

# POUŽITÍ PROGRAMU MATLAB – SIMULINK A VIRTUAL REALITY TOOLBOXU PŘI NÁVRHU A EXPERIMENTÁLNÍM OVĚŘENÍ ŘÍZENÍ JEŘÁBOVÉ KOČKY

*Doc.Ing.Petr Noskievič,CSc., Ing.Milan VANĚK, Ing.Karel STRNAD*

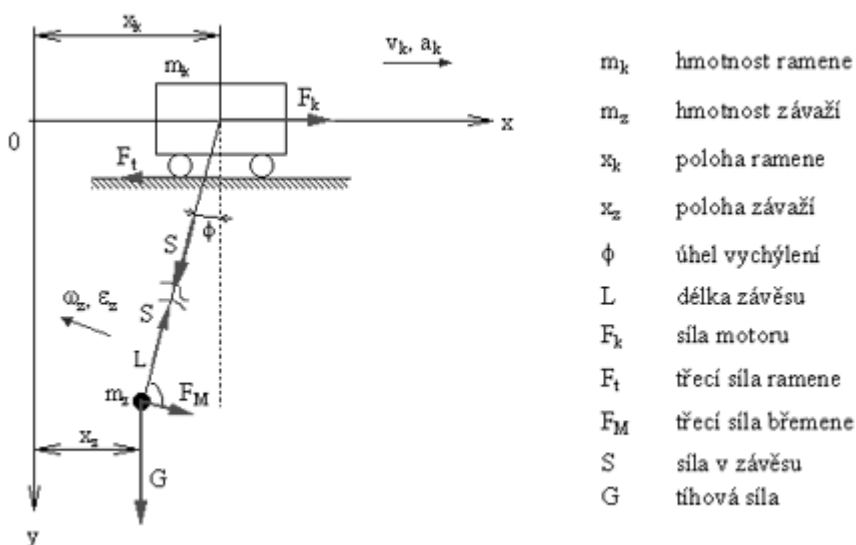
VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení

*petr.noskievic@vsb.cz*

*Abstract. The design of the state position controller and observer of the crane using MATLAB – Simulink and Virtual Reality Toolbox is the topic of this paper. The solution presents the task solved by the students at the Department of Control Systems and Instrumentation Faculty of Mechanical Engineering Technical University of Ostrava. Non-linear mathematical model realised in Simulink was derived using mathematical modelling. The state feedback and observer were computed after model linearisation using MATLAB procedure. The designed controller was tested using Simulink model and using the test rig – laboratory model of the crane. The 3D-model of the same system – the laboratory model of the crane - was created in the virtual reality world and connected with the dynamic model in Simulink using the virtual reality Toolbox. The simulated and measured results of the position control and the 3D-crane model in are shown in presented figures.*

## Úvod

Příspěvek ukazuje použití programu MATLAB – Simulink rozšířeného o Virtual Reality Toolbox ve výuce a praktické činnosti studentů na Katedře automatizační techniky a řízení Fakulty strojní VŠB TU Ostrava. Pomocí matematického modelu jeřábové kočky získaného analytickou identifikací byl proveden návrh řízení se stavovou zpětnou vazbou a pozorovatelem stavu, které umožňuje přemístění kočky s minimálním kýváním zavěšeného břemene. Návrh řízení byl experimentálně ověřen na realizovaném modelu a animován v prostředí virtuální reality pomocí prostorového modelu propojeného s dynamickým modelem realizovaným v Simulinku s využitím Virtual Reality Toolboxu.



