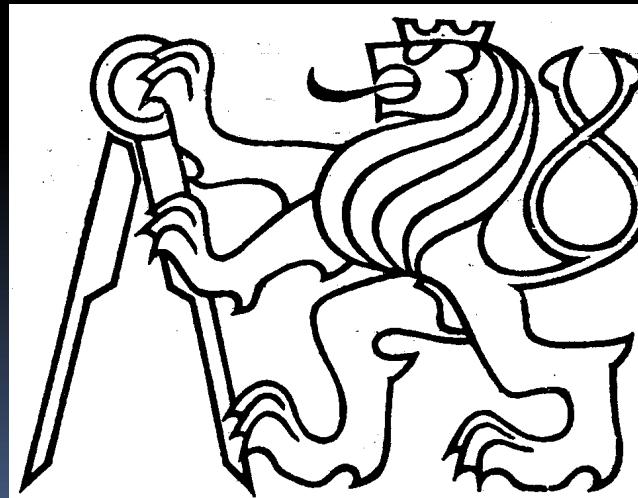


# MODEL CHŮZE S HOLÍ A FRANCOUZSKOU HOLÍ

Prof. Ing. Jan Čulík, DrSc.

Fakulta biomedicínského inženýrství  
České vysoké učení technické

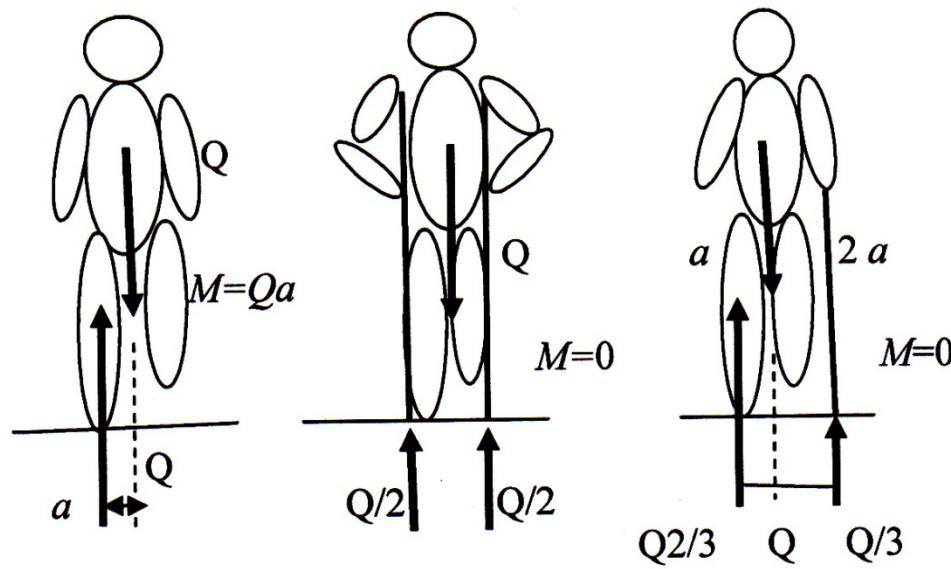


# Úvod

## Simulační model chůze s holí a francouzskou holí

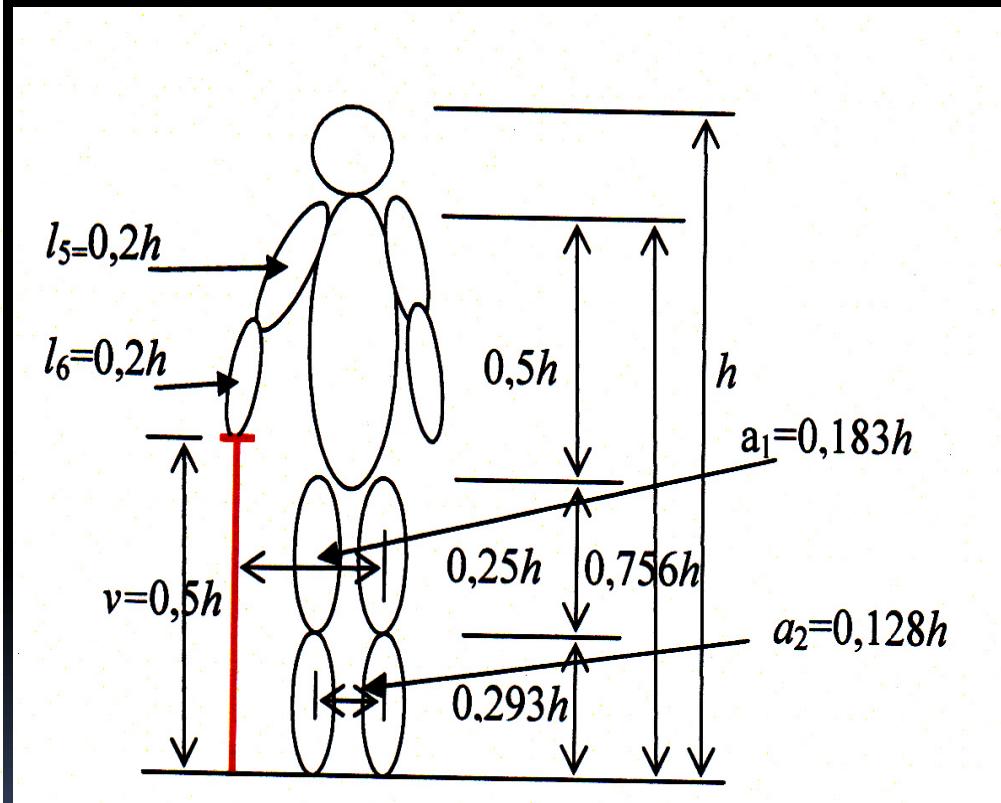
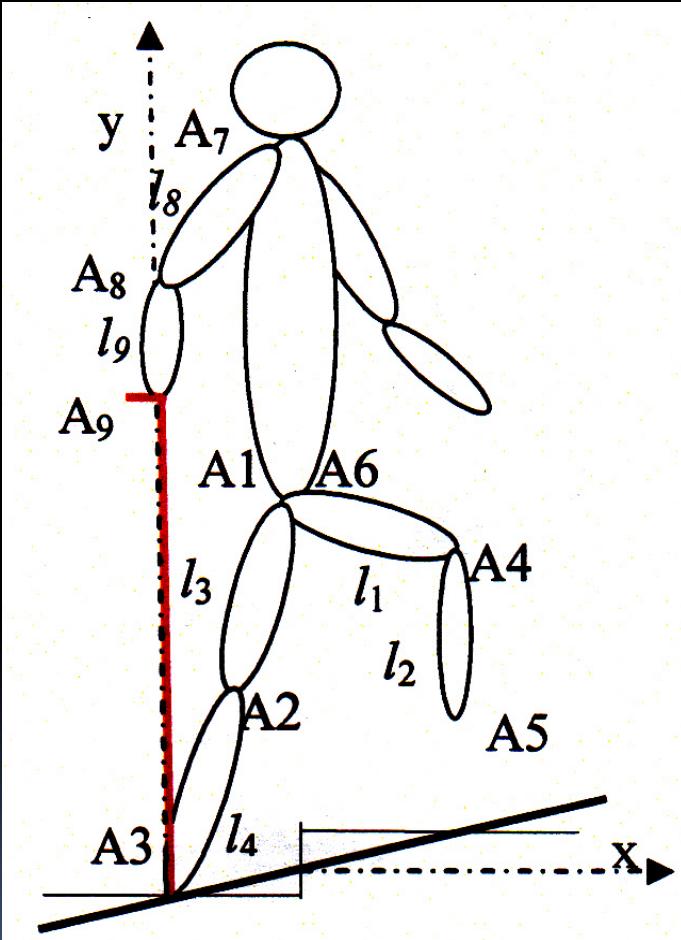
1. Definování problému
2. Definování pohybu částí končetin
3. Výpočet polohy kloubů v čase
4. Určení zrychlení kloubů
5. Určení sil a momentů v kloubech z dynamických podmínek rovnováhy
6. Simulační model na počítači
7. Číselné výsledky

