

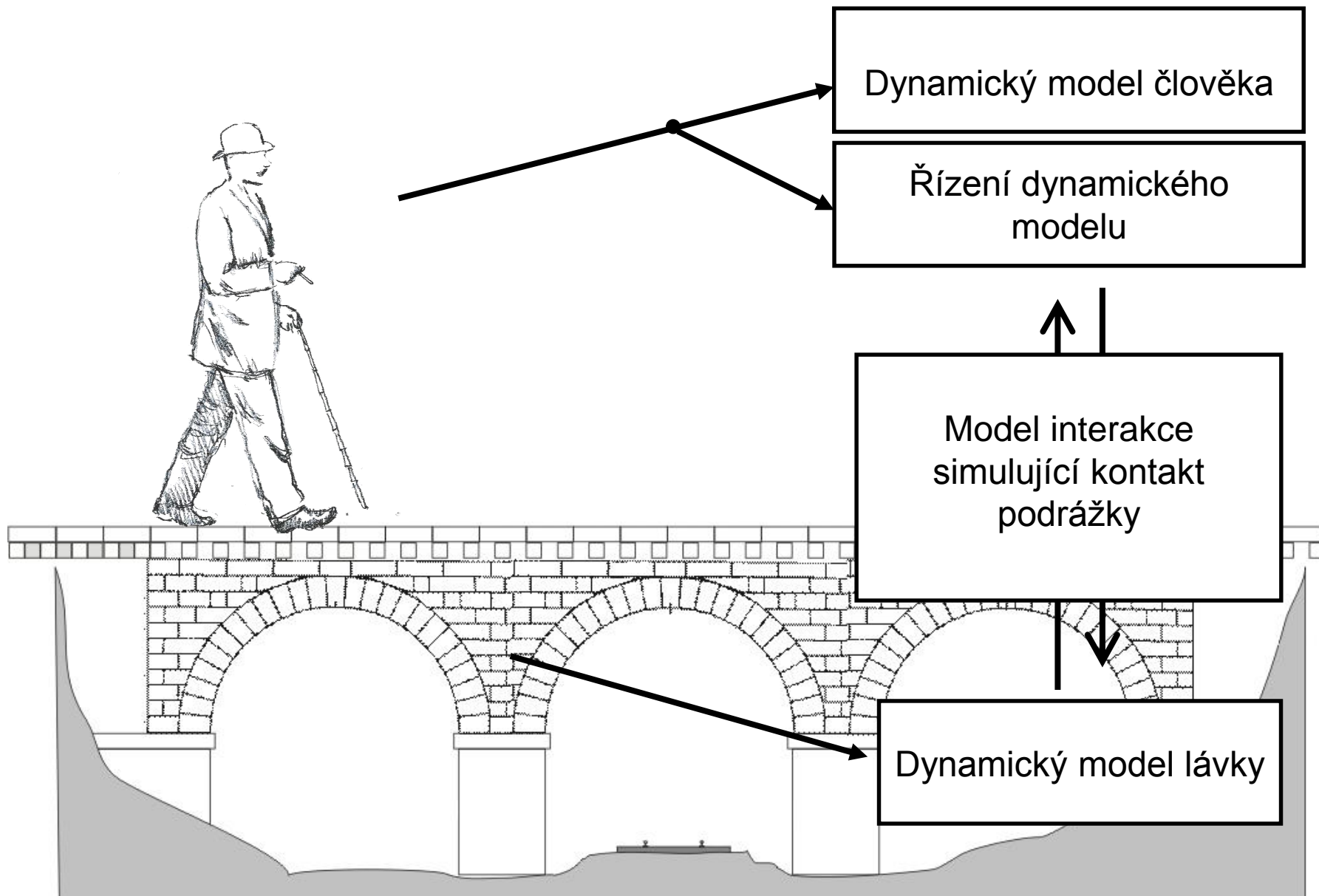
# Simulace člověka jdoucího po lávce



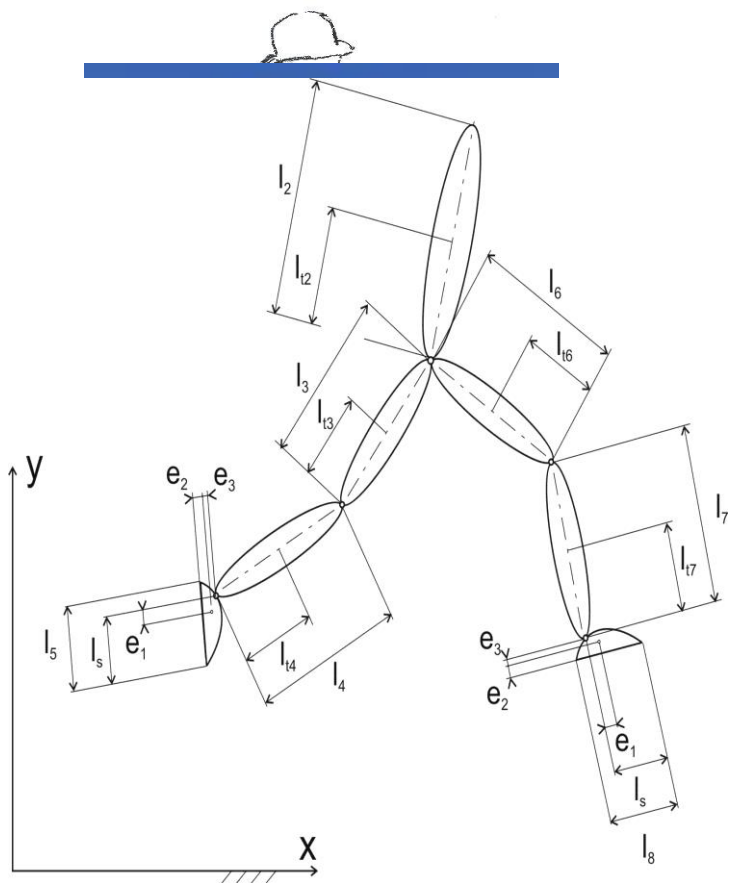
Michal Víšek

# Cíle práce

- Vytvořit dynamický model kráčejícího člověka
- Vytvořit a optimalizovat parametrické vstupy modelu
- Sestavit simulační model lávky
