

# Sprawozdanie z laboratorium

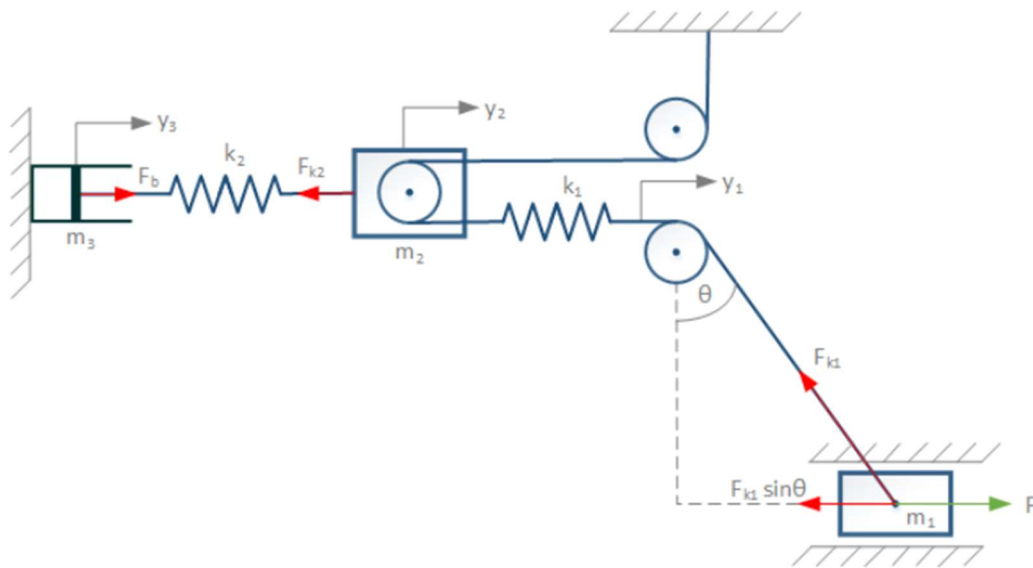
## Modelowanie Systemów Dynamicznych

Temat: Modelowanie urządzenia hamującego lądujący samolot

Marceli Jach, wydział EAIIB, Automatyka i Robotyka, grupa 4. 16.11.2022r.

### Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia było zamodelowanie urządzenia hamującego lądujący samolot o poniższym modelu mechanicznym:



Rysunek 1. Model mechaniczny urządzenia hamującego lądujący samolot.

Przyjmujemy że wykorzystywane cięgna nie mogą ulec zniszczeniu (są dobrane w sposób taki, aby wytrzymać działające na nie siły). Dzięki temu założeniu interesują nas tylko wielkości fizyczne naniesione na rysunek.

### Realizacja ćwiczenia:

Istotą pracy urządzenia hamującego jest zatrzymanie lądującego samolotu w obrębie pokładu lotniskowca przy jednoczesnym ograniczeniu przyspieszeń, którym poddawany jest pilot zapewniających mu przeżycie. W związku z tym szczególnie interesująca podczas symulacji jest historia ruchu samolotu – szczególnie położenie i przyspieszenie.

Dla celów symulacyjnych, przyjmujemy następujące warunki początkowe:

$x(0)$  (początkowe położenie samolotu, czyli moment zahaczenia się o linę) = 0 m,

$x'(0)$  = 67 m/s

$y_2(0)$  = 0 m,

$y_2'(0)$  = 0 m/s,

$y_3(0)$  = 0 m,

$y_3'(0)$  = 0 m/s

W celach późniejszej oceny rozwiązania, zorientowałem się jakie są typowe długości lotniskowców wykorzystywanych przez wojsko. Okazało się że standardowa długość takiego lotniskowca to lekko ponad 300 metrów. W związku z tym, będziemy oczekiwać od naszego modelu, aby pełne zahamowanie samolotu odbyło się na drodze maksymalnie 300 metrów. Dane stałe fizyczne występujące w modelu wynoszą:

$$m_1 = 14000 \text{ kg},$$

$$m_2 = 450,28 \text{ kg},$$

$$m_3 = 200 \text{ kg},$$

$$k_1 = 54.7 \text{ kN/m},$$

$$h = 42 \text{ m} - \text{odległość pionowa (w przypadku naszego rysunku) samolotu od pierwszego bloczku}$$

W tym momencie możemy przystąpić do analizy fizycznej. Analizując siłę  $F_{k1}$  działającą na masę samolotu, rozbijając ją na składową poziomą i pionową można dojść do wniosku że:

$$m_1 \ddot{x} = -F_{k1} \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}}$$

Jako że  $x$  jest jedynie przemieszczeniem poziomym (w przypadku naszego rysunku) człon po prawej stronie równania, opisuje siłę poziomą działającą na samolot. Znając siłę i masę, można wyznaczyć przyspieszenie. Należy pamiętać że obiekt hamujący składa się z dwóch bliźniaczych układów, w związku z tym podczas modelowania w Simulinku, siłę  $F_{k1}$  należy pomnożyć przez 2.