# Definice problému

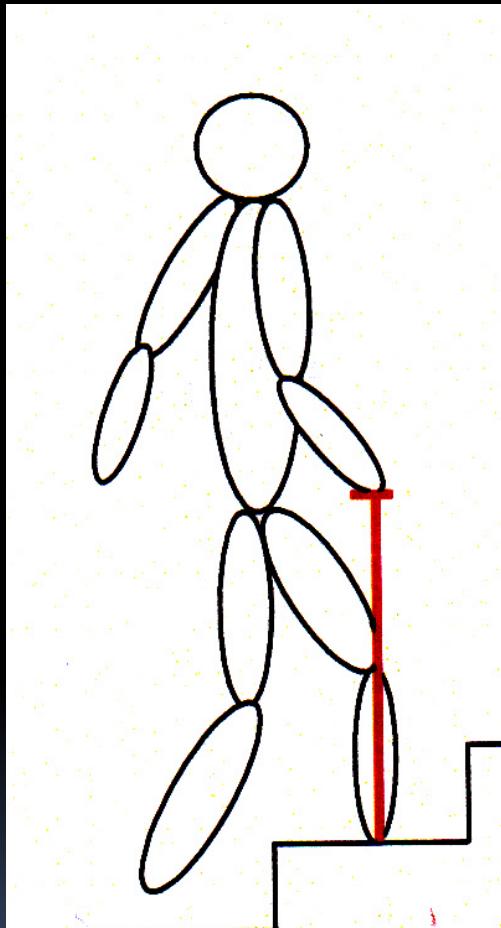


- Chůze a pomalý běh, mimo dotyk s podložím je jen jedna končetina
- Sledované body