Obr. 1 Jeřábová kočka – označení proměnných

Analytická identifikace modelu pojezdu jeřábu vychází ze silového rozboru podle obr.1., ze kterého vyplývá pohybová rovnice kočky

$$m_k \ddot{x}_k = F_k - F_l - S \sin \varphi, \quad (1)$$

a pohybová rovnice břemene

$$m_z \ddot{x}_z = S \sin \varphi - F_m \cos \varphi \quad (2)$$

$$m_z \ddot{y}_z = -S \cos \varphi + m_z g - F_m \sin \varphi. \quad (3)$$

Rovnice pro úhel vychýlení břemene se určí pomocí vztahů mezi souřadnicemi

$$x_z = x_k - l \sin \varphi \quad (4)$$

$$y_z = l \cos \varphi. \quad (5)$$

Po dvojnásobné derivaci podle času

$$\ddot{x}_z = \ddot{x}_k - l \ddot{\varphi} \cos \varphi + l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi \quad (6)$$

$$\ddot{y}_z = -\ddot{\varphi} l \sin \varphi - l \dot{\varphi}^2 \cos \varphi, \quad (7)$$

dosazení do pohybových rovnic břemene (2) a (3)

$$m_z \ddot{x}_k - m_z l \ddot{\varphi} \cos \varphi + m_z l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi = S \sin \varphi - F_m \cos \varphi \quad (8)$$

$$-m_z \ddot{\varphi} l \sin \varphi - m_z l \dot{\varphi}^2 \cos \varphi = -S \cos \varphi + m_z g - F_m \sin \varphi. \quad (9)$$

a následné úpravě se obdrží nelineární diferenciální rovnice druhého řádu pro polohové souřadnice  $x_k$  a  $\varphi_k$

$$\ddot{\varphi} = \frac{F_k \cos \varphi - F_l \cos \varphi - F_m \cos^2 \varphi - m_z l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi \cos \varphi - (m_z + m_k) g \sin \varphi + (m_z + m_k) \frac{F_m}{m_z}}{l(m_z + m_k) - m_z l \cos^2 \varphi} \quad (14)$$

$$\ddot{x}_k = \frac{F_k - F_l - m_z g \sin \varphi \cos \varphi - m_z l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi}{m_z + m_k - m_z \cos^2 \varphi}. \quad (15)$$

Po aplikaci vztahů platných pro malé úhly se získá linearizovaný model ve tvaru

$$\ddot{\varphi} = \frac{F_k - F_l - F_m - (m_z + m_k) g \varphi + (m_z + m_k) \frac{F_m}{m_z}}{m_k l} \quad (16)$$

$$\ddot{x}_k = \frac{F_k - F_l - m_z g \varphi}{m_k}. \quad (17)$$

Rovnice popisující chování motoru má tvar

$$\dot{F}_k = k_1 k_2 u - k_2 k_4 \dot{x}_k - k_3 F_k. \quad (18)$$

Pro řízení polohy jeřábové kočky bylo použito stavové řízení. Návrh pozorovatele stavu a stavové zpětné vazby vychází z linearizovaného stavového modelu systému

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= x_2 \\
 \dot{x}_2 &= -\frac{m_z}{m_k} x_3 + \frac{1}{m_k} x_5 - \frac{F_t}{m_k} \\
 \dot{x}_3 &= x_4 \\
 \dot{x}_4 &= -\frac{g \cdot (m_k + m_z)}{m_k \cdot L} x_3 + \frac{1}{m_k \cdot L} x_5 - \frac{F_M}{m_z \cdot L} + \frac{F_t}{m_k \cdot L} \\
 \dot{x}_5 &= -k_1 k_2 x_2 - k_3
 \end{aligned} \tag{19}$$

resp. zapsáno v maticovém tvaru (20)

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{m_z}{m_k} & 0 & \frac{1}{m_k} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{m_k + m_z}{m_k L} g & 0 & \frac{1}{m_k L} \\ 0 & -k_1 k_2 & 0 & 0 & -k_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ k_1 k_2 \end{bmatrix} \cdot u + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{m_k} \\ 0 & 0 \\ -\frac{1}{m_z L} & \frac{1}{m_k L} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_M \\ F_t \end{bmatrix}$$

$$y = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

Po dosazení číselných hodnot konstant mají matice systému tvar (21)

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1,416 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -29,157 & 0 & 2,5974 \\ 0 & -495 & 0 & 0 & -55 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 22 \end{bmatrix} \quad \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ -18 & 2,297 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad \mathbf{D} = [0]$$

Jelikož model jeřábu obsahuje pět stavových proměnných, z nichž měřeny jsou jen dvě - poloha kočky a vychýlení břemene, byl pro realizaci stavové zpětné vazby navržen pozorovatel stavu. Po stanovení polohy vlastních čísel systému se stavovou zpětnou vazbou a pozorovatele stavu byl s využitím funkce Acker proveden výpočet, který shrnují následující příkazy.

