

# Modelowanie układu hamującego lądujący samolot na lotniskowcu

Krzysztof Wesółowski,  
grupa, 11:00, s. 317c

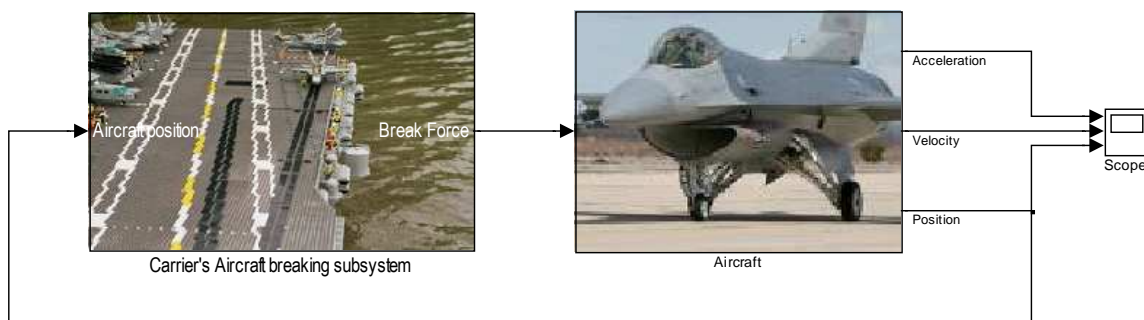
## Wprowadzenie

Wybierając temat do napisania tego sprawozdania kierowałem się przede wszystkim tym, jak wiele zagadnień można objąć opisem. Uznałem że wprowadzanie niesymetryczności do modelu lądującego samolotu nie wprowadza wiele nowych zagadnień. Rozważania dotyczące zachowania przy niesymetryczności układu hamującego, czy też nierównym podejściu do lądowania są stosunkowo krótkie. Ciekawszym wydało mi się zagadnienie samego hamowania takiego samolotu.

## Przyjęte założenia

Tworząc model skupiłem się na modelowaniu oddziaływań fizycznych. Takie podejście pozwala na intuicyjne wykorzystanie bloków Simulink. Wiele pogrupowanych Subsystem'ów modelowało samolot na coraz wyższym poziomie złożoności. Jednocześnie starałem się unikać bezpośredniego modelowania równań różniczkowych. Do ich modelowania najlepiej nadają się s-funkcje, a nie układy bloków.

## Prezentacja modelu

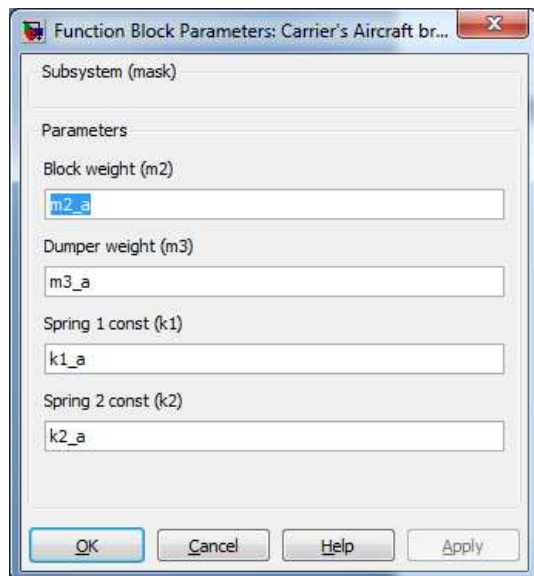


Rysunek 1 – model samolotu i układu hamowania

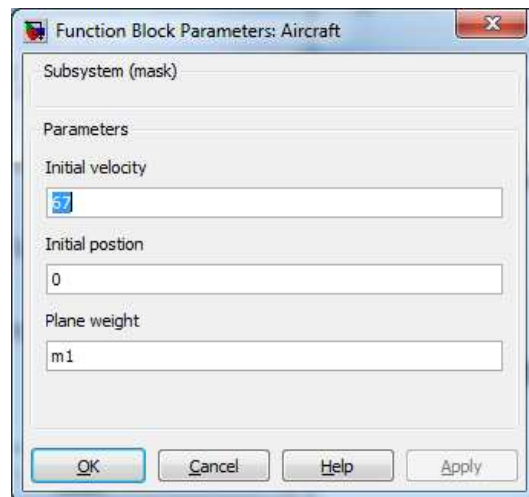
Jak widać na rysunku *Rysunek 1* Model składa się z dwóch zasadniczych części:

- Modelu układu hamującego, który wylicza siłę hamującą w zależności od swojego stanu i położenia samolotu. Patrz
- Model samolotu, będący de facto obiektem o masie  $m_1$  na który działa siła hamująca (wejście obiektu). Samolot ma możliwości podania początkowej wartości jego położenia i prędkości.