- Vytvořit simulační model interakce mezi modely člověka a lávky
- Provést simulační experimenty



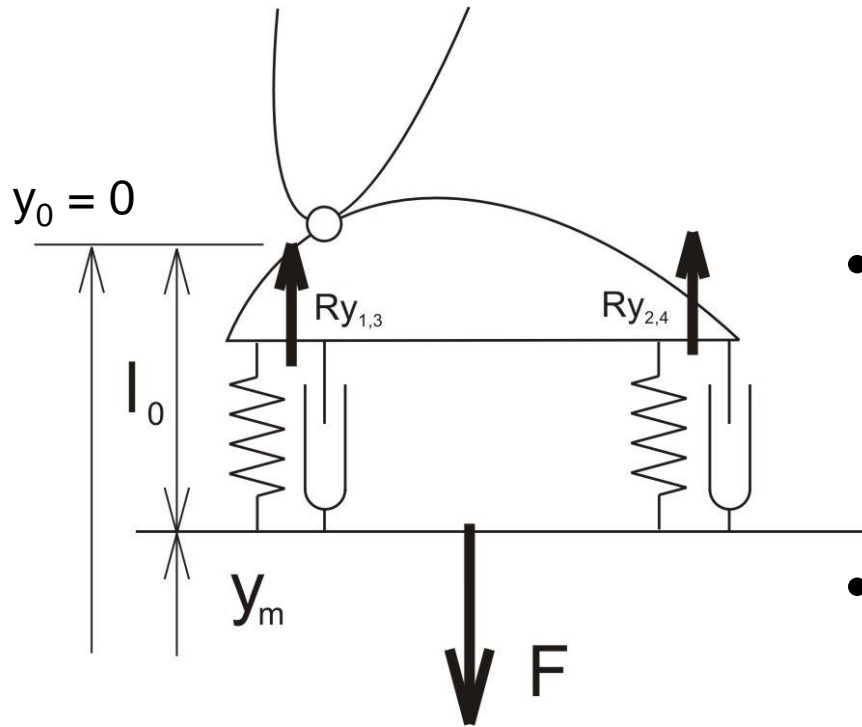
# Model člověka



- Rozložení člověka na soustavu těles
- Popis pomocí souřadnic a vazeb
- Sestavení rovnic matematického modelu

