2\times\pi}\times\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\times\pi}\times\sqrt{\frac{4761904{,}76}{2000\times\frac{1}{4}}} = 15{,}53\ Hz$$

Wykresy uzyskane z symulacji 3s, kroki 300, funkcja w motion:
IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 3.5 : 2.5/3.5*(time - 3), 2.5, 2.5))



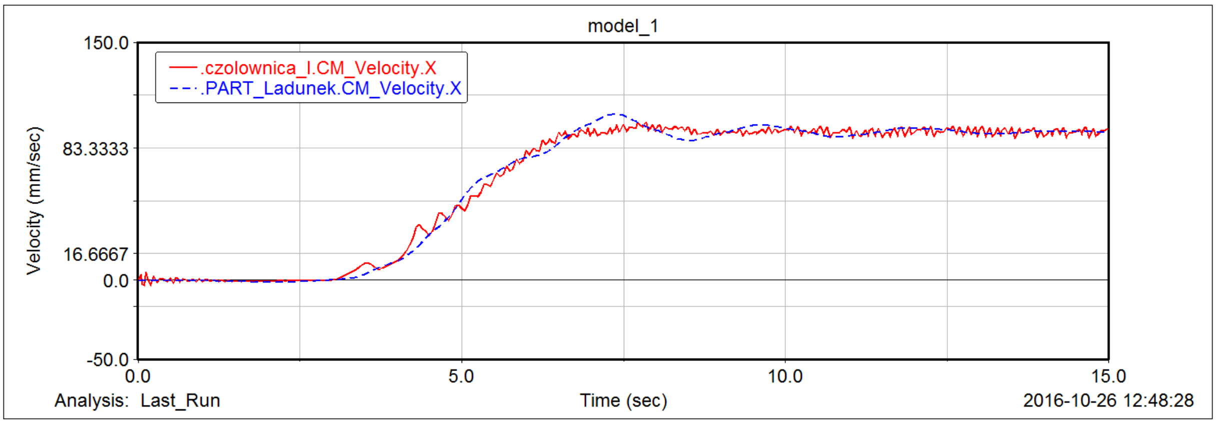
Wykres 4.1. przyspieszenie w osi Y ładunku w zależności od czasu



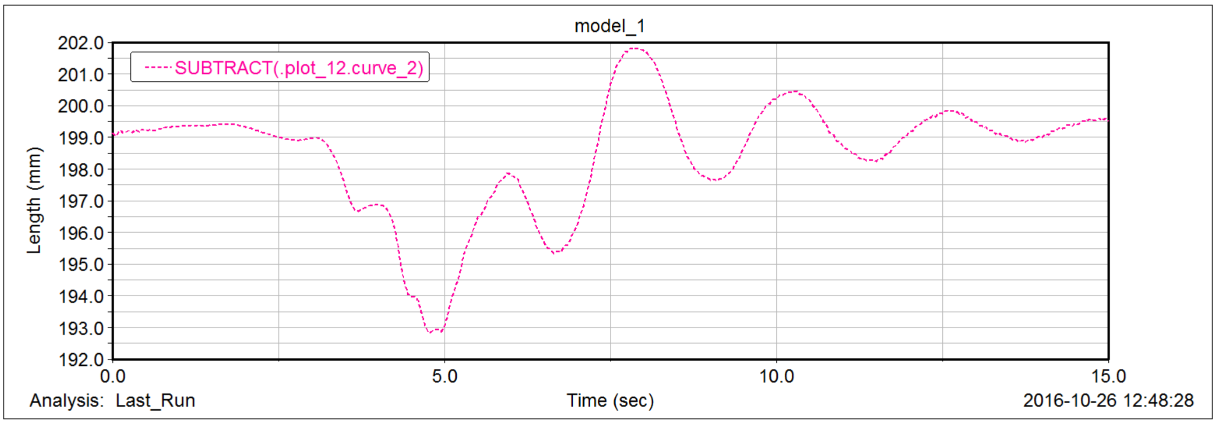
Wykres 4.2. częstotliwość drgań ładunku

Częstotliwość uzyskana około 8 Hz.

Następna symulacja - 15s liczba kroków 300.



