

Optimalizace fyzikálních simulačních modelů automobilových tlumičů

Autor: Bc. Jiří Volech

Vedoucí práce: Prof. Ing. Šika Zbyněk Ph.D.

ČVUT v Praze

FAKULTA STROJNÍ

Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky

Úvod

Cíle práce:

- 1) Seznámení se s metodami modelování automobilových tlumičů
- 2) Řešení fyzikálních a fenomenologických modelů tlumičů
- 3) Sestavení fenomenologického modelu
- 4) Sestavení fyzikálního modelu
- 5) Optimalizace parametrů tlumiče podle žadanych parametrů

Rozvržení

Fenomenologické modely

- Základní model
- Bingham model
- Gamota a Filisko model
- Bouc-Wen model
- Rozšířený Bouc-Wen model

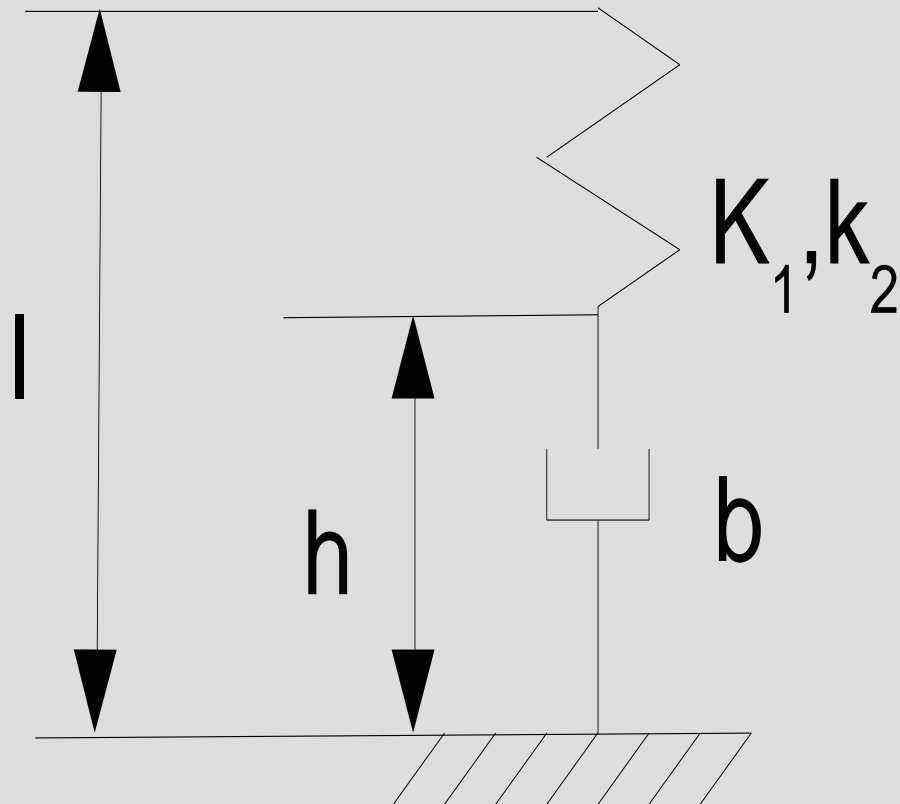
Fyzikální modely

- Průtokový
- Tlakový

Identifikace

Závěr

Základní fenomenologický model

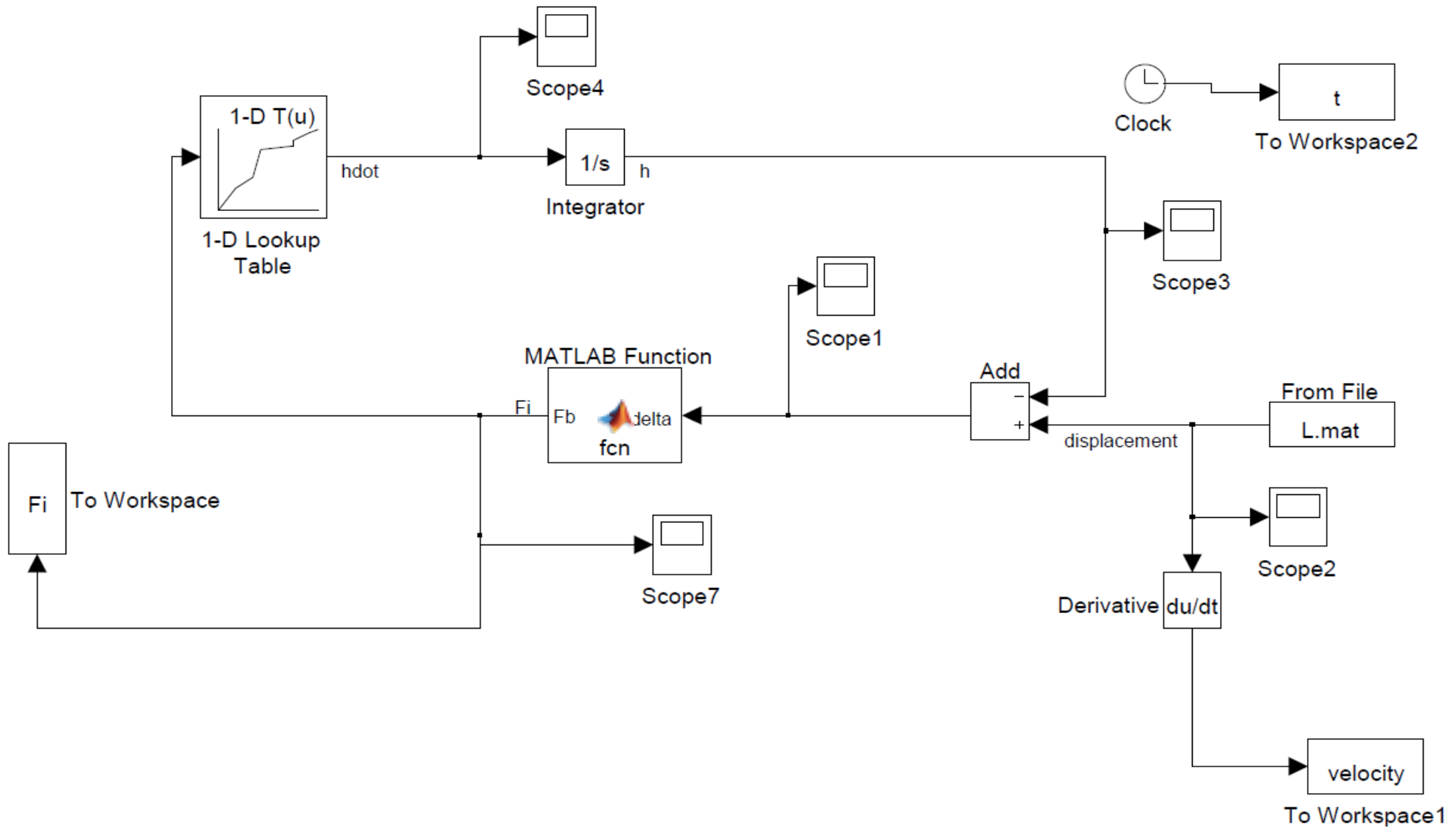


Daný fenomenologický model je popsán rovnicemi

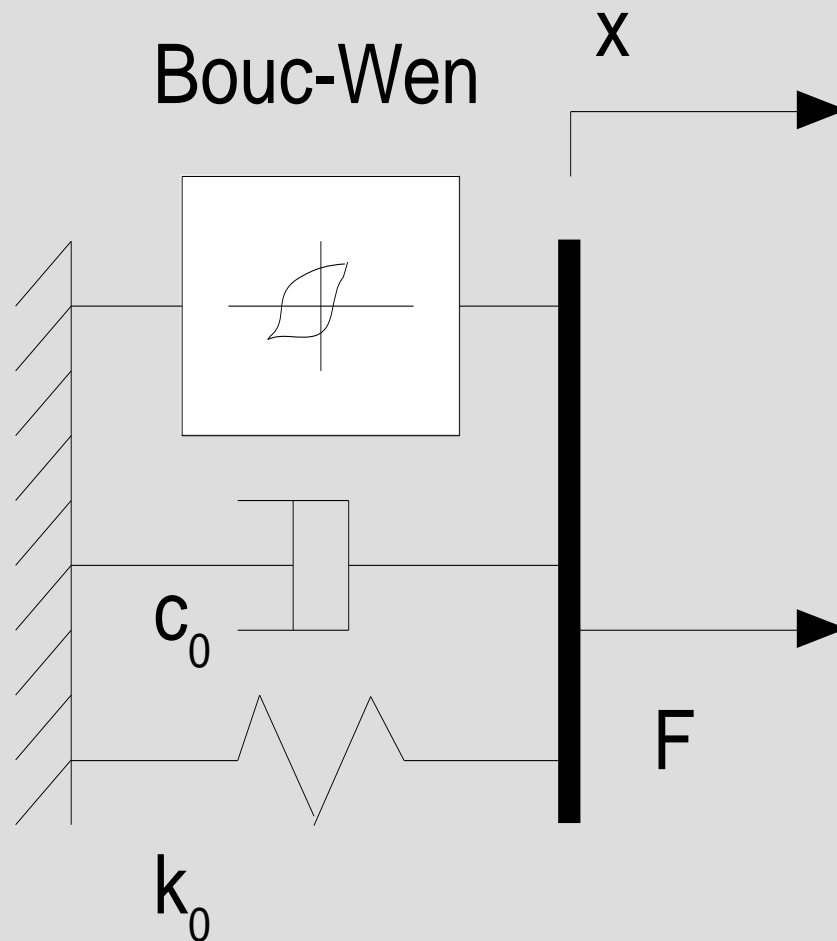
$$\Delta = l - h$$

$$F = k_1 \cdot (\Delta) + k_2 \cdot (\Delta)^3$$

