Laboratorium problemowe
Suwnica 3-D

Maciej Cebula
Maciej Talar

Spis treści

Laboratorium nr 1

1.1 Cel zajęć

Celem zajęć jest zaproponowanie sposobu sterowania suwnicą 3D, które umożliwi przetransportowanie podwieszonego ładunku pomiędzy dwoma punktami w przestrzeni. Zadanie to polega na przeprowadzeniu szeregu badań, na bazie których to zaprojektowany zostanie regulator realizujący postawione zadanie. Wartości sterowania w tym przypadku będą podawane na trzy silniki prądu stałego odpowiedzialne za przemieszczanie wózka z podwieszonym ładunkiem wzdłuż trzech osi. Przebieg całego zadania można wstępnie podzielić na następujące etapy:

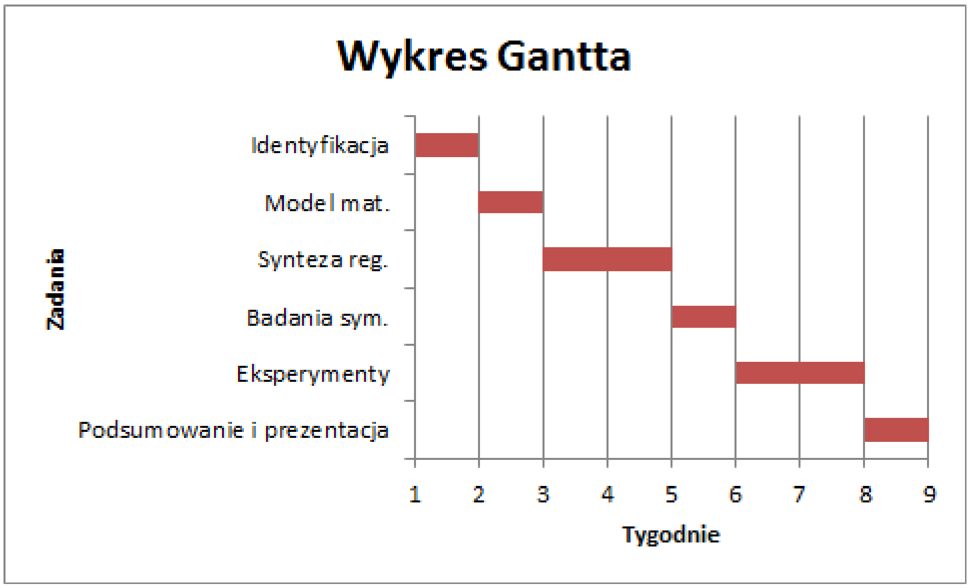
1. Identyfikacja parametrów obiektu
2. Stworzenie model matematycznego
3. Zaproponowanie struktury regulatora w formie ciągłej odpowiedzialnego za realizacje postawionego zadania
4. Przeprowadzenie badań symulacyjnych w środowisku MATLAB/SIMULINK
5. Przeprowadzeniu eksperymentów i porównaniu ich wyników z wynikami symulacji
6. Realizacja wybranego regulatora w formie dyskretnej i porównaniu efektów jego działania z wersją ciągłą
7. Prezentacja i omówienie otrzymanych wyników

Aby móc porównać poszczególne wyniki sterowania uzyskane dla różnych struktur regulatora konieczne będzie zdefiniowanie wskaźników jakości. Na tym etapie najbardziej odpowiednie wydają się być:

1. czas regulacji
2. maksymalne odchylenie od położenie pionowego podwieszonego ładunku

1.2 Plan działania

Z racji na dość napięty grafik na poniższym wykresie Gantta przedstawiającym szacunkowy czas potrzebny na realizacje poszczególnych etapów laboratorium nie uwzględniono syntezy regulatora dyskretnego. Przedstawiony podział może ulegać korektom w wyniku wystąpienia trudności w realizacji poszczególnych zadań.



Rys. 1.1: Wykres Gantta poszczególnych etapów laboratorium.

Laboratorium nr 2

2.1 Identyfikacja parametrów

Proces identyfikacji polegał na wyznaczeniu parametrów silników napędzających wózek wzdłuż osi X i Y. Z racji na to, że w układzie występuje racie statyczne przyjęto model o następującej transmitancji:

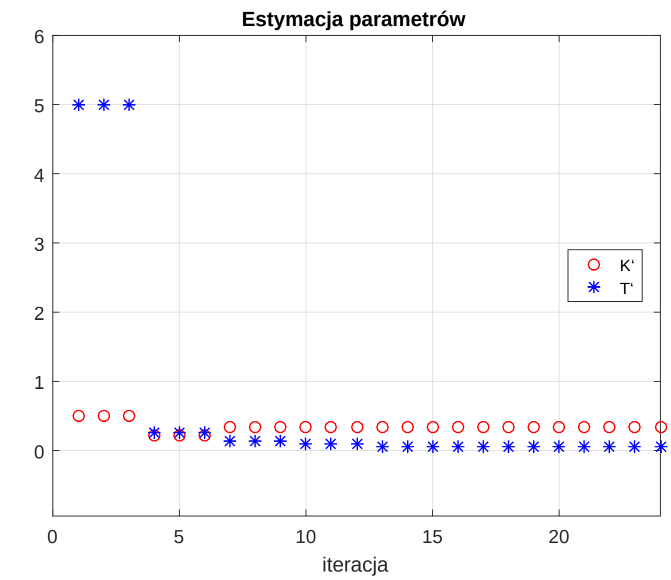
$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)} \tag{2.1}$$

gdzie:
$X(s)$ - położenie wózka
$u(s)$ - sterowanie w postaci współczynnika wypełnienia sygnału PWM