Siła  $F_{k1}$  sprężyny opisywana jest zależnością nieliniową:

$$F_{k1} = \begin{cases} k_1(y_1 - 2y_2) & \text{dla } y_1 \geq 2y_2 \\ 0 & \text{dla } y_1 < 2y_2 \end{cases}$$

Gdzie  $y_1$  jest przemieszczeniem cięgna. W związku z tym  $y_1$  można wyznaczyć z zależności:

$$y_1 = \sqrt{x^2 + h^2} - h.$$

Idąc dalej, natrafimy na bloczek ruchomy, którego ruch opisze równanie:

$$m_2 \ddot{y}_2 = 2F_{k1} - F_{k2}$$

Równanie to wynika bezpośrednio z właściwości wielokrążków.

Siła  $F_{k2}$  sprężyny opisywana jest zależnością:

$$F_{k2} = \begin{cases} k_2(y_2 - y_3) & \text{dla } y_2 \geq y_3 \\ 0 & \text{dla } y_2 < y_3 \end{cases}$$

Poszukując ostatniego członu ruchomego układu, natrafimy na tłumik olejowy, którego przemieszczenie będzie opisane równaniem:

$$m_3 \ddot{y}_3 = F_{k2} - F_b$$

Gdzie siła oporu  $F_b$  jest nieliniowa, wyrażana przez takie równanie:

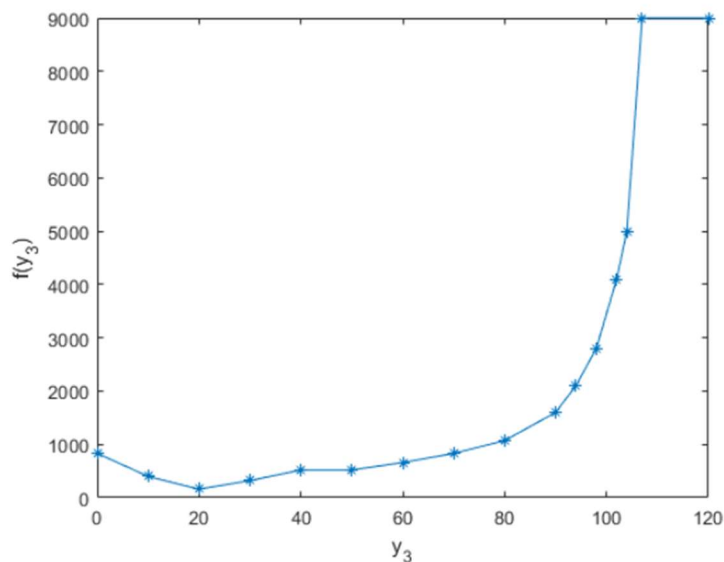
$$F_b = f(y_3) \dot{y}_3^2$$

Zakładamy że zależność  $f(y_3)$  została wyznaczona doświadczalnie, i jest dana w postaci tabelarycznej.

$y_3 [m]$	$f(y_3)$	$y_3 [m]$	$f(y_3)$
0	833	80	1070
10	400	90	1600
20	160	94	2100
30	320	98	2800
40	520	102	4100
50	520	104	5000
60	660	107	9000
70	830	120	9000