Základní fenomenologický



Bouc-Wen model



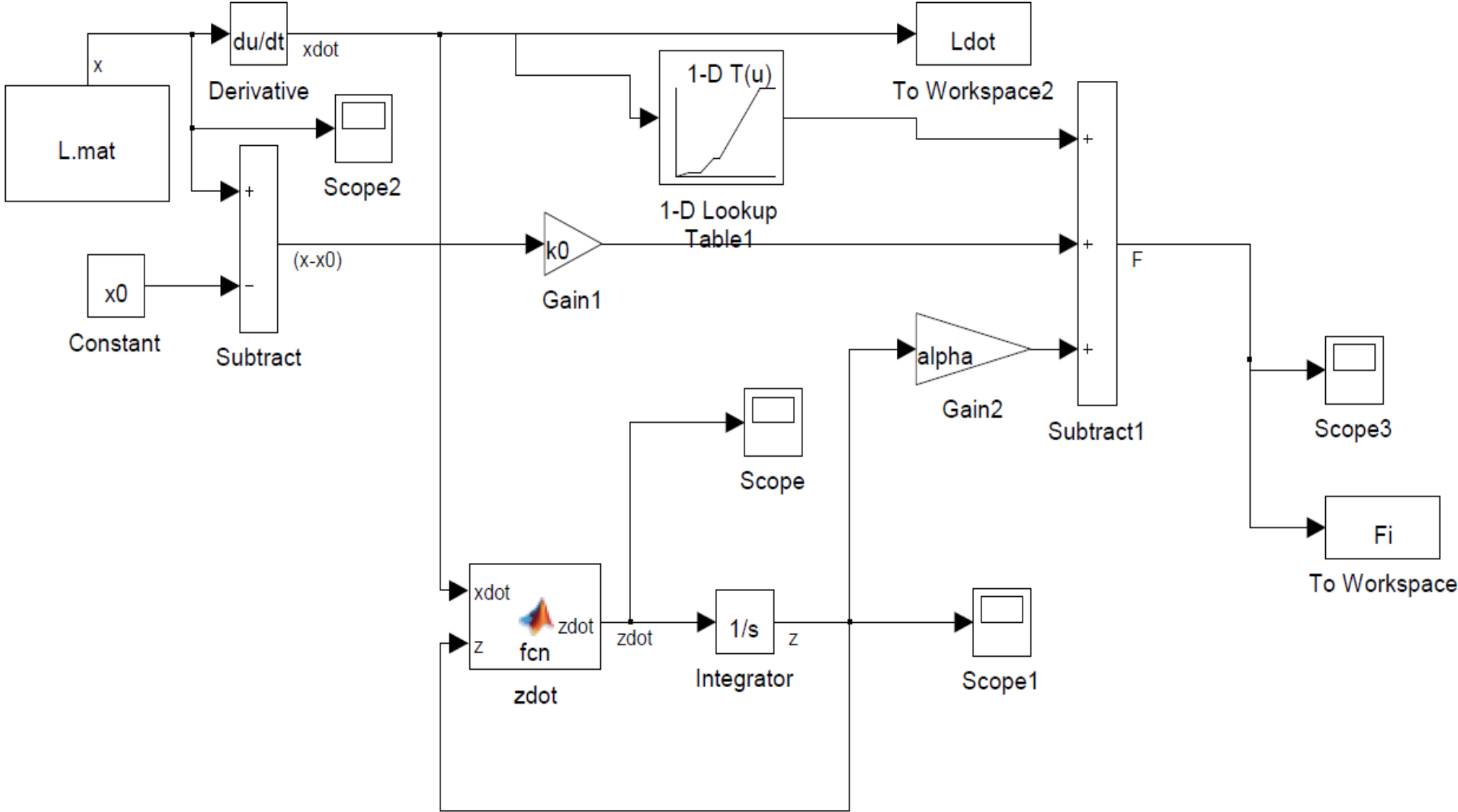
Síla v modelu je dána jako

$$F = c_0 \dot{x} + k_0 (x - x_0) + \alpha \cdot z$$

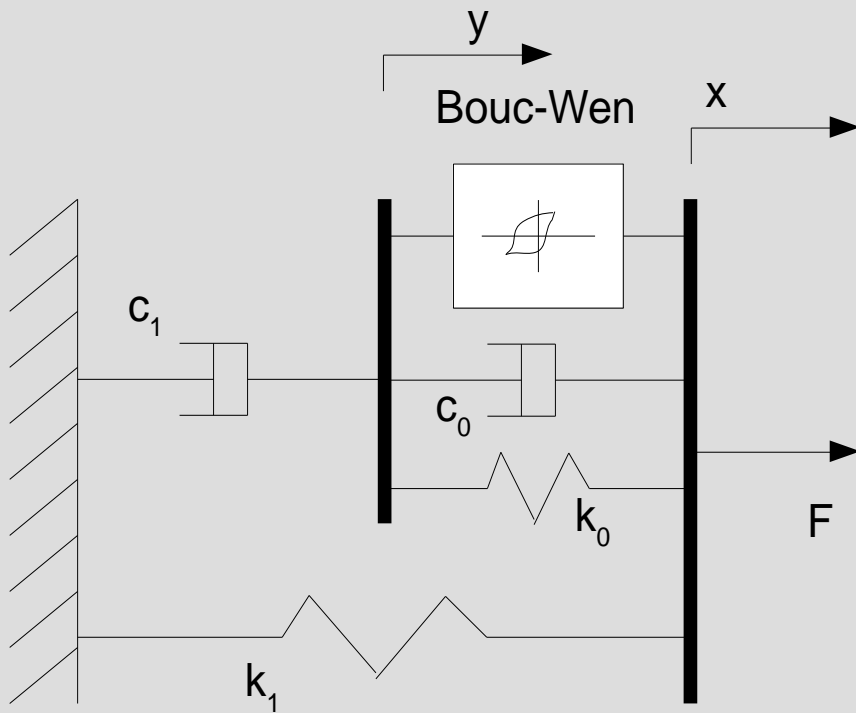
Kde vývojová proměnná je

$$\dot{z} = -\gamma \cdot |\dot{x}| \cdot z \cdot |z|^{n-1} - \beta \cdot \dot{x} \cdot |z|^n + A \cdot \dot{x}$$

Bouc-Wen



Rozšířený Bouc-wen model



Síly na obou stranách přepážky

$$c_1 \dot{y} = \alpha \cdot z + k_0 \cdot (x - y) + c_0 \cdot (\dot{x} - \dot{y})$$