Oba bloki zamaskowana aby ułatwić podawanie istotnych dla ich działania parametrów. Dodatkowe ilustracje ułatwiają szybkie, intuicyjne rozpoznawanie fragmentów modelu.



Rysunek 2 – wprowadzanie parametrów ukł. hamulcowego

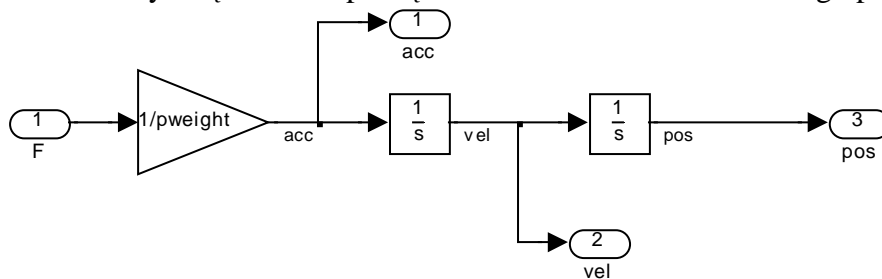


Rysunek 3 - wprowadzanie parametrów samolotu

Jak widać na *Rysunek 2* i *Rysunek 3*, wprowadzanie parametrów jest ułatwione, zarówno korzystając z zmiennych zdefiniowanych wewnątrz bieżącego Workspace, jak i za pomocą wartości liczbowych.

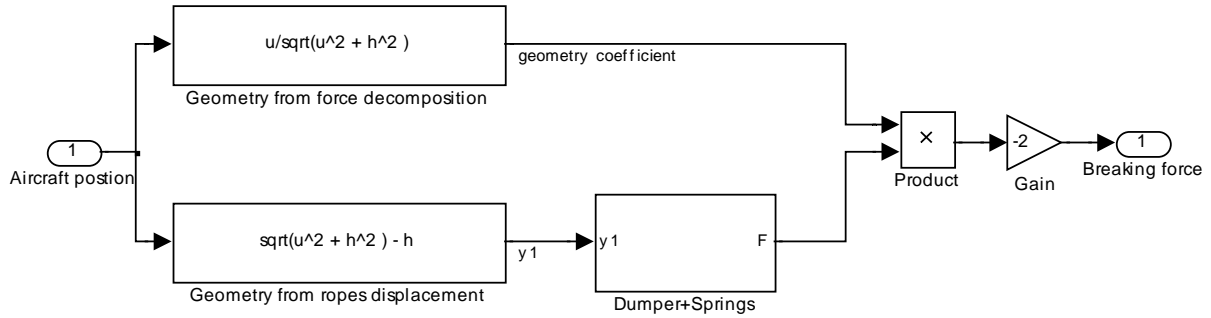
W każdej chwili możemy przeglądać zawartość obu części modelu. Ze względu na zastosowanie masek, aby przejść do zawartości bloczka trzeba kliknąć PPM i wybrać „Look under mask...”

Kolejne wartę omówienia elementy to modele samolotu i lotniskowca. Model samolotu, jest zaprezentowany na *Rysunek 4*. Jak widać jest to najprostszy obiekt, z wyprowadzonymi na zewnątrz zmiennymi przyspieszenia, prędkości i położenia. Warto pamiętać, że właśnie w całkach ukryte są wartości początkowe konieczne do niezerowego przebiegu symulacji.

