CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE,
Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Mechanics, Biomechanics and Mechatronics

“Kuchařka“ k vektorové metodě a programu KRESIC

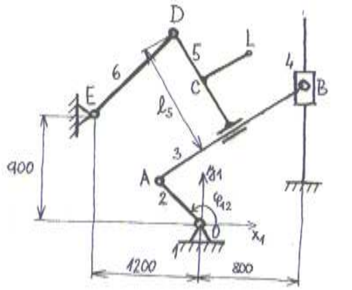
aneb

jak na domácí úkol

Co je potřeba

- Zadání
- Znalost derivace funkcí sin a cos
- Psací potřeby
- PC s Matlabem
- Program KRESIC (ze cvičení nebo z webu)
- 2 hodiny času

Řešení na papíře



Dáno:

$\overline{OA} = 500$ mm

$\overline{AB} = 1500$ mm

$\overline{CD} = 500$ mm

$\overline{CL} = 500$ mm

$\overline{DE} = 1000$ mm

$l_5 = 1000$ mm

$\varphi_{12} = \frac{1}{2}\alpha_{12} \cdot t^2 + \omega_{120} \cdot t + \varphi_{120}$

$\varphi_{120} = 135°$

$\omega_{120} = 1\ s^{-1}$

$\alpha_{12} = 0{,}5\ s^{-2}$

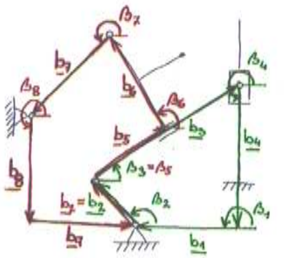
Určete:

polohu, rychlost, zrychlení členů mechanismu a bodu L

Řešení:

$n = 3(6-1) - 2(5+2+\emptyset) - 1\cdot\emptyset = 15 - 14 = 1°$ volnosti (→ bude 1 nezávislá souřadnice)

$l = 7 + \emptyset - 6 + 1 = 2$ nezávislé smyčky (→ 2 vektorové rovnice → 4 skalární rovnice → 4 závislé souřadnice)



1. smyčka: $\underline{b_1} + \underline{b_2} + \underline{b_3} + \underline{b_4} = \underline{\emptyset}$

2. smyčka: $\underline{b_2} + \underline{b_5} + \underline{b_6} + \underline{b_7} + \underline{b_8} + \underline{b_9} = \underline{\emptyset}$

nezávislá s.: $\underline{q} = [\beta_2]$

závislé s.: $\underline{z} = \begin{bmatrix} \beta_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ \beta_7 \end{bmatrix}$

závislosti:

$\beta_5 = \beta_3$

$\beta_6 = \beta_3 + \frac{\pi}{2}$

konstanty: $b_1, b_2, b_3, b_6, b_7, b_8, b_9, \beta_1, \beta_4, \beta_8, \beta_9$

skalární rovnice:

① x: $b_1 \cdot \cos\beta_1 + b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 + b_4 \cdot \cos\beta_4 = \emptyset$

y: $b_1 \cdot \sin\beta_1 + b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_3 \cdot \sin\beta_3 + b_4 \cdot \sin\beta_4 = \emptyset$

② x: $b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + b_6 \cdot \cos\beta_6 + b_7 \cdot \cos\beta_7 + b_8 \cdot \cos\beta_8 + b_9 \cdot \cos\beta_9 = \emptyset$

y: $b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_6 \cdot \sin\beta_6 + b_7 \cdot \sin\beta_7 + b_8 \cdot \sin\beta_8 + b_9 \cdot \sin\beta_9 = \emptyset$

Rychlosti:

$\dot{①}$ x: $-b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2 - b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \dot\beta_3 + \dot b_4 \cdot \cos\beta_4 = \emptyset$

y: $b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + b_3 \cos\beta_3 \cdot \dot\beta_3 + \dot b_4 \cdot \sin\beta_4 = \emptyset$

$\dot{②}$ x: $-b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + \dot b_5 \cos\beta_5 - b_5 \sin\beta_5 \cdot \underbrace{\dot\beta_5}_{=\dot\beta_3} - b_6 \cdot \sin\beta_6 \cdot \underbrace{\dot\beta_6}_{=\dot\beta_3} - b_7 \sin\beta_7 \cdot \dot\beta_7 = \emptyset$

y: $b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + \dot b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_5 \cos\beta_5 \underbrace{\dot\beta_5}_{=\dot\beta_3} + b_6 \cos\beta_6 \cdot \underbrace{\dot\beta_6}_{=\dot\beta_3} + b_7 \cdot \cos\beta_7 \cdot \dot\beta_7 = \emptyset$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} -b_3 \cdot \sin\beta_3 & \cos\beta_4 & \emptyset & \emptyset \\ b_3 \cdot \cos\beta_3 & \sin\beta_4 & \emptyset & \emptyset \\ -b_5 \cdot \sin\beta_5 - b_6 \cdot \sin\beta_6 & \emptyset & \cos\beta_5 & -b_7 \sin\beta_7 \\ b_5 \cos\beta_5 + b_6 \cos\beta_6 & \emptyset & \sin\beta_5 & b_7 \cos\beta_7 \end{bmatrix}}_{\underline{J_z}} \underbrace{\begin{bmatrix} \dot\beta_3 \\ \dot b_4 \\ \dot b_5 \\ \dot\beta_7 \end{bmatrix}}_{\underline{\dot z}} + \underbrace{\begin{bmatrix} -b_2 \sin\beta_2 \\ b_2 \cos\beta_2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \\ b_2 \cos\beta_2 \end{bmatrix}}_{\underline{J_q}} \underbrace{\begin{bmatrix} \dot\beta_2 \end{bmatrix}}_{\underline{\dot q}} = \begin{bmatrix} \emptyset \\ \emptyset \\ \emptyset \\ \emptyset \end{bmatrix}$$

$\underline{J_z} \cdot \underline{\dot z} + \underline{J_q} \cdot \underline{\dot q} = \underline{\emptyset} \rightarrow \underline{\dot z} = -\underline{J_z}^{-1} \underline{J_q}\, \underline{\dot q}$

Zrychlení: ($\sim\sim$ J_z, $\sim\sim$ J_q, — jqz)

$\ddot{①}$ x: $-b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2^2 - b_2 \sin\beta_2 \cdot \ddot\beta_2 - b_3 \cdot \cos\beta_3 \cdot \dot\beta_3^2 - b_3 \sin\beta_3 \cdot \ddot\beta_3 + \ddot b_4 \cos\beta_4 = \emptyset$

y: $-b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2^2 + b_2 \cos\beta_2 \cdot \ddot\beta_2 - b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \dot\beta_3^2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 \cdot \ddot\beta_3 + \ddot b_4 \sin\beta_4 = \emptyset$

$\ddot{②}$ x: $-b_2 \cdot \cos\beta_2 \dot\beta_2^2 - b_2 \sin\beta_2 \ddot\beta_2 + \ddot b_5 \cos\beta_5 - \dot b_5 \sin\beta_5 \dot\beta_5 - \dot b_5 \sin\beta_5 \dot\beta_5 - b_5 \cos\beta_5 \dot\beta_5^2 -$
$- b_5 \sin\beta_5 \ddot\beta_5 - b_6 \cos\beta_6 \cdot \dot\beta_6^2 - b_6 \sin\beta_6 \ddot\beta_6 - b_7 \cos\beta_7 \cdot \dot\beta_7^2 - b_7 \sin\beta_7 \ddot\beta_7 = \emptyset$

y: $-b_2 \sin\beta_2 \dot\beta_2^2 + b_2 \cos\beta_2 \ddot\beta_2 + \ddot b_5 \sin\beta_5 + \dot b_5 \cos\beta_5 \dot\beta_5 + \dot b_5 \cos\beta_5 \dot\beta_5 - b_5 \sin\beta_5 \dot\beta_5^2 +$
$+ b_5 \cos\beta_5 \cdot \ddot\beta_5 - b_6 \sin\beta_6 \cdot \dot\beta_6^2 + b_6 \cos\beta_6 \cdot \ddot\beta_6 - b_7 \sin\beta_7 \cdot \dot\beta_7^2 + b_7 \cos\beta_7 \cdot \ddot\beta_7 = \emptyset$

$$jqz = \begin{bmatrix} -b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2^2 - b_3 \cos\beta_3 \cdot \dot\beta_3^2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2^2 - b_3 \cdot \sin\beta_3 \cdot \dot\beta_3^2 \\ -b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2^2 - 2 \cdot \dot b_5 \sin\beta_5 \cdot \dot\beta_5 - b_5 \cos\beta_5 \cdot \dot\beta_5^2 - b_6 \cos\beta_6 \cdot \dot\beta_6^2 - b_7 \cos\beta_7 \cdot \dot\beta_7^2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2^2 + 2 \cdot \dot b_5 \cos\beta_5 \cdot \dot\beta_5 - b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \dot\beta_5^2 - b_6 \cdot \sin\beta_6 \cdot \dot\beta_6^2 - b_7 \sin\beta_7 \cdot \dot\beta_7^2 \end{bmatrix}$$

$(\dot\beta_5 = \dot\beta_3,\ \ddot\beta_5 = \ddot\beta_3,\ \dot\beta_6 = \dot\beta_3,\ \ddot\beta_6 = \ddot\beta_3)$

$\underline{J_z} \cdot \underline{\ddot z} + \underline{J_q} \cdot \underline{\ddot q} + \underline{jqz} = \underline{\emptyset} \rightarrow \underline{\ddot z} = -\underline{J_z}^{-1} (\underline{J_q}\, \underline{\ddot q} + \underline{jqz})$