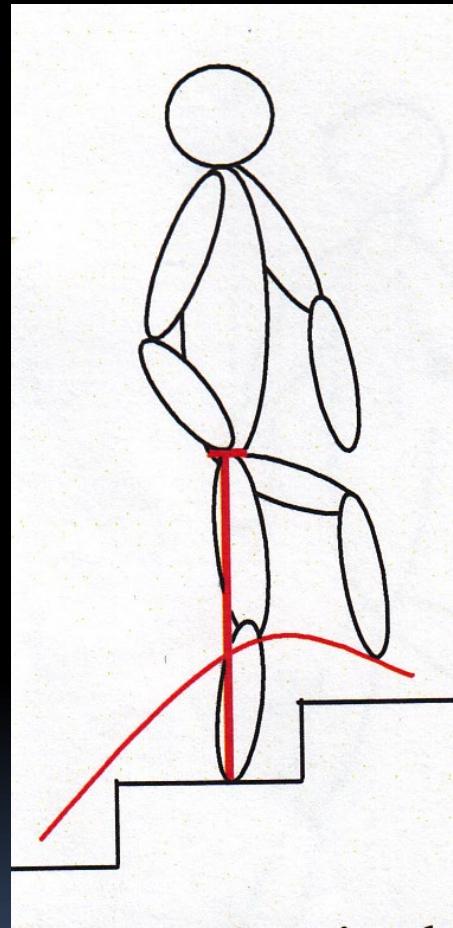
Rozměry částí těla



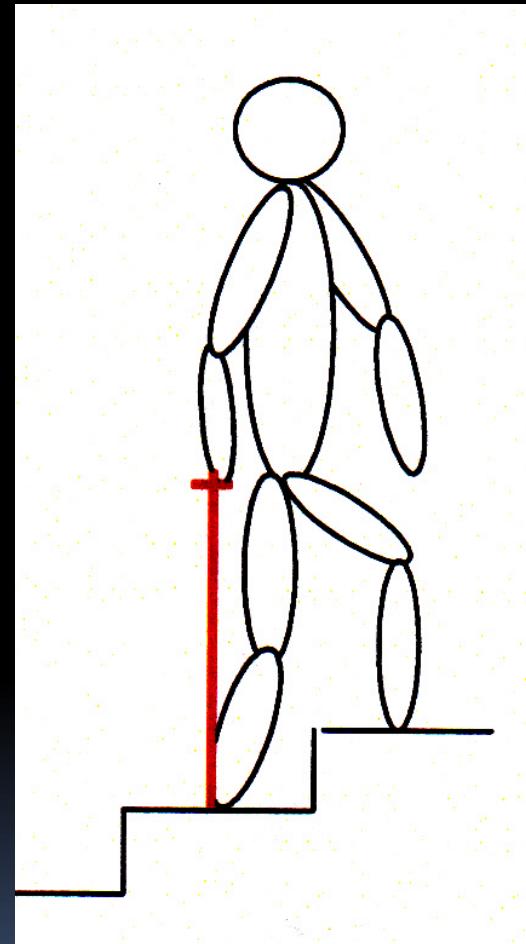
# Tři fáze pohybu pacienta



1. Pata se zvedá  
od podložky



2. Noha je ve  
švihu



3. Pata dosedá  
na další schod

# Tři fáze jednoho kroku

1. fáze

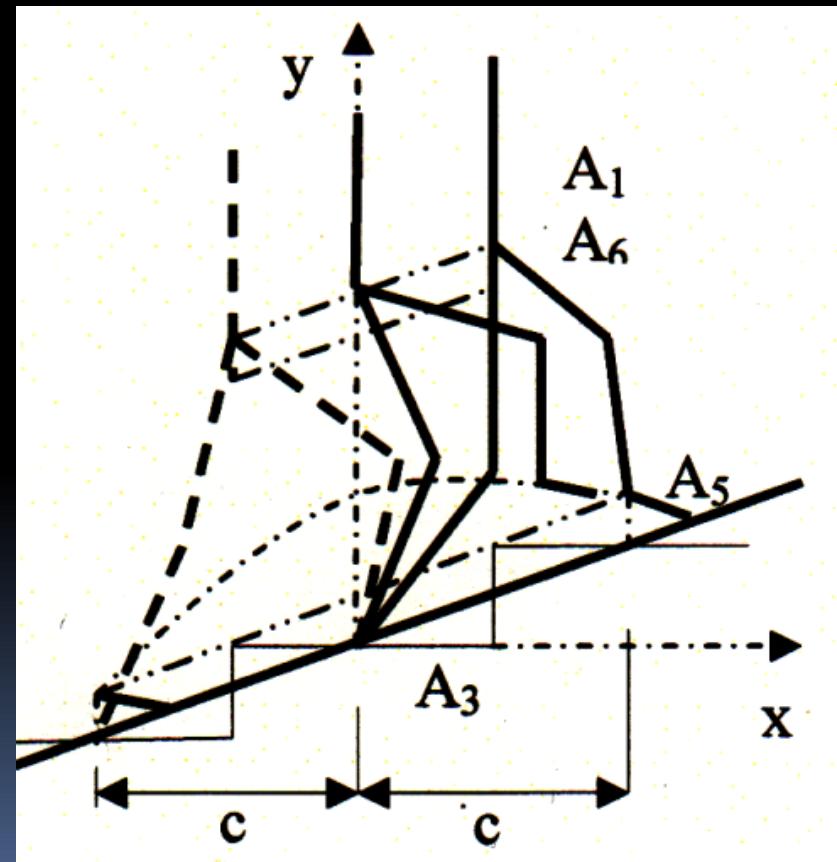
přesun tíhy ze zadní dolní končetiny  
na přední