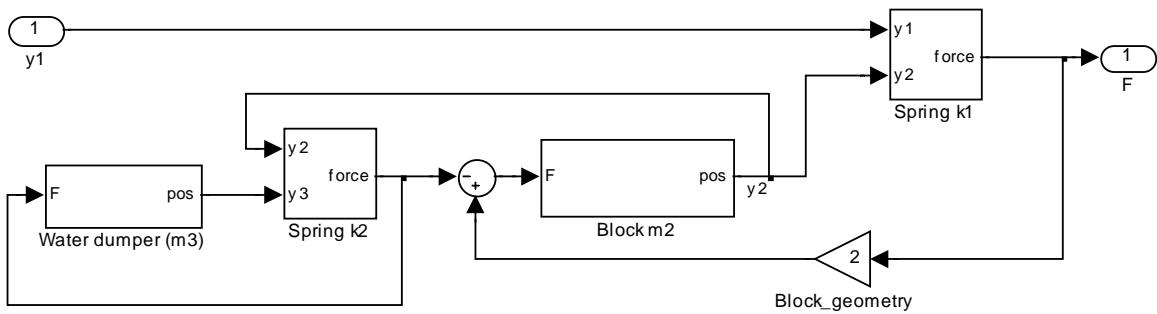


Rysunek 4 – model samolotu

Znacznie bardziej od modelu samolotu złożony jest model układu hamującego samolot. Jak widać na *Rysunek 5*, pierwszą przyczyną zwiększonej złożoności jest modelowanie geometrycznych zależności. Poza tymi zależnościami jest tylko układ sprężyny-masy-tłumik, gdzie elementy poruszają się już tylko wzdłuż osi x. Model tego układu znajduje się na *Rysunek 6*.



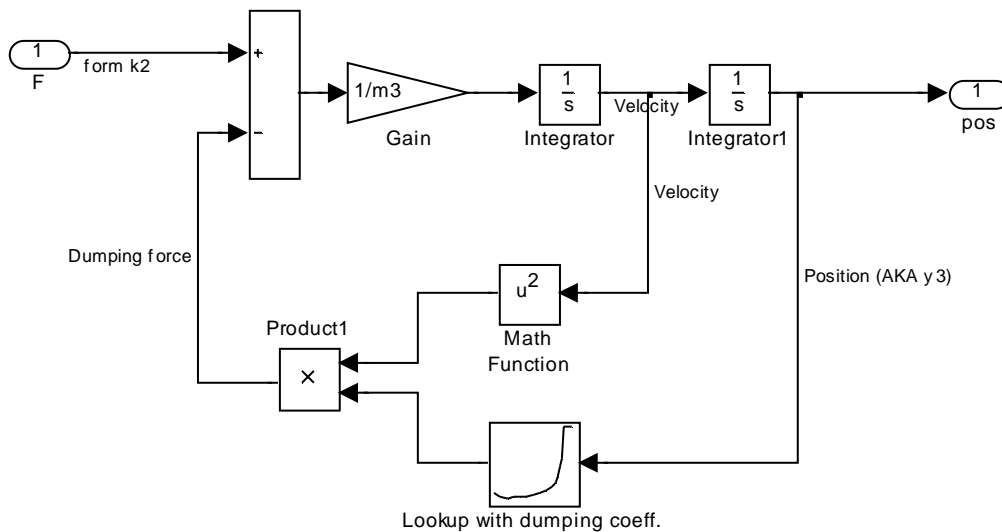
Rysunek 5 – model siły oddziaływującej na samolot



Rysunek 6 – model sprężyny – masy - tłumik

Model ten jest złożony z kilku elementów niewymagających dodatkowego omówienia – sprężyn i mas, gdzie modelowana jest prosta fizyka - np. dla bloku  $m_2$  jest to po prostu przeliczanie siły na przyspieszenie i dwa integratory. Dwie sprężyny obliczają tylko swoje wydłużenie, uwzględniają fakt iż są wykonane z gumy (sprężyste tylko przy rozciąganiu, luźnie przy ścisaniu).

Dokładniejszego omówienia wart jest jeszcze system związany z tłumikiem wodnym, widoczny na ilustracji niżej.