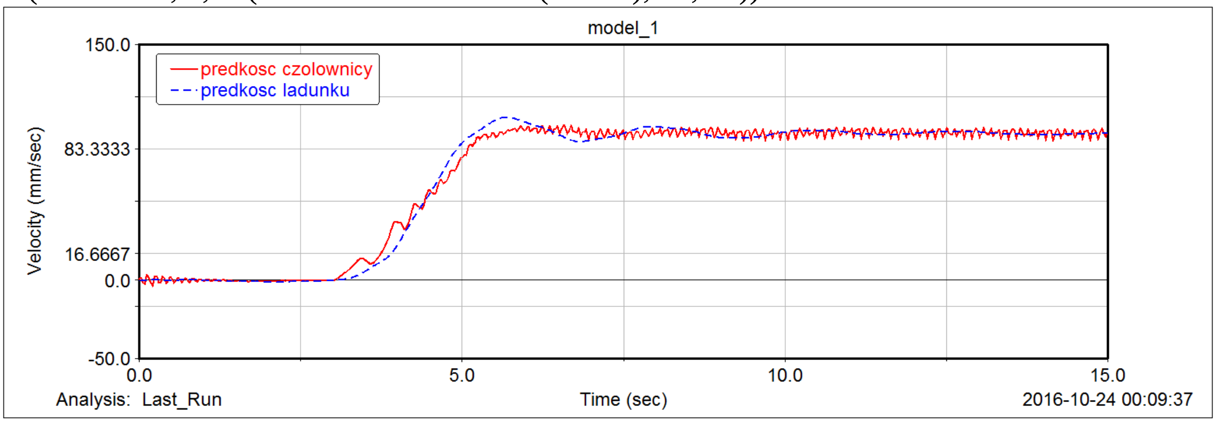
Wykres 4.3. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu



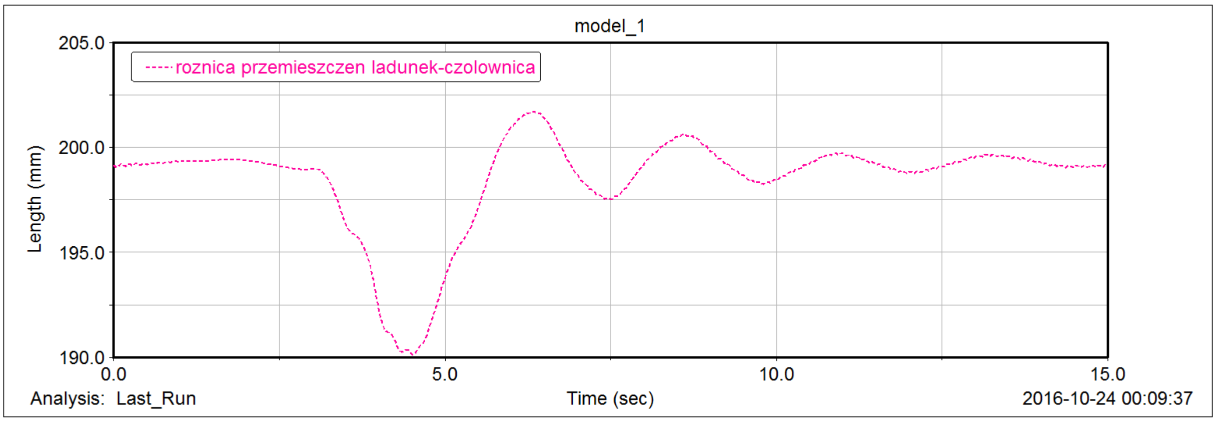
Wykres 4.4. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu

Z tego wykresu odczytano wartość (po upływie 6,5 s):
A_{ref}=6,46 mm
oraz
T=2,2 s

Następna symulacja przeprowadzona została dla systemu antywahaniowego liniowego.
Funkcja w motion:
IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 2.2:2.5/2.2*(time-3),2.5,2.5))



Wykres 4.5. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej



Wykres 4.6. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej

Odczytane dane:
A_{awl}=4,16 mm

Współczynnik X (dla systemu antywahaniowego liniowego) :

$$X_l = \frac{A_{awl}}{A_{ref}} \times 100\% = \frac{4,16}{6,46} \times 100\% = 64,39\%$$