Řešení na papíře - postup

- Počet stupňů volnosti a nezávislých smyček

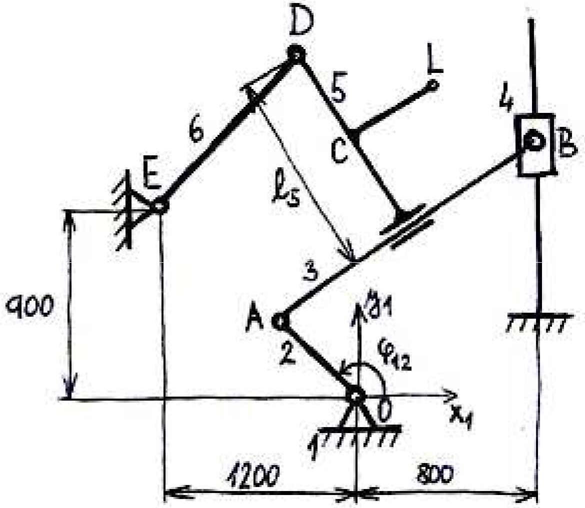
  (n = 3*(počet_těles -1) - 3*pevné – 2*(rotační + posuvné + valivé) – 1*obecné)

  (l = počet_kd + předepsané_pohyby – počet_těles + 1)

- Zavedení smyček a vektorový popis polohy
- Určení závislých a nezávislých souřadnic a konstant ve vektorových mnohoúhelnících
- Přepis vektorových rovnic na skalární
- Derivace rovnic polohy na rychlosti a zrychlení
- Poloha bodu L
- Rychlost a zrychlení bodu L

Řešení na papíře - 1

- Zadání



Dáno:

$\overline{OA} = 500$ mm

$\overline{AB} = 1500$ mm

$\overline{CD} = 500$ mm

$\overline{CL} = 500$ mm

$\overline{DE} = 1000$ mm

$l_5 = 1000$ mm

$\varphi_{12} = \frac{1}{2}\alpha_{12} \cdot t^2 + \omega_{120} \cdot t + \varphi_{120}$

$\varphi_{120} = 135°$

$\omega_{120} = 1\ s^{-1}$

$\alpha_{12} = 0{,}5\ s^{-2}$

Určete:

polohu, rychlost, zrychlení členů mechanismu a bodu L

- Stupně volnosti a počet nezávislých smyček

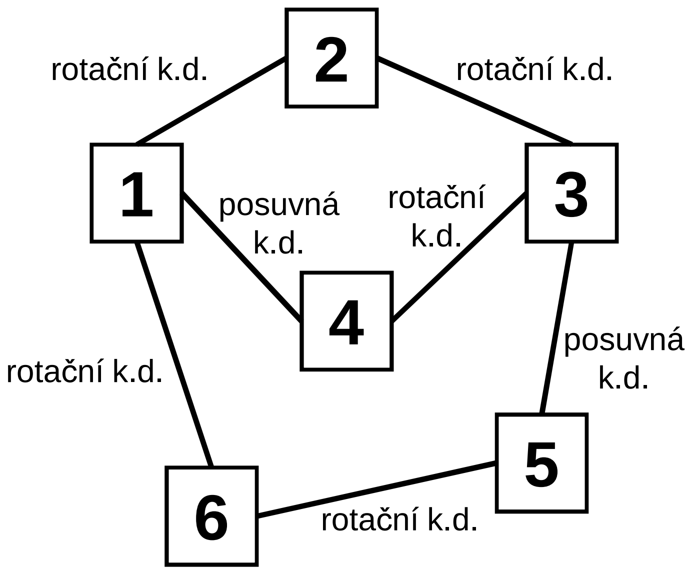
$n = 3(6-1) - 2(5+2+\emptyset) - 1 \cdot \emptyset = 15 - 14 = 1°$ volnosti ($\rightarrow$ bude 1 nezávislá souřadnice)

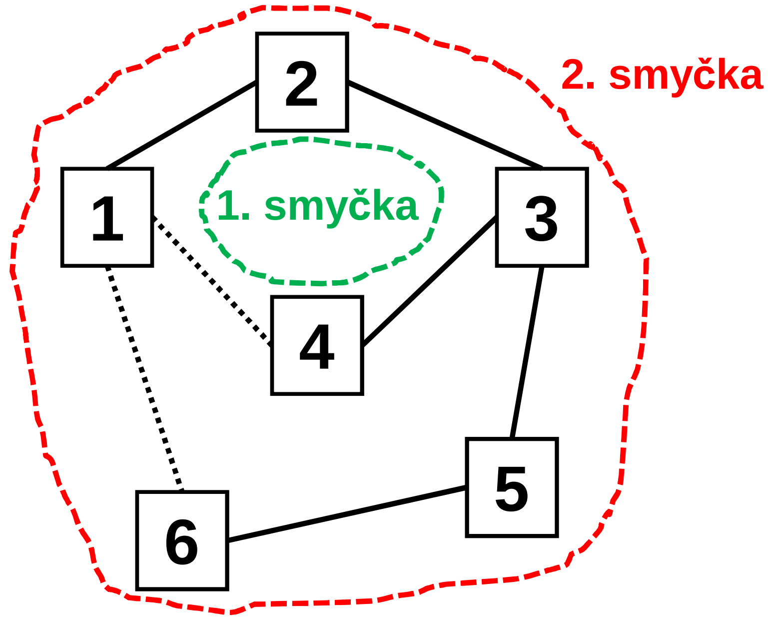
$l = 7 + \emptyset - 6 + 1 = 2$ nezávislé smyčky ($\rightarrow$ 2 vektorové rovnice $\rightarrow$ 4 skalární rovnice

$\rightarrow$ 4 závislé souřadnice)

Poznámka

- Smyčky lze určit buď „inženýrským citem“ nebo lze využít kostru přidruženého grafu





přidružený graf

kostra grafu a její smyčky

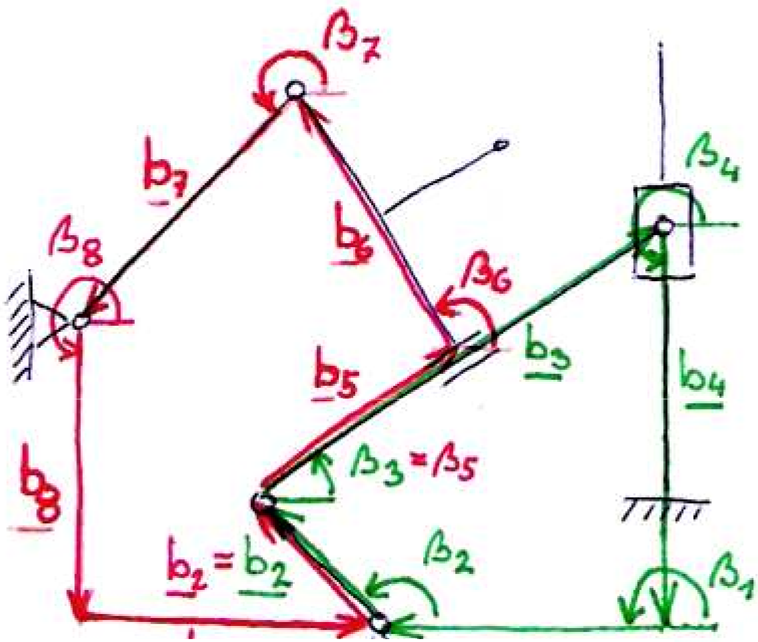
(možných koster je více)

Řešení na papíře - 2

- Smyčky

1. smyčka: $\underline{b_1} + \underline{b_2} + \underline{b_3} + \underline{b_4} = \underline{\emptyset}$

2. smyčka: $\underline{b_2} + \underline{b_5} + \underline{b_6} + \underline{b_7} + \underline{b_8} + \underline{b_9} = \underline{\emptyset}$



- Skalární rovnice

$$x:\ b_1 \cdot \cos\beta_1 + b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 + b_4 \cdot \cos\beta_4 = \emptyset$$

$$y:\ b_1 \cdot \sin\beta_1 + b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_3 \cdot \sin\beta_3 + b_4 \cdot \sin\beta_4 = \emptyset$$

$$x:\ b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + b_6 \cdot \cos\beta_6 + b_7 \cdot \cos\beta_7 + b_8 \cdot \cos\beta_8 + b_9 \cdot \cos\beta_9 = \emptyset$$

$$y:\ b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_6 \cdot \sin\beta_6 + b_7 \cdot \sin\beta_7 + b_8 \cdot \sin\beta_8 + b_9 \cdot \sin\beta_9 = \emptyset$$

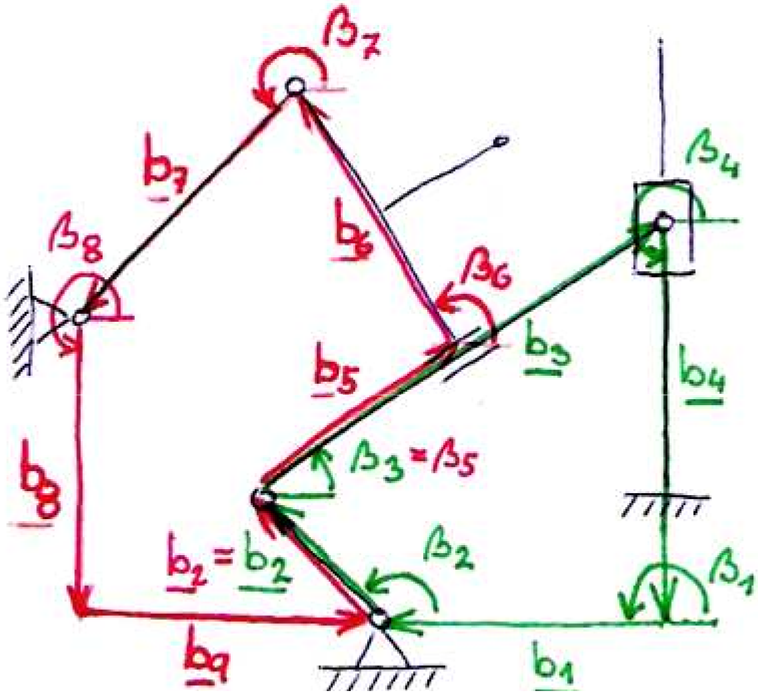
Řešení na papíře - 3

- Konstanty

$b_1, b_2, b_3, b_6, b_7, b_8, b_9, \beta_1, \beta_4, \beta_8, \beta_9$

(vše ostatní se mění)