2. fáze

švih dol. končetiny  
po parabole-bod A5

3. fáze

došlápnutí na  
schod



# Dolní končetina ve švihu

Bod A<sub>1</sub> - pohyb po přímce

$$x_1 = vt, \quad y_1 = vt \tan \gamma + h$$

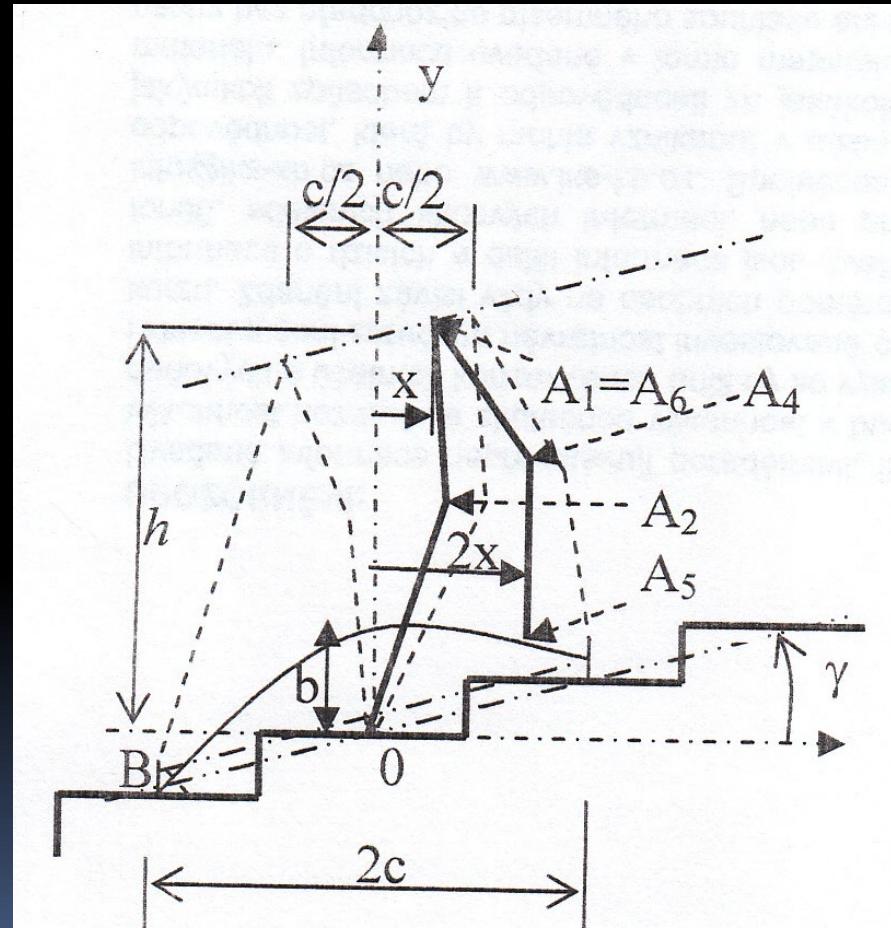
Bod A<sub>5</sub> - rychlosť

$$v_{5x} = -6 \frac{v_0}{T^2} t^2 + \frac{3}{2} v_0$$

$$x_5 = \left( \frac{3}{2} - 2 \frac{t^2}{T^2} \right) v_0 t$$

parabola

$$y_5 = b \left( 1 - \frac{x_5^2}{c^2} \right) + x_5 \cdot t \tan \gamma + e$$



# Poloha kolene

Dáno:  $x_5, y_5, x_6, y_6, l_1, l_2$

$$l = \sqrt{(x_5 - x_6)^2 + (y_5 - y_6)^2}$$

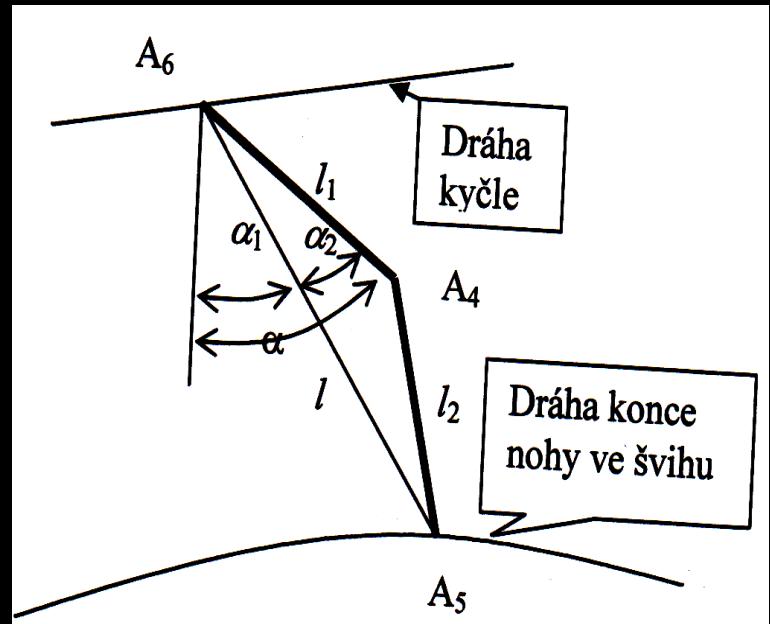
Kosinová věta

$$\cos \alpha_2 = \frac{l^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{x_5 - x_6}{y_5 - y_6}$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$x_4 = x_6 + l_1 \sin \alpha, \\ y_4 = y_6 - l_1 \cos \alpha.$$



algoritmus se použije pro nohu podepřenou  
i pro nohu ve švihu

# Paže s holí

Polohy bodů  $A_7$   $h - A_7A_1$

$$x_7 = x_6, y_7 = y_6 + h$$

$v$  ... výška hole

Bod  $A_9$   $x_9 = 0, y_9 = v$

Bod

$A_8$

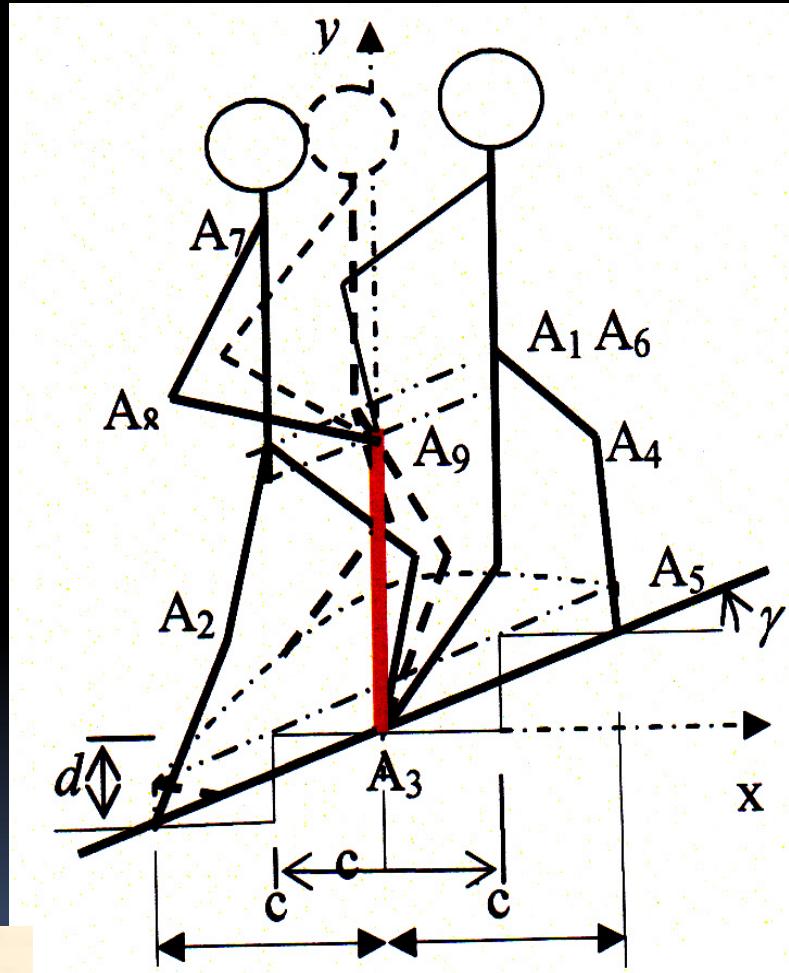
$$l = \sqrt{(x_7 - x_9)^2 + (y_7 - y_9)^2}$$

$$\cos \alpha_7 = \frac{l^2 + l_5^2 - l_6^2}{2l_5 l},$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{x_7 - x_9}{y_7 - y_9} = \operatorname{arctg} \frac{x_6}{y_6}.$$

$$x_8 = x_7 - l_5 \sin \alpha_5 = x_6 - l_5 \sin \alpha_5$$

$$y_8 = y_7 - l_5 \cos \alpha_5 = y_6 + 0,5h - \cos \alpha_5$$



# Zrychlení bodů

Bod A1 - kyčel

$$a_{x1} = \ddot{x}_1 = 0, \quad a_{y1} = \ddot{y}_1 = 0$$

Bod A5 - parabola, vx - parabola

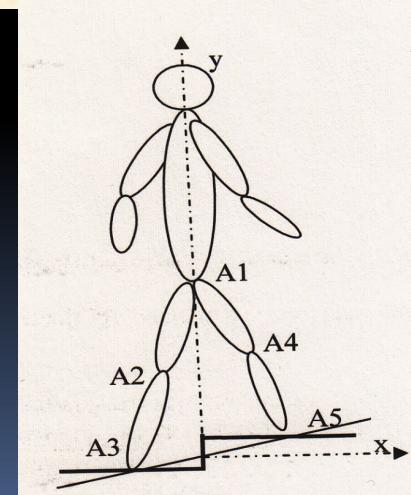
$$a_{5x} = -12 \frac{v_0}{T^2} t$$

$$a_{5y} = \frac{4b v_0^2}{c^2} \left( 4,5 - 72 \frac{t^2}{T^2} + 120 \frac{t^4}{T^4} \right)$$

Bod A4 koleno

$$a_{x4} = \ddot{x}_4 \approx \frac{x_{4,i-1} - 2x_{4,i} + x_{4,i+1}}{\Delta t^2}$$

