

# Laboratorium problemowe

## Helikopter

Maciej Cebula  
Marcin Kowalczyk  
Daniel Rubak

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
1.1	Cel zajęć . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Identyfikacja</b>	<b>3</b>
2.1	Identyfikacja parametrów śmigieł. . . . .	3
2.2	Charakterystyka statyczna helikoptera. . . . .	4
2.3	Moment bezwładności . . . . .	6
2.3.1	Oś "pitch" . . . . .	6

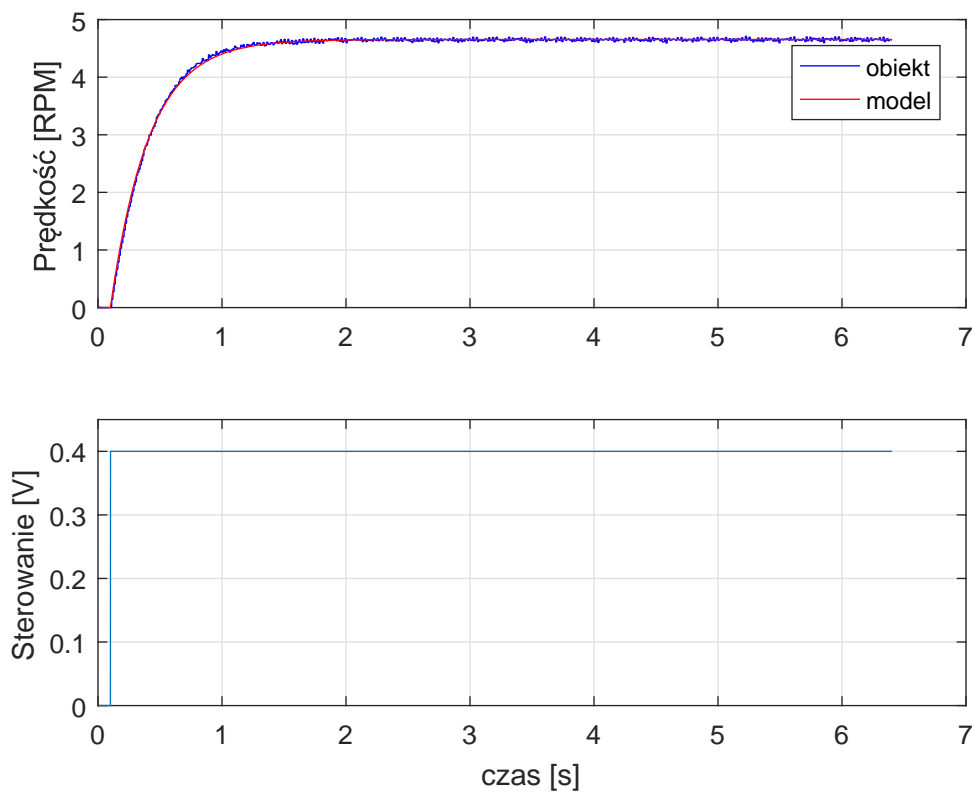
# Wstęp

## 1.1 Cel zajęć

# Identyfikacja

## 2.1 Identyfikacja parametrów śmigieł.

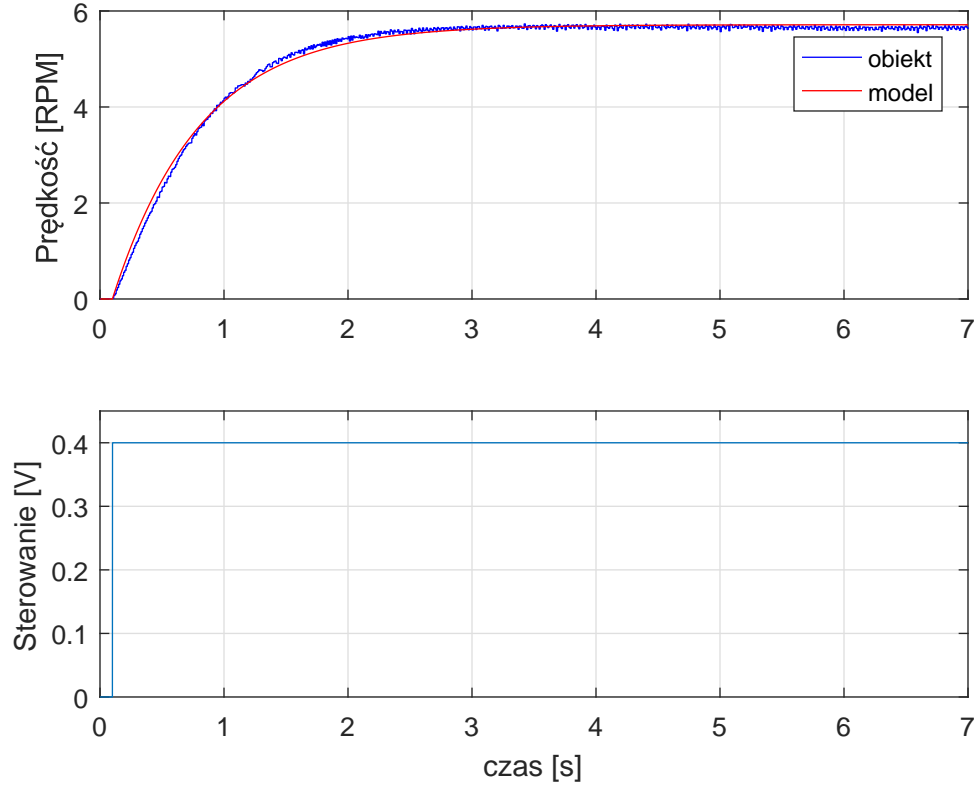
W celu wyznaczenia dynamiki śmigieł helikoptera odpowiedzialnych za ruch odpowiednio względem osi pionowej - Pitch jak i poziomej - Azimuth, przeanalizowano odpowiedzi obiektu na wymuszenie w postaci skoku jednostkowego. Zmiana prędkości obrotowej każdego ze śmigieł, w reakcji na