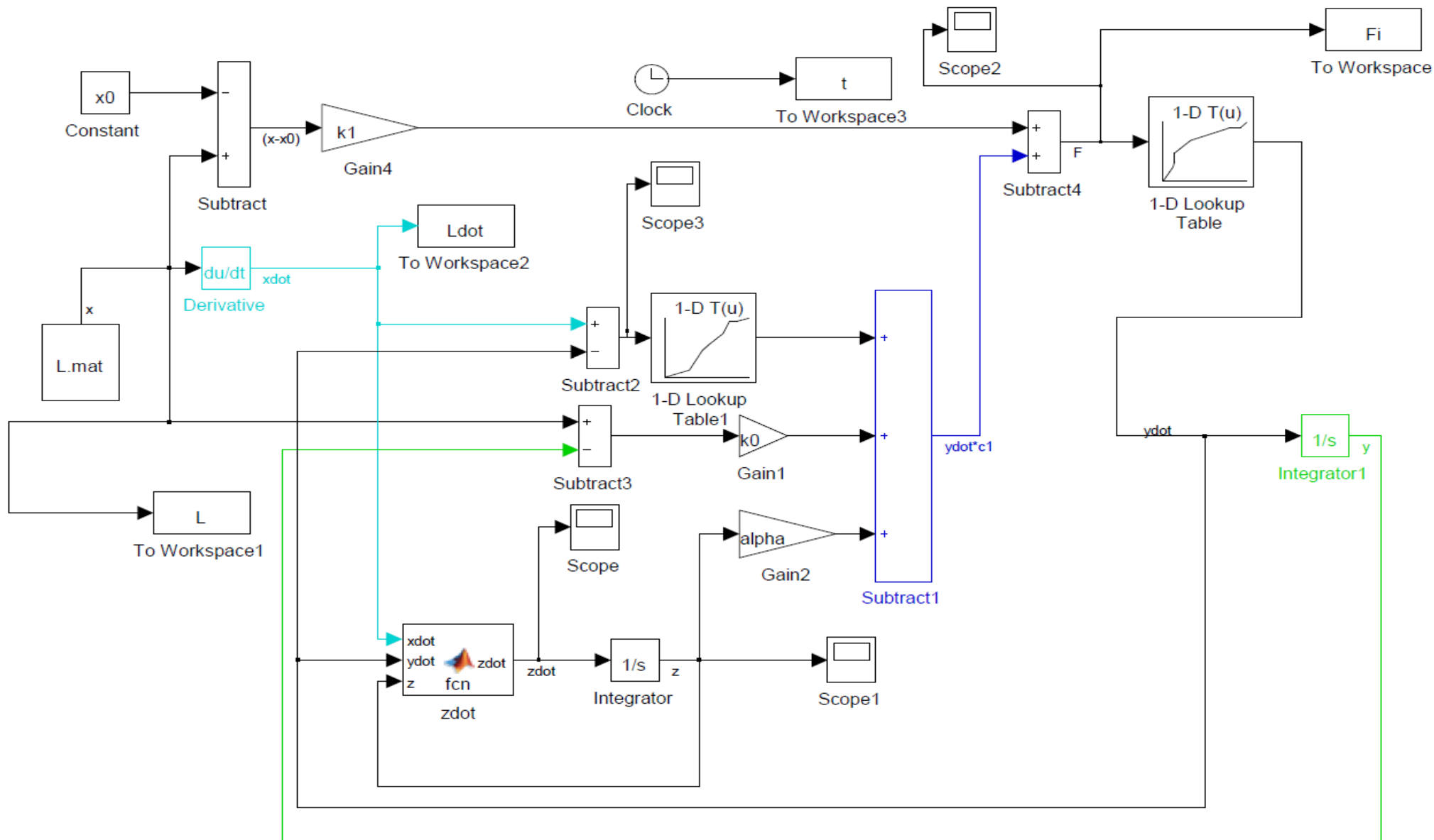
Kde vývojová proměnná je

$$\dot{z} = -\gamma \cdot |\dot{x} - \dot{y}| \cdot z \cdot |z|^{n-1} - \beta (\dot{x} - \dot{y}) \cdot |z|^n + A \cdot (\dot{x} - \dot{y})$$

Výsledná síla F je rovna

$$F = \alpha \cdot z + c_0 \cdot (\dot{x} - \dot{y}) + k_0 \cdot (x - y) + k_1 \cdot (x - x_0)$$

Rozšířený Bouc-Wen



Fyzikální model

- Popis – stavová veličina: Tlak p [Pa]
 - Klíčové popisy:

Tlak v dekompresní komoře:

Tlak v kompresní komoře:

$$p_{reb} = \frac{(\dot{x} \cdot (A_{pt} - A_{rod}) - Q_{pv}) \cdot (1 - \alpha \cdot p_{reb})}{(L_{pt} - x_0 - x) \cdot (A_{pt} - A_{rod}) \cdot \alpha}$$

$$p_{com} = \frac{(\dot{x} \cdot A_{pt} - Q_{pv} + Q_{bv}) \cdot (1 - \alpha \cdot p_{com})}{(x_0 + x) \cdot A_{pt} \cdot \alpha}$$