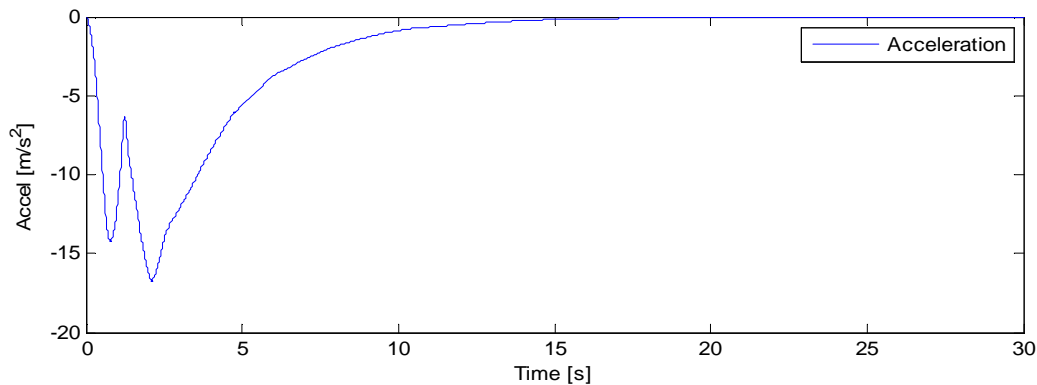
Rysunek 7 – model tłumika hydrodynamicznego

Na ruch tłumika – masy  $m_3$  wpływa po pierwsze sprężyna  $k_2$ , która ciągnie go do przodu. Z drugiej strony masa jest hamowana przez tarcie wiskotyczne wody, zamodelowane jako

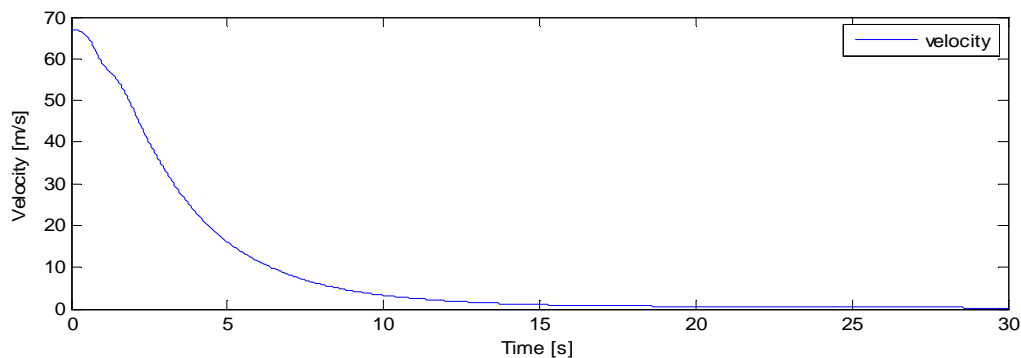
proporcjonalne do kwadratu prędkości. Tablica lookup modeluje zmienne tarcie – wskazujące, że tłumik jest specjalnie ukształtowany, tak aby przy skończonej – krótkiej drodze zagwarantować zatrzymanie tłumika pomimo siły nań działającej.

## Prezentacja wyników pomiarów dla zbudowanego modelu

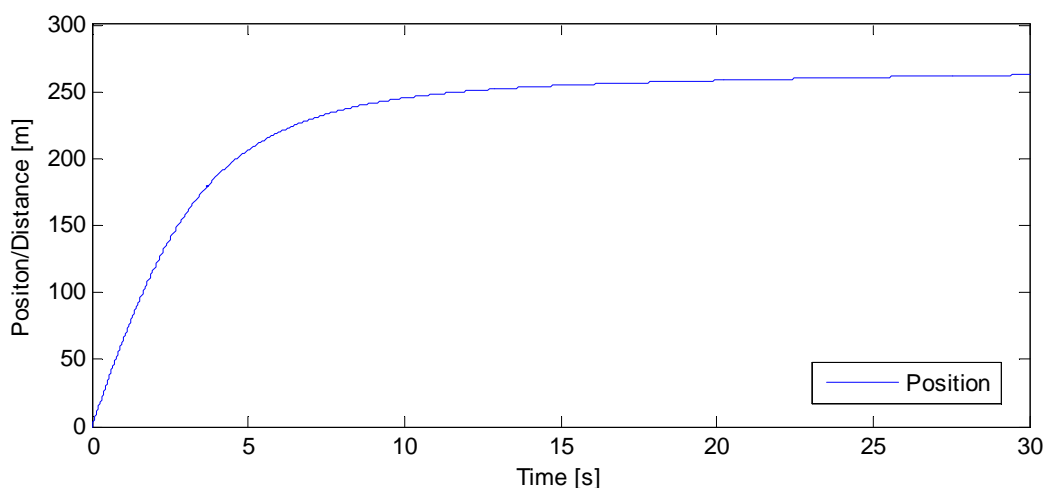
Poniżej podstawowe wykresy sporządzone na podstawie symulacji działania modelu:



Wykres 1 – Przyspieszenie działające na samolot



Wykres 2 – prędkość samolotu

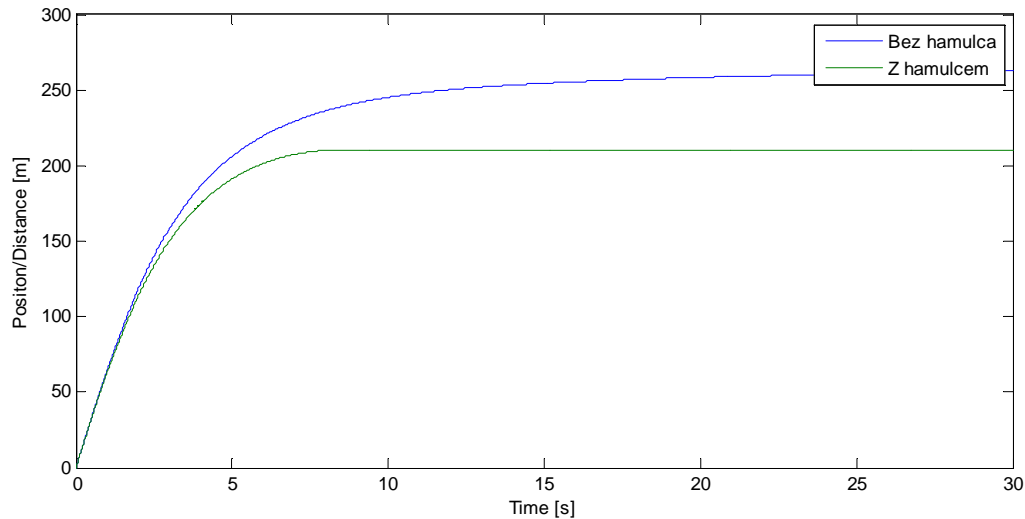


Wykres 3 - Przejechany dystans

Jak widać droga hamowania wynosi ponad 250 metrów, w dodatku po 30 sekundach nie nastąpiło pełne zatrzymanie. Nasuwa to pomysł dodania jeszcze jednego elementu do modelu samolotu – tradycyjnego hamulca, działającego aż do zatrzymania z podobną siłą.

## Model z hamulcem

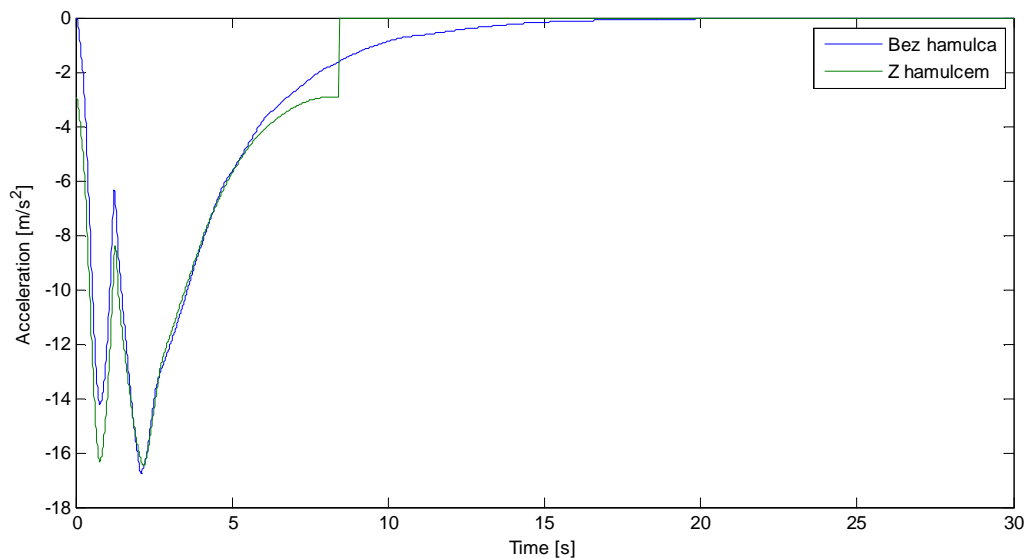
Aby móc spróbować symulacji z użyciem tradycyjnego hamulca (jako dodatku do układu sprężyn i tłumików), uznałem iż między kołami a pokładem da się osiągnąć stałą wartość współczynnika tarcia równą 0.3. Poniżej zamieszczam wykresy przyśpieszenia i przejechanego dystansu, porównujące działanie obu systemów.



