

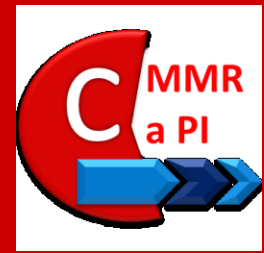


NÁVRH METODIKY PRE DIAGNOSTIKU MODELOV FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV A JEJ APLIKÁCIA DO DISTRIBUOVANÉHO SYSTÉMU RIADENIA

Školiteľ:

Ing. Matej Oravec

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.



CMMRaPI

KKUI

FEI

TUKE

Obhajoba
DZP

28.6.2018

Košice

MOTIVÁCIA PRE RIEŠENIE DIZERTAČNEJ PRÁCE

- súčasný trend zvyšovanie spoľahlivosti riadených komplexných dynamických systémov
- metódy diagnostiky chýb úzko súvisia s modelovaním fyzikálnych systémov a teóriou ich riadenia
- metódy diagnostiky chýb sa orientujú na sieťové riadiace štruktúry s využitím rôznych komunikačných protokolov



CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

- 1.** spracovať teoretické východiská, analyzovať klasické/inteligentné metódy, prístupy a prostriedky pre meranie a vyhodnocovanie parametrov nedeštruktívnej diagnostiky fyzikálnych systémov
- 2.** vypracovať metodiku pre diagnostiku chýb fyzikálnych systémov s využitím metód založených na modeloch a metód založených na dátach a aplikovať ju do návrhu algoritmov riadenia odolného voči chybám
- 3.** overiť metodiku návrhu diagnostického a riadiaceho systému na modelových aplikáciách s využitím vhodných radiacích štruktúr a simulačných nástrojov
- 4.** vytvoriť experimentálne pracovisko pre realizáciu úloh nedeštruktívnej diagnostiky s aplikačným využitím v riadení kybernetických systémov v rámci štruktúry DSR na školiacom pracovisku

ŠTRUKTÚRA OBHAJOBY

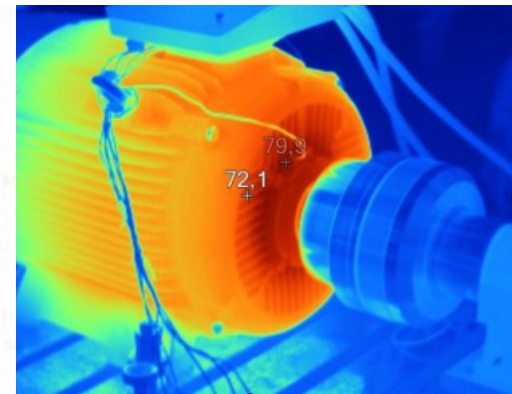
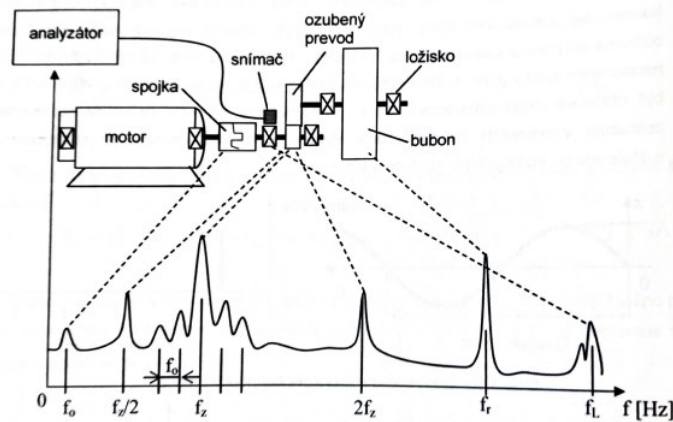
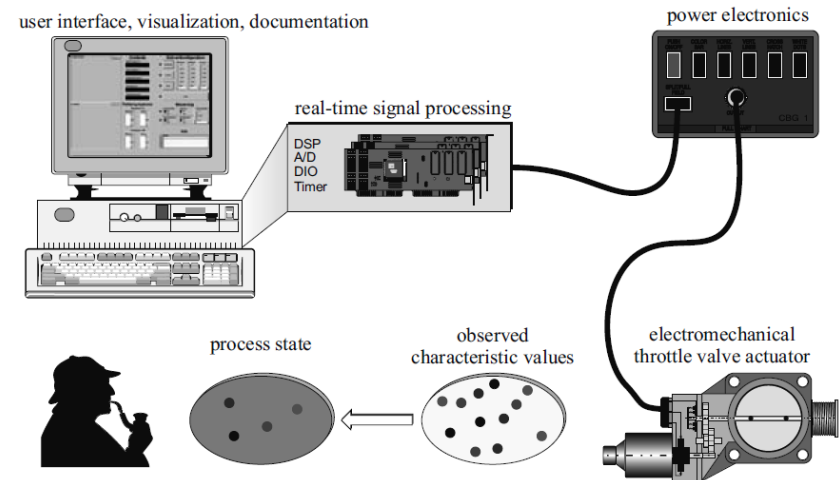
- 1.** základné poznatky z diagnostiky chýb fyzikálnych systémov
- 2.** návrh metodiky pre diagnostiku chýb fyzikálnych systémov
- 3.** overenie navrhutej metodiky diagnostiky chýb fyzikálnych systémov
- 4.** prínosy dizertačnej práce