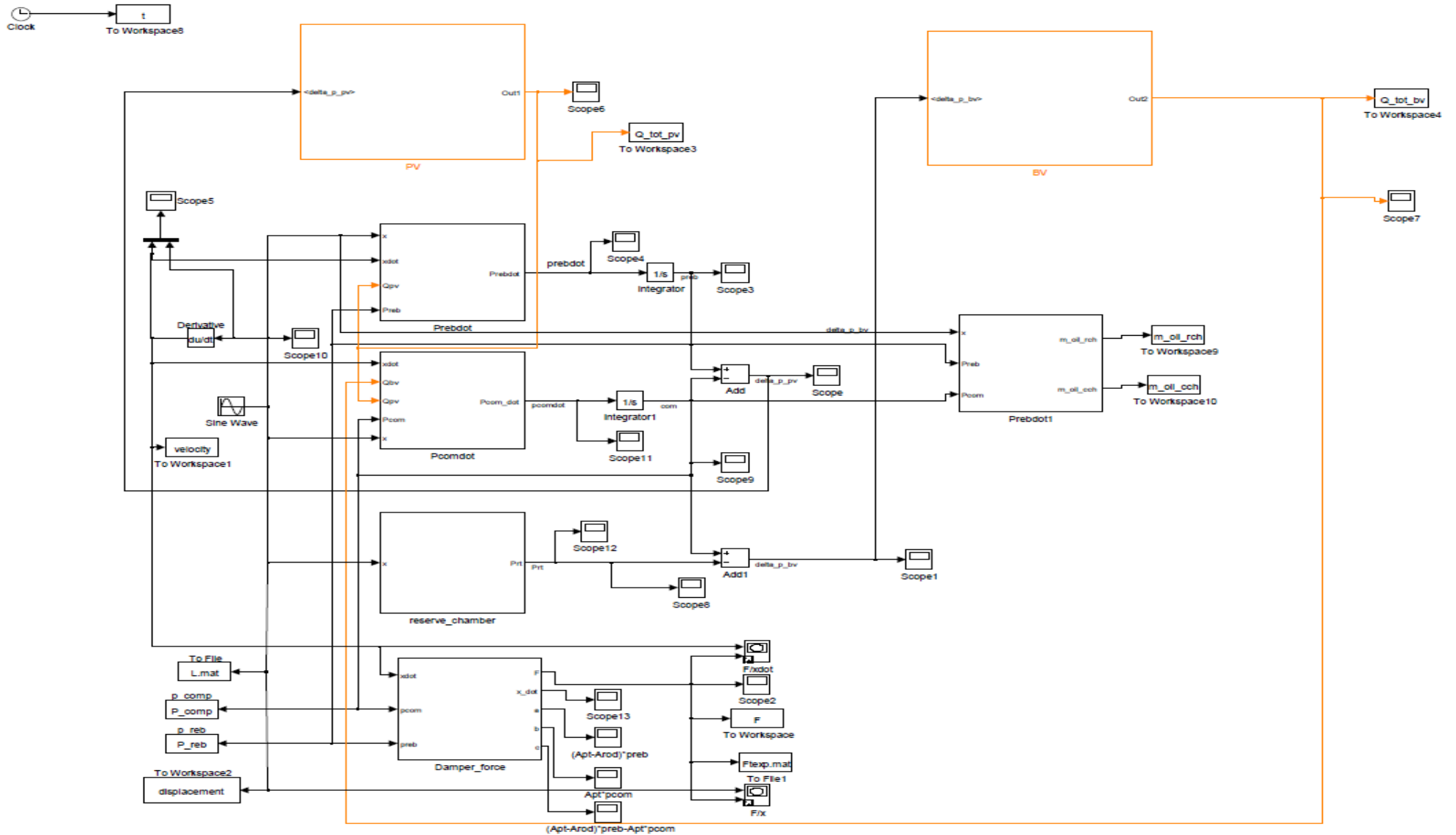
Tlak v rezervní komoře:

$$P_{rt} = P_{rt,0} \cdot \left(\frac{V_{rt,gas,0}}{V_{rt,gas}} \right)^\gamma = P_{rt,0} \cdot \left(\frac{V_{rt,gas,0}}{V_{rt,gas,0} + A_{rod} \cdot x} \right)^\gamma$$

Výsledná síla

$$F = (A_{pt} - A_{rod}) \cdot p_{reb} - A_{pt} \cdot p_{com} + F_{friction} \cdot \text{sgn}(\dot{x})$$

Fyzikální – průtokový model



Identifikace

- Optimalizací rozšířenou simplexovou metodou při použití cílové funkce:

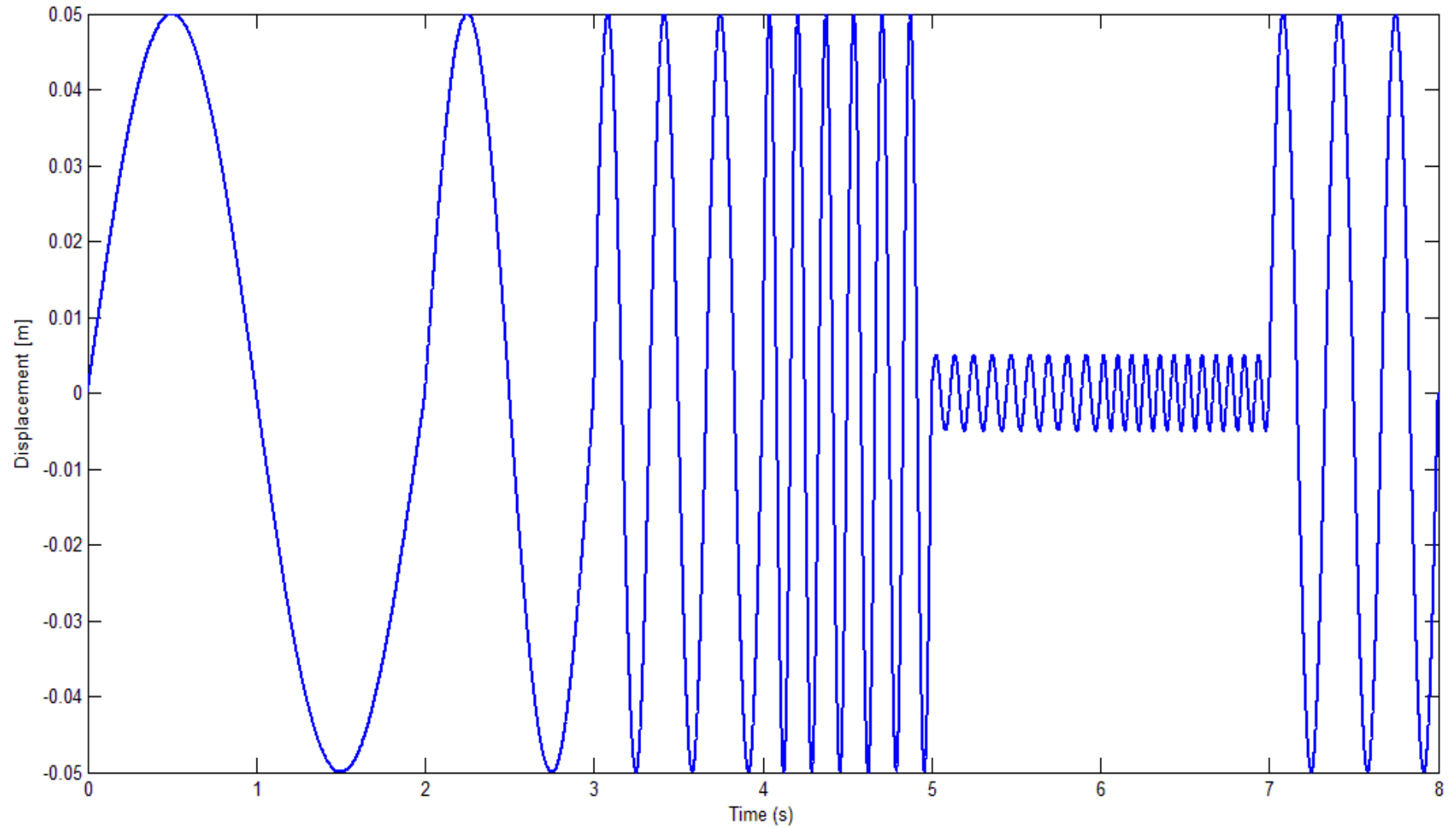
$$F_{val} = (F_i - F_{texp}) \cdot (F_i - F_{texp})$$

- A k vyhodnocení výsledků byla použita RMS hodnota (střední kvadratická chyba)

$$RMS_{Residual\ force} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i(t_i) - F_{texp}(t_i))^2}{n}} \quad RMS_{Damper\ force} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n F_{texp}^2(t_i)}{n}}$$

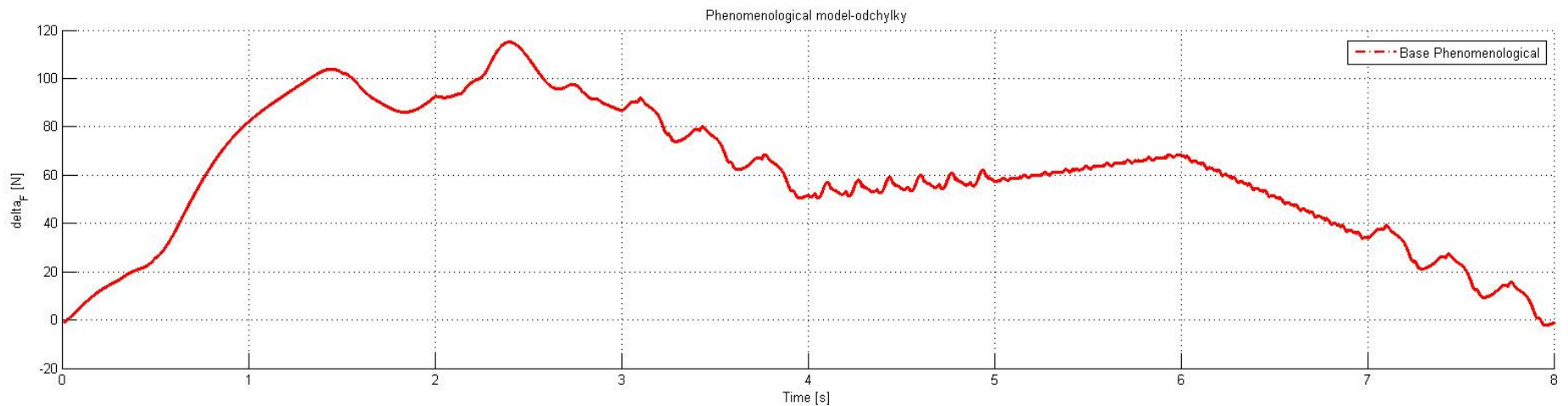
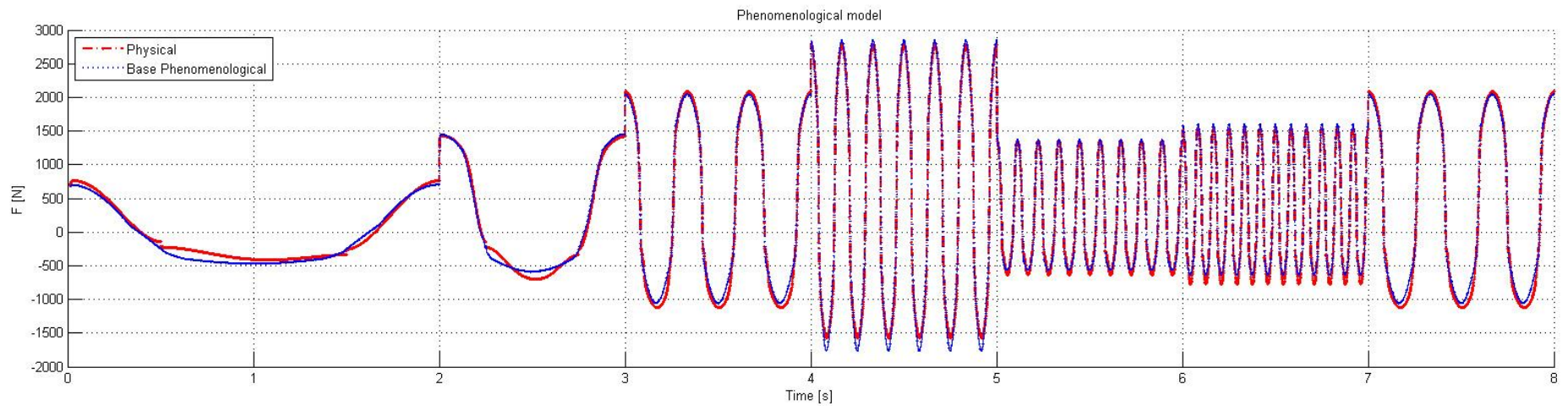
$$RMS_{chyba} = \frac{RMS_{Residual\ force} \cdot 100}{RMS_{Damper\ force}}$$