skokową zmianę napięcia zasilania, posłużyła do wyznaczenia parametrów transmitancji. Na bazie przeprowadzonych doświadczeń przyjęto, że każde ze śmigieł jest obiektem inercyjnym pierwszego rzędu w sytuacji gdy sygnałem wejściowym jest napięcie zasilania, a wyjściowym prędkość obrotowa. Do wyznaczenia parametrów tak przyjętego modelu wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów.



Rys. 2.1: Charakterystyka śmigła oś pozioma.

W przypadku osi poziomej model śmigła opisany jest następującą transmitancją:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{11.63}{0.31s + 1} \quad (2.1)$$



Rys. 2.2: Charakterystyka śmigła oś pionowa.

Natomiast dla osi pionowej :

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{14.28}{0.71s + 1} \quad (2.2)$$

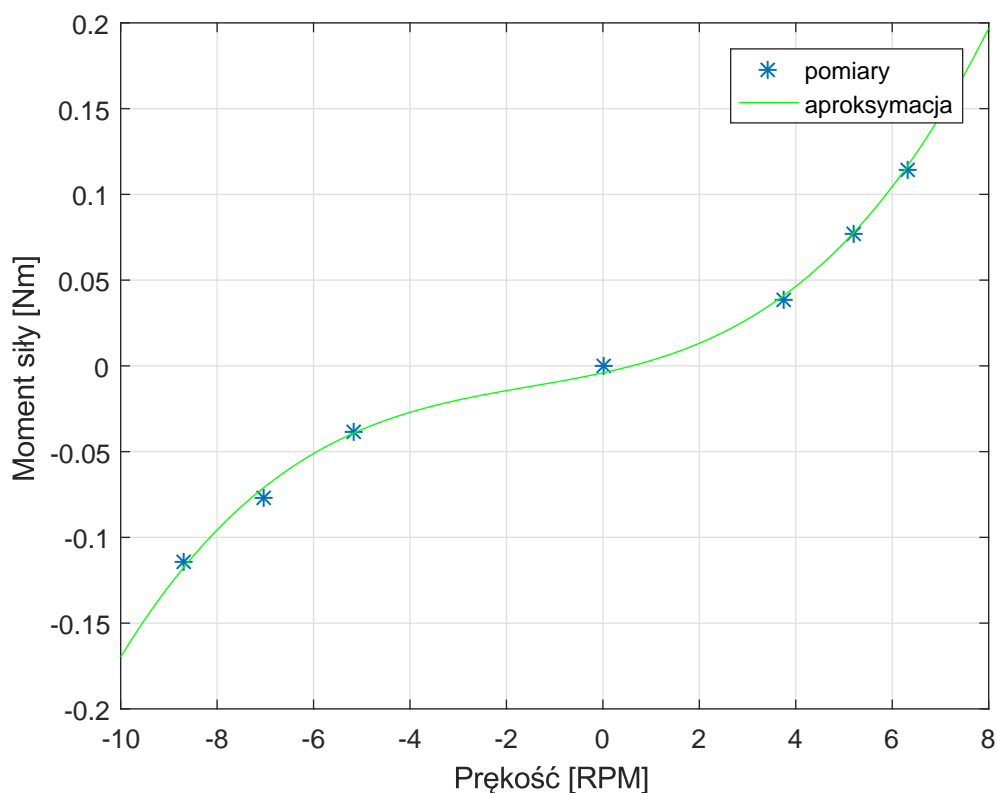
## 2.2 Charakterystyka statyczna helikoptera.