1. ZÁKLADNÉ POZNATKY Z DIAGNOSTIKY CHÝB FYZIKÁLNÝCH SYSTEMOV

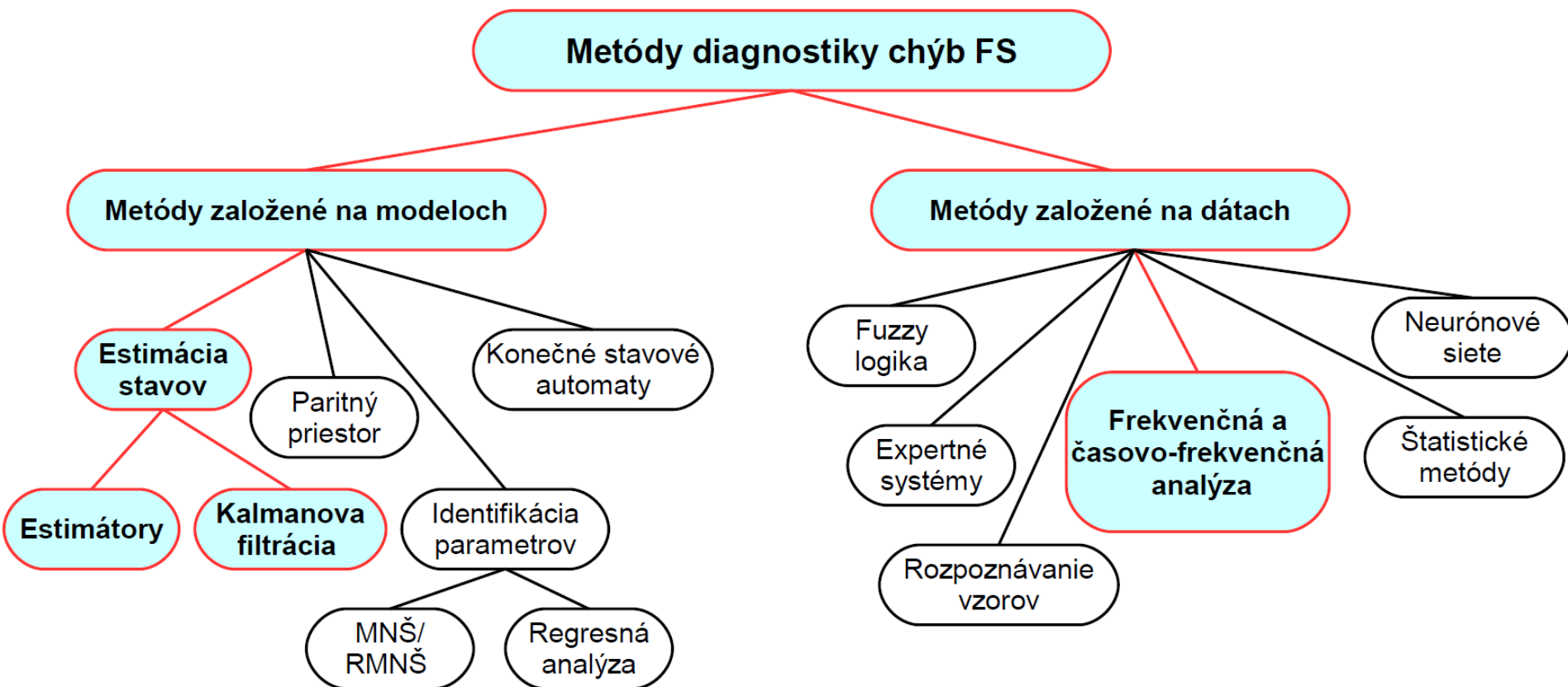
SPÔSOBY DIAGNOSTIKY CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV

- v súčasnosti → priebežná diagnostika chýb fyzikálnych systémov
- implementácia diagnostických systémov v distribuovanej sieťovej riadiacej architektúre
- využívané rôzne metódy diagnostiky chýb:

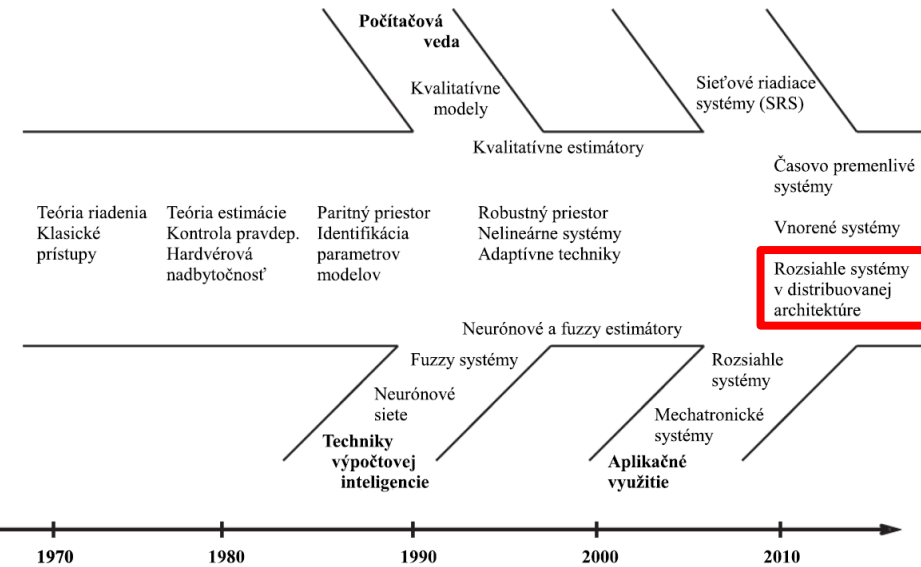
- *estimátory stavov,*
- *Kalmanove filtre,*
- *expertné systémy,*
- *neurónové siete,*
- *vibrodiagnostika,*
- *hluková diagnostika,*
- *termodiagnostika*



ROZDELENIE METÓD DIAGNOSTIKY CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV

