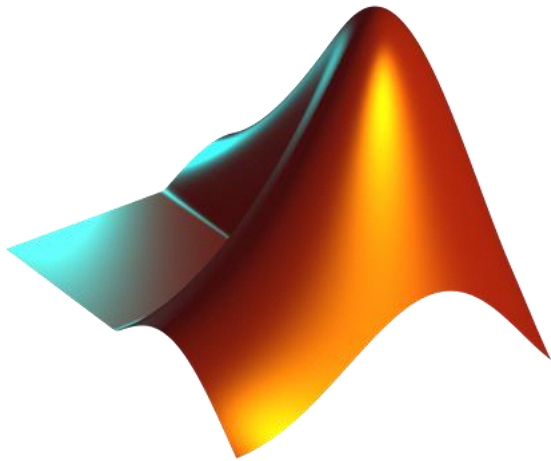
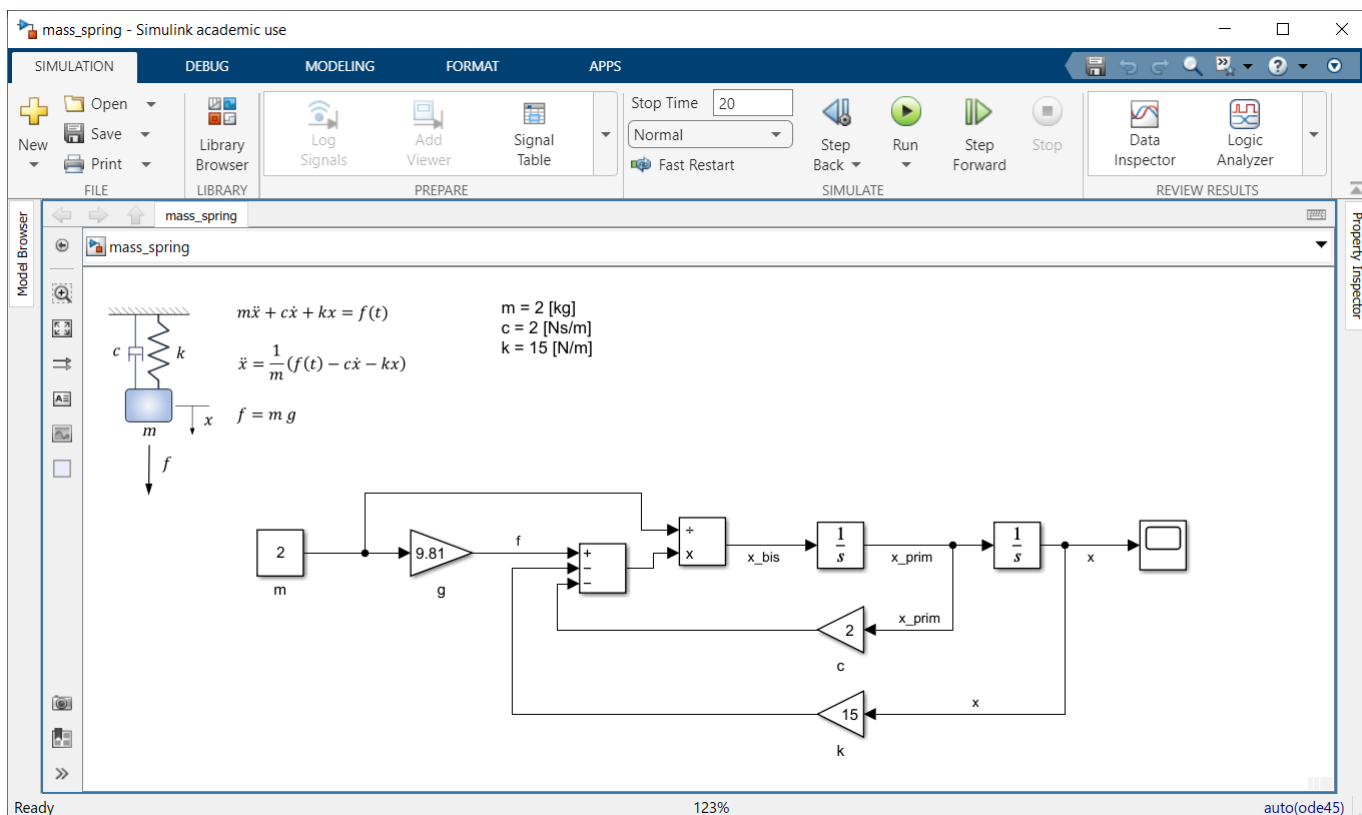