$$\underline{\ddot{q}} = (\underline{R}^T \cdot \underline{M} \cdot \underline{R})^{-1} \cdot (\underline{R}^T \cdot \underline{p} - \underline{R}^T \cdot \underline{M} \cdot \underline{\dot{R}} \cdot \underline{\dot{q}})$$

# Reakce pevného podkladu



- Reakce ve směru osy  $y$

$$Ry = k_{podražky} \cdot (y_0 - y) + b_{podražky} \cdot (\dot{y}_0 - \dot{y})$$

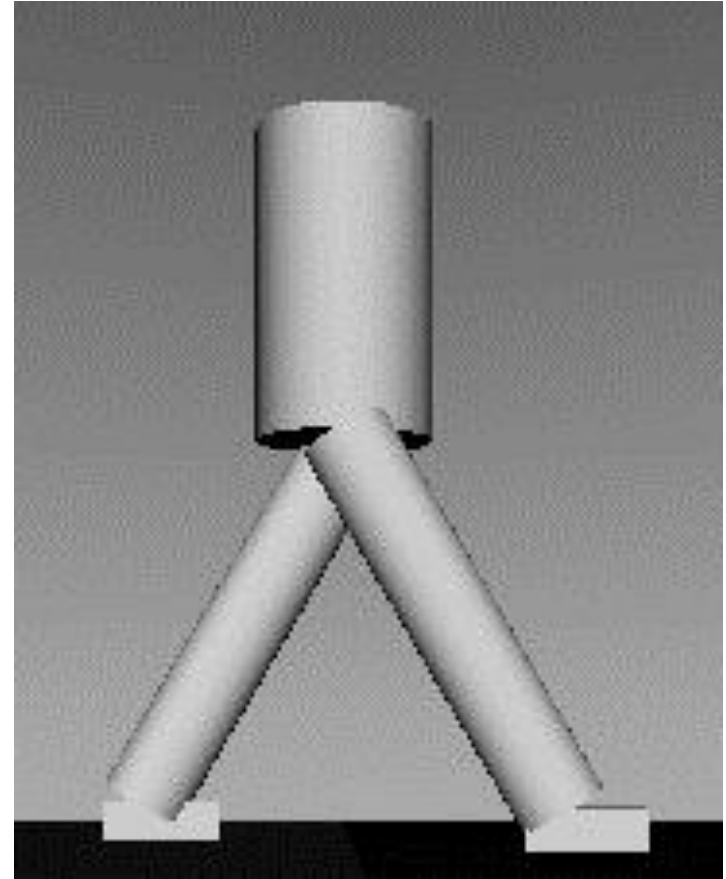
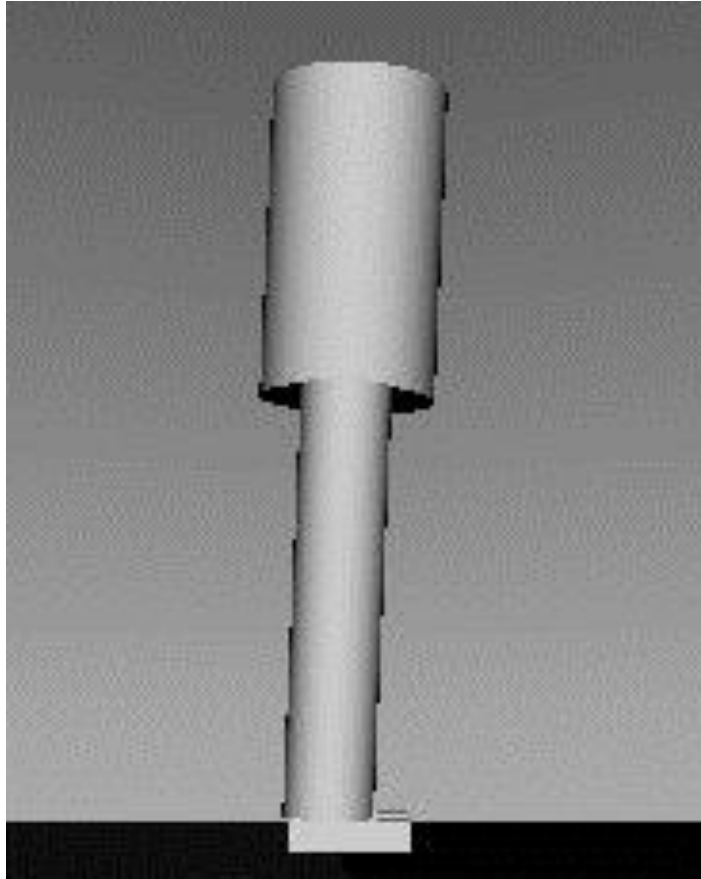
- Reakce ve směru osy  $x$