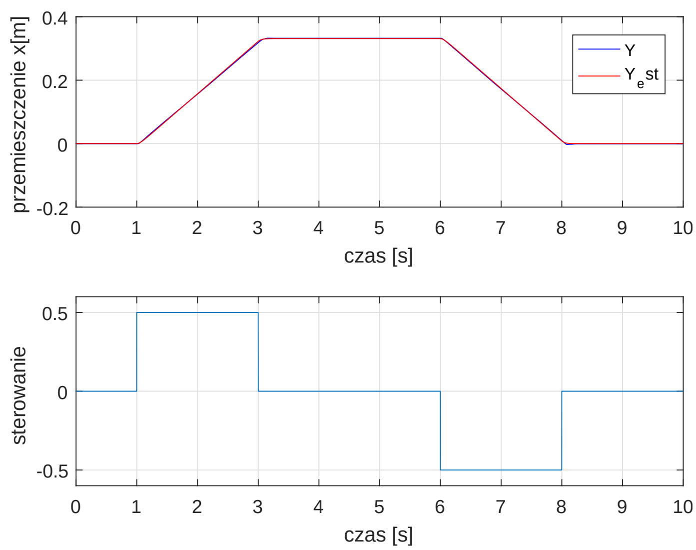
Dla każdej z osi X i Y przeprowadzano eksperyment polegający na rejestrowaniu położenia wózka w reakcji na zadane sterowanie. Na podstawie otrzymanych danych otrzymano przybliżone wartości parametrów K, T, $I\tau$ z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów. W tabeli 2.1 zamieszczono wyniki całej procedury.

Tabela 2.1: Parametry przyjętego modelu silników.

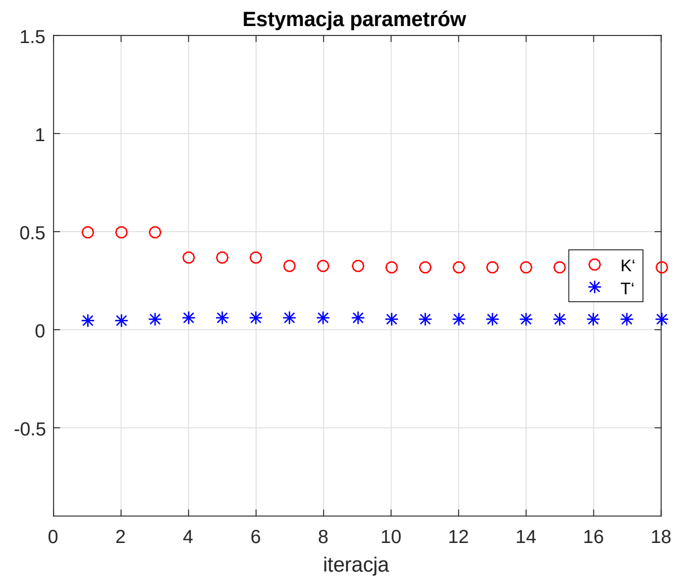
Oś	**K**	**T**
X	0.3224	0.0471
Y	0.3184	0.057



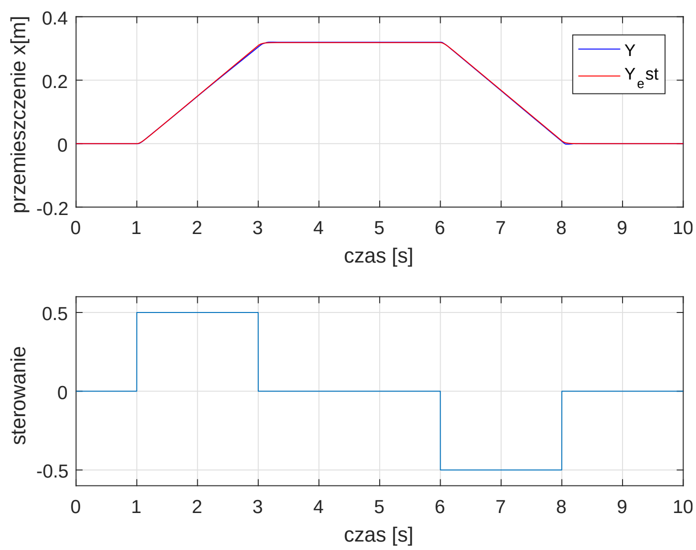
Rys. 2.1: Przebieg estymacji parametrów . Ruch wzdłuż osi X. Metoda najmniejszych kwadratów.



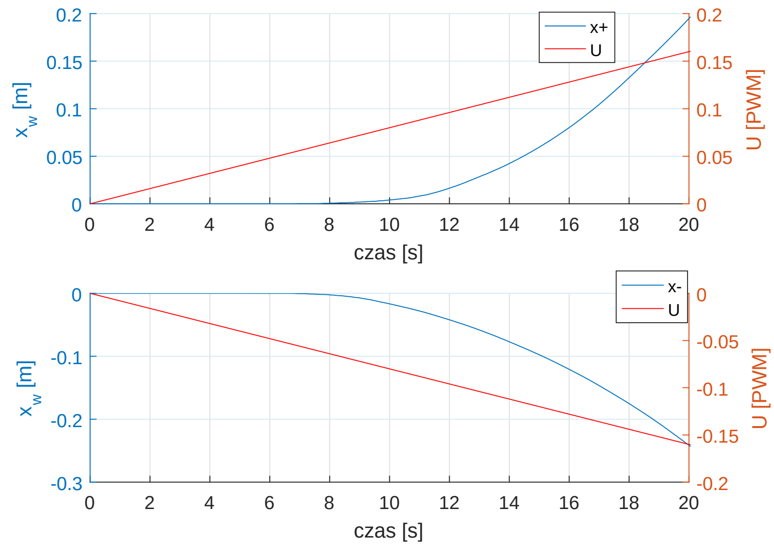
Rys. 2.2: Porównanie odpowiedzi obiektu z modelem.