5. Symulacja dla przypadku lina 3m i masa podnoszona 500 kg

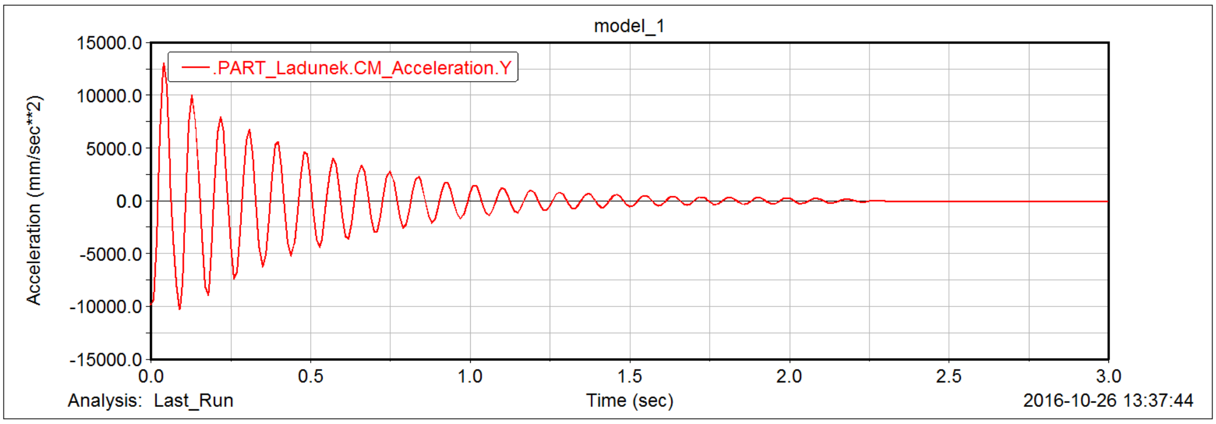
Box symbolizujący ładunek został ustawiony na wysokości y=0 w układzie współrzędnych w danym modelu, tak aby jego odległość od wciągarki wynosiła 3m. Gęstość ustawiona tak aby masa ładunku wynosiła 500 kg.
Obliczeniowy okres drgań ładunku w kierunku wzdłużnym (pod uwagę brana jest lina 28 - o długości 3130mm):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{3,13}{9,81}} = 3,55\ s$$

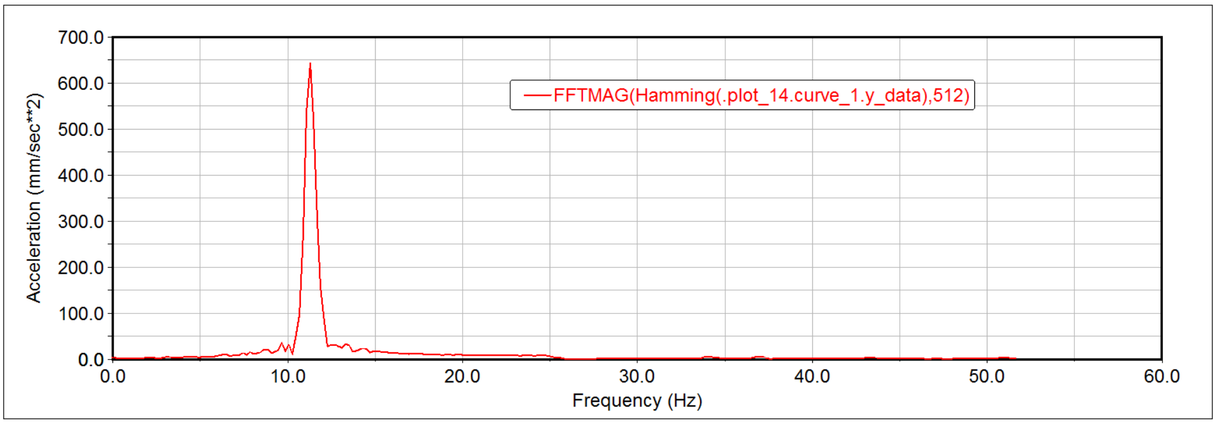
Częstotliwość drgań własnych liny:

$$f = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{958466,45}{500 \times \frac{1}{4}}} = 13,94\ Hz$$

Wykresy uzyskane z symulacji 3s, kroki 300, funkcja w motion:
IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 3.5 : 2.5/3.5*(time - 3), 2.5, 2.5))