$$Rx = -\mu \cdot |Ry| \cdot \text{sign}(\dot{x}_r)$$

- Reakce ve směru osy  $x$  pro malé rychlosti

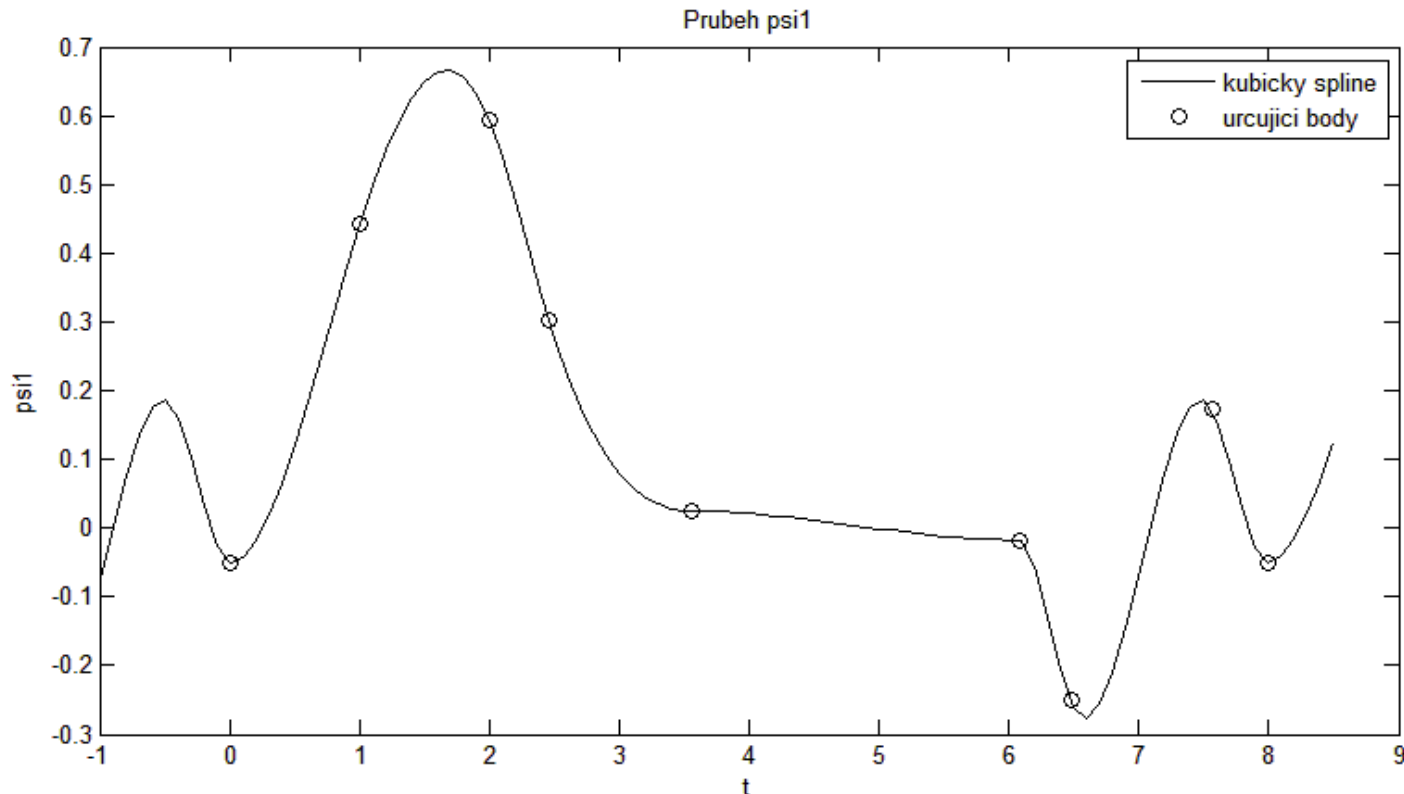
$$Rx = -5 \cdot \mu \cdot |Ry| \cdot (\dot{x}_r)$$