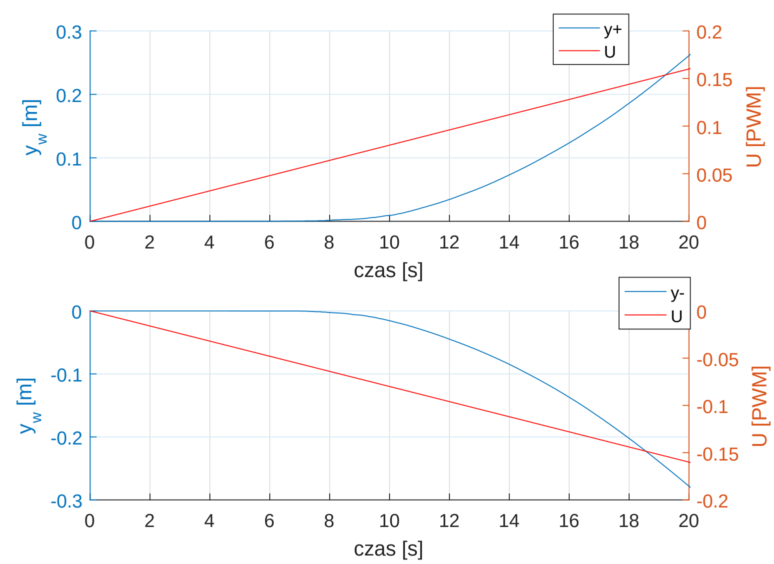
Rys. 2.3: Przebieg estymacji parametrów . Ruch wzdłuż osi Y. Metoda najmniejszych kwadratów.



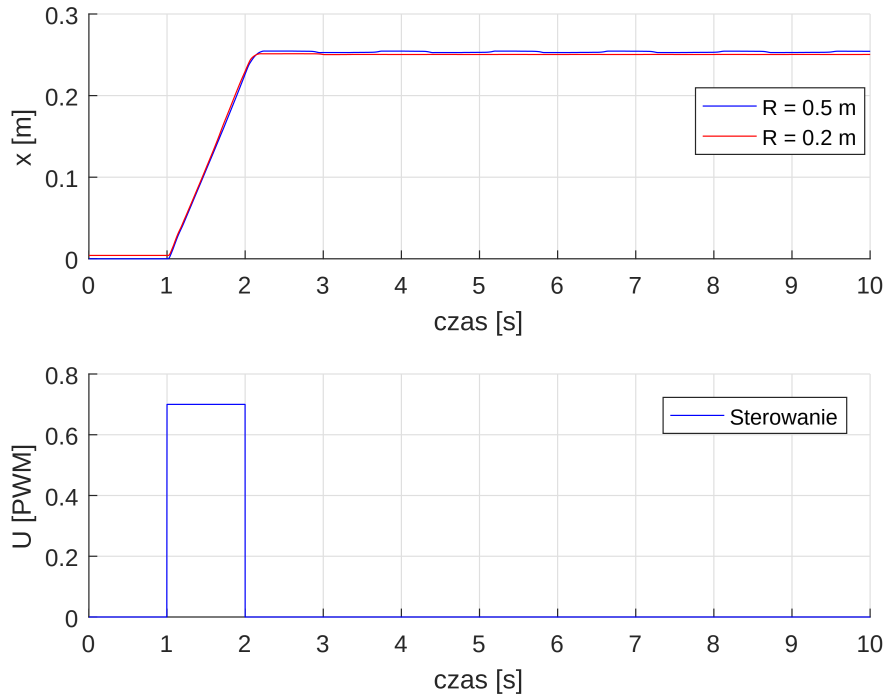
Rys. 2.4: Porównanie odpowiedzi obiektu z modelem.



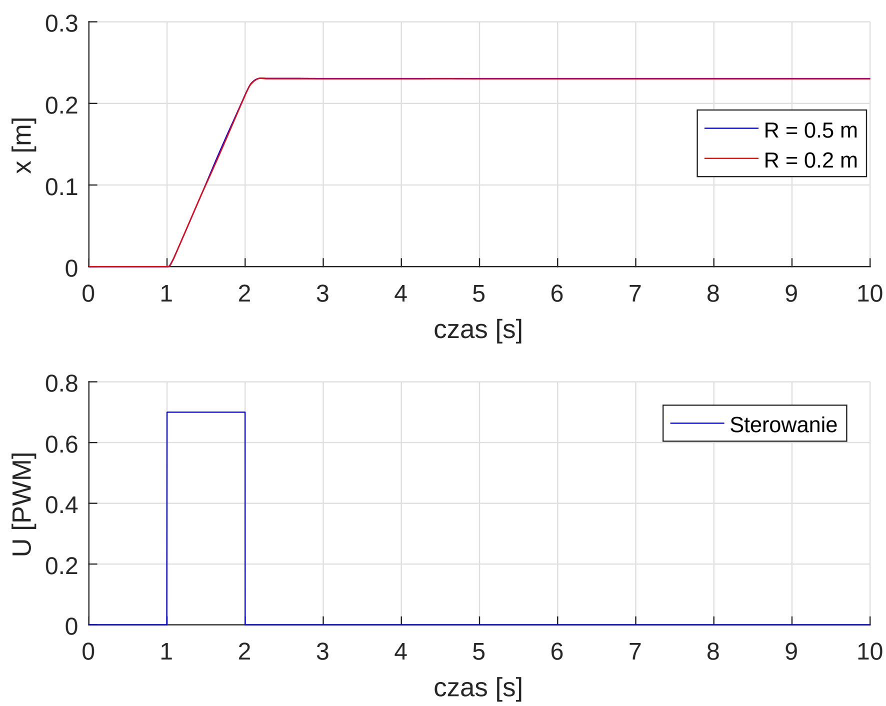
Rys. 2.5: Wyznaczenie tarcia statycznego oś X .