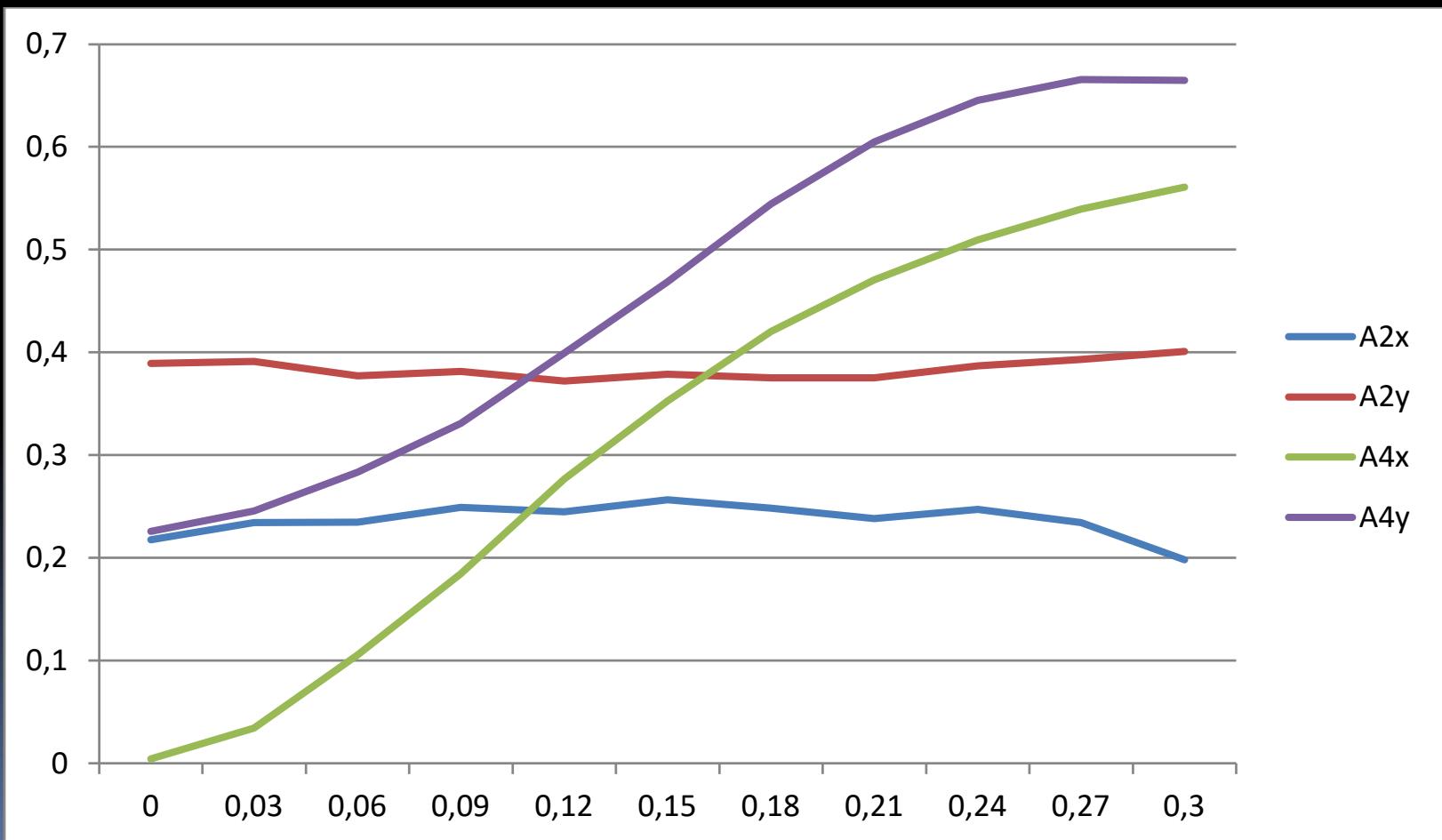
$$a_{y4} = \ddot{y}_4 \approx \frac{y_{4,i-1} - 2y_{4,i} + y_{4,i+1}}{\Delta t^2}$$



# Souřadnice kolen - body A2, A4

Schody - šířka 30 cm, výška 20 cm

A<sub>2x</sub>, A<sub>2y</sub> - přímka, A<sub>4x</sub>, A<sub>4y</sub> - sinusovky