# Programowanie w zastosowaniach inżynierskich

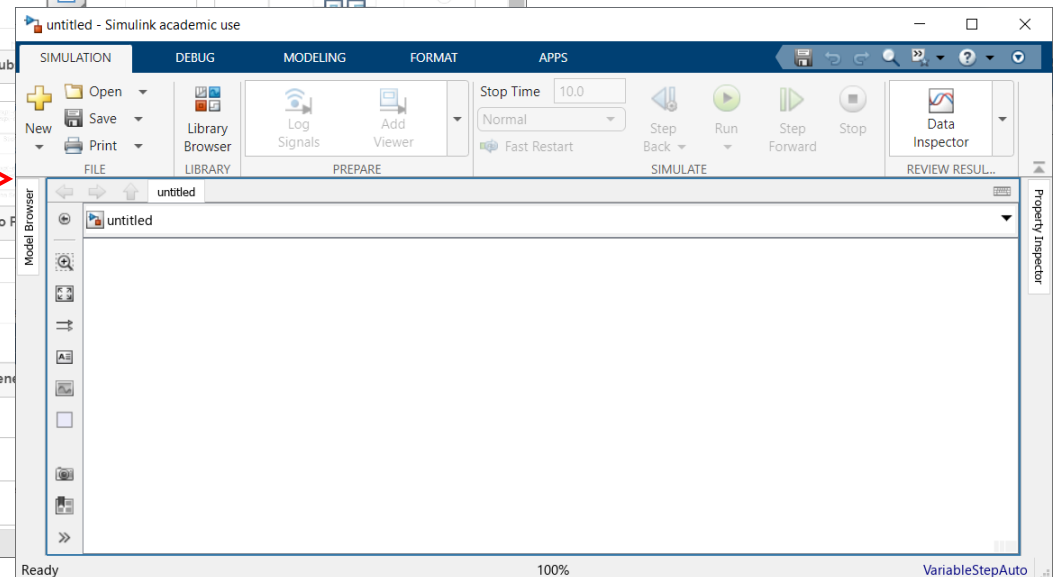
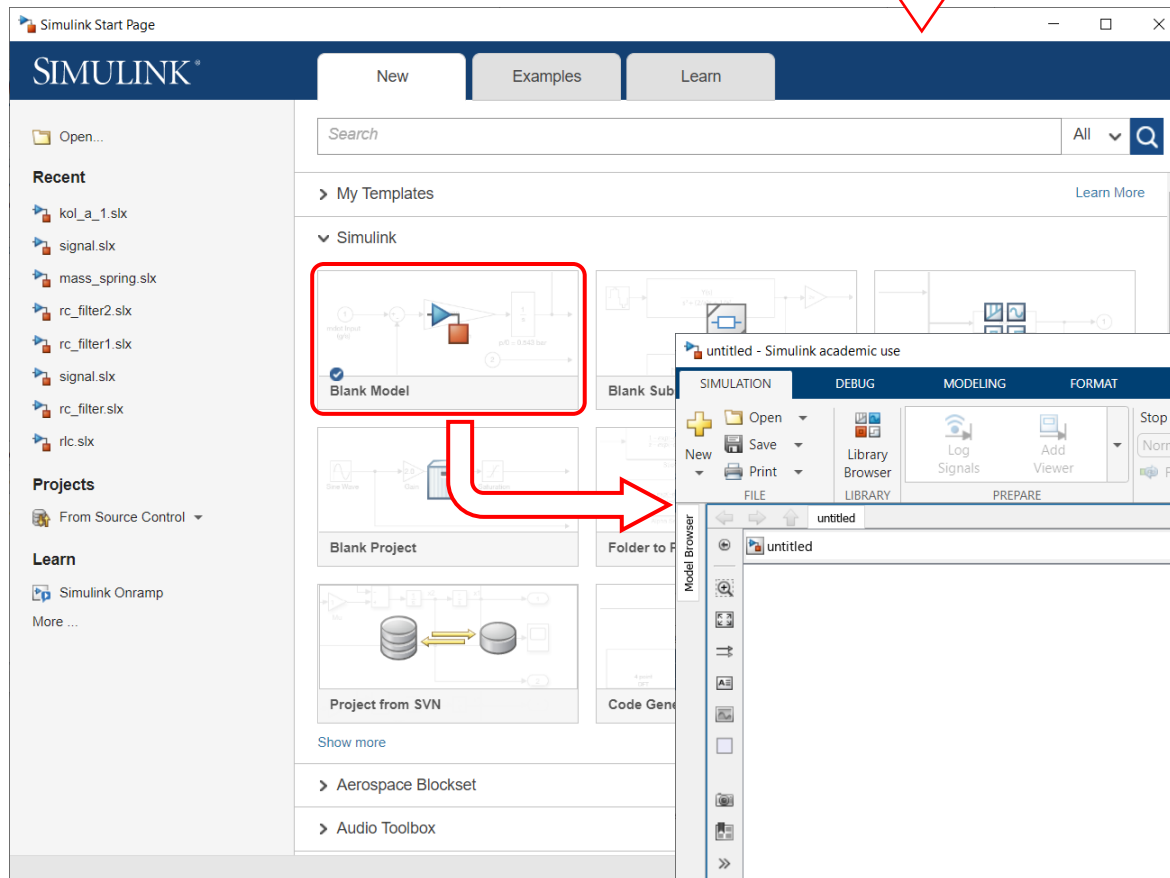
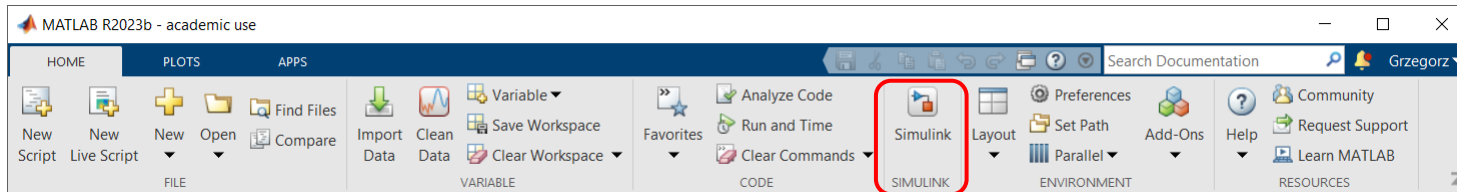
**Simulink**  
modelowanie obiektów dynamicznych



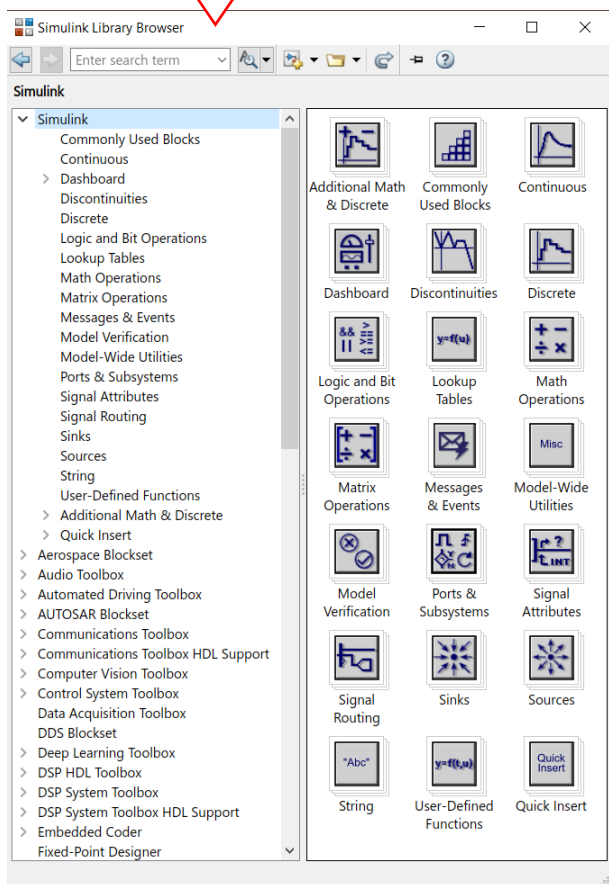
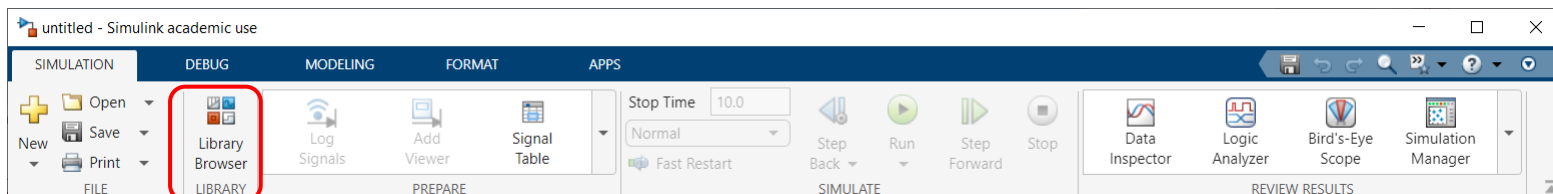
**Simulink** jest zintegrowanym ze środowiskiem Matlab interaktywnym narzędziem graficznym przeznaczonym do projektowania i symulacji złożonych systemów z wykorzystaniem modeli blokowych (metodyka *Model-Based Design*) bez konieczności tworzenia kodu. Model składa się z bloków (symbole graficzne) reprezentujących operacje oraz sygnałów (linie łączące bloki), które są przez nie przetwarzane.