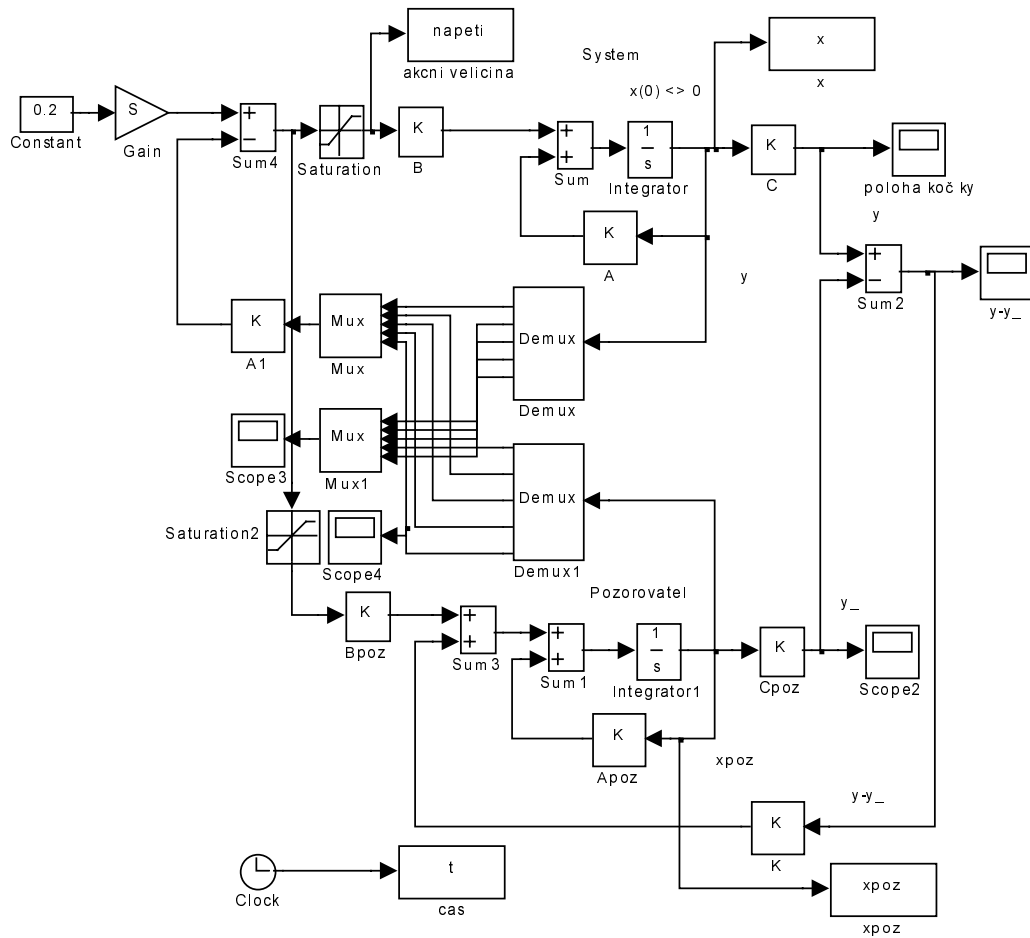
<pre> %jerabova kocka mg=0.144316; mk=1; l=0.385; g=9.81; k1=0.3;k2=55;k3=55;k4=9; %vypocet prvku matice A a23=-mg*g/mk; a25=1/mk; a43=(mk+mg)*g/mk/l; a45=1/mk/l; a52=-k4*k2; a55=-k3; %vypocet prvku matice B b5=k1*k2; %matice systemu A=[0 1 0 0 0;     0 0 a23 0 a25;     0 0 0 1 0;     0 0 -a43 0 a45;     0 a52 0 0 a55]; %matice rizeni B=[0;     -0.02;     0;     -0.1824;     b5]; %matice vystupu C=[1 0 0 0 0]; %matice prevodu D=[0]; </pre>	<pre> %NAVRH POZOROVATELE:  %zadane poly pozorovatele pp=[-19.1;-19.1;-15.5;-15.7;-15.7]; LT=acker(A',C',pp); L=LT';  %STAVOVA ZPETNA VAZBA  %zadane poly systemu p=[-7.1;-7.1;-6.5;-6.7;-6.7];  %kontrola riditelnosti Co=ctrb(A,B); rank(Co)  %kontrola pozorovatelnosti: Ob=obsv(A,C); rank(Ob)  %vypocet regulatoru (zesileni zpetne vazby): K=acker(A,B,p)  %vypocet korekcnioho clenu: S=inv(C*inv(B*K-A)*B) </pre>
---	---