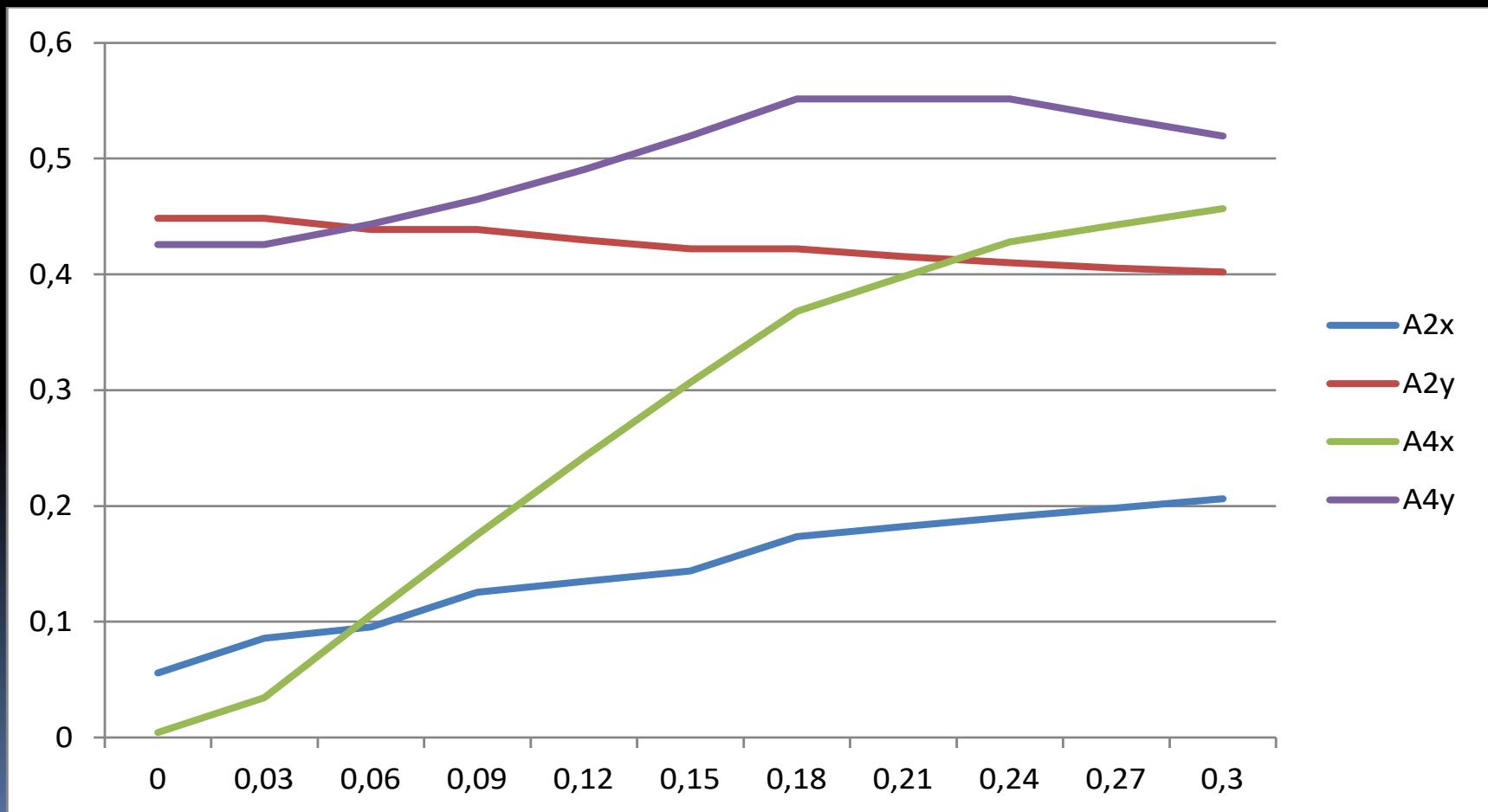


# Souřadnice kolen - body A2,A4

Chůze (běh) po rovině

A<sub>2x</sub>, A<sub>2y</sub> - přímka, A<sub>4x</sub>, A<sub>4y</sub> – sinusovky

A<sub>2</sub> - koleno ve švihu    A<sub>4</sub> – podepřené koleno



# Zrychlení kolena - bod A4

Zrychlení  $a_{4x}$ ,  $a_{4y}$  půlvlna sinusovky

$$x_4 = k_x \sin(\omega t) + k_1 \frac{t}{T} + k_2,$$

$$y_4 = k_y \sin(\omega t) + k_3 \frac{t}{T} + k_4,$$

$$k_x = x_4 \left( \frac{T}{2} \right) - \frac{x_4(0) + x_4(T)}{2},$$

$$k_y = y_4 \left( \frac{T}{2} \right) - \frac{y_4(0) + y_4(T)}{2},$$

$$\omega = \frac{\pi}{T},$$

$$a_{x,4} = \ddot{x} = -k_x \omega^2 \sin(\omega t),$$

$$a_{y,4} = \ddot{y} = -k_y \omega^2 \sin(\omega t).$$

# Podmínky rovnováhy částí dolní končetiny

Součtová a momentová podmínky rovnováhy

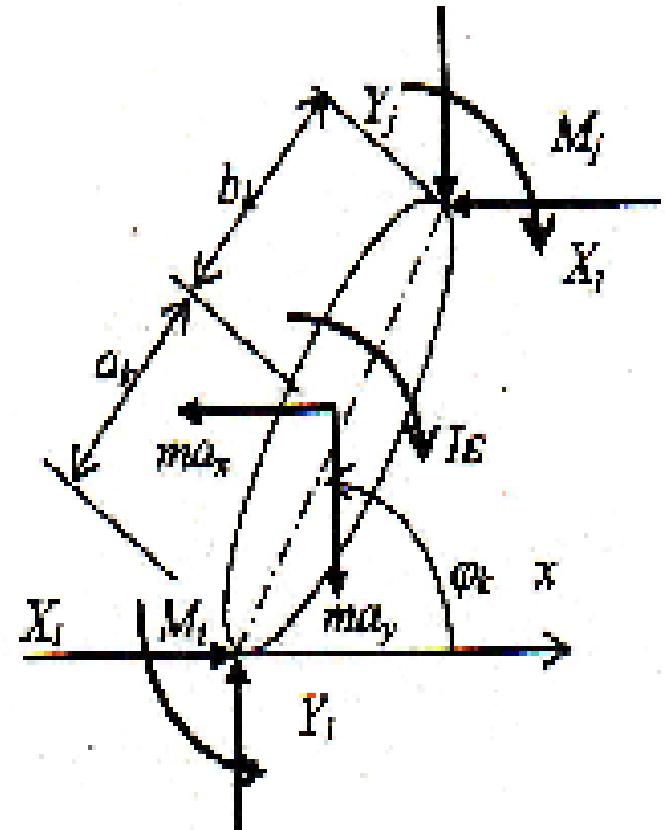
$$X_i - X_j - m_k a_{xk} = 0,$$

$$Y_i - Y_j - m_k g - m_k a_{yk} = 0,$$

$$(X_i a_i + X_j b_i) \sin \varphi_i - \\ - (Y_i a_k + Y_j b_k) \cos \varphi_k + \\ + M_i - M_j - I_k \varepsilon_k = 0,$$