# Uruchamianie



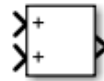
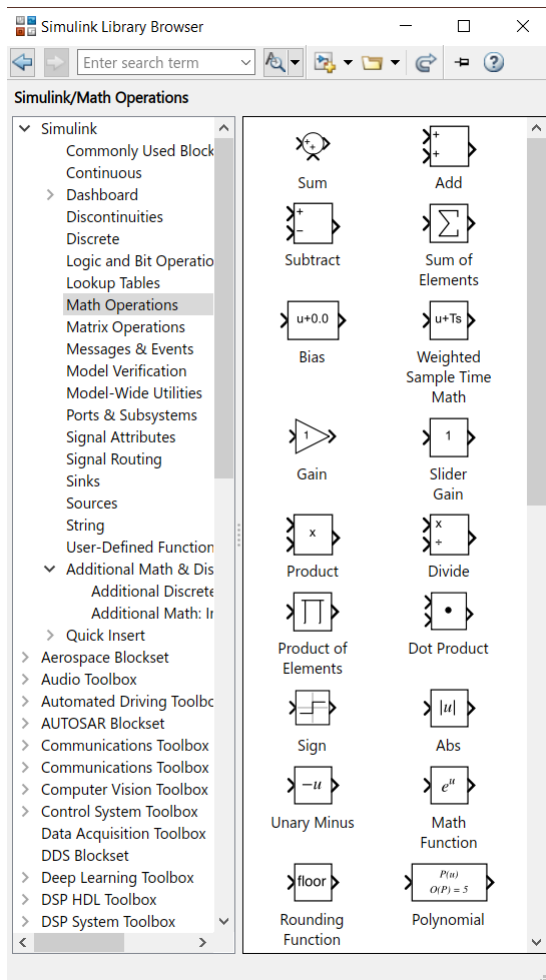
# Simulink – przegląd podstawowych bloków



## Wybrane kategorie z pakietu Simulink

- **Continuous** – modelowanie układów ciągłych,
- **Discrete** – modelowanie układów dyskretnych,
- **Logic and Bit Operations** – operacje logiczne i bitowe,
- **Math Operations** – podstawowe operacje i funkcje matematyczne,
- **Matrix Operations** – operacje macierzowe,
- **Signal Routing** – sterowanie przebiegiem sygnałów,
- **Sinks** – wizualizacja wartości sygnałów,
- **Sources** – źródła sygnałów,
- **User-Defined Functions** – funkcje definiowane przez użytkownika.

# Math Operations



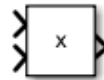
**Add** – dodaje sygnały wejściowe



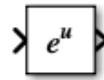
**Subtract** – odejmuje sygnały wejściowe



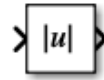
**Gain** – mnoży sygnał wejściowy przez stałą



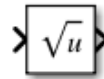
**Product** – mnoży lub dzieli sygnały wejściowe



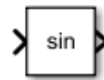
**Math function** – wybrana funkcja (exp, log, pow,...)



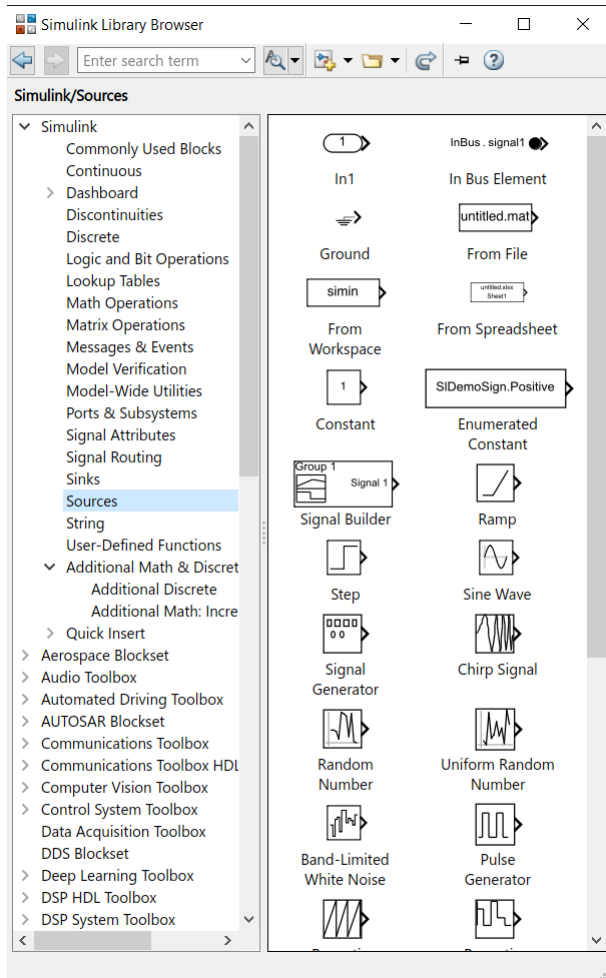
**Abs** – wartość bezwzględna



**Sqrt** – pierwiastek kwadratowy



**Trigonometric Function** – funkcje trygonometryczne



Constant – stała wartość



Ramp – wartość rosnąca jednostajnie



Step – skok w określonej chwili czasu



Sine Wave – sygnał sinusoidalny



Random number – wartości losowe o rozkładzie Gaussa)



Uniform Random Number – wartości losowe o rozkładzie jednostajnym



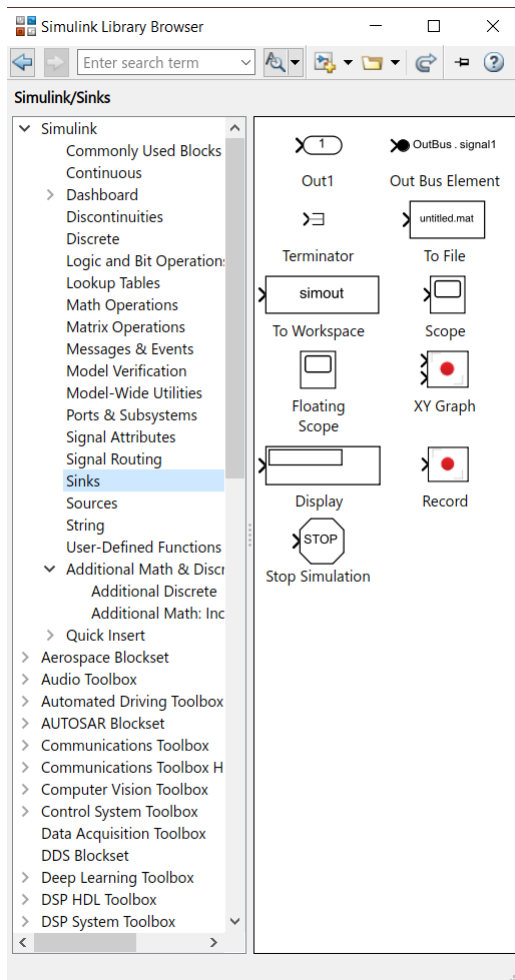
Pulse Generator – sygnał pulsujący



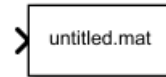
Repeating Sequence – powtarzalna sekwencja