Obr.2 Výpočet stavové zpětné vazby a pozorovatele stavu

Vypočtené hodnoty:

Vektor zesílení zpětné vazby	$\mathbf{K} = [40.1439; -1.5809; 44.8129; -0.1111; -1.2714]$
Korekční člen	$S = 40.1439$
Korekční vektor pozorovatele	$\mathbf{L} = [30; 710; -4211; -2804; -13450]$

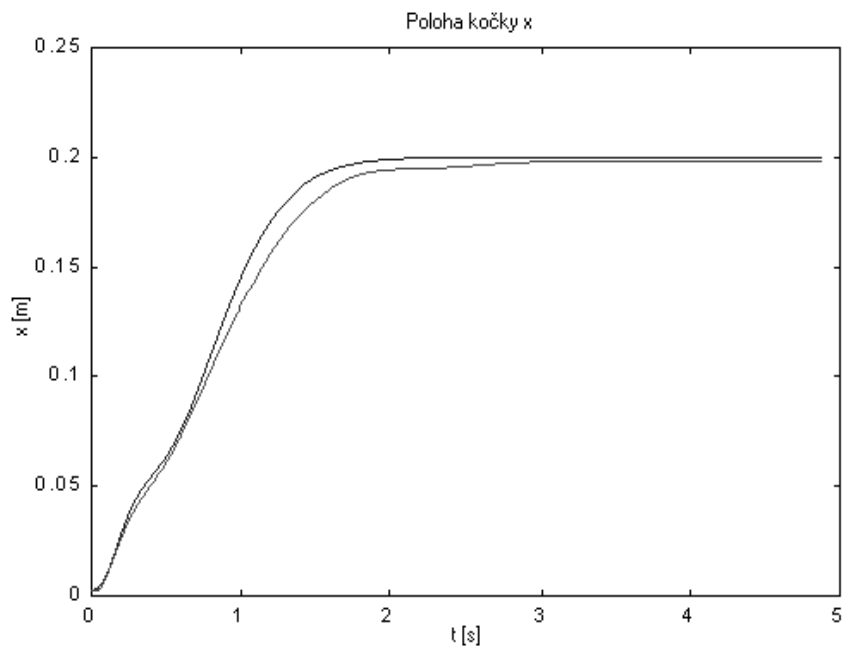
Simulační model řízení se stavovou zpětnou vazbou a pozorovatelem stavu realizovaný s Simulinku ukazuje obr.3 .