Uhlové zrychlení

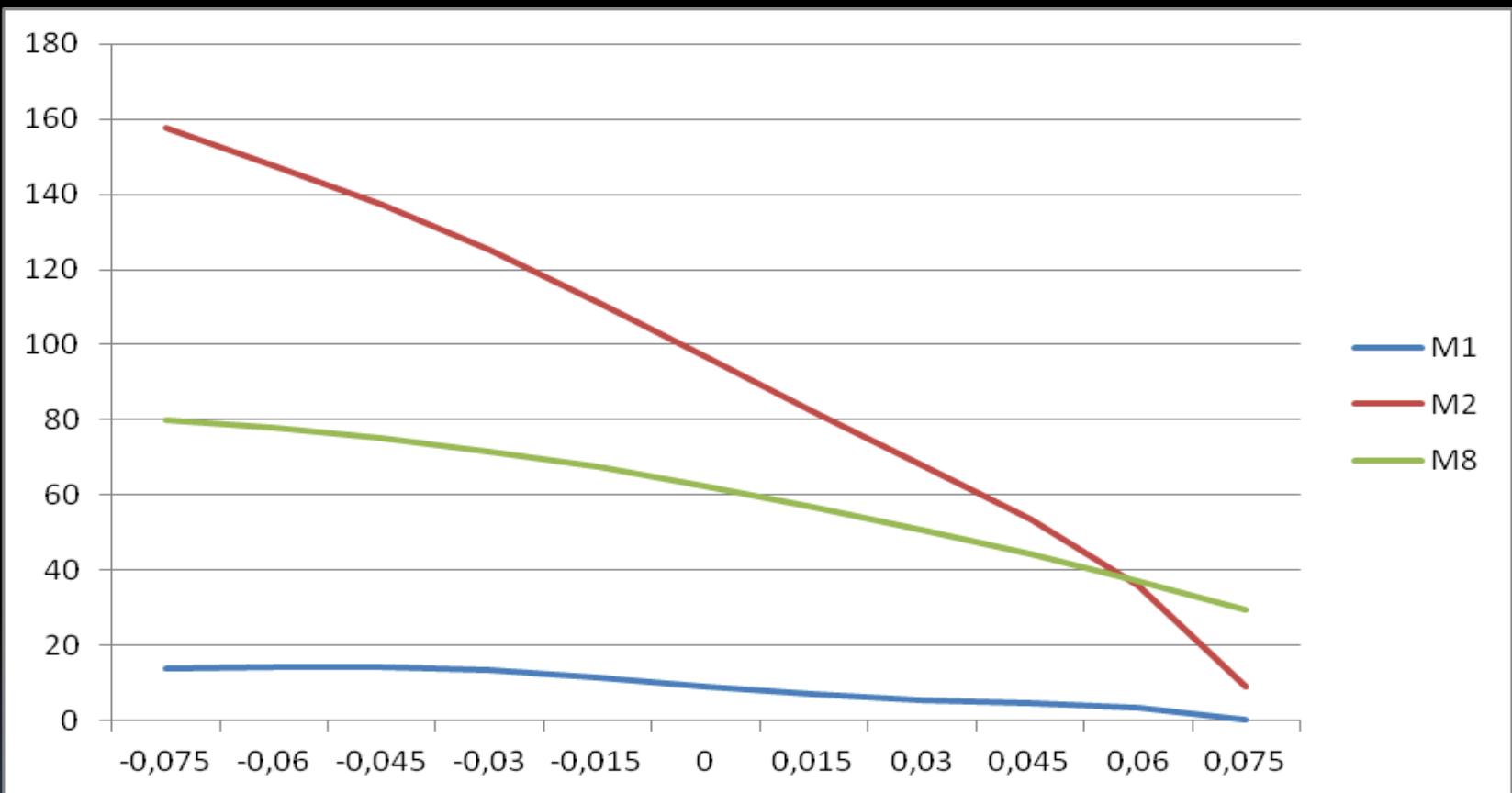
$$\varepsilon_k = (a_{y,j} - a_{y,i}) l_k \cos \varphi_k - \\ - (a_{x,j} - a_{x,i}) l_k \sin \varphi_k$$



# Postup simulačního výpočtu

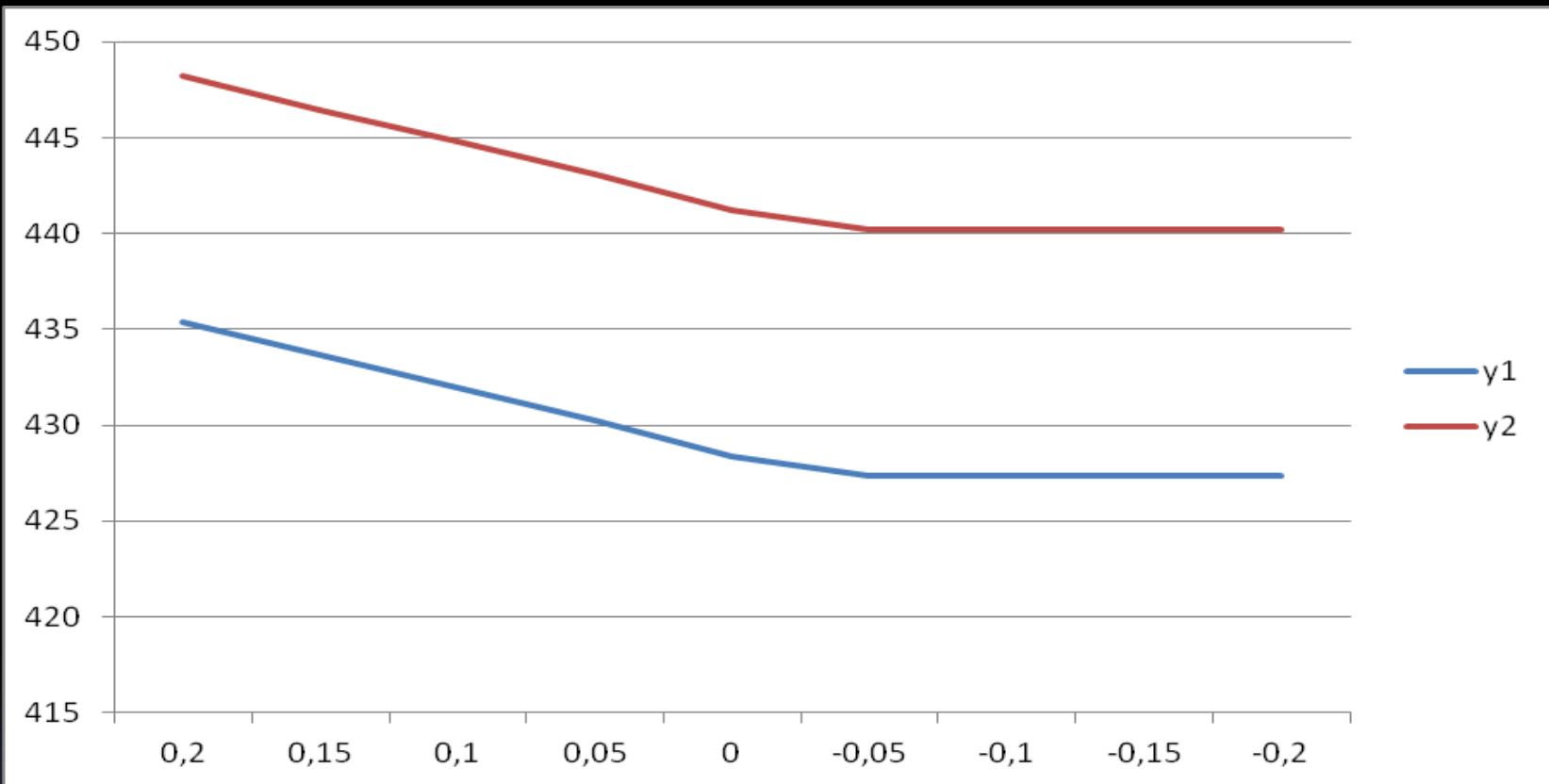
- Švih dolní končetiny - 10 časových úseků
- Souřadnice bodů  $A_1$  až  $A_7$ .
- V každém časovém okamžiku určíme zrychlení bodů  $A_1$  až  $A_7$ ,
- Podmínky rovnováhy - řešíme postupně síly a momenty na tělesech  $k = 5, 4, 1, 2, 3$ , pak máme na každém tělese vždy jen tři neznámé, které lze určit ze třech rovnic.
- Na závěr v bodě  $A_3$  dostaneme reakce podloží.