- Nezávislá (pohon): $\underline{q} = [\beta_2]$
  - Závislé: $\underline{z} = \begin{bmatrix} \beta_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ \beta_7 \end{bmatrix}$
- závislosti: $\beta_5 = \beta_3$, $\beta_6 = \beta_3 + \frac{\pi}{2}$
- Skalární rovnice



x: $b_1 \cdot \cos \beta_1 + b_2 \cdot \cos \beta_2 + b_3 \cdot \cos \beta_3 + b_4 \cdot \cos \beta_4 = 0$

y: $b_1 \cdot \sin \beta_1 + b_2 \cdot \sin \beta_2 + b_3 \cdot \sin \beta_3 + b_4 \cdot \sin \beta_4 = 0$

x: $b_2 \cdot \cos \beta_2 + b_5 \cdot \cos \beta_5 + b_6 \cdot \cos \beta_6 + b_7 \cdot \cos \beta_7 + b_8 \cdot \cos \beta_8 + b_9 \cdot \cos \beta_9 = 0$

y: $b_2 \cdot \sin \beta_2 + b_5 \cdot \sin \beta_5 + b_6 \cdot \sin \beta_6 + b_7 \cdot \sin \beta_7 + b_8 \cdot \sin \beta_8 + b_9 \cdot \sin \beta_9 = 0$

Řešení na papíře – 4

- Poloha

$$x:\ b_1 \cdot \cos\beta_1 + b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 + b_4 \cdot \cos\beta_4 = 0$$

$$y:\ b_1 \cdot \sin\beta_1 + b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_3 \cdot \sin\beta_3 + b_4 \cdot \sin\beta_4 = 0$$

$$x:\ b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + b_6 \cdot \cos\beta_6 + b_7 \cdot \cos\beta_7 + b_8 \cdot \cos\beta_8 + b_9 \cdot \cos\beta_9 = 0$$

$$y:\ b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_6 \cdot \sin\beta_6 + b_7 \cdot \sin\beta_7 + b_8 \cdot \sin\beta_8 + b_9 \cdot \sin\beta_9 = 0$$

- Rychlost (derivace polohy)

$$x:\ -b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2 - b_3 \sin\beta_3 \cdot \dot\beta_3 + \dot b_4 \cdot \cos\beta_4 = 0$$

$$y:\ b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + b_3 \cos\beta_3 \cdot \dot\beta_3 + \dot b_4 \cdot \sin\beta_4 = 0$$

$$x:\ -b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + \dot b_5 \cos\beta_5 - b_5 \sin\beta_5 \cdot \overset{\dot\beta_3}{\overset{\parallel}{\dot\beta_5}} - b_6 \cdot \sin\beta_6 \cdot \overset{\dot\beta_3}{\overset{\parallel}{\dot\beta_6}} - b_7 \sin\beta_7 \cdot \dot\beta_7 = 0$$

$$y:\ b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + \dot b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_5 \cos\beta_5\, \underset{\dot\beta_3}{\underset{\parallel}{\dot\beta_5}} + b_6 \cdot \cos\beta_6 \cdot \underset{\dot\beta_3}{\underset{\parallel}{\dot\beta_6}} + b_7 \cdot \cos\beta_7 \cdot \dot\beta_7 = 0$$

Řešení na papíře – 5

- Rychlost

$$x:\quad -b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2 - b_3 \sin\beta_3 \cdot \dot\beta_3 + \dot b_4 \cdot \cos\beta_4 = \emptyset$$

$$y:\quad b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + b_3 \cos\beta_3 \cdot \dot\beta_3 + \dot b_4 \cdot \sin\beta_4 = \emptyset$$

$$x:\quad -b_2 \sin\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + \dot b_5 \cos\beta_5 - b_5 \sin\beta_5 \cdot \overset{\dot\beta_3}{\overset{\parallel}{\dot\beta_5}} - b_6 \cdot \sin\beta_6 \cdot \overset{\dot\beta_3}{\overset{\parallel}{\dot\beta_6}} - b_7 \sin\beta_7 \cdot \dot\beta_7 = \emptyset$$

$$y:\quad b_2 \cos\beta_2 \cdot \dot\beta_2 + \dot b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_5 \cos\beta_5 \underset{\dot\beta_3}{\underset{\parallel}{\dot\beta_5}} + b_6 \cdot \cos\beta_6 \cdot \underset{\dot\beta_3}{\underset{\parallel}{\dot\beta_6}} + b_7 \cdot \cos\beta_7 \cdot \dot\beta_7 = \emptyset$$

- Maticově

$$\underbrace{\begin{bmatrix} -b_3 \sin\beta_3 & \cos\beta_4 & \emptyset & \emptyset \\ b_3 \cos\beta_3 & \sin\beta_4 & \emptyset & \emptyset \\ -b_5 \sin\beta_5 - b_6 \sin\beta_6 & \emptyset & \cos\beta_5 & -b_7 \sin\beta_7 \\ b_5 \cos\beta_5 + b_6 \cos\beta_6 & \emptyset & \sin\beta_5 & b_7 \cos\beta_7 \end{bmatrix}}_{\underline{J}_z} \underbrace{\begin{bmatrix} \dot\beta_3 \\ \dot b_4 \\ \dot b_5 \\ \dot\beta_7 \end{bmatrix}}_{\dot{\underline{z}}} + \underbrace{\begin{bmatrix} -b_2 \sin\beta_2 \\ b_2 \cos\beta_2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \\ b_2 \cos\beta_2 \end{bmatrix}}_{\underline{J}_q} \underbrace{\begin{bmatrix} \dot\beta_2 \end{bmatrix}}_{\dot{\underline{q}}} = \begin{bmatrix} \emptyset \\ \emptyset \\ \emptyset \\ \emptyset \end{bmatrix}$$

Řešení na papíře – 6

- Zrychlení (derivace rychlosti) $(\sim J_z,\ \sim J_q,\ — \ jqz)$

$$x:\ -b_2\cos\beta_2\,\dot\beta_2^2 - b_2\sin\beta_2\,\ddot\beta_2 - b_3\cos\beta_3\,\dot\beta_3^2 - b_3\sin\beta_3\,\ddot\beta_3 + \ddot b_4\cos\beta_4 = 0$$

$$y:\ -b_2\sin\beta_2\,\dot\beta_2^2 + b_2\cos\beta_2\,\ddot\beta_2 - b_3\sin\beta_3\,\dot\beta_3^2 + b_3\cos\beta_3\,\ddot\beta_3 + \ddot b_4\sin\beta_4 = 0$$

$$x:\ -b_2\cos\beta_2\,\dot\beta_2^2 - b_2\sin\beta_2\,\ddot\beta_2 + \ddot b_5\cos\beta_5 - \dot b_5\sin\beta_5\,\dot\beta_5 - \dot b_5\sin\beta_5\,\dot\beta_5 - b_5\cos\beta_5\,\dot\beta_5^2 -$$
$$- b_5\sin\beta_5\,\ddot\beta_5 - b_6\cos\beta_6\,\dot\beta_6^2 - b_6\sin\beta_6\,\ddot\beta_6 - b_7\cos\beta_7\,\dot\beta_7^2 - b_7\sin\beta_7\,\ddot\beta_7 = 0$$

$$y:\ -b_2\sin\beta_2\,\dot\beta_2^2 + b_2\cos\beta_2\,\ddot\beta_2 + \ddot b_5\sin\beta_5 + \dot b_5\cos\beta_5\,\dot\beta_5 + \dot b_5\cos\beta_5\,\dot\beta_5 - b_5\sin\beta_5\,\dot\beta_5^2 +$$
$$+ b_5\cos\beta_5\,\ddot\beta_5 - b_6\sin\beta_6\,\dot\beta_6^2 + b_6\cos\beta_6\,\ddot\beta_6 - b_7\sin\beta_7\,\dot\beta_7^2 + b_7\cos\beta_7\,\ddot\beta_7 = 0$$