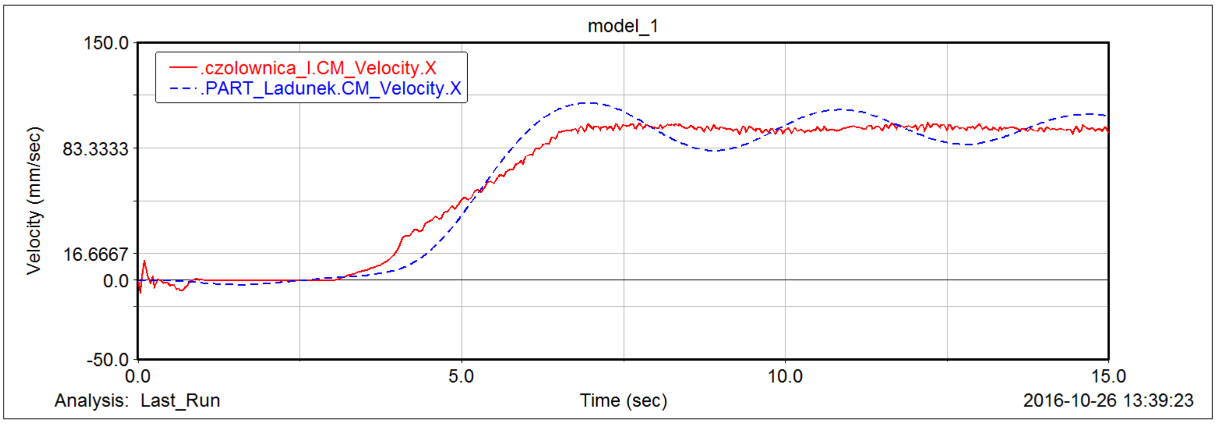
Wykres 5.1. przyspieszenie w osi Y ładunku w zależności od czasu



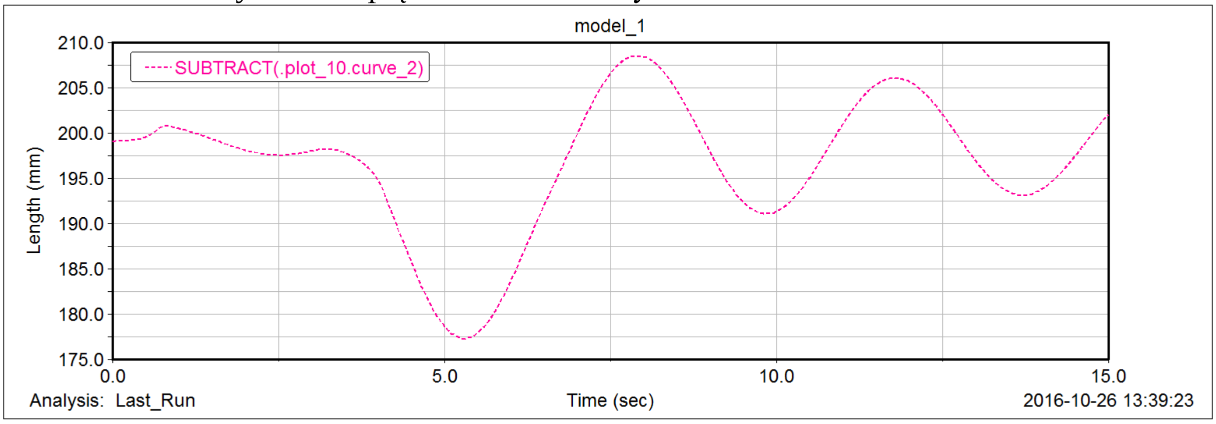
Wykres 5.2. częstotliwość drgań ładunku

Odczyt: częstotliwość drgań własnych - 13 Hz

Następna symulacja, 15s 300 kroków:



Wykres 5.3. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu



Wykres 5.4. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu

Z tego wykresu odczytano:

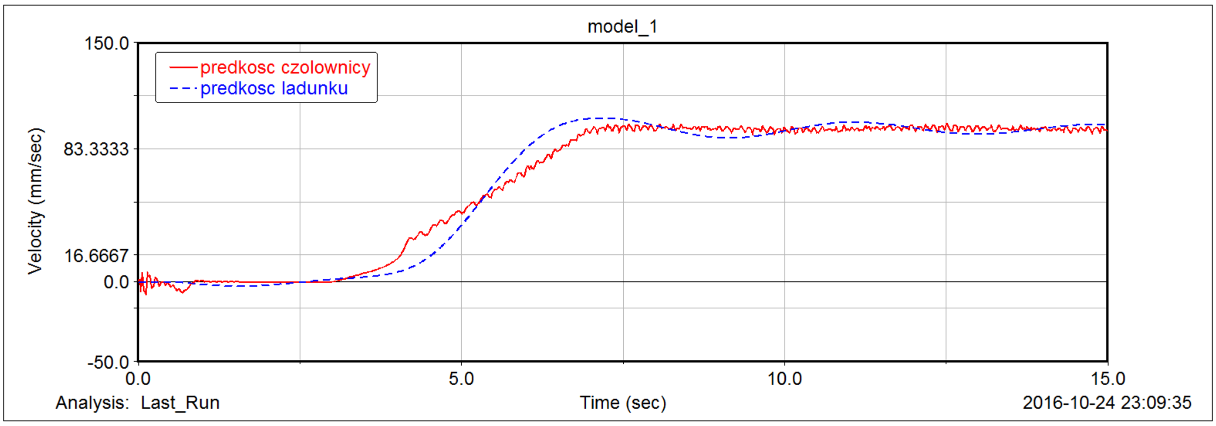
A_{ref}=17,46 mm

oraz

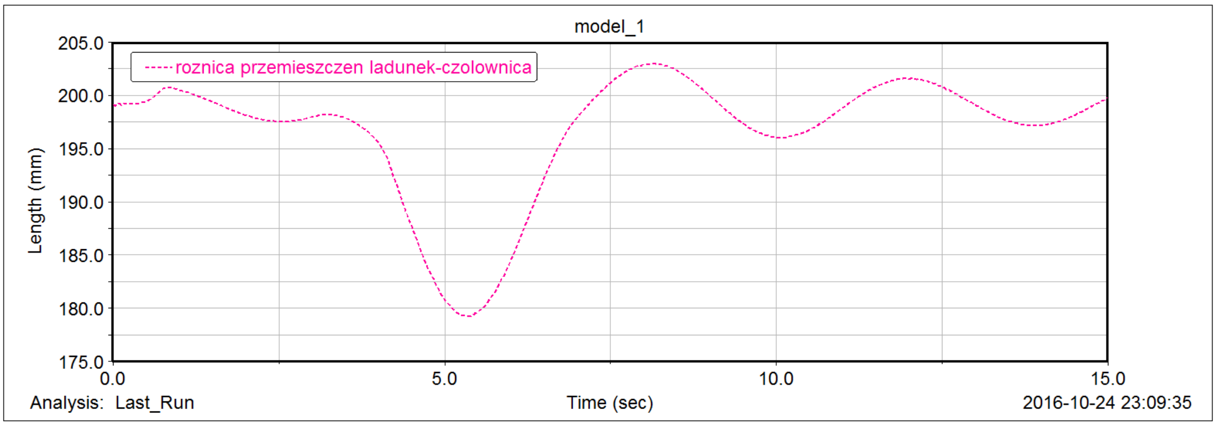
T=3,9 s

Następna symulacja, rampa liniowa, 15s, 500 kroków, funkcja w motion:

IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 3.9 : 2.5/3.9*(time - 3), 2.5, 2.5))



Wykres 5.5. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej



Wykres 5.6. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej

Odczytane dane:
A_{awl}=6,96 mm

Współczynnik X (dla systemu antywahaniowego liniowego) :

$$X_l = \frac{A_{awl}}{A_{ref}} \times 100\% = \frac{6,96}{17,46} \times 100\% = 39,86\%$$

6. Symulacja dla przypadku lina 3m i masa podnoszona 2000 kg

Gęstość box'a symbolizującego ładunek ustawiona została tak aby masa wynosiła 2000 kg. Obliczeniowy okres drgań ładunku w kierunku wzdłużnym (pod uwagę brana jest lina 28 - o długości 3130mm):

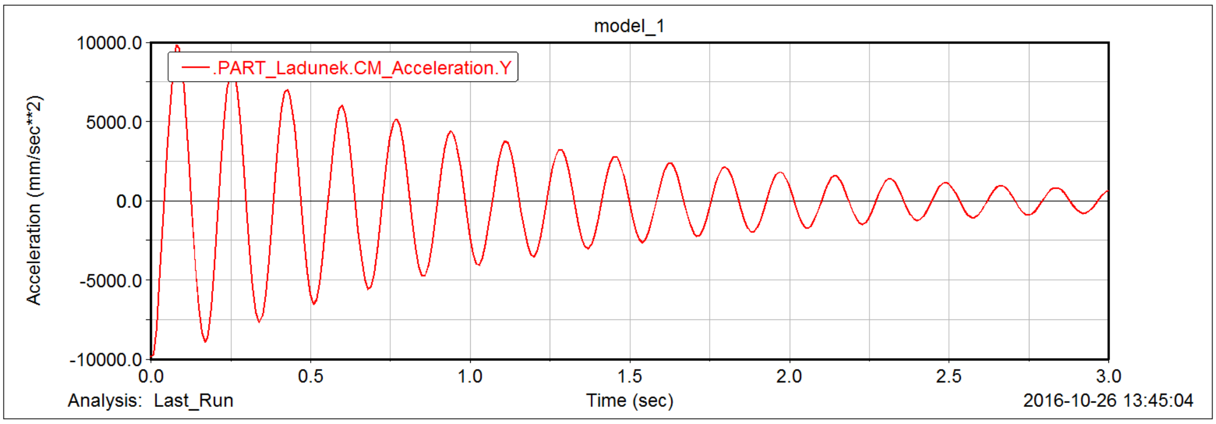
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{3,13}{9,81}} = 3,55\ s$$