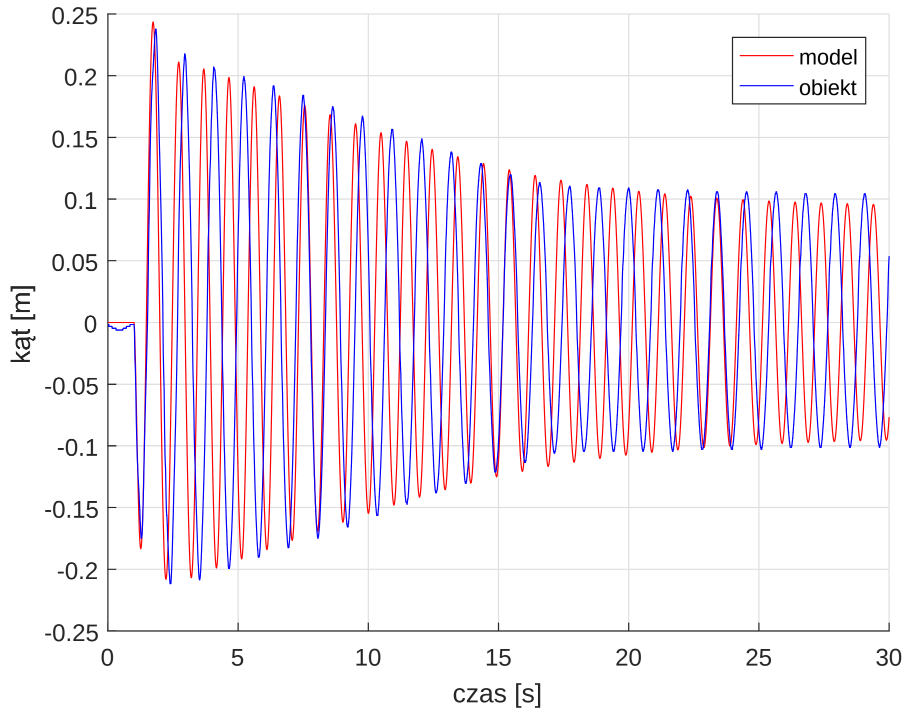
Rys. 2.6: Wyznaczenie tarcia statycznego oś Y.



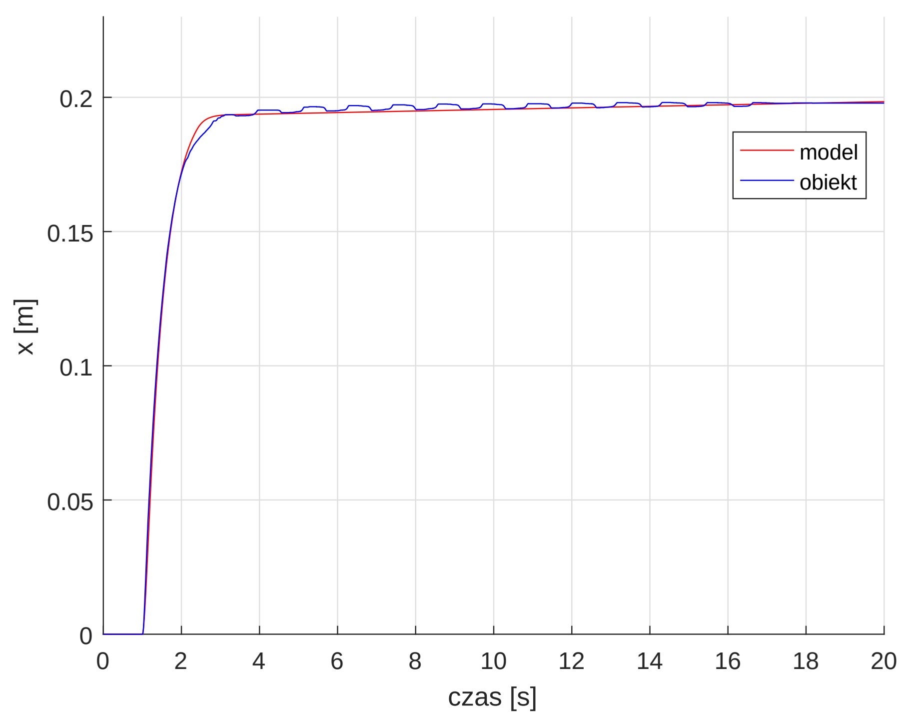
Rys. 2.7: Porównanie położenia wózka dla różnych długości linki - R, oś Y.