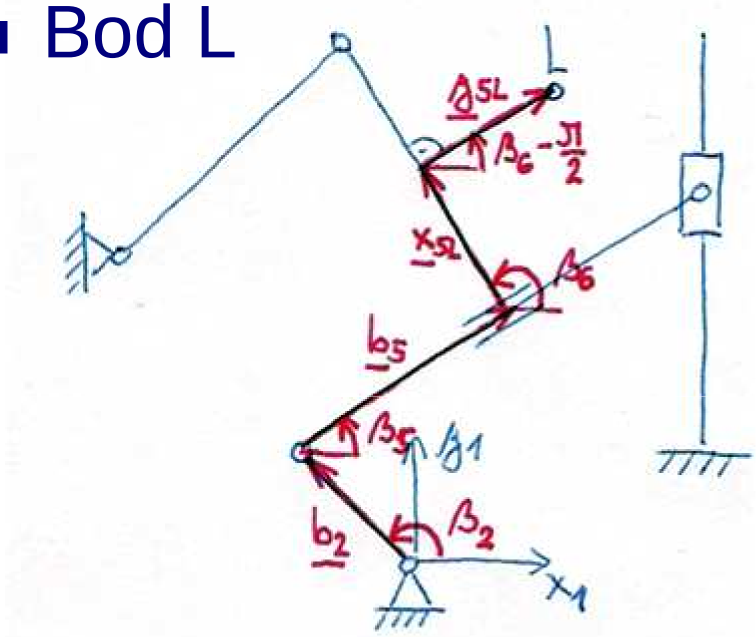
- Vektor jqz

$$(\dot\beta_5 = \dot\beta_3,\ \ddot\beta_5 = \ddot\beta_3,\ \dot\beta_6 = \dot\beta_3,\ \ddot\beta_6 = \ddot\beta_3)$$

$$jqz = \begin{bmatrix} -b_2\cos\beta_2\,\dot\beta_2^2 - b_3\cos\beta_3\,\dot\beta_3^2 \\ -b_2\sin\beta_2\,\dot\beta_2^2 - b_3\sin\beta_3\,\dot\beta_3^2 \\ -b_2\cos\beta_2\,\dot\beta_2^2 - 2\dot b_5\sin\beta_5\,\dot\beta_5 - b_5\cos\beta_5\,\dot\beta_5^2 - b_6\cos\beta_6\,\dot\beta_6^2 - b_7\cos\beta_7\,\dot\beta_7^2 \\ -b_2\sin\beta_2\,\dot\beta_2^2 + 2\dot b_5\cos\beta_5\,\dot\beta_5 - b_5\sin\beta_5\,\dot\beta_5^2 - b_6\sin\beta_6\,\dot\beta_6^2 - b_7\sin\beta_7\,\dot\beta_7^2 \end{bmatrix}$$

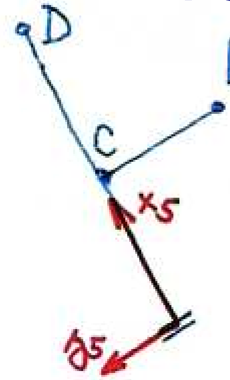
Řešení na papíře – 7

- Bod L



$$\underline{r}_{1L} = \underline{b}_2 + \underline{b}_5 + \underline{x}_{5L} + \underline{y}_{5L}$$

Těleso 5



$$x_{5L} = l_5 - |CD|$$
$$y_{5L} = -CL$$

- Poloha

$$x_{1L} = b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 + |y_{5L}| \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right)$$
$$y_{1L} = b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + x_{5L} \cdot \sin\beta_6 + |y_{5L}| \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right)$$

nebo

$$x_{1L} = b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 - y_{5L} \cdot \sin\beta_6$$
$$y_{1L} = b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + x_{5L} \cdot \sin\beta_6 + y_{5L} \cos\beta_6$$

Řešení na papíře – 8

- Poloha

$$x_{1L} = b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 + |y_{5L}| \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_{1L} = b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + x_{5L} \cdot \sin\beta_6 + |y_{5L}| \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right)$$

- Rychlost

$$v_{1Lx} = \dot{x}_{1L} = -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2 + \dot{b}_5 \cdot \cos\beta_5 - b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - x_{5L} \cdot \sin\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6 - |y_{5L}| \cdot \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6$$

$$v_{1Ly} = \dot{y}_{1L} = b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2 + \dot{b}_5 \cdot \sin\beta_5 + b_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6 + |y_{5L}| \cdot \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6$$

- Zrychlení

$$a_{1Lx} = \ddot{x}_{1L} = -b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 - b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \ddot{\beta}_2 + \ddot{b}_5 \cdot \cos\beta_5 - \dot{b}_5 \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - \dot{b}_5 \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - b_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5^2 -$$
$$- b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \ddot{\beta}_5 - x_{5L} \cdot \cos\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6^2 - x_{5L} \cdot \sin\beta_6 \cdot \ddot{\beta}_6 - |y_{5L}| \cdot \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6^2 - |y_{5L}| \cdot \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \ddot{\beta}_6$$

$$a_{1Ly} = \ddot{y}_{1L} = -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 + b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \ddot{\beta}_2 + \ddot{b}_5 \cdot \sin\beta_5 + \dot{b}_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 + \dot{b}_5 \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5^2 +$$
$$+ b_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \ddot{\beta}_5 - x_{5L} \cdot \sin\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6^2 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 \cdot \ddot{\beta}_6 - |y_{5L}| \cdot \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6^2 + |y_{5L}| \cdot \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \ddot{\beta}_6$$

Matlab - KRESIC

- Soubory:

Kresic.m, lae.m – obsahují kód numerického řešiče, ***neměnit !***

vazby.m – popis smyček

jacobianJz.m – jakobián závislých souřadnic

jacobianJq.m – jakobián nezávislých souřadnic

vektorjqz.m – „zbytky“ z druhých derivací

kinematika.m – spouštěč a hlavní program

- http://mech.fsik.cvut.cz

http://mech.fsik.cvut.cz/lib/exe/fetch.php?id=mech%3Apredmety&cache=cache&media=mech:meii_cv4.zip

Matlab – vazby.m

Upravit podle vlastního zadání,
tj. vypsat všechna „b“ a „beta“

```
% vazby

function R=vazby(z,q);

global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 beta1 beta2 beta3 beta4 beta5 beta6 beta7 beta8 beta9

beta2=q(1);
beta3=z(1);
b4=z(2);
b5=z(3);
beta7=z(4);
beta5=beta3;
beta6=beta3+pi/2;

R= [ b1*cos(beta1)+b2*cos(beta2)+b3*cos(beta3)+b4*cos(beta4)
     b1*sin(beta1)+b2*sin(beta2)+b3*sin(beta3)+b4*sin(beta4)
     b2*cos(beta2)+b5*cos(beta5)+b6*cos(beta6)+b7*cos(beta7)+b8*cos(beta8)+b9*cos(beta9)
     b2*sin(beta2)+b5*sin(beta5)+b6*sin(beta6)+b7*sin(beta7)+b8*sin(beta8)+b9*sin(beta9)];
```

$\underline{q} = [\beta_2]$

$\underline{z} = \begin{bmatrix} \beta_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ \beta_7 \end{bmatrix}$

$\beta_5 = \beta_3$

$\beta_6 = \beta_3 + \frac{\pi}{2}$

$x: \; b_1 \cdot \cos\beta_1 + b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_3 \cdot \cos\beta_3 + b_4 \cdot \cos\beta_4 = \emptyset$

$y: \; b_1 \cdot \sin\beta_1 + b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_3 \cdot \sin\beta_3 + b_4 \cdot \sin\beta_4 = \emptyset$

$x: \; b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + b_6 \cdot \cos\beta_6 + b_7 \cdot \cos\beta_7 + b_8 \cdot \cos\beta_8 + b_9 \cdot \cos\beta_9 = \emptyset$

$y: \; b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + b_6 \cdot \sin\beta_6 + b_7 \cdot \sin\beta_7 + b_8 \cdot \sin\beta_8 + b_9 \cdot \sin\beta_9 = \emptyset$

Matlab – jacobianJq.m

```
% jacobian Jq

function Jq=jacobianJq(z,q);

global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 beta1 beta2 beta3 beta4 beta5 beta6 beta7 beta8 beta9

beta2=q(1);
beta3=z(1);
b4=z(2);
b5=z(3);
beta7=z(4);
beta5=beta3;
beta6=beta3+pi/2;

Jq=[ -b2*sin(beta2)
      b2*cos(beta2)
     -b2*sin(beta2)
      b2*cos(beta2)];
```

viz vazby.m (doporučuji copy/paste)

$$\underbrace{\begin{bmatrix} -b_2 \sin\beta_2 \\ b_2 \cos\beta_2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \\ b_2 \cos\beta_2 \end{bmatrix}}_{J_q}$$

Matlab – jacobianJz.m

```
% jacobian Jz

function Jz=jacobianJz(z,q);

global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 beta1 beta2 beta3 beta4 beta5 beta6 beta7 beta8 beta9

beta2=q(1);
beta3=z(1);
b4=z(2);
b5=z(3);
beta7=z(4);
beta5=beta3;
beta6=beta3+pi/2;
```

viz vazby.m (doporučuji copy/paste)

$$\underbrace{\begin{bmatrix} -b_3 \cdot \sin\beta_3 & \cos\beta_4 & 0 & 0 \\ b_3 \cdot \cos\beta_3 & \sin\beta_4 & 0 & 0 \\ -b_5 \cdot \sin\beta_5 - b_6 \cdot \sin\beta_6 & 0 & \cos\beta_5 & -b_7 \sin\beta_7 \\ b_5 \cdot \cos\beta_5 + b_6 \cdot \cos\beta_6 & 0 & \sin\beta_5 & b_7 \cos\beta_7 \end{bmatrix}}_{\underline{J_z}}$$

```
Jz=[-b3*sin(beta3)                     cos(beta4)      0              0
     b3*cos(beta3)                     sin(beta4)      0              0
    -b5*sin(beta5)-b6*sin(beta6)      0         cos(beta5)  -b7*sin(beta7)
     b5*cos(beta5)+b6*cos(beta6)      0         sin(beta5)   b7*cos(beta7)];
```

Matlab – vektorjqz.m

```
% vektor jqz
function jqz=vektorjqz(z,zt,q,qt);

global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 beta1 beta2 beta3 beta4 beta5 beta6 beta7 beta8 beta9
global b1t b2t b3t b4t b5t b6t b7t b8t b9t beta1t beta2t beta3t beta4t beta5t beta6t ...
       beta7t beta8t beta9t

beta2=q(1);
beta3=z(1);
b4=z(2);
b5=z(3);
beta7=z(4);
beta5=beta3;
beta6=beta3+pi/2;

beta2t=qt(1);
beta3t=zt(1);
b4t=zt(2);
b5t=zt(3);
beta7t=zt(4);
beta5t=beta3t;
beta6t=beta3t;
```