Rysunek 2. Tabela przedstawiająca zależność  $f(y_3)$

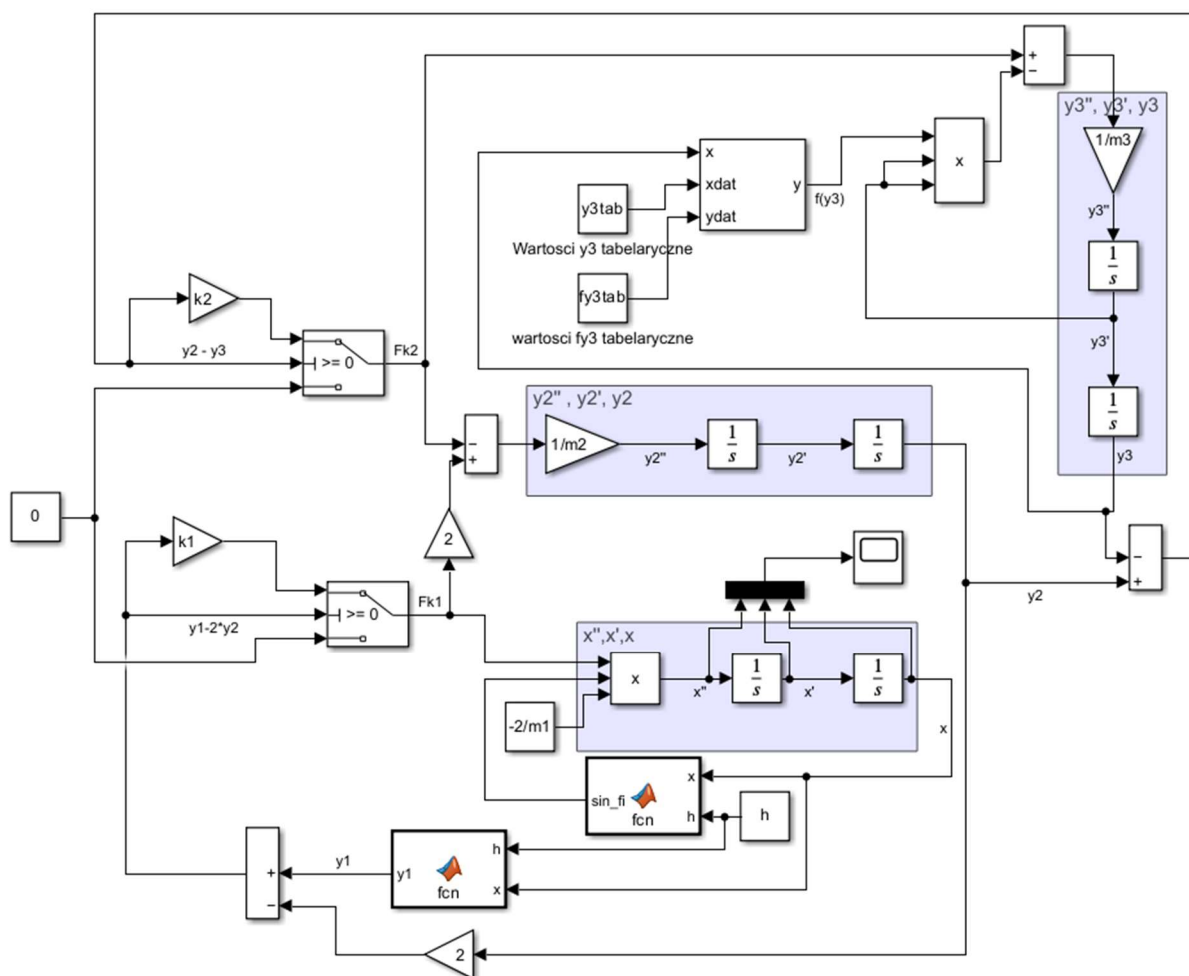
Wartości  $f(y_3)$  można przedstawić za pomocą poniższego wykresu:



Rysunek 3. Wykres przedstawiający zależność  $f(y_3)$

Zależność  $f(y_3)$  zrealizujemy w Simulinku wykorzystując bloczek „Lookup Table” który będzie przyjmował wartości tabelaryczne, i na podstawie argumentu funkcji, przyporządkuje jej odpowiednią wartość.

Zależności opisujące siły obydwu sprężyn zostaną zrealizowane z wykorzystaniem bloczka „Switch” umożliwiające zadanie warunku, od którego będzie zależeć wartość wyjściowa. Wyrażenie  $x/\sqrt{h^2+x^2}$  będzie zaimplementowane w schemacie za pomocą bloczka „MATLAB Function”, pozwalającego definiować i korzystać z funkcji napisanych za pomocą MATLABA. Oprócz tego wyrażenia, zrealizuje również za jego pomocą wartość  $y$ . Pozostałe mnożenia zostaną wykonane za pomocą bloczka „product”. Biorąc pod uwagę wyznaczone dotychczas zależności, możemy wykonać schemat modelu wykorzystując Simulink.



Rysunek 4. Schemat modelowanego obiektu wykonany w Simulinku.