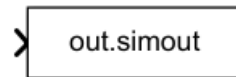
Clock – czas symulacji



**Terminator** – kończy niepołączony sygnał wyjściowy



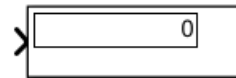
**To File** – zapisuje wartości wejściowe do zmiennej w pliku MAT



**To Workspace** – zapisuje wartości wejściowe do zmiennej w obszarze roboczym Matlaba



**Scope** – wykreśla sygnał wejściowy



**Display** – wyświetla aktualną wartość sygnału wejściowego



**Record** – zapisuje i przechowuje wartości sygnałów wejściowych



**Stop Simulation** – zatrzymuje symulację gdy wartość wejściowa jest różna od 0

# Konfigurowanie bloków

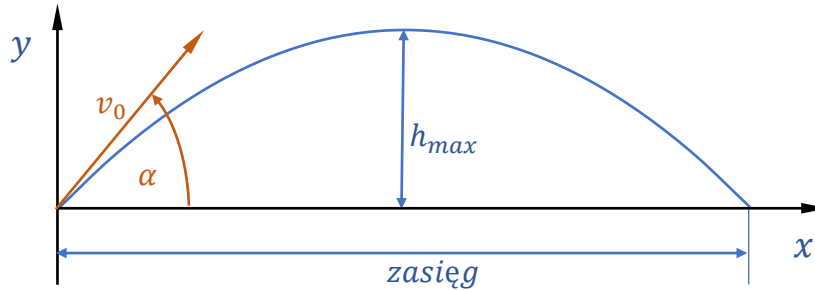
Każdy blok ma określony zestaw parametrów (menu podręczne → Block Parameters lub podwójne kliknięcie). Dodatkowo każdy blok może być formatowany (czcionka, kolor, orientacja, ikona, itp.), można określić jego nazwę oraz zmienić rozmiary.

The image illustrates the configuration of a block in a software environment. On the left, the 'Block Parameters: Add' dialog box is shown, with the 'List of signs' field highlighted in red and containing '+-|+'. Below this, a legend explains the signs: '+' for signal without sign change, '-' for sign change, and '|' for spacing. On the right, the software's ribbon interface is shown with several options highlighted in red: 'Arial' (font size 12), 'Background', 'Foreground', and 'Shadow' (styling); 'Auto Arrange' and 'Arrange' (layout); 'Auto Name' and 'Flip Name' (naming). Red arrows point from these options to a diagram of a block labeled 'Suma sygnałów' (Signal Sum). The diagram shows two versions of the block: one with a blue border and the word 'Add' below it, and another with an orange border and 'Suma sygnałów' below it. Labels with arrows point to the diagram: 'Rozmiar czcionki' (font size), 'Kolory i cień' (colors and shadow), 'Odbicie w poziomie i obrót' (horizontal flip and rotation), and 'Polożenie nazwy' (name position).



## Przykład – rzut ukośny

**Rzut ukośny** – ruch w jednorodnym polu grawitacyjnym z prędkością początkową o kierunku ukośnym do kierunku pola.



$v_0$  – prędkość początkowa  
 $\alpha$  – kierunek rzutu

### Położenie ciała w rzucie ukośnym

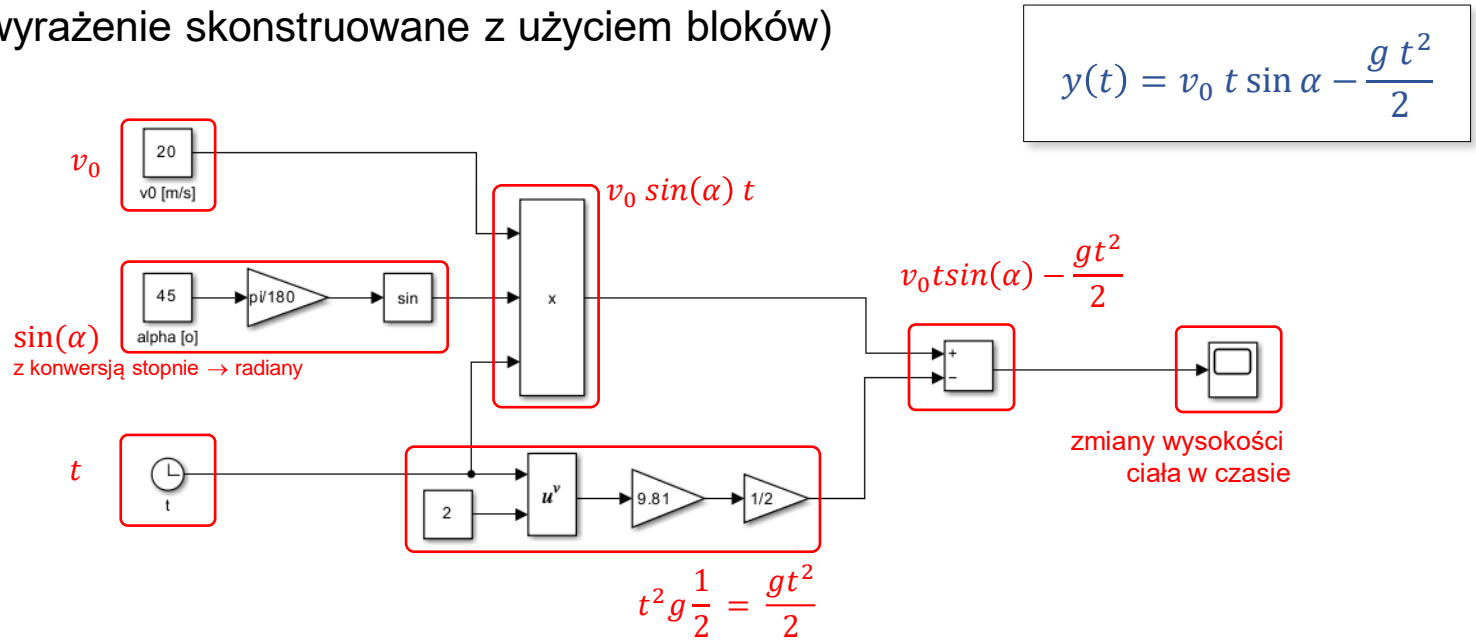
Założenia: początek ruchu w początku układu współrzędnych,  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