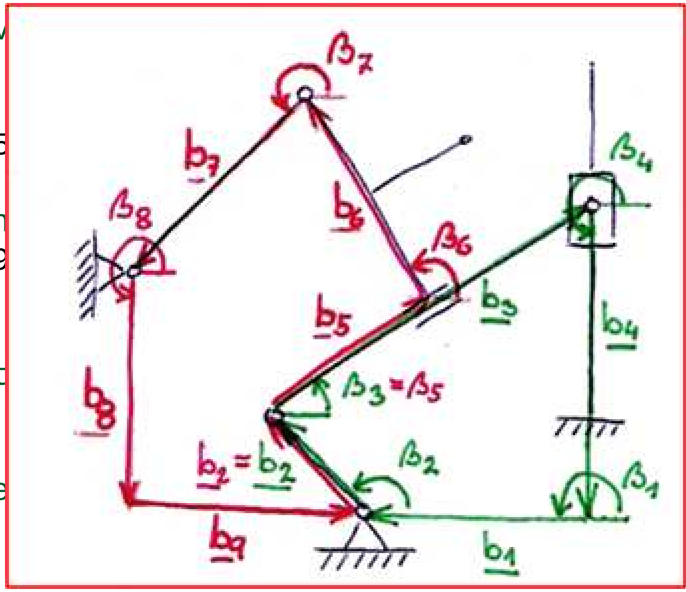
Upravit podle vlastního zadání, kromě „b“ a „beta“ jsou tu i jejich derivace s indexem „t“

$$\begin{bmatrix} -b_2 \cos\beta_2 \dot\beta_2^2 - b_3 \cos\beta_3 \dot\beta_3^2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \dot\beta_2^2 - b_3 \sin\beta_3 \dot\beta_3^2 \\ -b_2 \cos\beta_2 \dot\beta_2^2 - 2 \dot b_5 \sin\beta_5 \dot\beta_5 - b_5 \cos\beta_5 \dot\beta_5^2 - b_6 \cos\beta_6 \dot\beta_6^2 - b_7 \cos\beta_7 \dot\beta_7^2 \\ -b_2 \sin\beta_2 \dot\beta_2^2 + 2 \dot b_5 \cos\beta_5 \dot\beta_5 - b_5 \sin\beta_5 \dot\beta_5^2 - b_6 \sin\beta_6 \dot\beta_6^2 - b_7 \sin\beta_7 \dot\beta_7^2 \end{bmatrix}$$

```
jqz=[ -b2*beta2t^2*cos(beta2)-b3*beta3t^2*cos(beta3)
      -b2*beta2t^2*sin(beta2)-b3*beta3t^2*sin(beta3)
      -b2*beta2t^2*cos(beta2)-2*b5t*beta5t*sin(beta5)-b5*beta5t^2*cos(beta5)- ...
b6*beta6t^2*cos(beta6)-b7*beta7t^2*cos(beta7)
      -b2*beta2t^2*sin(beta2)+2*b5t*beta5t*cos(beta5)-b5*beta5t^2*sin(beta5)- ...
b6*beta6t^2*sin(beta6)-b7*beta7t^2*sin(beta7)];
```

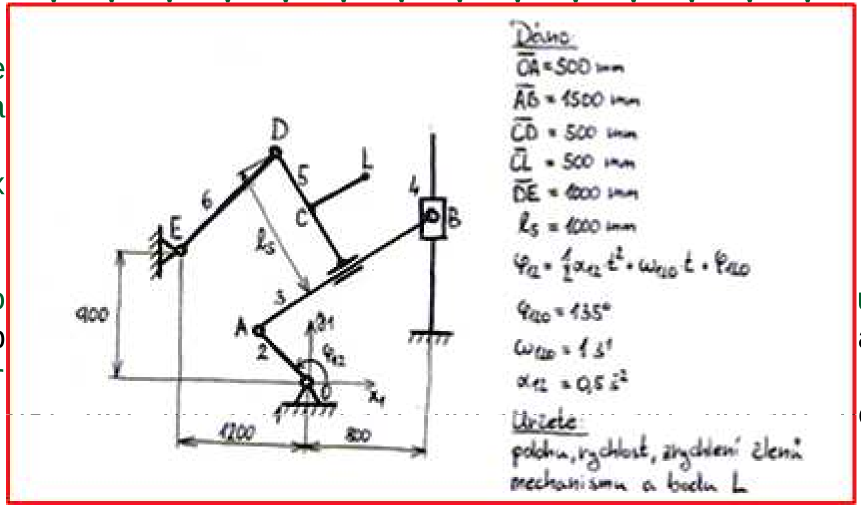
Matlab – kinematika.m

```
% ZACATEK PRVNIHO BLOKU ZMEN --v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v
%
% (dale je treba zmenit zdrojove texty podprogramu:
%        vazby.m , jacobianJz.m , jacobianJq.m , vektorjqz.m   )
%
% (naopak se doporucuje NEMENIT texty podprogramu resice:
%        Kresic.m,  lae.m                                      )
%
% seznam vsech vektoru a uhlu v mnohouhelnicich pro prenos hodnot do podprogramu
global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 beta1 beta2 beta3 beta4 beta5 beta6 beta7 beta8 beta9
% seznam oznaceni vsech prvnich derivaci predchoziho radku
global b1t b2t b3t b4t b5t b6t b7t b8t b9t beta1t beta2t beta3t beta4t beta5t beta6t ...
beta7t beta8t beta9t
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% V                                  %%%%%%%%%%%%
%
% Rozmery mechanismu
OA=0.5; AB=1.5; CD=0.5; CL=0.5; DE=1.0; l5
%
% Konstanty ve vektorovych mnohouhelnicich
b1=0.8; b2=OA; b3=AB; b6=l5; b7=DE; b8=0.9                                 beta8=3*pi/2;
beta9=0;
%
% Konstany pohonu: pocatecni poloha, pocat                                 eni
fi120=135*pi/180; om120=1; al12=0.5;
%
% Lokalni souradnice bodu L v souradnicove
x5L=l5-CD;
y5L=-CL;
```



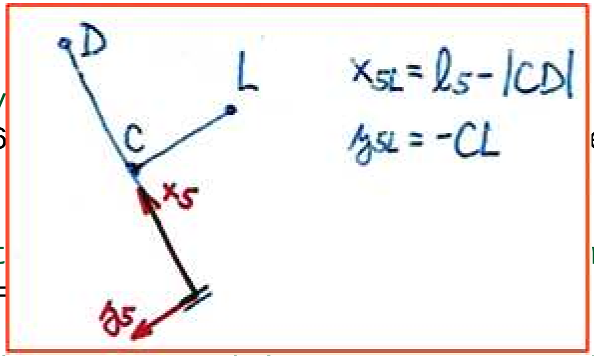
Matlab – kinematika.m

```
% ZACATEK PRVNIHO BLOKU ZMEN --v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v
%
% (dale je treba zmenit zdrojove te
%       vazby.m , jacobianJz.m , ja
%
% (naopak se doporucuje NEMENIT tex
%       Kresic.m,  lae.m
%
% seznam vsech vektoru a uhlu v mno                                                        u
global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b                                                        a8 beta9
% seznam oznaceni vsech prvnich der
global b1t b2t b3t b4t b5t b6t b7t                                                         eta6t ...
beta7t beta8t beta9t
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% VSTUPNI DATA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Rozmery mechanismu
OA=0.5; AB=1.5; CD=0.5; CL=0.5; DE=1.0; l5=1.0;
%
% Konstanty ve vektorovych mnohouhelnicich
b1=0.8; b2=OA; b3=AB; b6=l5; b7=DE; b8=0.9; b9=1.2;  beta1=pi; beta4=3*pi/2; beta8=3*pi/2;
beta9=0;
%
% Konstany pohonu: pocatecni poloha, pocatecni uhlova rychlost, uhlove zrychleni
fi120=135*pi/180; om120=1; al12=0.5;
%
% Lokalni souradnice bodu L v souradnicovem systemu telesa 5
x5L=l5-CD;
y5L=-CL;
```



Matlab – kinematika.m

```
% ZACATEK PRVNIHO BLOKU ZMEN --v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v
%
% (dale je treba zmenit zdrojove texty podprogramu:
%       vazby.m , jacobianJz.m , jacobianJq.m , vektorjqz.m  )
%
% (naopak se doporucuje NEMENIT texty podprogramu resice:
%       Kresic.m, lae.m                                      )
%
% seznam vsech vektoru a uhlu v mnohouhelnicich pro prenos hodnot do podprogramu
global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 beta1 beta2 beta3 beta4 beta5 beta6 beta7 beta8 beta9
% seznam oznaceni vsech prvnich derivaci predchoziho radku
global b1t b2t b3t b4t b5t b6t b7t b8t b9t beta1t beta2t beta3t beta4t beta5t beta6t ...
beta7t beta8t beta9t
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% VSTUPNI DATA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Rozmery mechanismu
OA=0.5; AB=1.5; CD=0.5;
%
% Konstanty ve vektorovy
b1=0.8; b2=OA; b3=AB; b6                              eta1=pi; beta4=3*pi/2; beta8=3*pi/2;
beta9=0;
%
% Konstany pohonu: pocat                              rychlost, uhlove zrychleni
fi120=135*pi/180; om120=
%
% Lokalni souradnice bodu L v souradnicovem systemu telesa 5
x5L=l5-CD;
y5L=-CL;
```