Do wyznaczenia zależności generowanego momentu siły przez śmigło odpowiedzialne za ruch wzdłuż osi pionowej przeprowadzono eksperyment polegający na doczepianiu ciężarków o różnej masie z drugiej strony helikoptera i równoważeniu tak powstałego momentu siły przez odpowiednie dobranie prędkości obrotowej. W tabeli 2.1 podano otrzymane dane. Na podstawie zależności momentu siły od prędkości wyznaczono wielomian aproksymujący rzędu trzeciego opisanego zależnością :

$$M(v) = -0.0002v^3 - 0.0009v^2 - 0.0061v + 0.1571 \quad (2.3)$$

Tabela 2.1: Porównanie poszczególnych regulatorów LQR.

Masa [g]	Prędkość [RPM]	Wsp. PWM [%]	Moment siły [Nm]
0	7.1	63	0.1530
15	6.3	51	0.1148
30	5.2	37	0.0765
45	3.75	32	0.0383
60	0	0	0
75	-5.15	-33	-0.0383
90	-7.05	-57	-0.0765
105	-8.7	-85	-0.1148

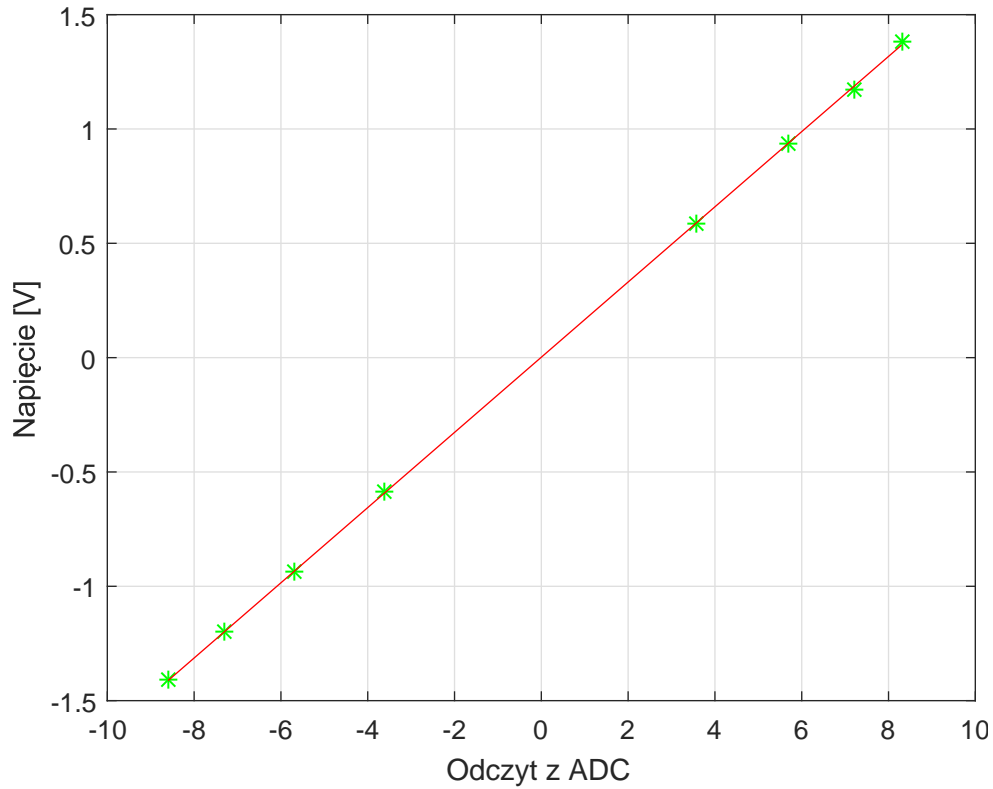


Rys. 2.3: Charakterystyka statyczna śmigła oś pionowa.

Chcąc znaleźć zależność pomiędzy wartościami odczytywanymi z tachoprądnicy a rzeczywistą prędkością obrotową śmigła sporządzono charakterystykę statyczną napięcia na tachoprądnicy od jej sygnału wyjściowego. Z racji na liniową zależność, otrzymane dane pomiarowe aproksymowano funkcją liniową w postaci:

$$U(x) = 0.164 \cdot x + 0.0019 \quad (2.4)$$

Dane pomiarowe z wyznaczoną funkcją aproksymującą zaprezentowane są na rysunku 2.4. Finalnie otrzymano następującą zależność na prędkość obrotową wirnika:



Rys. 2.4: Skalowanie prędkości obrotowej śmigła.

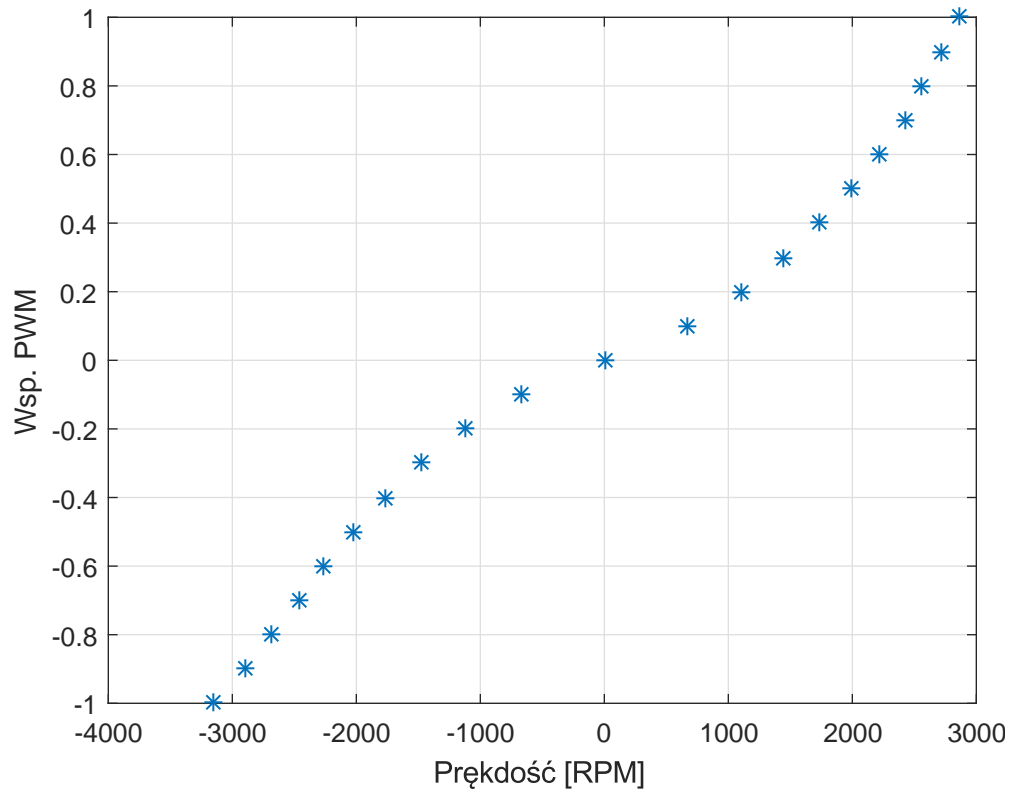
$$RPM = (0.164 \cdot x + 0.0019) * \frac{1}{0.52} \quad (2.5)$$