# Průběh momentů během kroku schody sklon 3:2



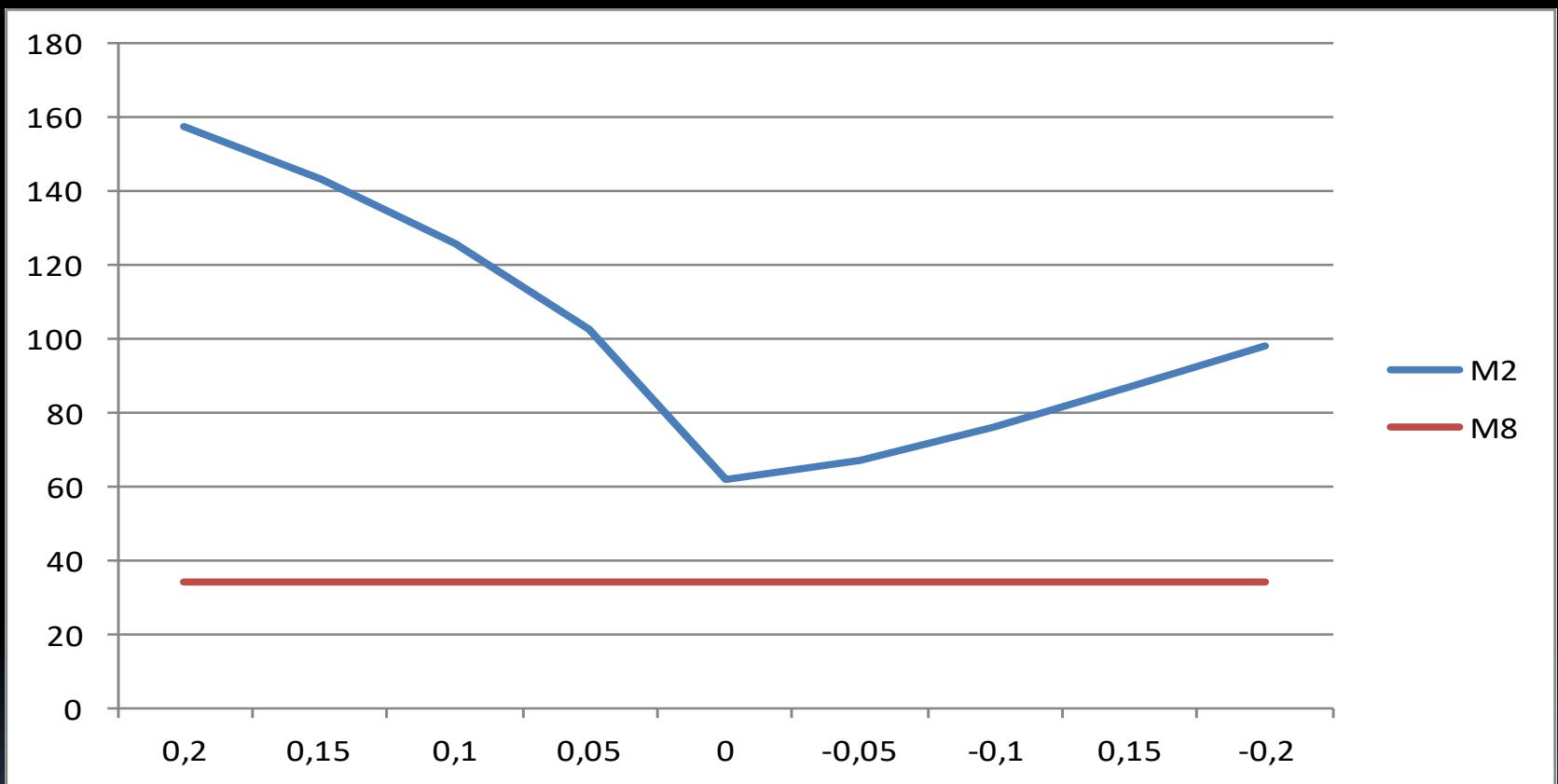
Na vodorovné ose je čas (s), rychlosť chúze 2 m/s. Svisle moment (Nm)

# Síly v kyčli $y_1$ , kolenu $y_2$



Na vodorovné ose je výška schodu 0,2 až -0,2 (m),  
na svislé ose síla (N).

# Momenty v kolenu $M_2$ , lokti $M_8$



vodorovně výška schodu (m), svisle ohybový moment (Nm).

# Simulace chůze na počítači

- Provedené výpočty: schod – 30 cm/(20 až -20) cm,  $v=1\text{m/s}$ ,  $T=0,15\text{s}$ , pacient 180 cm,  $m= 80 \text{ kg}$ ,
- Zrychlení jsou malá, síly podobné jako za klidu
- Moment v podepřeném koleni (max.) 157,7 Nm
- Z toho plyne: sila v kloubu a ve svalu 4391,2 N  
7 krát více než při stoji na jedné noze  
Síla a momenty jsou 66 % hodnot bez hole
- Paže opírající se o hůl, síla v kloubech 225 N, moment v lokti 79,8 Nm
- Z toho plyne: artrosa – bolesti v kolenou
- Byl detailně popsán pohyb - animace chůze

# Závěr

- Veškeré vztahy jsou odvozeny obecně bez ohledu na konkrétního pacienta.
- Chůze s holí, francouzskou holí – simulační model na počítači určuje síly a momenty v kloubech.
- Výsledky umožňují animaci chůze s holí

Děkuji za pozornost