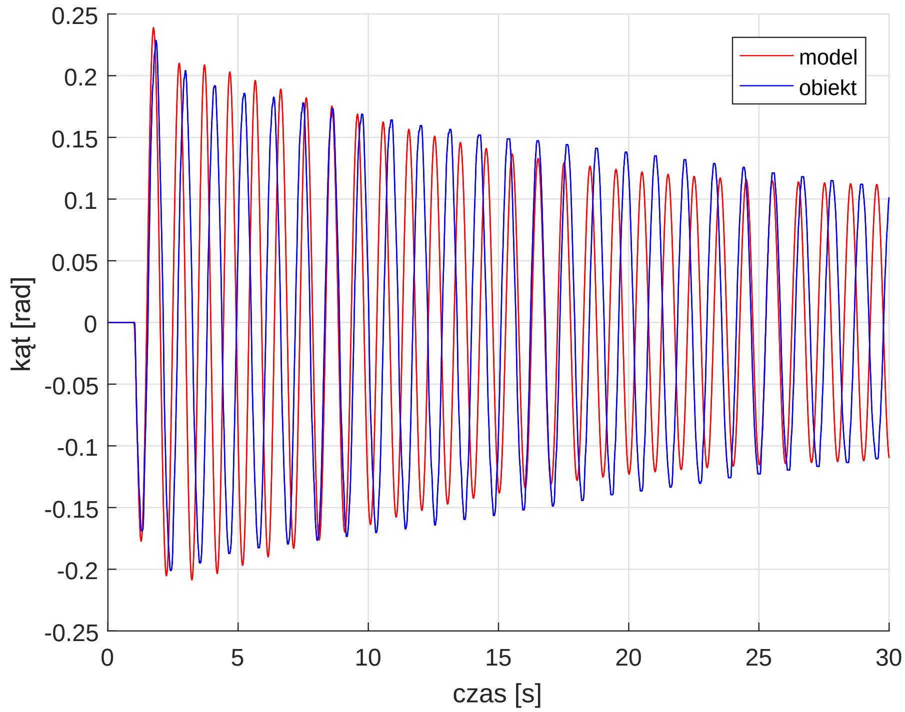
Rys. 2.8: Porównanie położenia wózka dla różnych długości linki - R, oś X.



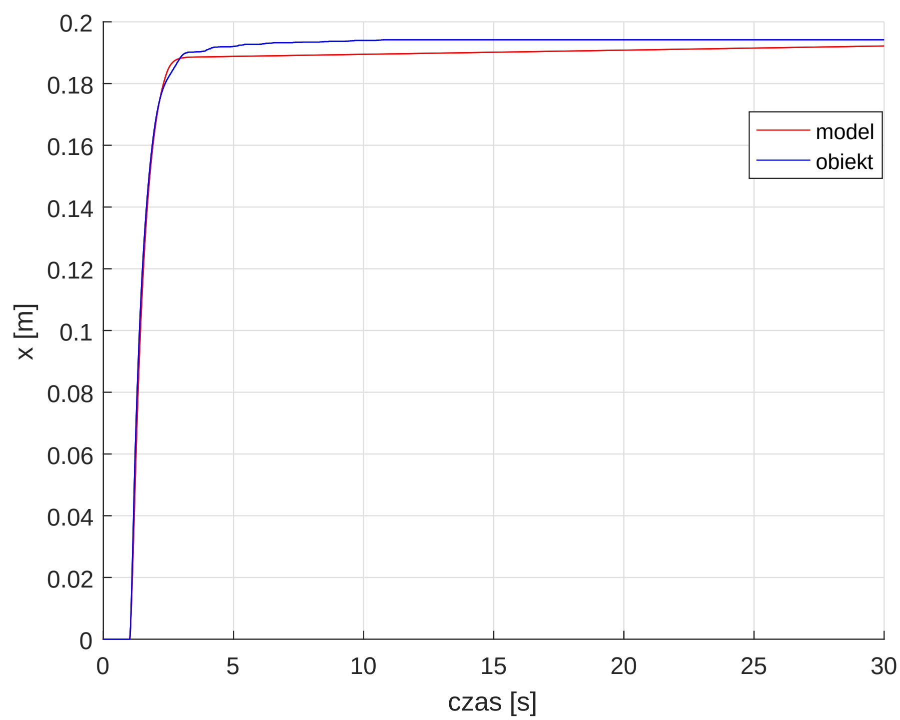
Rys. 2.9: Porównanie kąta wychylenia ładunku modelu z obiektem oś X.



Rys. 2.10: Porównanie położenia wózka modelu z obiektem, oś X.

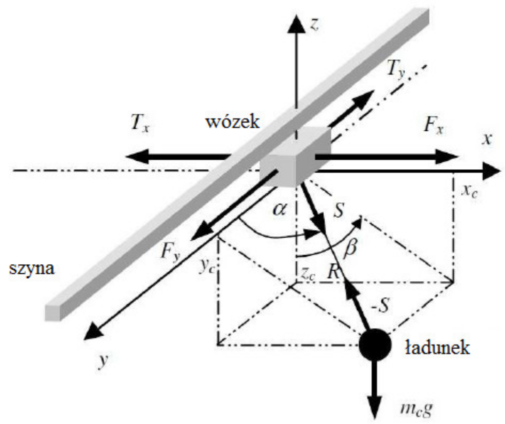


Rys. 2.11: Porównanie kąta wychylenia ładunku modelu z obiektem oś Y.



Rys. 2.12: Porównanie położenia wózka modelu z obiektem, oś Y.