$$y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{g t^2}{2}$$

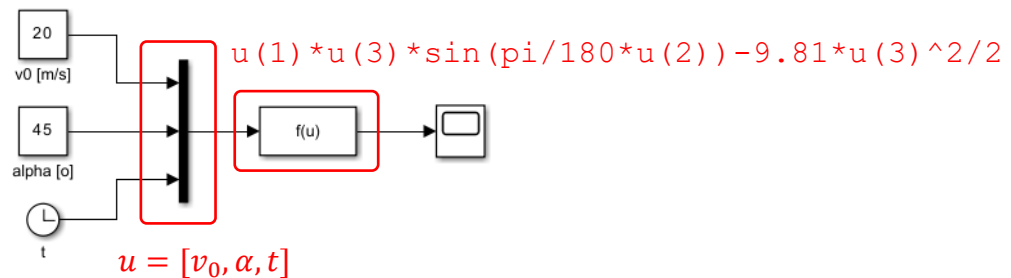
$$x(t) = v_0 t \cos \alpha$$

# Wysokość ciała w rzucie ukośnym – model

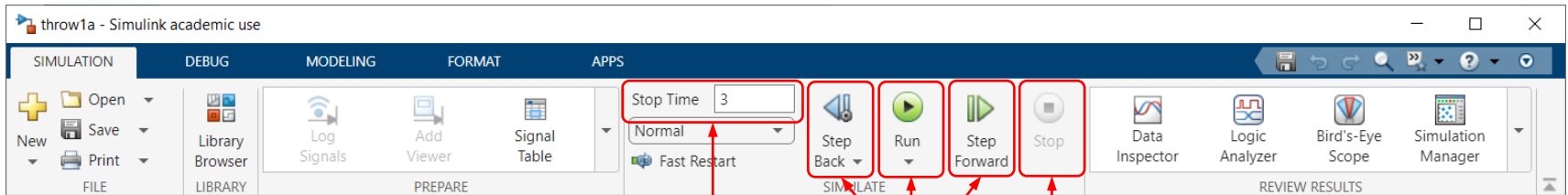
Wersja 1 (wyrażenie skonstruowane z użyciem bloków)



Wersja 2 (wyrażenie zapisane w bloku Fcn)



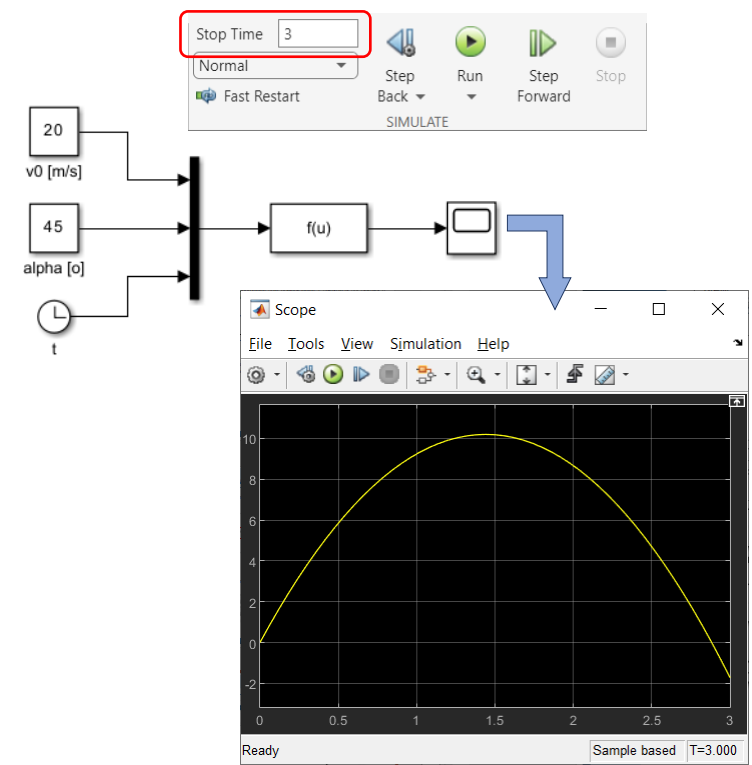
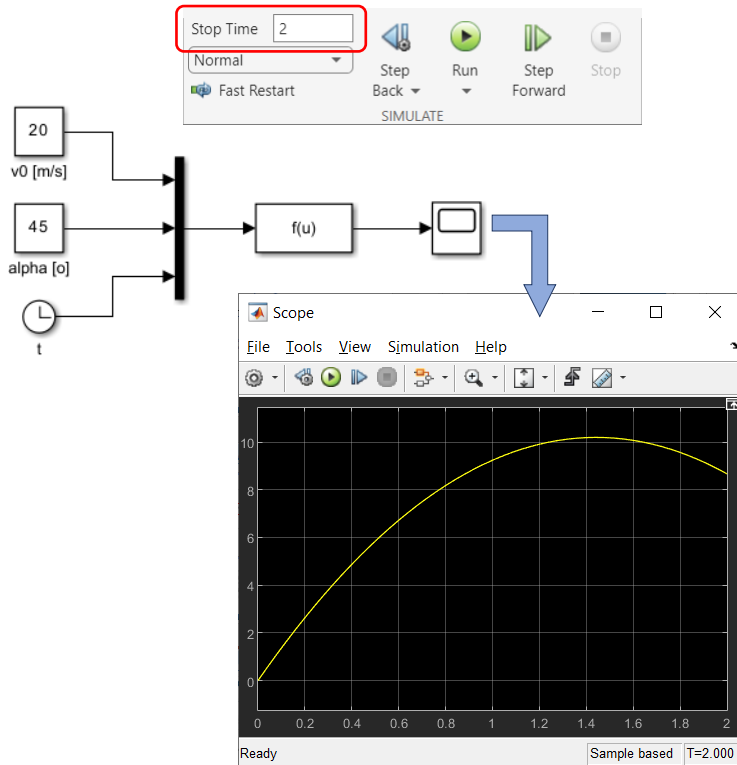
# Uruchamianie symulacji



czas symulacji

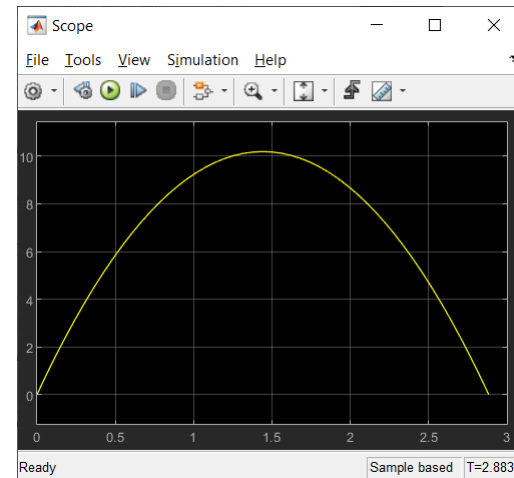
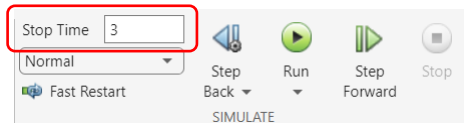
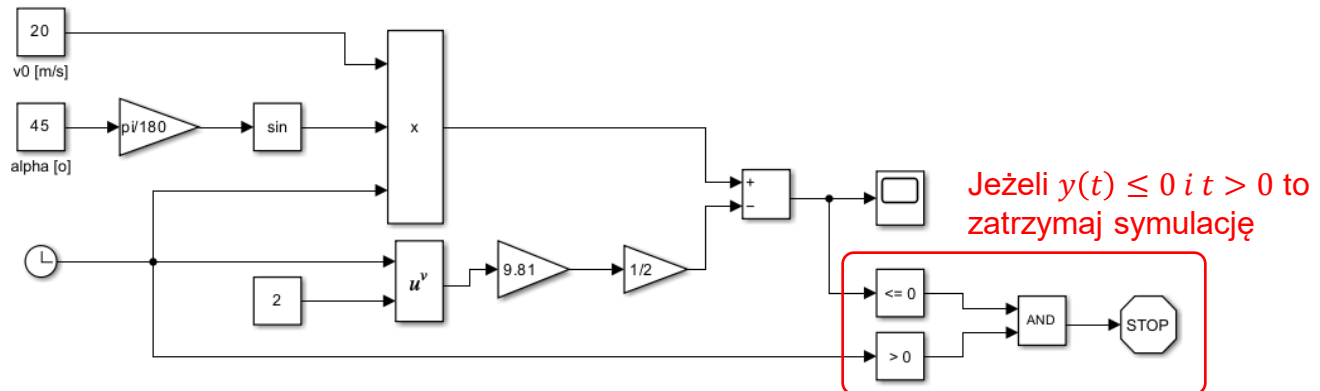
uruchomienie symulacji  
(ciągłe lub krokowe)