Wszelkie stałe wartości, zostały zainicjalizowane w MATLABIE:

```

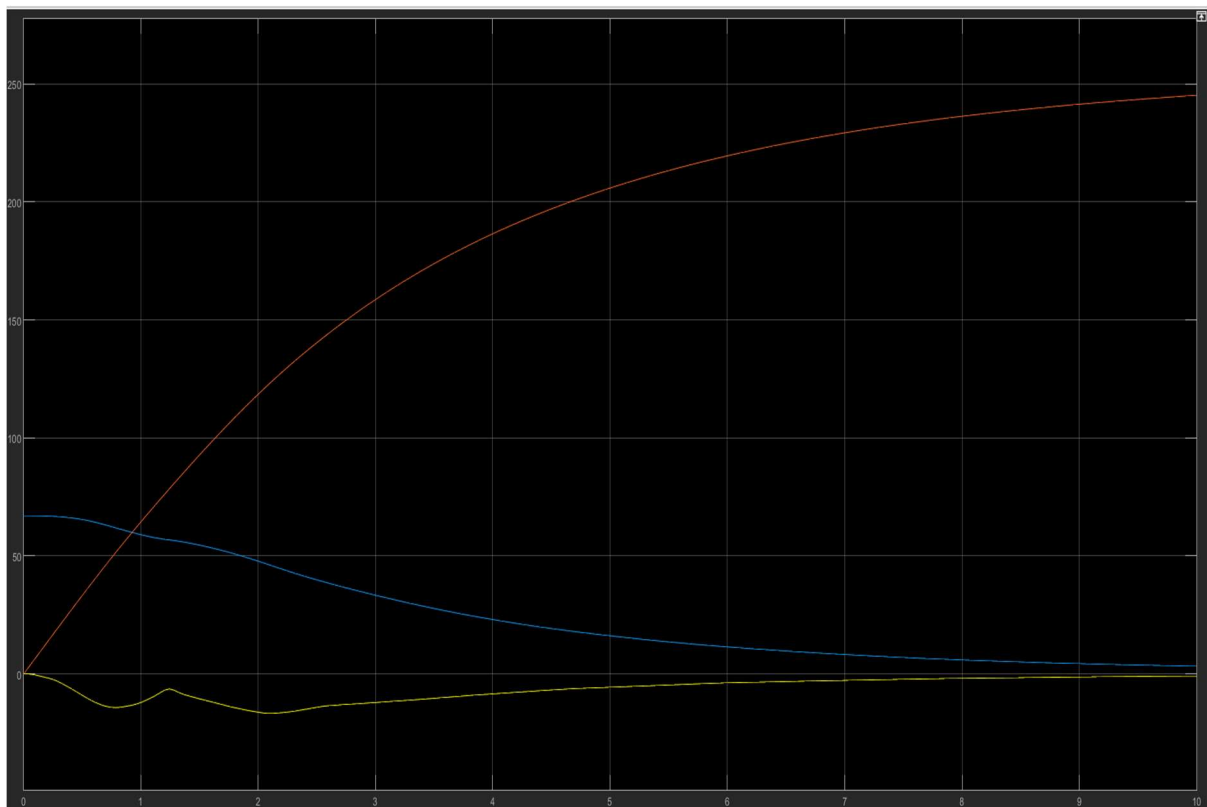
m1 = 14000;
m2 = 450.28;
m3=200;
k1=54700;
k2=303600;
h = 42;

x0 = 0;
xp0 = 67;
y2p0 = 0;
y30 = 0;
y3p0 = 0;

y3tab = [0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 94 98 102 104 107 120]
fy3tab = [833 400 160 320 520 520 660 830 1070 1600 2100 2800 4100 5000 9000 9000]

```

Za pomocą takiego schematu, można wyznaczyć przemieszczenie oraz przyspieszenie hamującego samolotu.



Rysunek 5. Przeszyczenie (czerwona linia), prędkość (niebieska linia) oraz przyspieszenie (żółta linia) hamowanego samolotu.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić że urządzenie hamujące lądujący samolot zostało zamodelowane w sposób zgodny z założeniami. Można zobaczyć że droga hamowania samolotu jest krótsza niż 300 m (wynosi około 250 m), natomiast przyspieszenie maksymalnie wynosi ok.  $20 \text{ m/s}^2$  co wynosi przy przyjęciu jednostki występującej w lotnictwie – 2g. Według portalu samoloty.pl – „Przyspieszenie 8 g przeciętny człowiek w pozycji siedzącej wytrzyma przez okres zaledwie około 5 s, 5 g - do kilkudziesięciu sekund, a 3 g - nawet kilkanaście minut.” Piloci są wytrenowani pod względem wytrzymałości na przeciążenia, w związku z tym otrzymane przez nas przyspieszenie nie wyrządzi im żadnych szkód.

### Podsumowanie:

Na dzisiejszych zajęciach udało mi się zamodelować kolejne urządzenie, które może być przydatne w rzeczywistości. W tym przypadku od dobrego modelu może potencjalnie zależeć życie człowieka, z tego względu uzmysłowilo mi to jak odpowiedzialną pracę wykonują inżynierowie na całym świecie. Po raz kolejny doświadczyłem jak przydatnym narzędziem jest Simulink jeśli chodzi o modelowanie obiektów dynamicznych (i domyślam się że to nie wszystko co ma to środowisko do zaoferowania). Oprócz tego poznałem 4 nowe bloczki, które w znaczny sposób ułatwiają pracę nad schematami. Mam nadzieję że przyszłe zajęcia również będą korzystać z tego narzędzia.