2.2 Model matematyczny



Rys. 2.13: Schemat stanowiska. Opracowano na podstawie [2]

Na podstawie [1] i [2] opracowano następujący model matematyczny obiektu. W zaprezentowanych poniżej równaniach przyjęto następujące oznaczenia:

$x_c,\ y_c$ - położenie wózka odpowiednio wzdłuż osi x i y,
$x_c,\ y_c,\ z_c$ - położenie ładunku odpowiednio wzdłuż osi X, Y, Z,
R - długość linki na której podwieszony jest ładunek,
α - kąt pomiędzy osią X a liną,
β - kąt pomiędzy ujemną częścią osi Z a rzutem liny na płaszczyznę YZ,
$m_w = 1.155\ kg$ - masa wózka,
$m_s = 2.2\ kg$ - masa szyny,
$m_c = 1\ kg$ - masa ładunku,
$u_1,\ u_2,\ u_3$ - sterowania w postaci przyspieszenia działające wzdłuż kolejnych osi X,Y,Z.

Do opisu całego układu za pomocą równań stanu przyjęto następujące zmienne stanu:
$x_1 = x_c$
$x_2 = \dot{x_c} = \dot{x_1}$
$x_3 = y_c$
$x_4 = \dot{y_c} = \dot{x_3}$
$x_5 = \alpha$
$x_6 = \dot{\alpha} = \dot{x_5}$
$x_7 = \beta$
$x_8 = \dot{\beta} = \dot{x_7}$
$x_9 = R$
$x_{10} = \dot{R} = \dot{x_9}$

Dodatkowo wprowadzono oznaczenia:

$$\sin(x_i) = s_i \tag{2.2}$$

$$\cos(x_i) = c_i \tag{2.3}$$

$$\mu_1 = \frac{m_c}{m_w} \tag{2.4}$$

$$\mu_2 = \frac{m_c}{m_w + m_s} \tag{2.5}$$

$$V_5 = c_5 s_5 {x_8}^2 x_9 - 2x_{10} x_6 + g c_5 c_7 \tag{2.6}$$

$$V_6 = 2x_8(c_5 x_6 x_9 + s_5 x_{10}) + 2g s_7 \tag{2.7}$$

$$V_7 = (s_5 x_8)^2 x_9 + g s_5 c_7 + x_6^2 x_9 \tag{2.8}$$

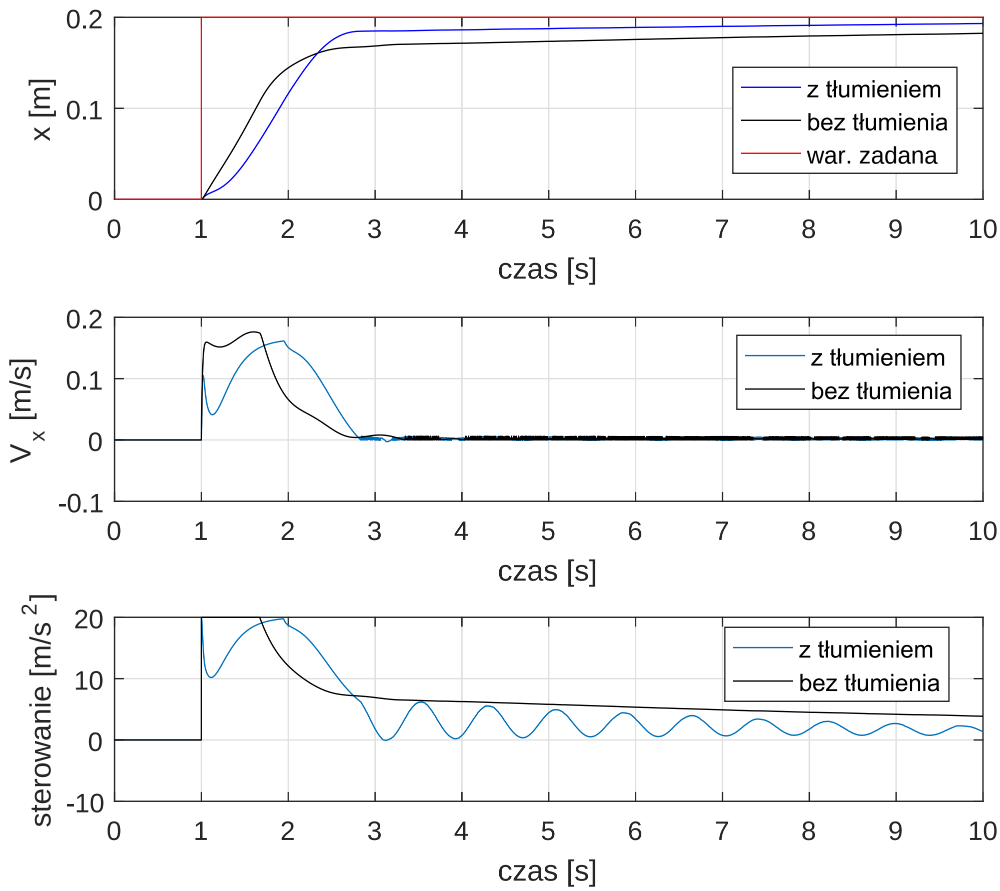
2.2.1 Model nieliniowy

$$\begin{gathered}
\dot{x_1} = x_2 \\
\dot{x_2} = u_1 = \mu_1 c_5 u_3 \\
\dot{x_3} = x_4 \\
\dot{x_4} = u_2 + \mu_2 s_5 s_7 u_3 \\
\dot{x_5} = x_6 \\
\dot{x_6} = (s_5 u_1 - c_5 s_7 u_2 + (\mu - \mu_2 s_7^2) c_5 s_5 u_3 + V_5)/x_9 \\
\dot{x_7} = x_8 \\
\dot{x_8} = -(c_7 u_2 + \mu_2 s_5 c_7 s_7 u_3 + V_6)/(s_5 x_9) \\
\dot{x_9} = x_9 \\
\dot{x_{10}} = -c_5 u_1 - s_5 s_7 u_2 - (1 + \mu_1 c_5^2 + \mu_2 s_5^2 s_7^2) u_3 + V_7
\end{gathered} \tag{2.9}$$