Matlab – kinematika.m

Takto se zadává nezávislá souřadnice (pohon), jestliže je předepsán rovnoměrně zrychlený pohyb. V některých úlohách je pohyb zadán přímo funkcí.

```
% Lokalni souradnice b
x5L=l5-CD;
y5L=-CL;
%
% Pocet poloh
npoloh=37;
% Z pohonu pocitane nezavisle souradnice, hodnoty casu, rychlosti a zrychleni
QQ=( fi120 : 2*pi/(npoloh-1) : 2*pi+fi120 ); % nezavisle souradnice,
t=[];
for i=1:length(QQ)
t=[t max(roots([al12/2 om120 fi120-QQ(i)]))]; % hodnoty casu
end
QQT=om120+al12*t; % okamzita uhlova rychlost
QQTT=al12*ones(size(QQ)); % okamzite uhlove zrychleni
%
% Odhady zavislych souradnic
beta3=45*pi/180;
b4=2;
b5=1.2;
beta7=220*pi/180;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Vektor zavislych souradnic
z=[beta3;b4;b5;beta7];
%
% KONEC PRVNIHO BLOKU ZMEN --^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^
```

Matlab – kinematika.m

```
% Lokalni souradnice bodu L v souradnicovem systemu telesa 5
x5L=l5-CD;
y5L=-CL;
%
% Pocet poloh
npoloh=37;
% Z pohonu pocitane nezavisle souradnice, hodnoty casu, rychlosti a zrychleni
QQ=( fi120 : 2*pi/(npoloh-1) : 2*pi+fi120 ); % nezavisle souradnice,
t=[];
for i=1:length(QQ)
t=[t max(roots([al12/2 om120 fi120-QQ(i)]))]; % hodnoty casu
end
QQT=om120+al12*t; % okamzita uhlova rychlost
QQTT=al12*ones(size(QQ)); % okamzite uhlove zrychleni
%
% Odhady zavislych souradnic
beta3=45*pi/180;
b4=2;
b5=1.2;
beta7=220*pi/180;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Vektor zavislych souradnic
z=[beta3;b4;b5;beta7];
%
% KONEC PRVNIHO BLOKU ZMEN --^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^
```

Odhad závislých souřadnic = odhad hodnot pro numerické řešení v počáteční poloze. Tento odhad je třeba provést poměrně přesně, aby nedošlo k řešení v jiné konfiguraci.

Matlab – kinematika.m

```
% Lokalni souradnice bodu L v souradnicovem systemu telesa 5
x5L=l5-CD;
y5L=-CL;
%
% Pocet poloh
npoloh=37;
% Z pohonu pocitane nezavisle souradnice, hodnoty casu, rychlosti a zrychleni
QQ=( fi120 : 2*pi/(npoloh-1) : 2*pi+fi120 ); % nezavisle souradnice,
t=[];
for i=1:length(QQ)
t=[t max(roots([al12/2 om120 fi120-QQ(i)]))]; % hodnoty casu
end
QQT=om120+al12*t; % okamzita uhlova rychlost
QQTT=al12*ones(size(QQ)); % okamzite uhlove zrychleni
%
% Odhady zavislych souradnic
beta3=45*pi/180;
b4=2;
b5=1.2;
beta7=220*pi/180;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Vektor zavislych souradnic
z=[beta3;b4;b5;beta7];
%
% KONEC PRVNIHO BLOKU ZMEN --^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^
```

$$\underline{z} = \begin{bmatrix} \beta_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ \beta_7 \end{bmatrix}$$

! !

Matlab – kinematika.m

!

```
% ZACATEK DRUHEHO BLOKU ZMEN --v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v
   % definice vsech promennych a jejich derivaci, ktere se vyskytuji v popisu pruvodice,
   % rychlosti a zrychleni bodu L
    beta2=q(1);
    beta2t=qt(1);
    beta2tt=qtt(1);
    beta3=z(1);
    beta3t=zt(1);
    beta3tt=ztt(1);
    b4=z(2);
    b4t=zt(2);
    b4tt=ztt(2);
    b5=z(3);
    b5t=zt(3);
    b5tt=ztt(3);
    beta7=z(4);
    beta7t=zt(4);
    beta7tt=ztt(4);
    beta5=beta3;
    beta5t=beta3t;
    beta5tt=beta3tt;
    beta6=beta3+pi/2;
    beta6t=beta3t;
    beta6tt=beta3tt;

% kosiny a siny použitych uhlu betai
    c2=cos(beta2);
    s2=sin(beta2);
```

!

V této části programu již jsou známy nezávislé souřadnice „q“ i závislé souřadnice „z“ a také jejich rychlosti a zrychlení „qt, qtt, zt, ztt“. My teď přiřadíme těmto hodnotám jejich význam ve vektorovém popisu.

Obdobně přiřadíme hodnoty i těm proměnným, které jsme vyjádřili pomocí jiných souřadnic.

Matlab – kinematika.m

```
% kosiny a siny použitych uhlu betai
    c2=cos(beta2);
    s2=sin(beta2);
    c3=cos(beta3);
    s3=sin(beta3);
    c4=cos(beta4);
    s4=sin(beta4);
    c5=cos(beta5);
    s5=sin(beta5);
    c6=cos(beta6);
    s6=sin(beta6);
    c8=cos(beta8);
    s8=sin(beta8);
    c9=cos(beta9);
    s9=sin(beta9);

    xL=b2*c2+b5*c5+x5L*c6+abs(y5L)*cos(beta6-pi/2);
    yL=b2*s2+b5*s5+x5L*s6+abs(y5L)*sin(beta6-pi/2);

    xLt=-b2*beta2t*s2+b5t*c5-b5*beta5t*s5-x5L*beta6t*s6-abs(y5L)*beta6t*sin(beta6-pi/2);
    yLt= b2*beta2t*c2+b5t*s5+b5*beta5t*c5+x5L*beta6t*c6+abs(y5L)*beta6t*cos(beta6-pi/2);

    xLtt=-b2*beta2t^2*c2-b2*beta2tt*s2+b5tt*c5-2*b5t*beta5t*s5-b5*beta5t^2*c5- ...
b5*beta5tt*s5-x5L*beta6t^2*c6-x5L*beta6tt*s6-abs(y5L)*beta6t^2*cos(beta6-pi/2)- ...
abs(y5L)*beta6tt*sin(beta6-pi/2);
    yLtt=-b2*beta2t^2*s2+b2*beta2tt*c2+b5tt*s5+2*b5t*beta5t*c5-b5*beta5t^2*s5+ ...
b5*beta5tt*c5-x5L*beta6t^2*s6+x5L*beta6tt*c6-abs(y5L)*beta6t^2*sin(beta6-pi/2)+ ...
abs(y5L)*beta6tt*cos(beta6-pi/2);
% KONEC DRUHEHO BLOKU ZMEN --^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^-
```

Zavedení pomocných proměnných za siny a cosiny. Není to nezbytné, ale ušetří to trochu psaní při jejich opakovaném výskytu v následném popisu polohy, rychlosti a zrychlení bodu L a také to trochu urychluje výpočet, protože se siny a cosiny počítají jen jednou.

Matlab – kinematika.m

```
% kosiny a siny použitych uhlu betai
    c2=cos(beta2);
    s2=sin(beta2);
    c3=cos(beta3);
    s3=sin(beta3);
    c4=cos(beta4);
    s4=sin(beta4);
    c5=cos(beta5);
    s5=sin(beta5);
    c6=cos(beta6);
    s6=sin(beta6);
    c8=cos(beta8);
    s8=sin(beta8);
    c9=cos(beta9);
    s9=sin(beta9);
```

Bod L

Poloha:

$$x_{1L} = b_2 \cdot \cos\beta_2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 + |y_{5L}| \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \quad (*)$$

$$y_{1L} = b_2 \cdot \sin\beta_2 + b_5 \cdot \sin\beta_5 + x_{5L} \cdot \sin\beta_6 + |y_{5L}| \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right)$$

Rychlost:

$$v_{1Lx} = \dot{x}_{1L} = -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2 + \dot{b}_5 \cdot \cos\beta_5 - b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - x_{5L} \cdot \sin\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6 - |y_{5L}| \cdot \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6$$

$$v_{1Ly} = \dot{y}_{1L} = b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2 + \dot{b}_5 \cdot \sin\beta_5 + b_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6 + |y_{5L}| \cdot \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6$$