Częstotliwość drgań własnych liny:

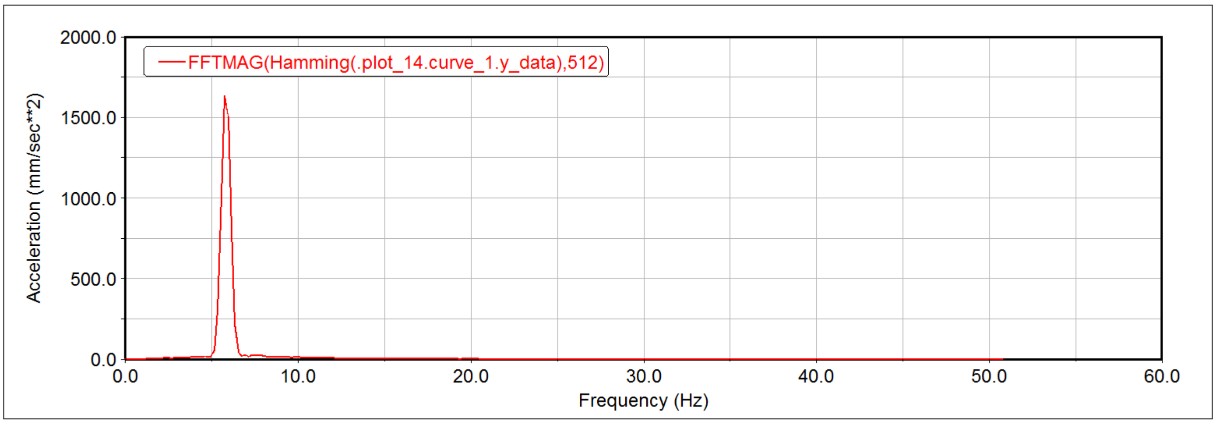
$$f = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{958466{,}45}{2000 \times \frac{1}{4}}} = 6{,}97\ Hz$$

Wykresy uzyskane z symulacji 3s, kroki 300, funkcja w motion:

IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 3.5 : 2.5/3.5*(time - 3), 2.5, 2.5))



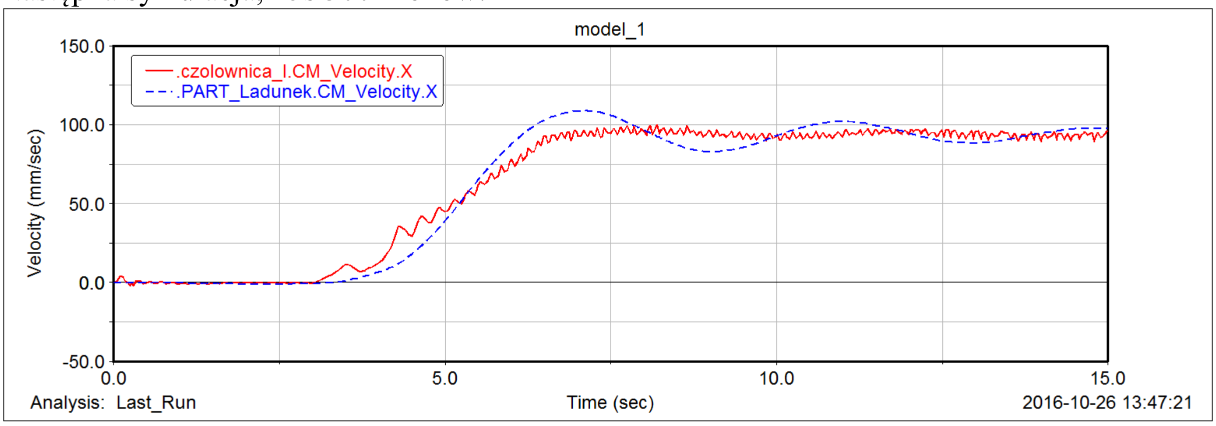
Wykres 6.1. przyspieszenie w osi Y ładunku w zależności od czasu