2.2.2 Model liniowy

Przyjmując następujące przybliżenia:
dla $\alpha \simeq \frac{\pi}{2}$ $\cos(\alpha) \simeq -\alpha$, $\sin(\alpha) \simeq 1$ oraz dla $\beta \simeq 0$ $\cos(\beta) \simeq 1$, $\sin(\beta) \simeq \beta$ otrzymano:

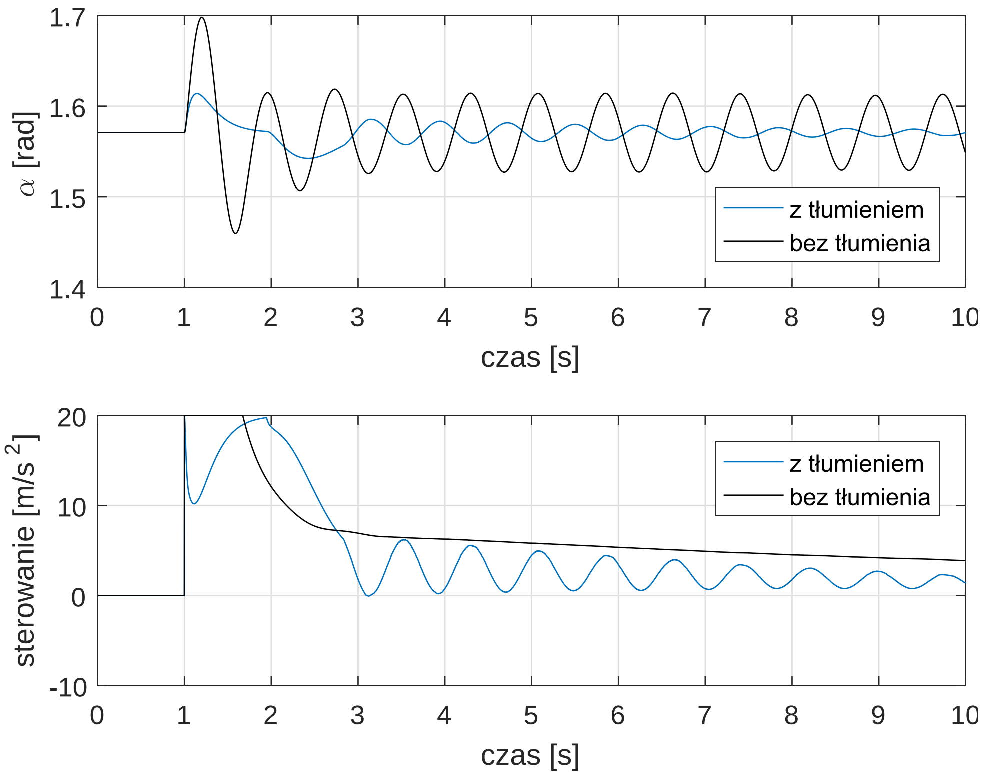
$$\begin{gathered}
\dot{x_1} = x_2 \\
\dot{x_2} = u_1 - \mu_1 x_5 u_3 \\
\dot{x_3} = x_4 \\
\dot{x_4} = u_2 + \mu_2 x_7 u_3 \\
\dot{x_5} = x_6 \\
\dot{x_6} = (u_1 - \mu_1 x_5 u_3 - g x_5 - 2x_6 x_{10})/x_9 \\
\dot{x_7} = x_8 \\
\dot{x_8} = -(u_2 + \mu_2 x_7 u_3 + g x_7 + 2x_8 x_{10})/x_9 \\
\dot{x_9} = x_{10} \\
\dot{x_{10}} = 0;
\end{gathered} \tag{2.10}$$



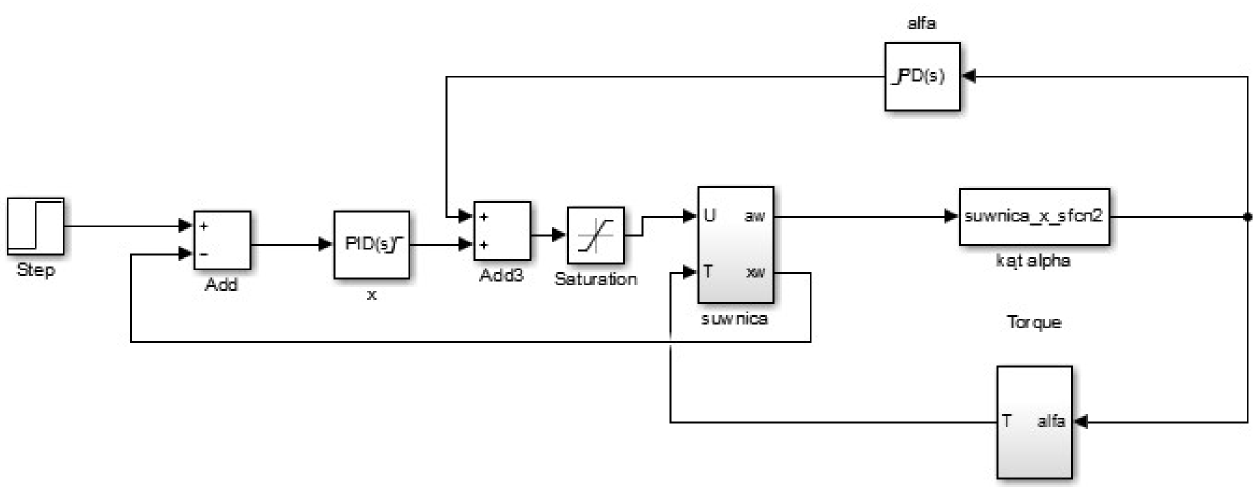
Rys. 2.14: Model liniowy - współrzędne wózka.