Budící signál



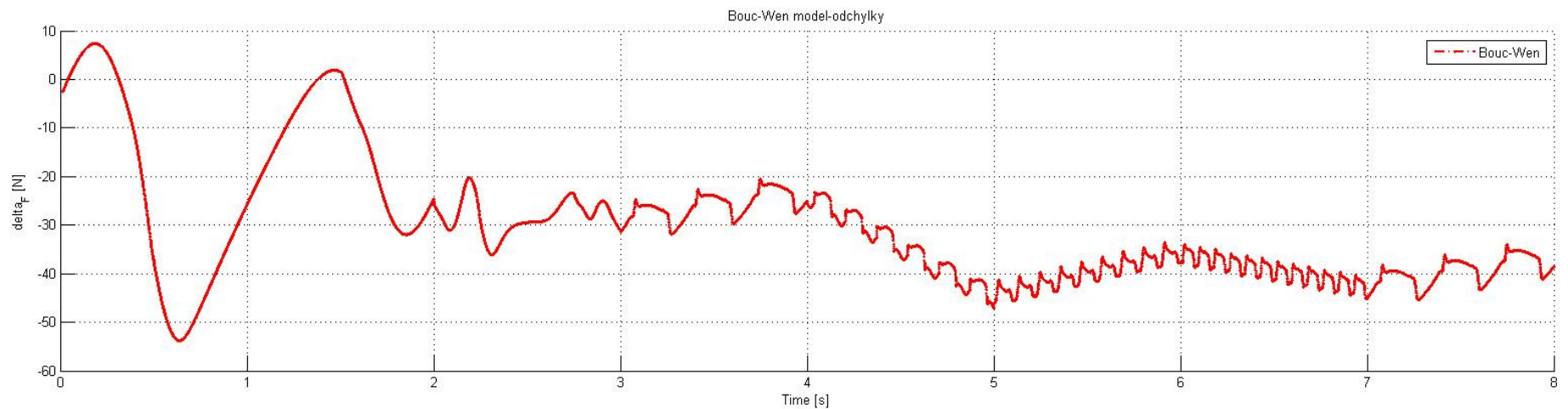
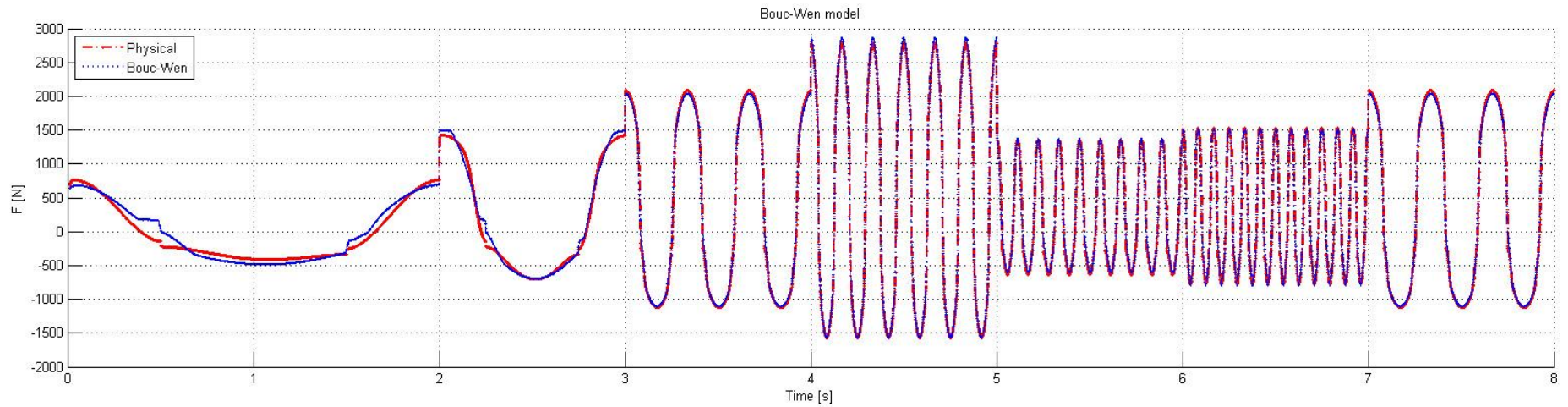
Grafické výsledky