## 2.3 Moment bezwładności

### 2.3.1 Oś "pitch"

W celu wyznaczenia momentu bezwładności helikoptera względem punktu podporu przyjęto oscylacyjny model obiektu. W celu wyznaczenia parametrów opisujących dynamikę, przeprowadzono eksperyment polegający na rejestracji gasnących oscylacji układu po wychyleniu go z położenia równowagi o zadany kąt. Następnie na podstawie zarejestrowanych danych i funkcji *lsqnonlin* dobrano parametry równania 2.6 minimalizując kwadrat różnicy pomiędzy odpowiedzią obiektu i modelu. Na rysunku 2.6 przedstawiono porównanie odpowiedzi obiektu i modelu.

$$Ku(t) = \frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + 2\xi \cdot \omega \cdot \frac{d\alpha(t)}{dt} + \alpha(t) \cdot \omega^2 \quad (2.6)$$



Rys. 2.5: Zależność pomiędzy współczynnikiem wypełnienia PWM i prędkością obrotową.

Na drodze optymalizacji otrzymano następujące wartości parametrów:

$$K = 1$$

$$\xi = 0.013$$

$$\omega = 2.2247$$

Moment bezwładności helikoptera wyznaczono z zależności pomiędzy momentem bezwładności wahadła fizycznego, a okresem drgań równanie 2.7.

$$J = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad (2.7)$$

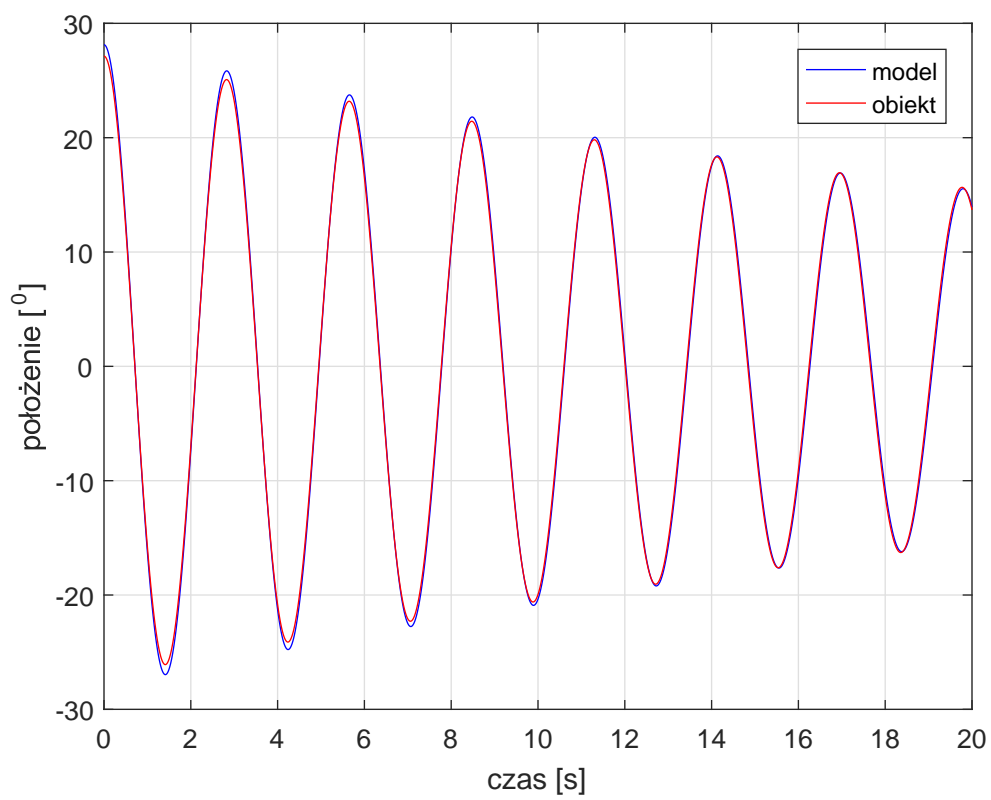
gdzie:

$J$  - moment bezwładności

$T = \frac{2\pi}{\omega}$  - okres drgań własnych

W efekcie końcowym wartości momentu bezwładności wynosi  $J = 0.202 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .





Rys. 2.6: Porównanie odpowiedzi obiektu i modelu.

# Bibliografia