zatrzymanie



# Symulacja z zatrzymaniem

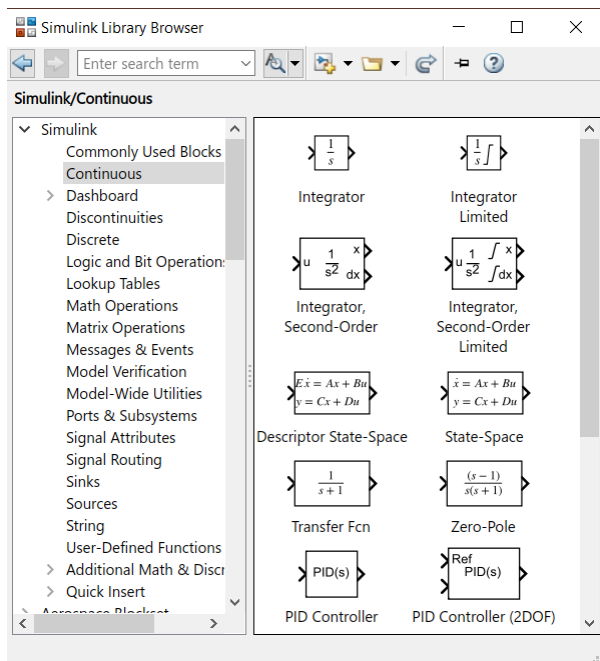
Symulacja powinna zostać zakończona gdy wysokość ciała ( $y(t)$ ) osiągnie wartość 0 (ciało zetknie się z podłożem) przy niezerowym czasie (tzn. po rozpoczęciu ruchu).



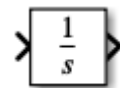
**Układ dynamiczny** to układ, którego stan zmienia się w czasie. Układy tego typu są modelowane matematycznie za pomocą układów równań różniczkowych.

**Równanie różniczkowe** jest równaniem, które określa zależności pomiędzy pewną nieznaną funkcją a jej pochodnymi.

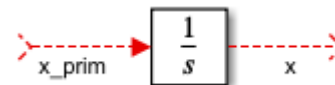
**Pochodna jest miarą** tempa zmian wartości funkcji względem zmian jej argumentów (definicja nieformalna).



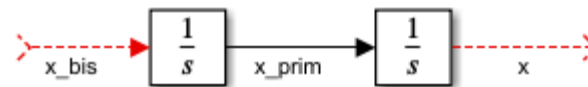
## Blok całkujący



**Integrator** – całkuje sygnał wejściowy (operacja odwrotna do różniczkowania)



**Uwaga:** pojedynczy blok całkujący na podstawie pochodnej rzędu  $n$  wyznacza pochodną rzędu  $n - 1$ .



Warunek początkowy jest parametrem bloku całkującego.

# Modelowanie układów dynamicznych

## Tworzenie modelu układu dynamicznego (ciągłego)

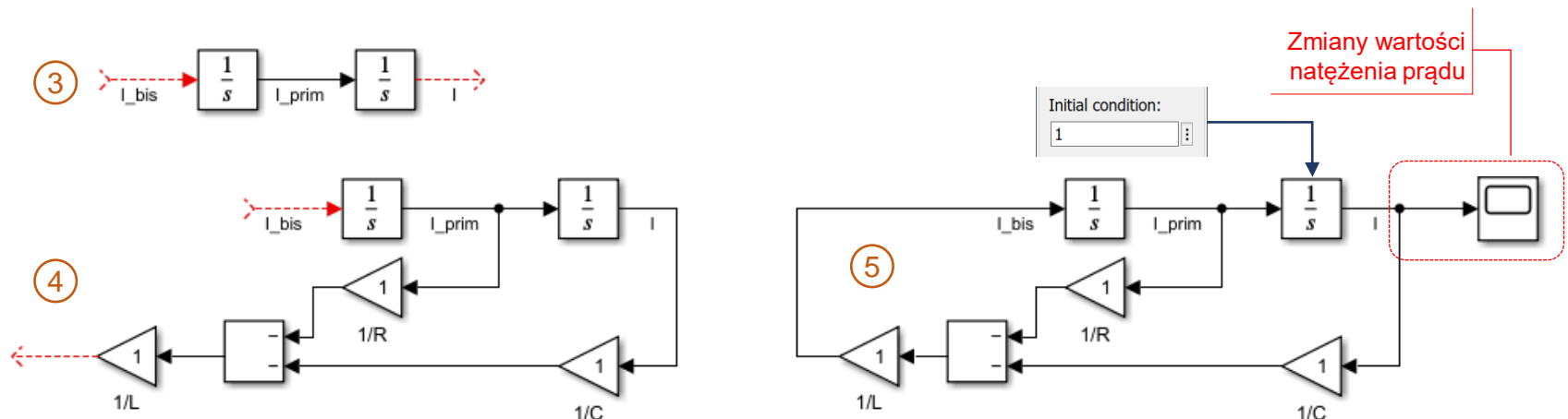
1. Ustal rząd równania (najwyższy rząd pochodnej).
2. Przekształć równanie przenosząc pochodną najwyższego rzędu na lewą stronę, a pozostałe składniki na prawą.
3. Ustal liczbę niezbędnych bloków całkujących (zazwyczaj równa rzędowi równania), wprowadź je do modelu, dodaj sygnały.
4. Zbuduj prawą stronę równania różniczkowego.
5. Wynik połącz z wejściem pierwszego bloku całkującego, ustal warunki początkowe.