# Otestování samotného modelu člověka

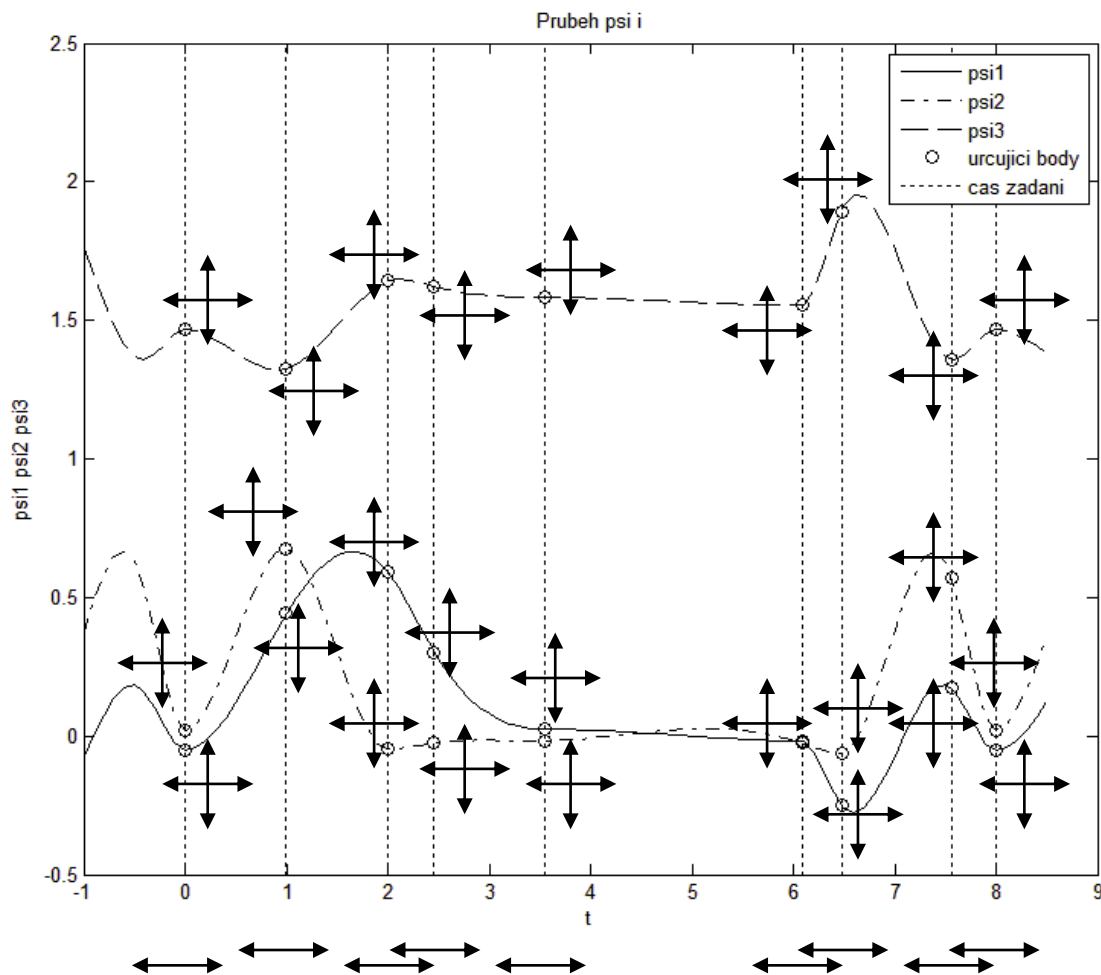


# Parametrizace vstupů

- Proložení zvolených bodů pomocí kubických spline ve tvaru  $y = B_0 + B_1 \cdot t + B_2 \cdot t^2 + B_3 \cdot t^3$ , lze získat průběhy řízených veličin s požadovanými vlastnostmi.



# Optimalizace parametrizovaných vstupů

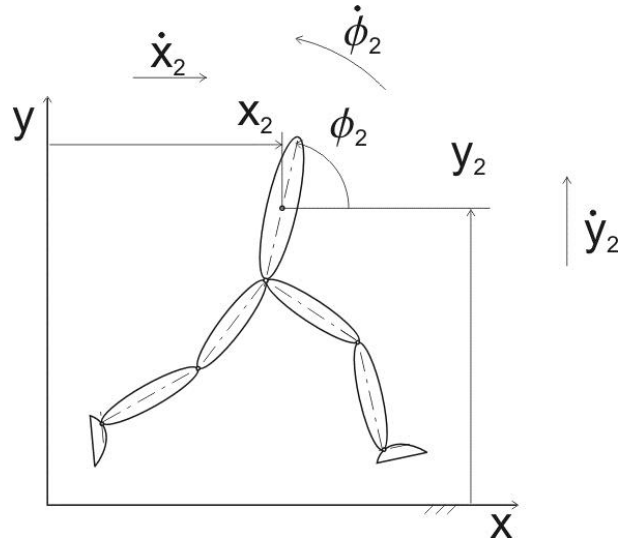


Analýza  
optimalizovaných  
parametrů  
(96)

Snížení počtu  
optimalizovaných  
parametrů  
(32)



# Stanovení cílové funkce



$$CF = (\Delta y_2 \cdot 100)^2 + (\Delta \dot{y}_2 \cdot 100)^2 + (\Delta \dot{x}_2 \cdot 100)^2 + (\Delta \varphi_2 \cdot 100)^2 + (\Delta \dot{\varphi}_2 \cdot 100)^2 + (\max(\varphi_2) - \min(\varphi_2))$$

Zlepšení periodicity kroku

snížení  
předozadních  
výkyvů

# Implementace trajektorií do řízení dynamického modelu

Zjistit řídicí momenty, které by mechanismem pohybovaly po zadané trajektorii

$$\underline{p}_1 = \underline{M} \cdot \underline{\dot{R}} \cdot \underline{\dot{q}}_{poz} + \underline{M} \cdot \underline{R} \cdot \underline{\ddot{q}}_{poz}$$

kde

$$\underline{q}_{poz} = \begin{bmatrix} \underline{z} \\ \underline{h} \end{bmatrix} \quad \underline{z} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} \quad \underline{h} = \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \vdots \\ \psi_6 \end{bmatrix} \quad \underline{\dot{q}}_{poz} = \begin{bmatrix} \underline{\dot{z}} \\ \underline{\dot{h}} \end{bmatrix} \quad \underline{\ddot{q}}_{poz} = \begin{bmatrix} \underline{\ddot{z}} \\ \underline{\ddot{h}} \end{bmatrix}$$