Wykres 4 - wykres dystansu

Jak widać na wykresie wyżej udało nam się skrócić drogę hamowania o ponad 50m, oraz czas do zatrzymania (samolot stoi w miejscu już przed 10 sekundą).

Warto również przyrzeć się przyśpieszeniom działającym na samoloty.



Wykres 5 - porównanie przyśpieszeń

Jak pokazuje Wykres 5 - porównanie przyśpieszeń, dodanie tradycyjnego hamulca pozwala nie zmieniać maksymalnego przyśpieszenia działającego na pilota (a nawet minimalnie je zmniejszyć), jednocześnie skracając drogę hamowania samolotu.

Ostatnim istotnym elementem sprawozdania jest analiza wpływu masy lądującego samolotu na układ hamujący. Jak wykazały przeprowadzone przeze mnie doświadczenia (z

zastosowaniem Simulink Design Optimization), aktualnie dobrane parametry są optymalne dobrane dla samolotu o podanej masie – 14 ton.

### **Analiza zachowania systemu przy innych masach samolotu**

Biorąc pod uwagę, iż system złożony z układu hamującego i samolotu przy zachowaniu takich samych wartości zmiennych zachowuje się identycznie z dokładnością do przeskalowania „wewnętrznych” zmiennych, można przewidywać jego zachowanie. Na przykład dla 4 krotnie mniejszej masy samolotu trzeba 4 krotnie zmniejszyć siły nań działające – a więc współczynniki sprężystości, tłumienia i masy. Pozwala to otrzymać ten sam, optymalny dla takiego układu hamowania przebieg wszystkich zmiennych dotyczących samolotu (Wykresy identyczne jak Wykres 1 – Przyspieszenie działające na samolot, Wykres 2 – prędkość samolotu, Wykres 3 - Przejechany dystans).

W rzeczywistości ciężko zmieniać tak wiele parametrów w prawdziwych obiektach. Największym problemem wydaje się być układ tłumika – bez zmiany jego wartości, pomimo zmiany innych parametrów przyspieszenie maksymalne wciąż jest ogromne (dla samolotu ważącego  $\frac{1}{4}$  masy m1 wynosi około 4 G).

Na szczęście dla wielu marynarek wojennych masy samolotów nie różnią się aż tak diametralnie – w miarę możliwości unifikuje się samoloty na lotniskowcu.

### **Analiza zachowania przy innych prędkościach lądowania**

Przy innych prędkościach podejścia do lądowania, zmianie ulegają przede wszystkim przyspieszenia działające na pilota. Dla prędkości równej 150% podstawowej sięgają 3.5 G, zaś dla prędkości równej 50% są mniejsze niż 1G.

Co ciekawe droga hamowania jest zawsze bliska 250m. Jest to pożądane ze względu na rozmiar pasa startowego.

### **Wnioski**

Większość uwag starałem się umieścić na bieżąco przy fragmentach ich dotyczących. Podsumowując, ćwiczenie było świetnym przykładem pozwalającym poznać wiele nieliniowych fragmentów składających się na wiele modeli. Analizowany problem wymagał dobrego przemyślenia wielu czynników, zaś złożoność oddziaływań utrudniała momentami intuicyjne przewidywanie zależności.

Pomimo to poprawnie skonstruowano i przeanalizowano model, zarówno z podanymi parametrami, jak i uwzględniając możliwość zmiany części z nich w trakcie działania.