*Uwaga:*

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x}, \quad \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$$

## Przykład (zmiany natężenia prądu w obwodzie RLC)

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = 0 \Rightarrow \frac{d^2 I}{dt^2} = \frac{1}{L} \left( -\frac{1}{R} \frac{dI}{dt} - \frac{1}{C} I \right) \Rightarrow \ddot{I} = \frac{1}{L} \left( -\frac{1}{R} \dot{I} - \frac{1}{C} I \right) \quad (2)$$



# Przykład – sygnał z zakłóceniem

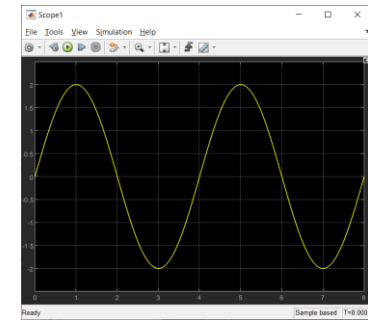
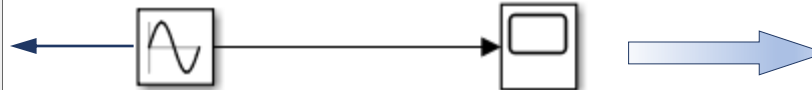
**Zadanie:** Wygenerować sygnał sinusoidalny o amplitudzie 2 i częstotliwości 1.57 rad/s, stale rosnący o 0.25 na sekundę, zakłócony sygnałem sinusoidalnym o amplitudzie 0.1 i częstotliwości 31 rad/s.

## Krok 1: Sygnał sinusoidalny

Amplitude:  
2

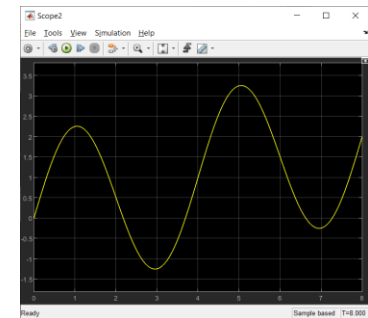
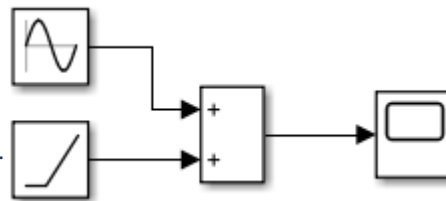
Bias:  
0

Frequency (rad/sec):  
1.57



## Krok 2: Rosnący sygnał sinusoidalny

Slope:  
0.25

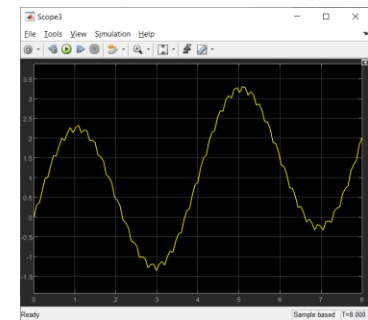
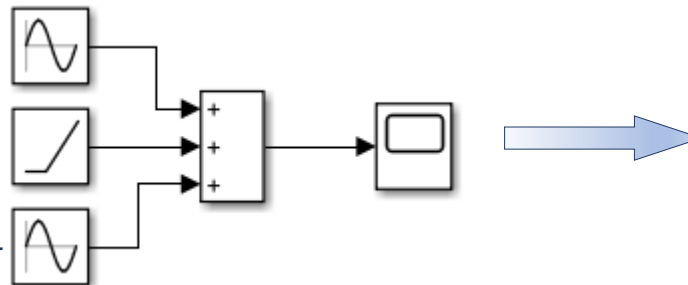


## Krok 3: Sygnał zaburzony

Amplitude:  
0.1

Bias:  
0

Frequency (rad/sec):  
31

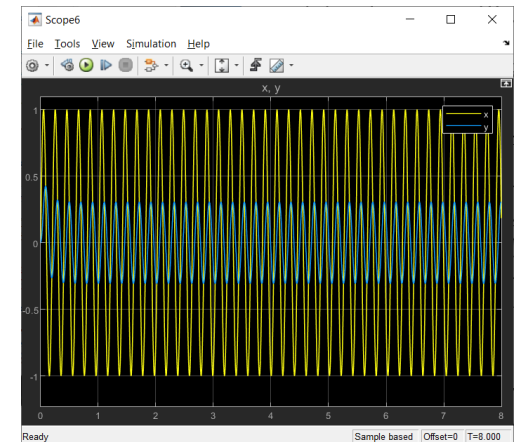
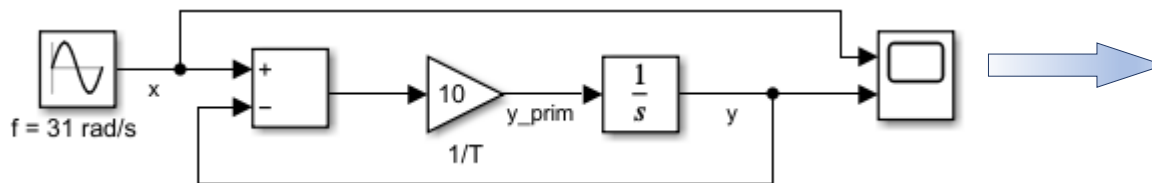
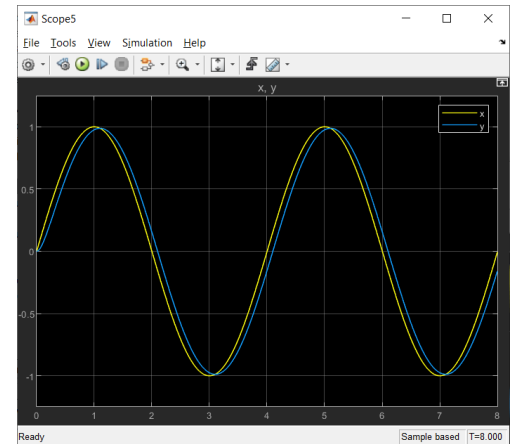
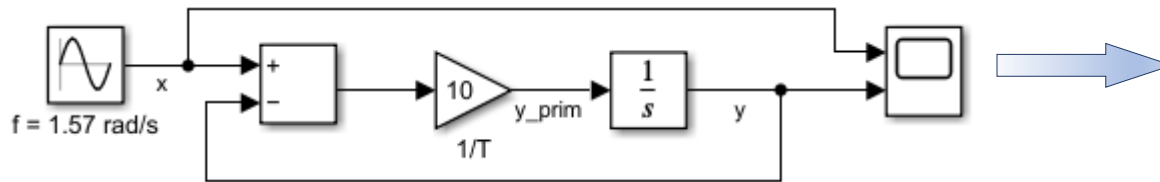


# Filtr dolnoprzepustowy RC

**Filtr dolnoprzepustowy** (ang. *low-pass filter*) jest układem przetwarzającym sygnały, który przepuszcza sygnały o częstotliwości poniżej tzw. częstotliwości odcięcia (pasmo przepustowe) i tłumi składowe o częstotliwościach wyższych (pasmo zaporowe).

$$y + T \frac{dy}{dt} = x \quad \Leftrightarrow \quad \dot{y} = \frac{1}{T} (x - y)$$