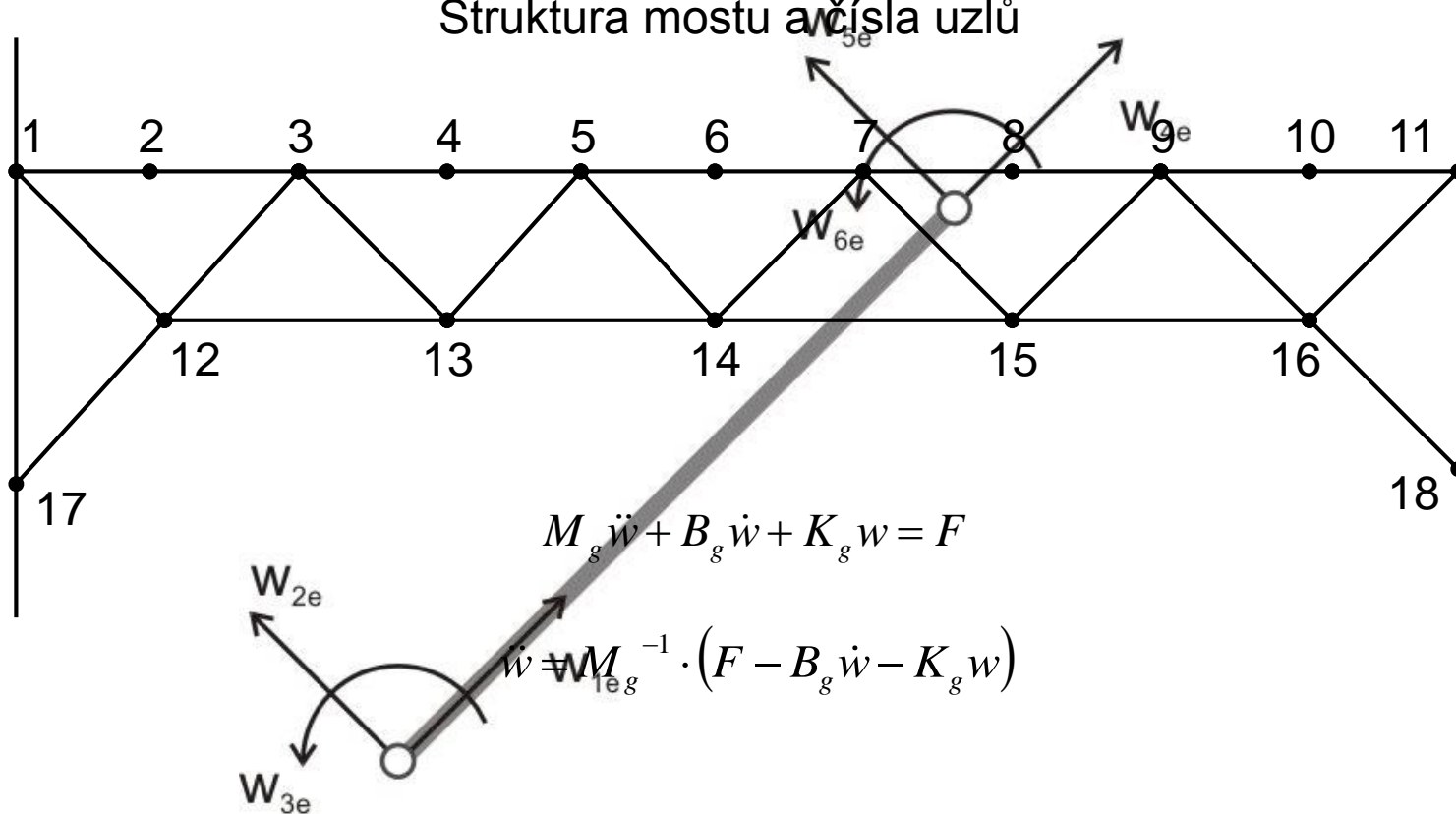
Potlačit vliv chyb a nestabilitu použitím PD regulátoru