2.2.3 Przykładowy regulator PID i PD

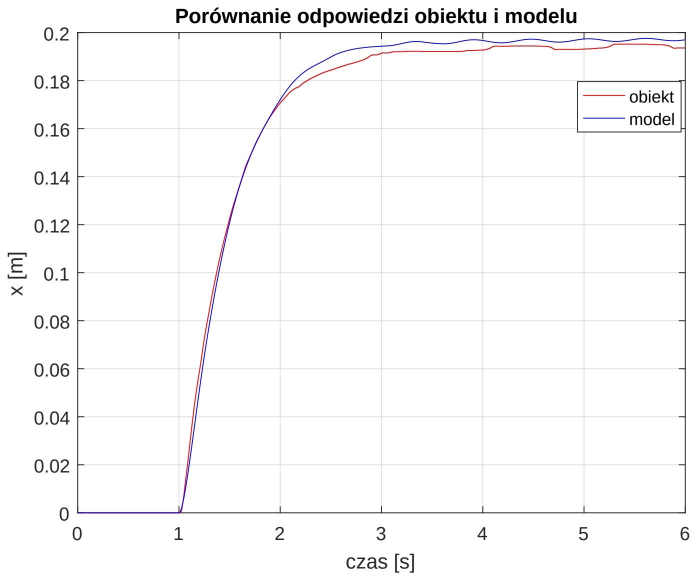
Nastawy regulatora PID oś X.
$K = 10$
$Ti = 0.005$
$Td = 2$
Nastawy regulatora PD kąt α.
$P = 10$
$Td = 0.5$



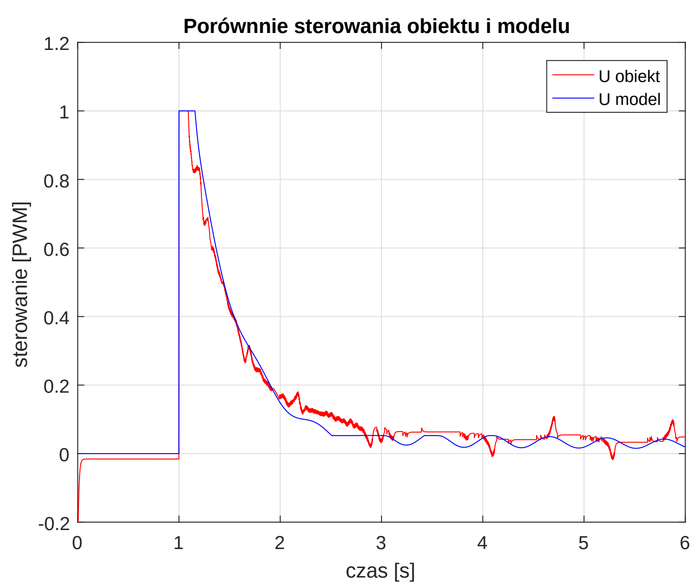
Rys. 2.15: Model liniowy - kąty wychylenia ładunku.



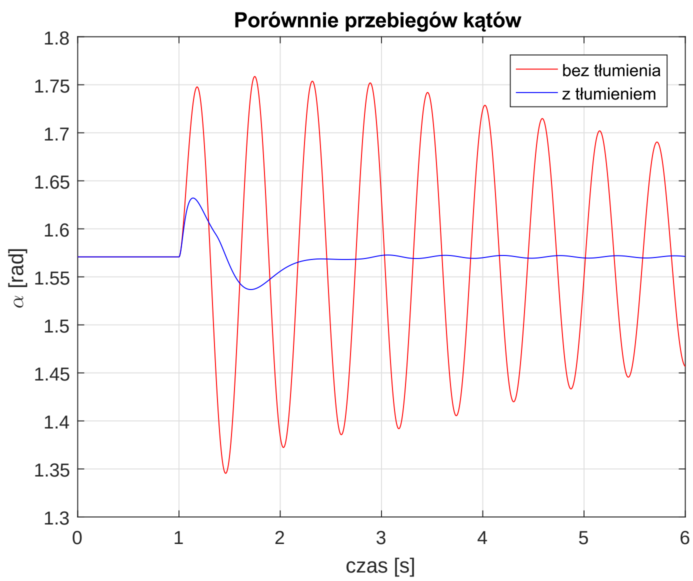
Rys. 2.16: Schemat sterowania oś X.



Rys. 2.17: Porównanie odpowiedzi obiektu i modelu .



Rys. 2.18: Porównanie sterowania obiektu i modelu .



Rys. 2.19: Przykład działania tłumienia drgań ładunku - model oś X.

Bibliografia

[1] Pauluk, M.: *Model matematyczny trójwymiarowej suwnicy.* W: **Automatyka** 2002 tom 6 s. 69-102, ISSN: 1429-3447

[2] Pauluk, M.: *Optimal and robust control of 3D crane.* W: **Przegląd Elektrotechniczny**, 2012 vol. 2 pp. 205-212 ISSN: 0033-2097