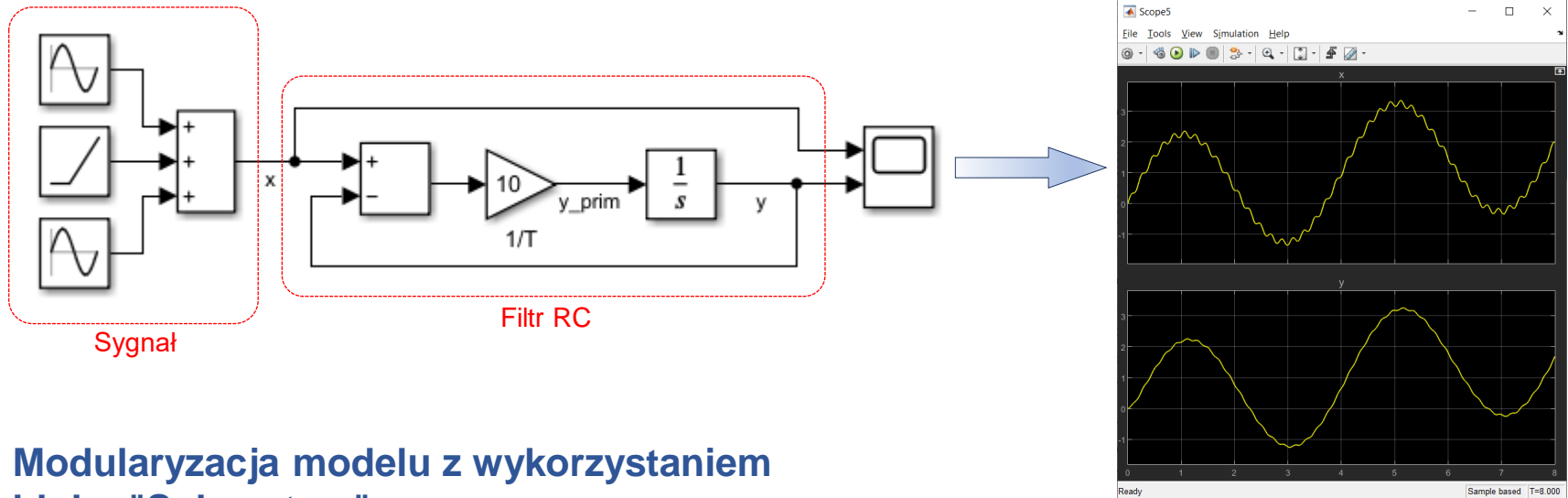
$x$  – sygnał wejściowy,  $y$  – sygnał wyjściowy,  
 $T$ - stała czasowa (parametr filtra)



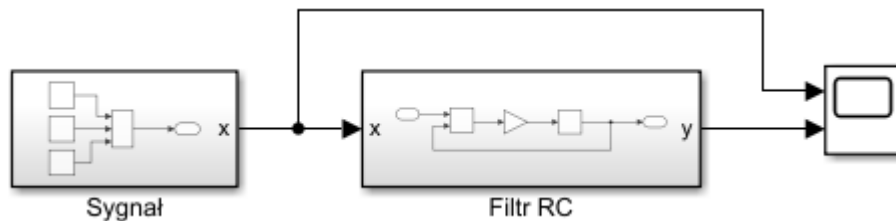


# Filtr dolnoprzepustowy RC

Test filtra RC dla zaszumionego sygnału sinusoidalnego (przykład s.8).

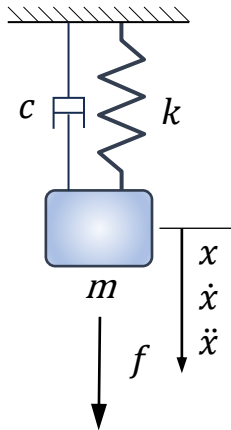


## Modularyzacja modelu z wykorzystaniem bloku "Subsystem"



*Uwaga: blok Subsystem znajduje się w grupie Simulink->Ports & Subsystems. Blok można utworzyć z istniejących elementów zaznaczając fragment modelu i wybierając opcję "Create Subsystem from Selection" z menu podręcznego.*

# Układ masa-sprężyna



$m$  – masa ciała

$k$  – współczynnik sprężystości

$c$  – współczynnik tłumienia

$x, \dot{x}, \ddot{x}$  – położenie, prędkość i przyspieszenie ciała

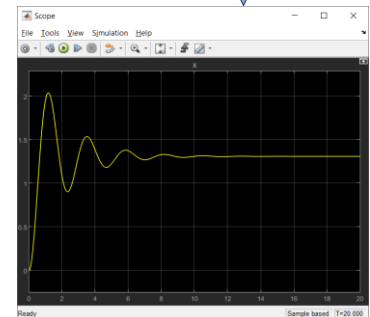
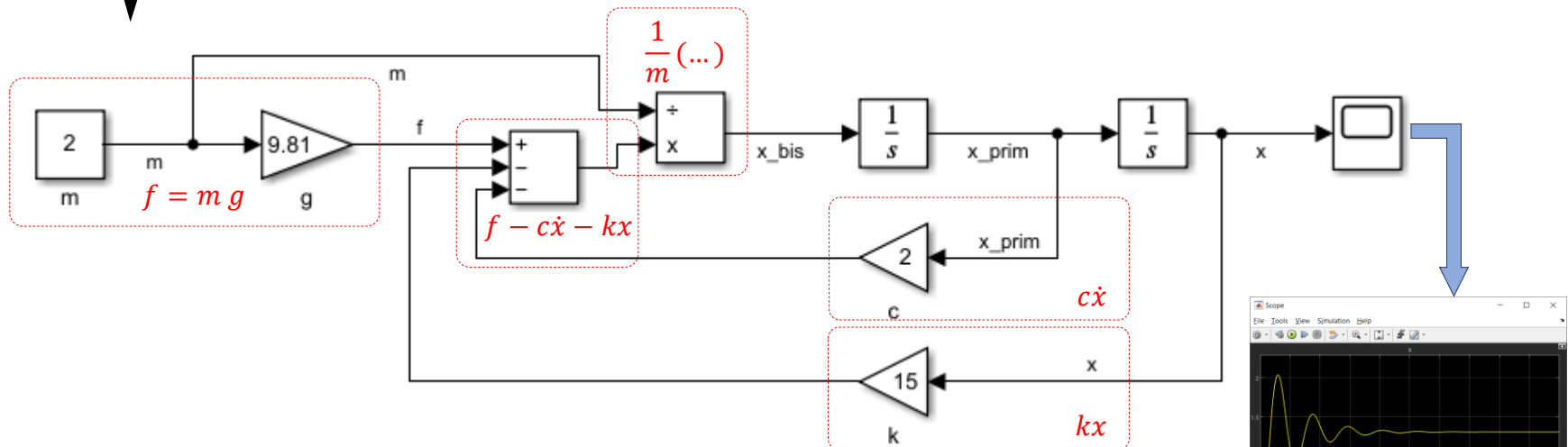
$f$  – siła zewnętrzna (w przykładzie grawitacja)

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{m}(f(t) - c\dot{x} - kx)$$

$$f = m g$$

$$x = 0, \dot{x} = 0$$



*Uwaga: model przedstawia zachowanie układu po zawieszeniu masy "m" na sprężynie, na którą nie działa żadna siła; symulacja rozpoczyna się w chwili zwolnienia masy, która zaczyna opadać pod wpływem siły grawitacji.*