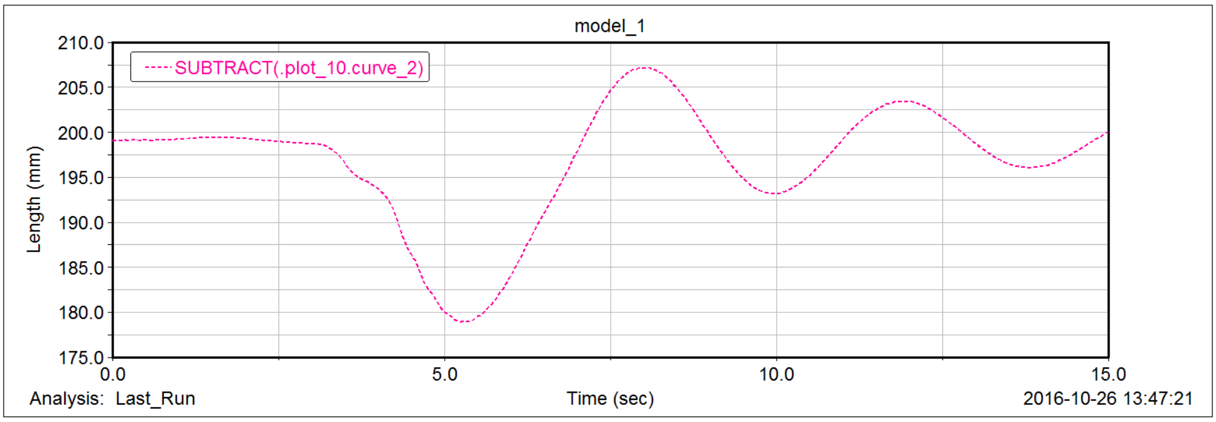
Wykres 6.2. częstotliwość drgań ładunku

Odczyt: częstotliwość drgań własnych: 6 Hz.

Następna symulacja, 15s 300 kroków:



Wykres 6.3. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu

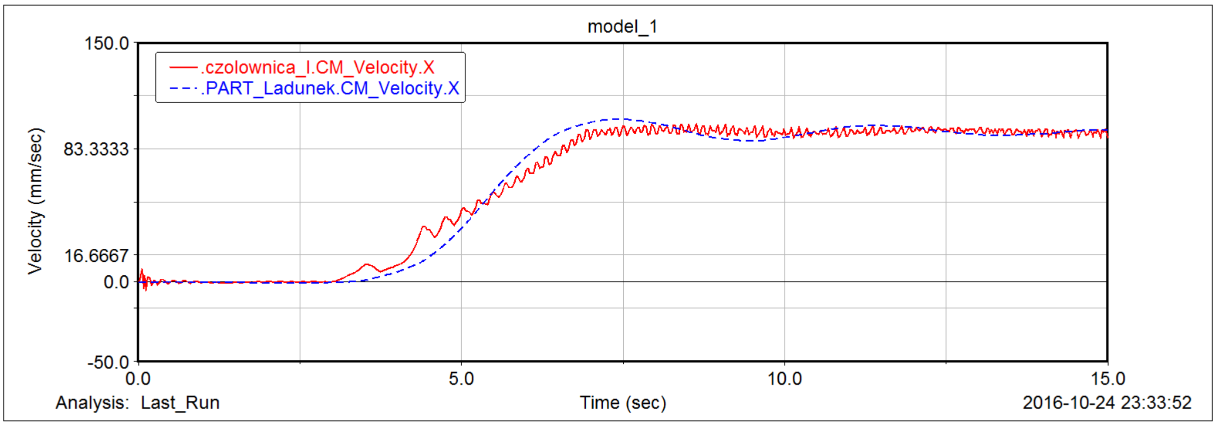


Wykres 6.4. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu

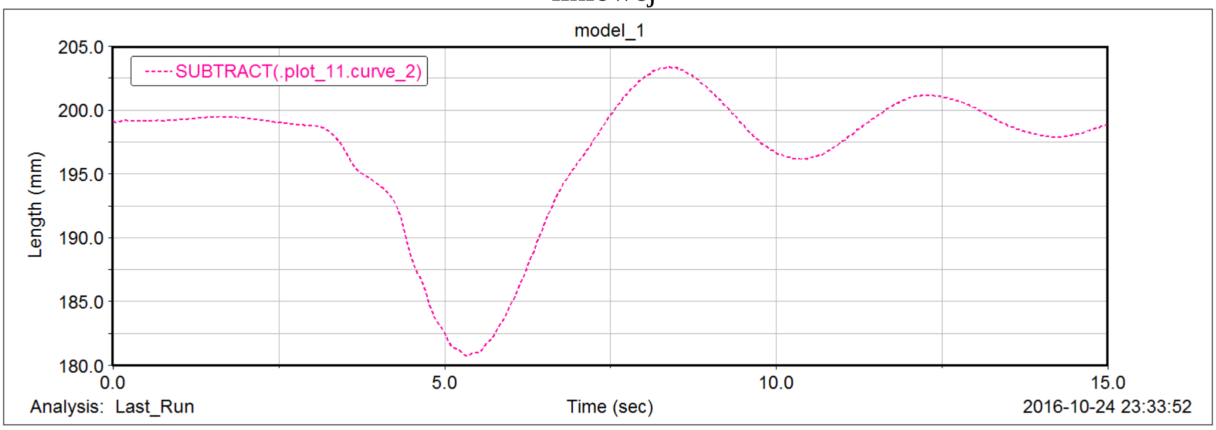
Z tego wykresu odczytano:
A_{ref}=14,05 mm
oraz
T=3,9 s

Następna symulacja, rampa liniowa, 15s, 500 kroków, funkcja w motion:

IF(time - 3: 0, 0, IF(time - 3 - 3.9 : 2.5/3.9*(time - 3), 2.5, 2.5))



Wykres 6.5. prędkości czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej



Wykres 6.6. różnica przemieszczeń czołownicy i ładunku w osi X od czasu dla rampy rozruchowej liniowej

Odczytane dane:
A_{awl}=7,26 mm

Współczynnik X (dla systemu antywahaniowego liniowego) :

$$X_l = \frac{A_{awl}}{A_{ref}} \times 100\% = \frac{7{,}26}{14{,}05} \times 100\% = 51{,}67\%$$

7. Wnioski

1. Z przeprowadzonych symulacji widać, że na początku zespół wciągarki wpada w duże drgania w osi Y i potrzebne są 3 początkowe sekundy na ich wygaszenie. W związku z tym w każdej przeprowadzonej symulacji przez pierwsze 3 sekundy czołownice nie przemieszczają się w osi X.
2. Dla zwykłej rampy trójkątnej zadanej w każdej symulacji mamy do czynienia z dużymi nieciągłościami w narastaniu prędkości w osi X a amplituda wahań układu ładunek-czołownica jest duża, proporcjonalnie większa jeśli mamy do czynienia z większą masą przenoszoną lub większą długością liny.
3. Po odczycie okresu drgań układu ładunek-czołownica i wstawieniu go do równania rampy rozruchowej drgania zanikają i są znacznie mniejsze niż na początku - system antywahaniowy spełnia swoje zadanie. Można to odczytać z wykresów różnicy przemieszczeń czołownicy i ładunku. Amplituda wahań po zmianie czasu narastania prędkości znacząco maleje.
4. Czas narastania prędkości - rampa rozruchowa, powinien być całkowitą wielokrotnością okresu wahań ładunku względem czołownicy, tak aby wygasić te drgania. W projekcie przyjęliśmy tą wartość jako 1*T.
5. Porównując teoretyczną częstotliwość drgań ładunku z tą odczytaną z wykresów różnicy przemieszczeń można stwierdzić że różnice między teorią a programem ADAMS oscylują w granicach 0,35-0,7s.
6. Dla liny 0,5 m częstotliwości drgań własnych nie pokrywają się z tymi wyliczonymi z wzorów, natomiast dla 3 m pokrywają się z teorią. Można zauważyć, że przy najmniejszej masie oraz najkrótszych linkach częstotliwość drgań będzie największa, natomiast dla najdłuższych linek oraz największej masy częstotliwość będzie najmniejsza.
7. Dla pierwszego przypadku pokazano działanie rampy rozruchowej o kształcie sinusoidalnym - z wykresów i danych z nich odczytanych wynika że można uzyskać nieco mniejsze drgania układu dla takiego rozruchu.
8. Częstotliwość drgań pionowych ładunku maleje po zastosowaniu liniowej lub sinusoidalnej rampy rozruchowej.
9. Współczynnik X jest miarą wygaszenia drgań przenoszonego ładunku przez suwnicę. Im jest on mniejszy tym mniejsze są drgania, a co za tym idzie sprawność a także bezpieczeństwo działania całego urządzenia. Porównując rampę liniową z sinusoidalną można zaobserwować że drgania lepiej wygaszane są przez rampę sinusoidalną (im większa masa przenoszona tym łatwiej jest to zaobserwować).