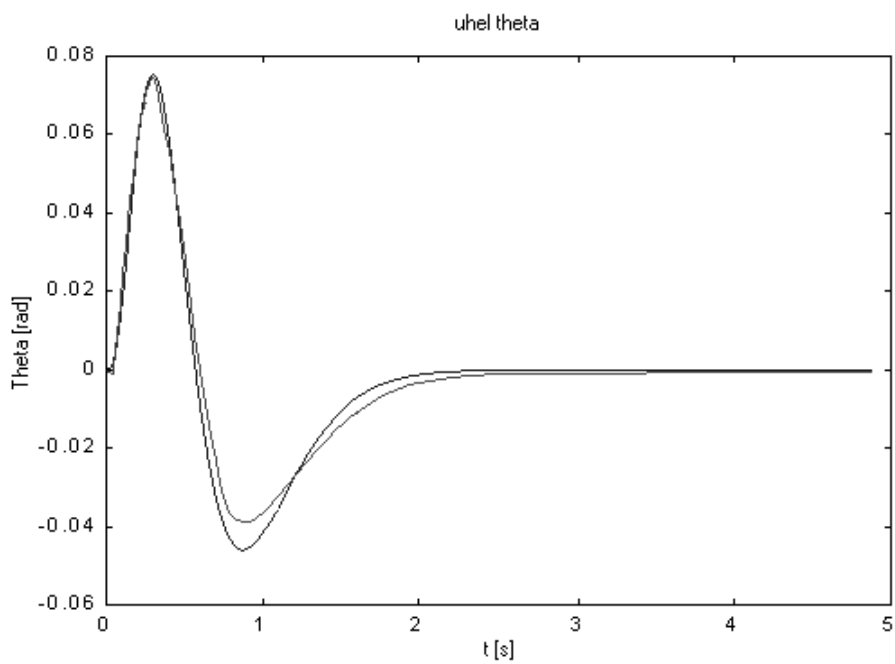
Obr.3 Blokové schéma řízení stavovou zpětnou vazbou s pozorovatelem stavu.

Navržené řízení bylo prakticky ověřeno na realizovaném laboratorním modelu jeřábové kočky v laboratoři řízeném pomocí PC. Za tím účelem byl navržen diskrétní pozorovatel stavu a diskrétní stavová zpětná vazba. Obr.4 a obr.5 ukazují průběhy polohy kočky a vychýlení břemene při skokové změně polohy kočky vyšetřené simulačně a změřené na laboratorním modelu.

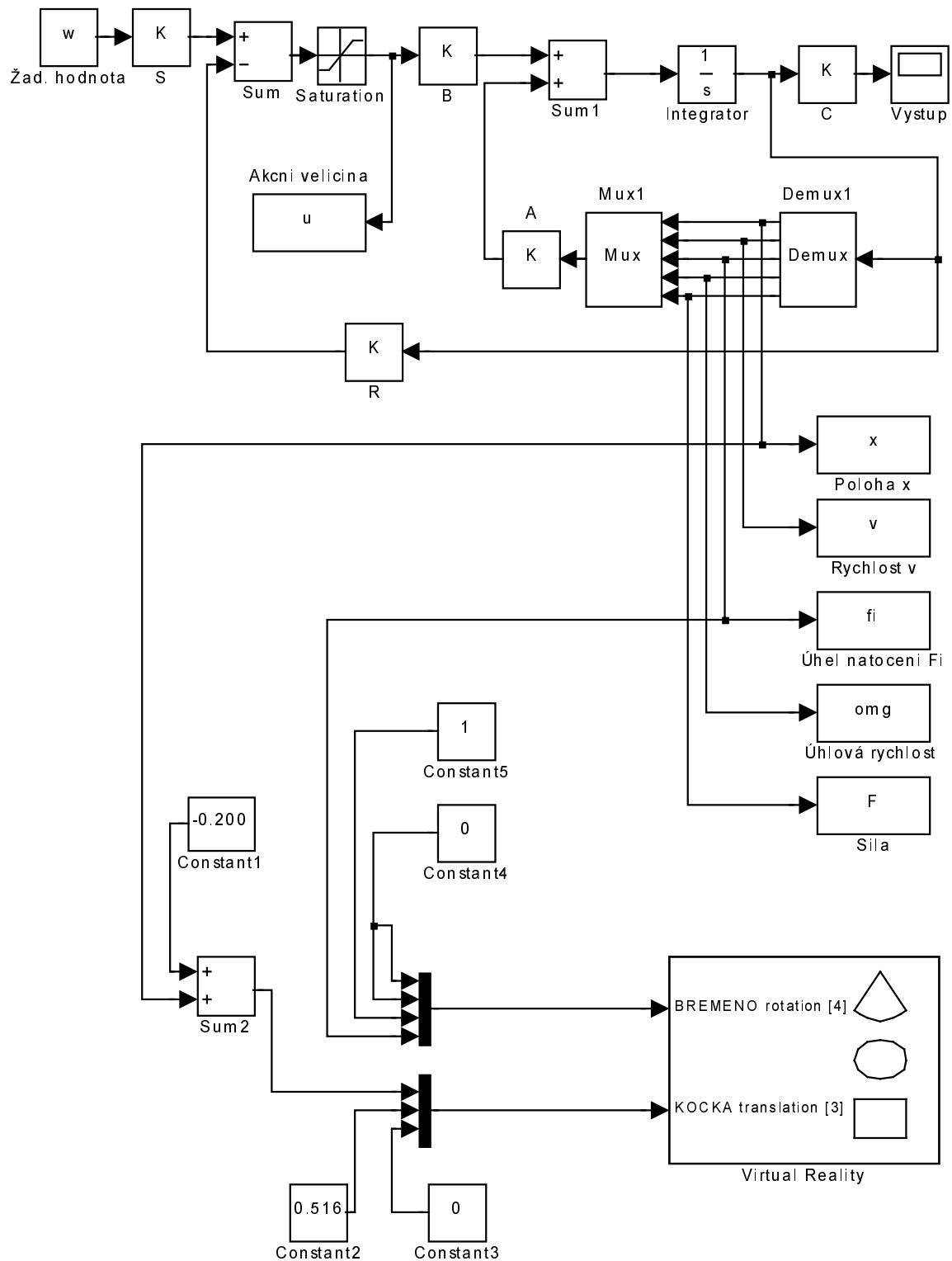
K laboratornímu modelu jeřábové kočky byl sestaven virtuální model a pomocí Virtual Realizy Toolboxu propojen se simulačním modelem v Simulinku, obr.6 a obr.7. V prostředí virtuální reality pak bylo možné pozorovat kývání břemene při použití různých regulátorů obdobně jako na fyzikálním modelu