Zrychlení:

$$a_{1Lx} = \ddot{x}_{1L} = -b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 - b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \ddot{\beta}_2 + \ddot{b}_5 \cdot \cos\beta_5 - \dot{b}_5 \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - \dot{b}_5 \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - b_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5^2 - b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \ddot{\beta}_5 - x_{5L} \cdot \cos\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6^2 - x_{5L} \cdot \sin\beta_6 \cdot \ddot{\beta}_6 - |y_{5L}| \cdot \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6^2 - |y_{5L}| \cdot \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \ddot{\beta}_6$$

$$a_{1Ly} = \ddot{y}_{1L} = -b_2 \cdot \sin\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2 + b_2 \cdot \cos\beta_2 \cdot \ddot{\beta}_2 + \ddot{b}_5 \cdot \sin\beta_5 + \dot{b}_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 + \dot{b}_5 \cos\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5 - b_5 \cdot \sin\beta_5 \cdot \dot{\beta}_5^2 + b_5 \cdot \cos\beta_5 \cdot \ddot{\beta}_5 - x_{5L} \cdot \sin\beta_6 \cdot \dot{\beta}_6^2 + x_{5L} \cdot \cos\beta_6 \cdot \ddot{\beta}_6 - |y_{5L}| \cdot \sin\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \dot{\beta}_6^2 + |y_{5L}| \cos\left(\beta_6 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \ddot{\beta}_6$$

```
    xL=b2*c2+b5*c5+x5L*c6+abs(y5L)*cos(beta6-pi/2);
    yL=b2*s2+b5*s5+x5L*s6+abs(y5L)*sin(beta6-pi/2);

    xLt=-b2*beta2t*s2+b5t*c5-b5*beta5t*s5-x5L*beta6t*s6-abs(y5L)*beta6t*sin(beta6-pi/2);
    yLt= b2*beta2t*c2+b5t*s5+b5*beta5t*c5+x5L*beta6t*c6+abs(y5L)*beta6t*cos(beta6-pi/2);

    xLtt=-b2*beta2t^2*c2-b2*beta2tt*s2+b5tt*c5-2*b5t*beta5t*s5-b5*beta5t^2*c5- ...
b5*beta5tt*s5-x5L*beta6t^2*c6-x5L*beta6tt*s6-abs(y5L)*beta6t^2*cos(beta6-pi/2)- ...
abs(y5L)*beta6tt*sin(beta6-pi/2);
    yLtt=-b2*beta2t^2*s2+b2*beta2tt*c2+b5tt*s5+2*b5t*beta5t*c5-b5*beta5t^2*s5+ ...
b5*beta5tt*c5-x5L*beta6t^2*s6+x5L*beta6tt*c6-abs(y5L)*beta6t^2*sin(beta6-pi/2)+ ...
abs(y5L)*beta6tt*cos(beta6-pi/2);
% KONEC DRUHEHO BLOKU ZMEN --^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^-
```

!

!

Matlab – kinematika.m

!

```
% ZACATEK TRETIHO BLOKU ZMEN --v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v
%
% zde se upravi pouze radky "legend( ..." tak, aby spravne oznacovaly krivky v grafech)
%
% Prubehy vypoctenych velicin
figure(1);
plot(t,Z');
title('Zavisle souradnice [m] nebo [rad] jako funkce casu [s]')
legend('beta3','b4','b5','beta7')
xlabel('cas')
figure(2);
plot(t,ZT');
title('Zavisle rychlosti [m.s^-^1] nebo [rad.s^-^1] jako funkce casu [s]')
legend('beta3t','b4t','b5t','beta7t')
xlabel('cas')
figure(3);
plot(t,ZTT');
title('Zavisla zrychleni [m.s^-^2] nebo [rad.s^-^2] jako funkce casu [s]')
legend('beta3tt','b4tt','b5tt','beta7tt')
xlabel('cas')
% KONEC TRETIHO BLOKU ZMEN --^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^--^
```

Zde upravit jen popisky grafů „legend(…“ podle vašich závislých proměnných.

!

Matlab – kinematika.m

!

```
% ZACATEK POSLEDNIHO BLOKU ZMEN --v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--v--
% zde upravi vyrazy pro animaci pohybu

% Data pro animaci pohybu
XK1=[];
YK1=[];
XK2=[];
YK2=[];

for it=1:nt
    % souradnice
    beta2=QQ(it);
    beta3=Z(1,it);
    b4=Z(2,it);
    b5=Z(3,it);
    beta7=Z(4,it);
    beta5=beta3;
    beta6=beta3+pi/2;

    % 1.mnohouhelnik
    % Souradnice prvniho vrcholu 1.mnohouhelniku
    xk1=[0];
    yk1=[0];
    % Do poli xk1, yk1 se postupne ukladaji x-ove a y-ove souradnice dalsich vrcholu
    xk1=[xk1 xk1(1)+b2*cos(beta2)];
    yk1=[yk1 yk1(1)+b2*sin(beta2)];
    xk1=[xk1 xk1(2)+b3*cos(beta3)];
```

!

Zde opět jen přiřadit vypočteným hodnotám nezávislé proměnné „QQ“ a závislým proměnným „Z“ jejich význam ve vektorovém popisu. Obdobně i pro proměnné vyjádřené pomocí jiných souřadnic.

Matlab – kinematika.m

```
% 1.mnohouhelnik
   % Souradnice prvniho vrcholu 1.mnohouhelniku
   xk1=[0];
   yk1=[0];
```

Postupně vkládáme souřadnice vrcholů 1. smyčky. Začneme v bodě [0,0], ale není to nutné. Záleží na vašem popisu.

```
   % Do poli xk1, yk1 se postupne ukladaji x-ove a y-ove souradnice dalsich vrcholu
   xk1=[xk1 xk1(1)+b2*cos(beta2)];
   yk1=[yk1 yk1(1)+b2*sin(beta2)];
```

2. bod

```
   xk1=[xk1 xk1(2)+b3*cos(beta3)];
   yk1=[yk1 yk1(2)+b3*sin(beta3)];
```

3. bod

```
   xk1=[xk1 xk1(3)+b4*cos(beta4)];
   yk1=[yk1 yk1(3)+b4*sin(beta4)];
```

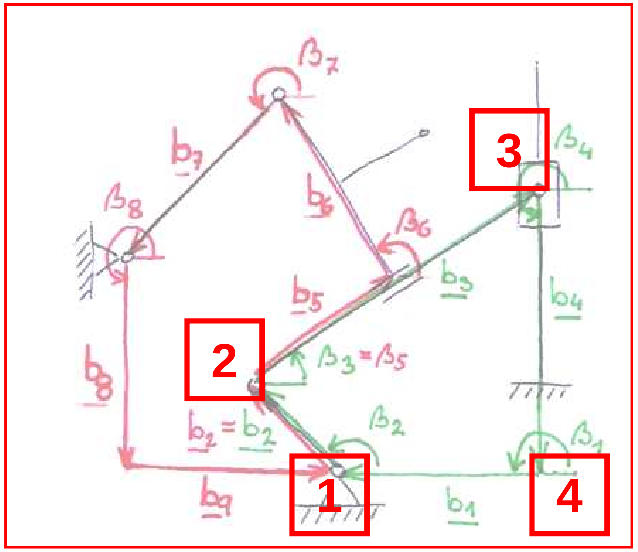
4. bod

```
   xk1=[xk1 xk1(4)+b1*cos(beta1)];
   yk1=[yk1 yk1(4)+b1*sin(beta1)];
```

opět 1. bod – tím je smyčka uzavřena

```
   XK1=[XK1; xk1];
   YK1=[YK1; yk1];

   % 2.mnohouhelnik
   xk2=[0];
   yk2=[0];
   xk2=[xk2 xk2(1)+b2*cos(beta2)];
   yk2=[yk2 yk2(1)+b2*sin(beta2)];
   xk2=[xk2 xk2(2)+b5*cos(beta5)];
   yk2=[yk2 yk2(2)+b5*sin(beta5)];
   xk2=[xk2 xk2(3)+b6*cos(beta6)];
   yk2=[yk2 yk2(3)+b6*sin(beta6)];
   xk2=[xk2 xk2(4)+b7*cos(beta7)];
   yk2=[yk2 yk2(4)+b7*sin(beta7)];
```



Matlab – kinematika.m

```
% 2.mnohouhelnik
   xk2=[0];
   yk2=[0];
   xk2=[xk2 xk2(1)+b2*cos(beta2)];
   yk2=[yk2 yk2(1)+b2*sin(beta2)];
   xk2=[xk2 xk2(2)+b5*cos(beta5)];
   yk2=[yk2 yk2(2)+b5*sin(beta5)];
   xk2=[xk2 xk2(3)+b6*cos(beta6)];
   yk2=[yk2 yk2(3)+b6*sin(beta6)];
   xk2=[xk2 xk2(4)+b7*cos(beta7)];
   yk2=[yk2 yk2(4)+b7*sin(beta7)];
   xk2=[xk2 xk2(5)+b8*cos(beta8)];
   yk2=[yk2 yk2(5)+b8*sin(beta8)];
   xk2=[xk2 xk2(6)+b9*cos(beta9)];
   yk2=[yk2 yk2(6)+b9*sin(beta9)];

   XK2=[XK2; xk2];
   YK2=[YK2; yk2];
end
% Nastaveni rozmeru obrazku pro animaci ..........................
xmin=min([min(min(XK1)),min(min(XK2)),min(L(1,:))]);          %
xmax=max([max(max(XK1)),max(max(XK2)),max(L(1,:))]);          %
ymin=min([min(min(YK1)),min(min(YK2)),min(L(2,:))]);          %
ymax=max([max(max(YK1)),max(max(YK2)),max(L(2,:))]);          %
figure(7)                                                     %
plot([xmin xmax],[ymin ymax],'k.')                            %
axis equal                                                    %
```

Totéž pro druhou smyčku

1. bod (xk2=[0]; yk2=[0];)