$$U = U_1 + 200 \cdot (q - q_{poz}) + 75 \cdot (\dot{q} - \dot{q}_{poz})$$

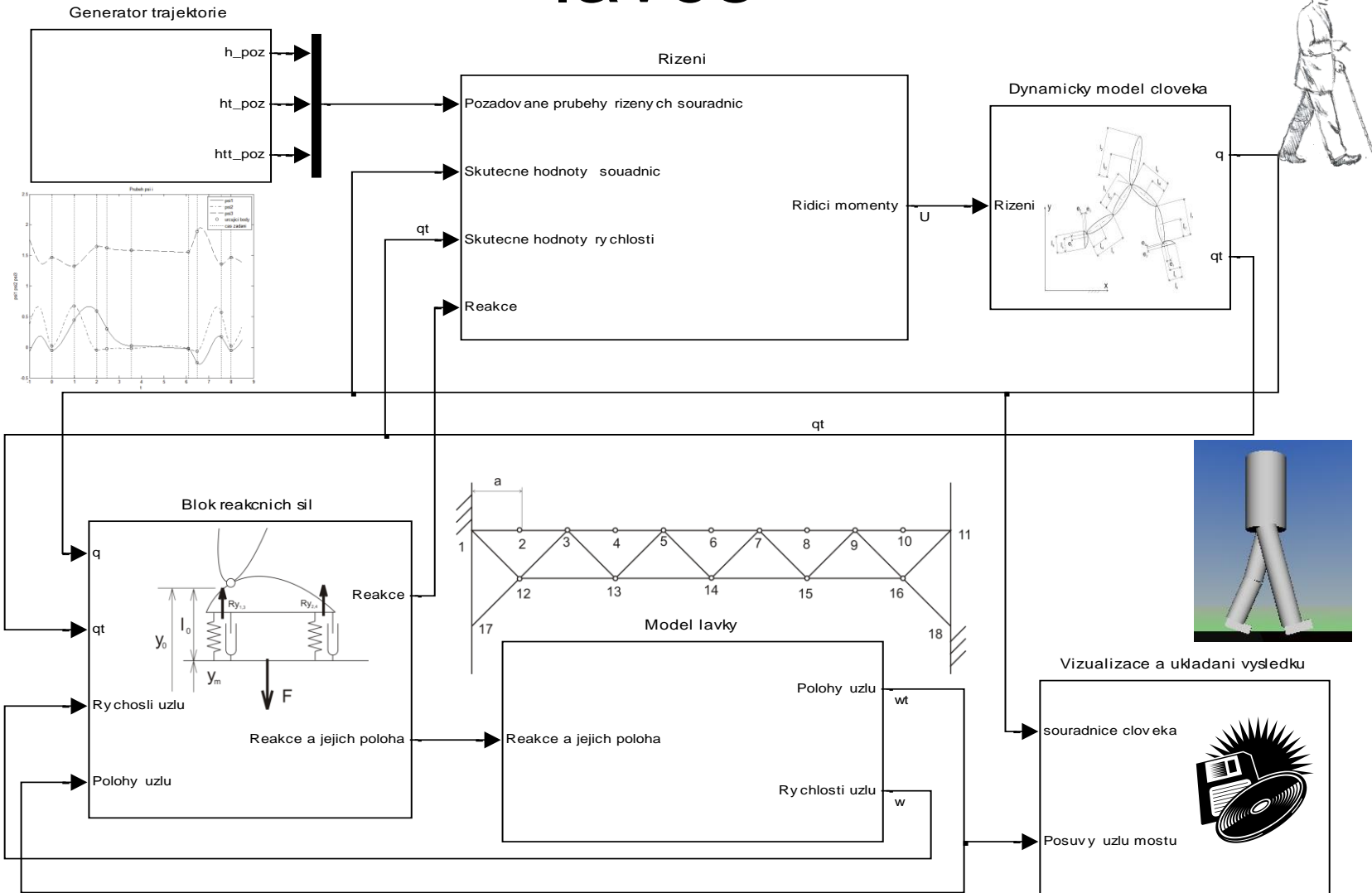
# Model mostu

Zvolený element

Struktura mostu a čísla uzlů



# Celkový model člověka jdoucího po lávce



# Výsledky simulačních experimentů