Obr. 6 Porovnání průběhu polohy kočky modelu jeřábu a simulačního modelu.



Obr.7 Porovnání průběhu úhlu natočení břemena modelu jeřábu a simulačního modelu.



Obr. 6 Simulační model jeřábu a jeho propojení s virtuálním modelem pomocí bloku Virtual Reality



Obr. 7 Pohled na vytvořený virtuální model jeřábu zobrazený v MS IE 5.5

## Závěr

Syntéza stavového řízení s pozorovatelem a jeho význam na změnu dynamických vlastností řízeného systému je ukázána v příspěvku. Dynamické vlastnosti systému byly vyšetřeny simulačně realizací nelineárního a linearizovaného modelu v programu Simulink, dále experimentálně pomocí realizovaného laboratorního modelu jeřábu a pomocí animace vytvořeného prostorového modelu v prostředí virtuální reality a propojeného s dynamickým modelem prostřednictvím Virtual Reality Toolboxu.

Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru CEZ:J17/98:272300011 "Modelování, simulace a řízení složitých dynamických systémů výrobně-dopravních komplexů".

## Literatura

Noskievič, P., 1999. *Modelování a identifikace systémů*. 1. vyd. Ostrava: MONTANEX, a.s. 276s. ISBN 80-7225-030-2.

Noskievič, P., 1992. *Simulace systémů*. Skripta VŠB-TU Ostrava. 214 s. ISBN 80-7078-112-2.

Ogata, K., 1993. *Solving Control Engineering Problems With MATLAB*. Englewood Cliffs (New Jersey), Prentice Hall. ISBN 0-13-045907-0.

Pospíšek, S., 1999. *Experimentální identifikace dynamických systémů*. Diplomová práce, VŠB –TU Ostrava.

Vaněk, M., 2001. *Řízení mechatronických systémů*. Diplomová práce FS, VŠB-TU Ostrava, 2001, 64 stran.

Strnad, K., 2001. *Virtuální laboratoř mechatronických systémů*. Diplomová práce FS, VŠB-TU Ostrava, 2001, 70 stran.