Základní fenomenologický model



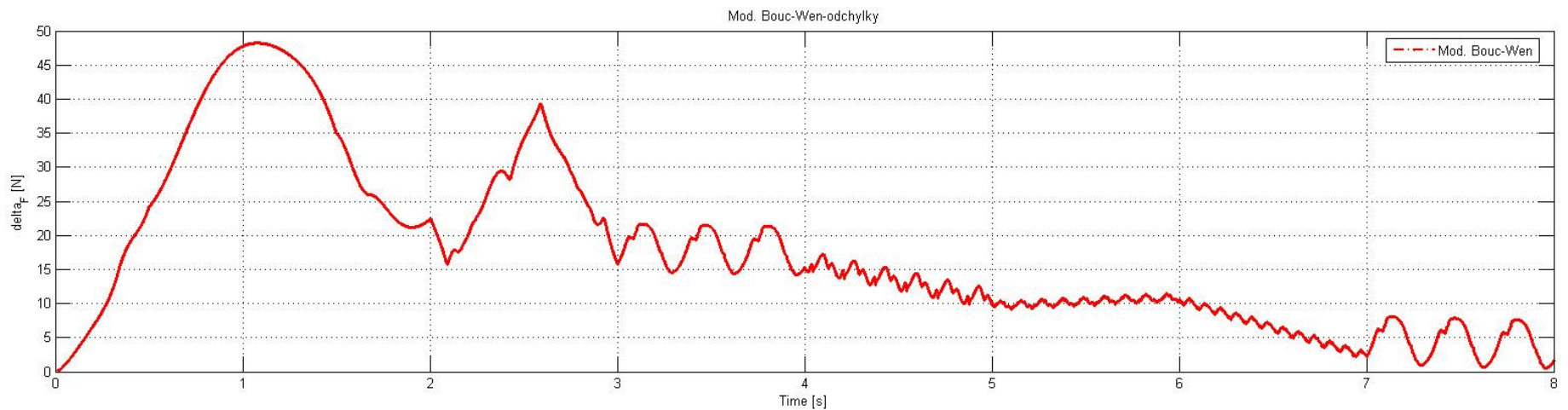
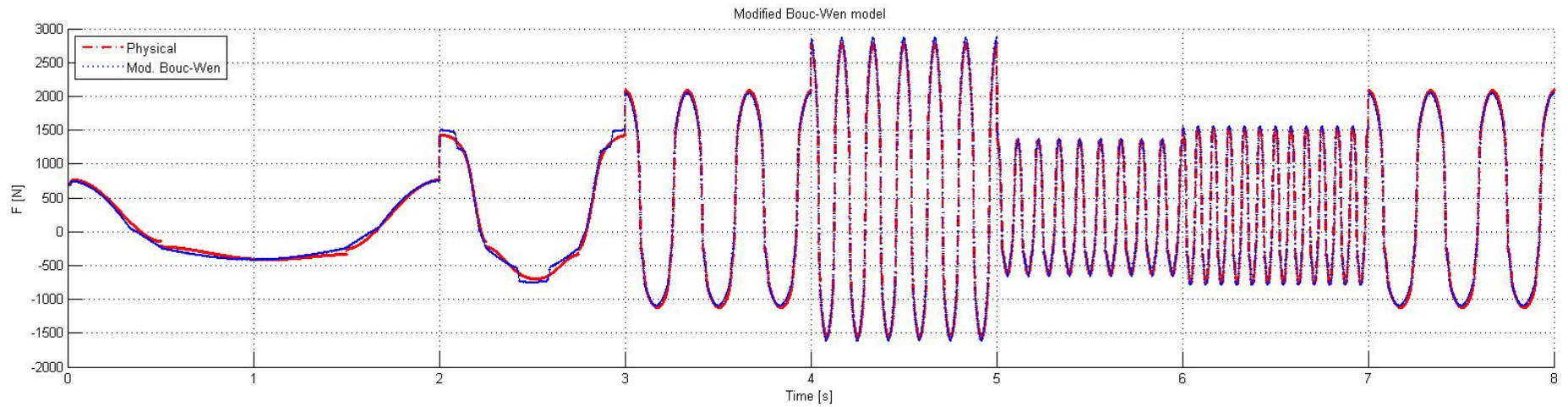
Grafické výsledky

Bouc-Wen model



Grafické výsledky

Rozšířený Bouc-Wen model



Závěr

Modely	RMS_{Damper} force [N]	RMS_{residual} force [N]	Relativní RMS_{chyba}
Základní fenomeno- logický model	1093,33	84,19	7,7 %
Bouc-Wen model	1093,33	108,98	9,88 %
Rozšířený Bouc- Wen model	1093,33	54,22	4,96 %

Závěr

$t_{\text{sim}} = 8\text{s}$	Základní fenomeno- logický model	Bouc- Wen model	Rozšířený Bouc- Wen model	Fyzikální model
$T_{\text{výp}} [\text{s}] \sim$	2,96	4,00	10,60	243,60

Výpočty probíhaly s nastaveným řešičem ODE 15s (stiff / NDF) v programu MATLAB-SIMULINK

ODE 15s: Počítá stav modelu v dalším časovém kroku pomocí numerické derivace vzorců.

Výpočty byly prováděny na:

Intel(R) Core(TM) i7-2670QM CPU @ 2.20 GHz 2.20 GHz

Závěr

- 1) Byla provedena rešerše simulací automobilových tlumičů.
- 2) Byly sestaveny fenomenologické modely a tři byly vybrány do identifikace.
- 3) Byl sestaven fyzikální model.
- 4) Byla provedena identifikace třech fyzikálních modelů na data z modelu fyzikálního a porovnány jejich kvality.