2. bod

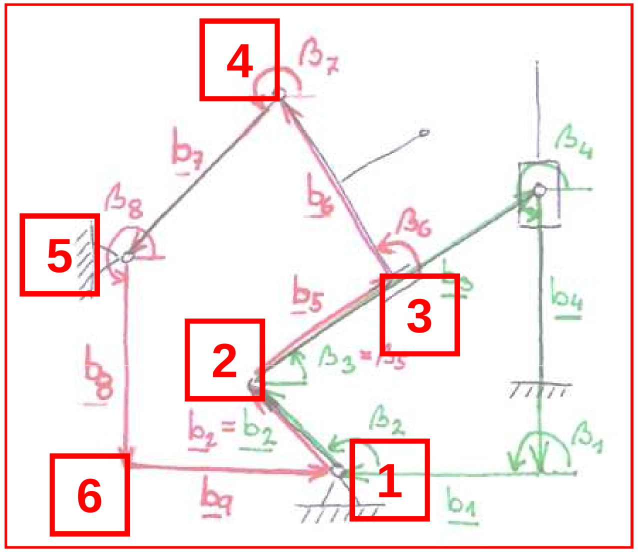
3. bod

4. bod

5. bod

6. bod

opět 1. bod



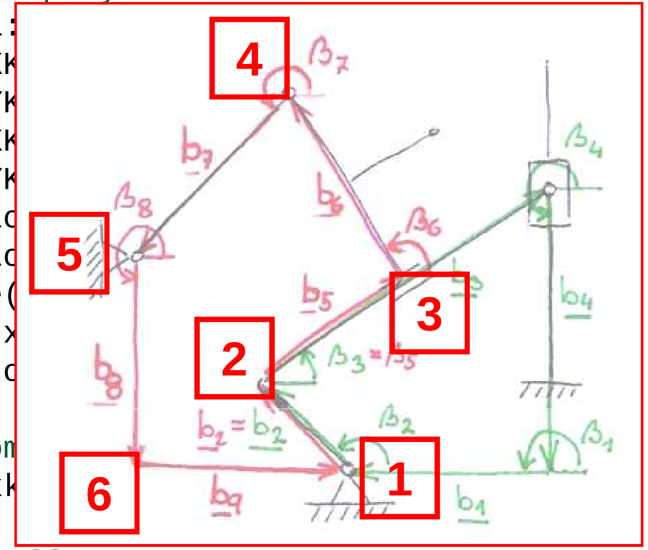
Matlab – kinematika.m

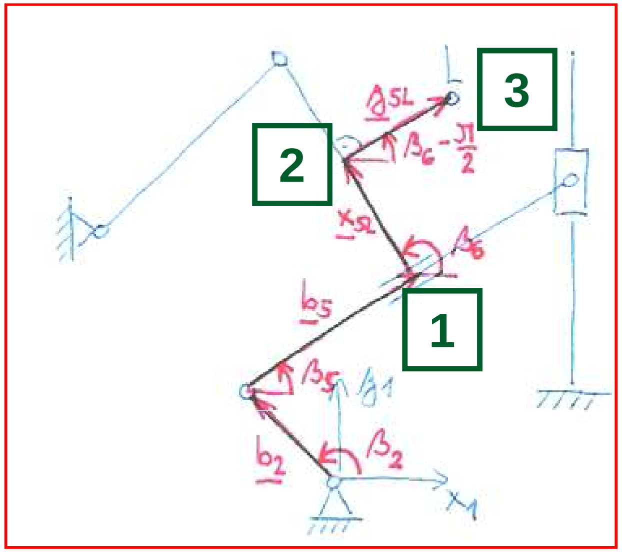
```
% Animace pohybu
for it=1:
   xk1=XK
   yk1=YK
   xk2=XK
   yk2=YK
   li=plo                        ',2.5);
   li=plo                        ',1.5);
   title(
   axis(x
   drawnc

   % Zpom
   for kk

   hold off
end

hold on
```





Zakreslení bodu L:
začneme ve třetím bodě 2. smyčky – bod 1
pokračujeme vektorem <u>x5L</u> – bod 2
a vektorem <u>y5L</u> – bod 3

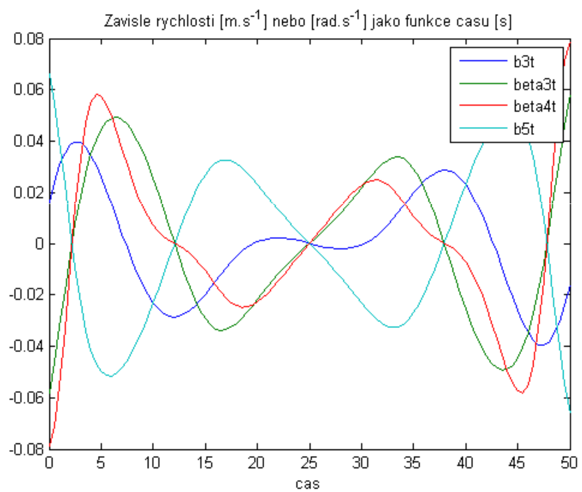
```
% Relativni souradnice bodu L a trajektorie bodu L
li=plot([xk2(3) xk2(3)+x5L*c6 xk2(3)+x5L*c6+abs(y5L)*cos(beta6-pi/2)], ...
        [yk2(3) yk2(3)+x5L*s6 yk2(3)+x5L*s6+abs(y5L)*sin(beta6-pi/2)],'c');
set(li,'LineWidth',2);
pause(2);
plot(L(1,:),L(2,:),'k');
```

A to už je konečně vše

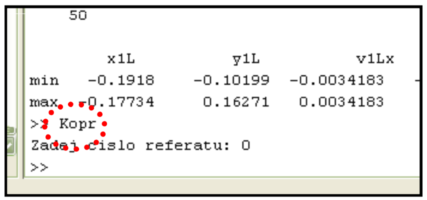
(v další části je ještě ukázka kontroly výsledků a příklady nejčastějších chyb)

Matlab – kontrola výsledků

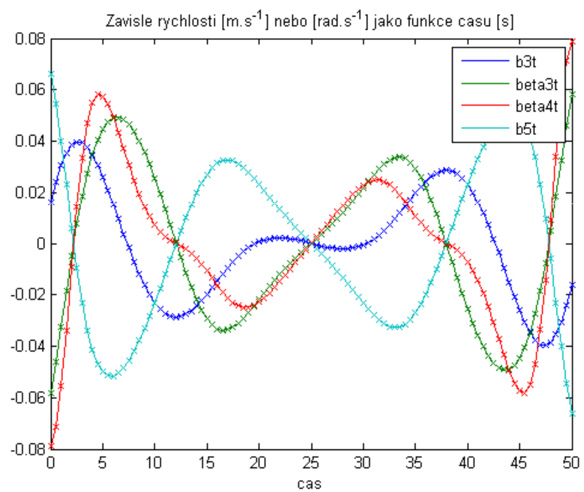
- Po vykreslení výsledků můžete provést kontrolu správnosti programem Kopr.m. Ten do vašich výsledků dokreslí pro porovnání výsledky správné



Před kontrolou



Spuštění kontroly



Zkontrolováno

- Pozor, grafy poloh se mohou od oficiálních výsledků lišit o konstantu (zavedení smyček není jednoznačné). Rychlosti a zrychlení by ale měly souhlasit přesně.

Matlab – časté problémy

```
>> kinematika
cas =
     0

V tomto casovem kroku nebylo dosazeno pozadovane presnosti vypoctu

Pravdepodobne spatne zapsane rovnice pro polohu nebo Jakobiany nebo
zadane rozmery geometricky neumoznuji mechanismu dostat se do teto polohy
```

- Programu se nedaří složit smyčky. Doporučuji zkontrolovat zadané hodnoty – jsou všechny délky v metrech a úhly v radiánech? Je správně definovaný pohon?

  Další možností je chybný odhad počátečních hodnot závislých proměnných, můžete ho zkusit zpřesnit.

  Poslední možností je překlep ve vazby.m nebo v jednom z jakobiánů.

Matlab – časté problémy

```
>> kinematika
cas =
      0
??? Error using ==> mtimes
Inner matrix dimensions must agree.

Error in ==> lae at 14
c=U'*B;

Error in ==> Kresic at 17
   z1=z-lambda*lae(Jz,R,eps);

Error in ==> kinematika at 73
   z=Kresic(z,q);
```

- Nesouhlasí velikosti matic a program nemůže počítat. **Přesto, že na chybu narazil program lae.m, chyba není ani v něm, ani v souboru Kresic.m !** Ty jsou léty prověřeny a pokud se do nich nešťourá, jsou určitě v pořádku.

- Problém bude v zapomenuté definici některého z „b“ nebo „beta“. Program pak neví, co dosadit při výpočtu ve vazby.m nebo v jakobiánech či jqz, a příslušný řádek vynechá. Vzniklá matice má pak menší dimenzi a když si ji řešič lae.m zavolá, nemůže s ní počítat a havaruje.

  Řešení na další stránce.

Matlab – časté problémy

- Do souboru vazby.m doplňte výpis použitých proměnných.

- Po spuštění vidíme na výpisu, že není definována hodnota b2.

```
>> kinematika
cas =
     0
b1 =
    0.6500
beta1 =
    3.1416
b2 =
     []
beta2 =
    0.3491
b3 =
    0.5400
```

Hodnotu je třeba definovat. Pokud je to konstanta, tak v souboru kinematika.m, pokud je to (ne)závislá, tak přímo ve vazby.m. Zkontrolujte také, že je zahrnuta ve výpisu globálních proměnných .

```
% vazby

function R=vazby(z,q);

global b1 b2 b3 b4 b5 b6 b

beta2=q(1);
b3=z(1);
beta3=z(2);
beta4=z(3);
b5=z(4);
beta6=beta3+pi/2;
beta7=beta3;

b1
beta1
b2
beta2
b3
beta3
b4
beta4
% atd.

R= [ b1*cos(beta1)+b2*cos(
     b1*sin(beta1)+b2*sin(
     b4*cos(beta4)+b7*cos(
     b4*sin(beta4)+b7*sin(
```

- Pokud je ve vazbách vše v pořádku, zkuste doplnit výpisy proměnných do jakobiánů a vektoru jqz.

Matlab – časté problémy

- Při ladění chyb čtěte pozorně chybové hlášky. Nalezený problém bývá většinou hned ten první vypsaný. V tomto případě tedy na 16. řádku v souboru vazby.m.

```
>> kinematika
cas =
     0
??? Undefined function or variable 'bd'.

Error in ==> vazby at 16
R= [ b1*cos(beta1)+b2*cos(beta2)+b6*cos(beta6)+b3*cos(beta3)

Error in ==> Kresic at 5
R=vazby(z,q);

Error in ==> kinematika at 73
   z=Kresic(z,q);

>> 
```