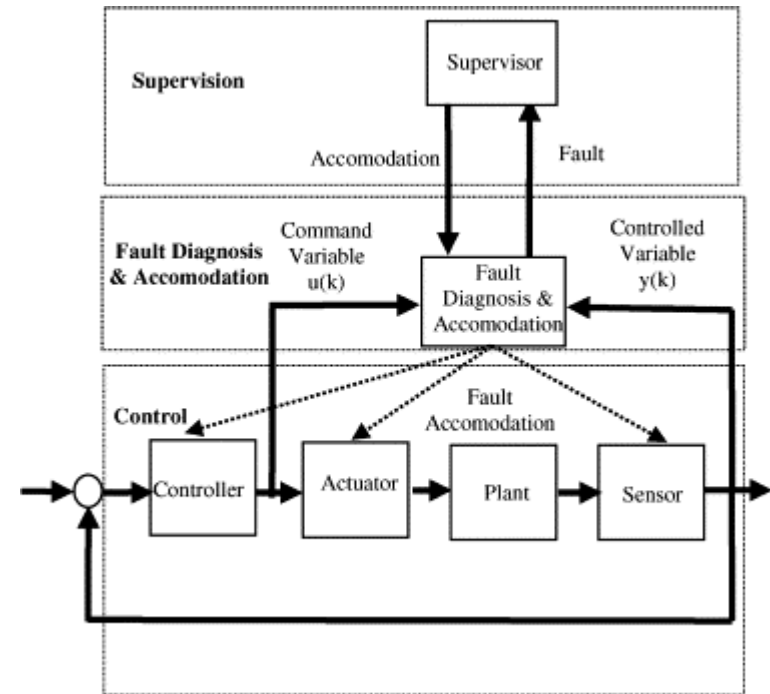


IMPLEMENTÁCIA DIAGNOSTICKÝCH SYSTÉMOV V DISTRIBUOVANEJ ARCHITEKTÚRE



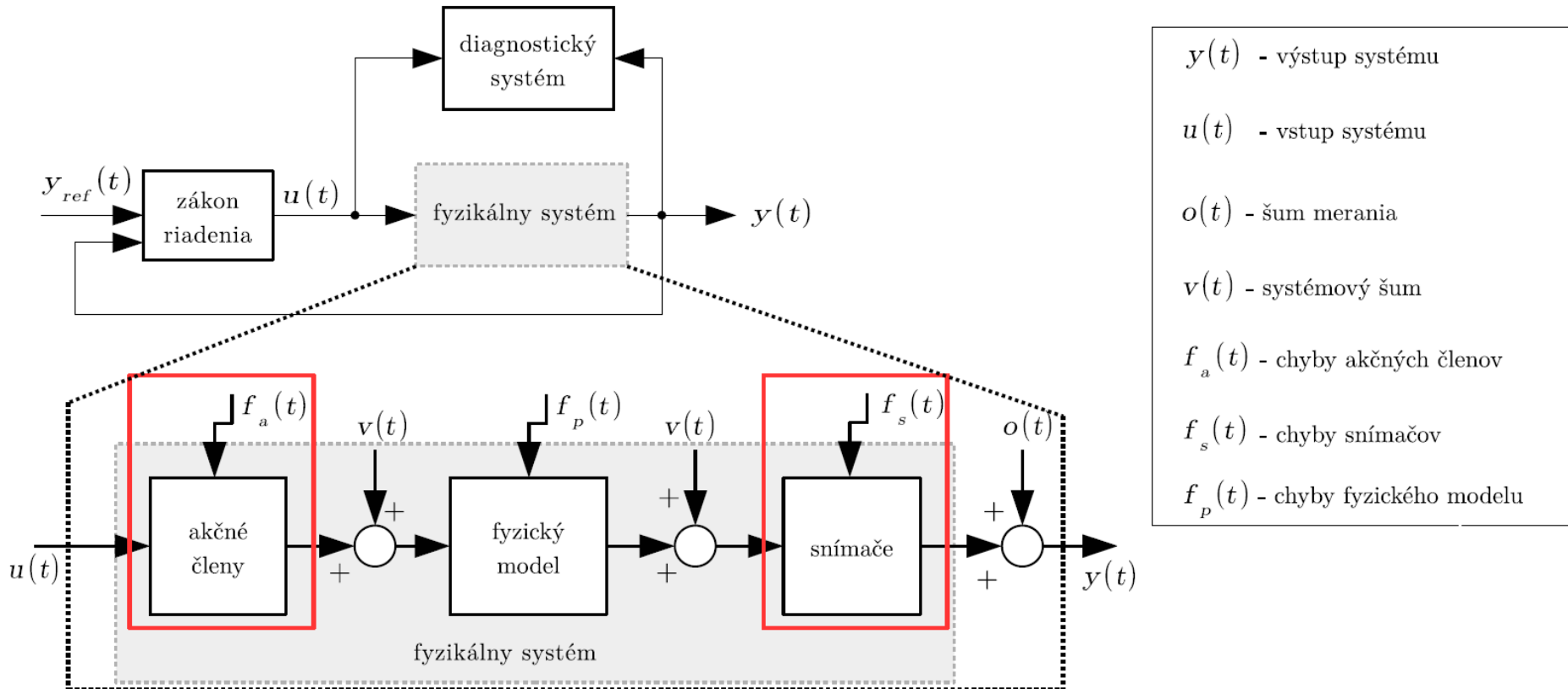
Ding S.: Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools, Springer Science & Business Media

Noura, H., et al.: Fault-tolerant control systems: Design and practical applications, Springer Science & Business Media



Puig V., Quevedo J.: Fault-tolerant PID controllers using a passive robust fault diagnosis approach, Control Engineering Practice

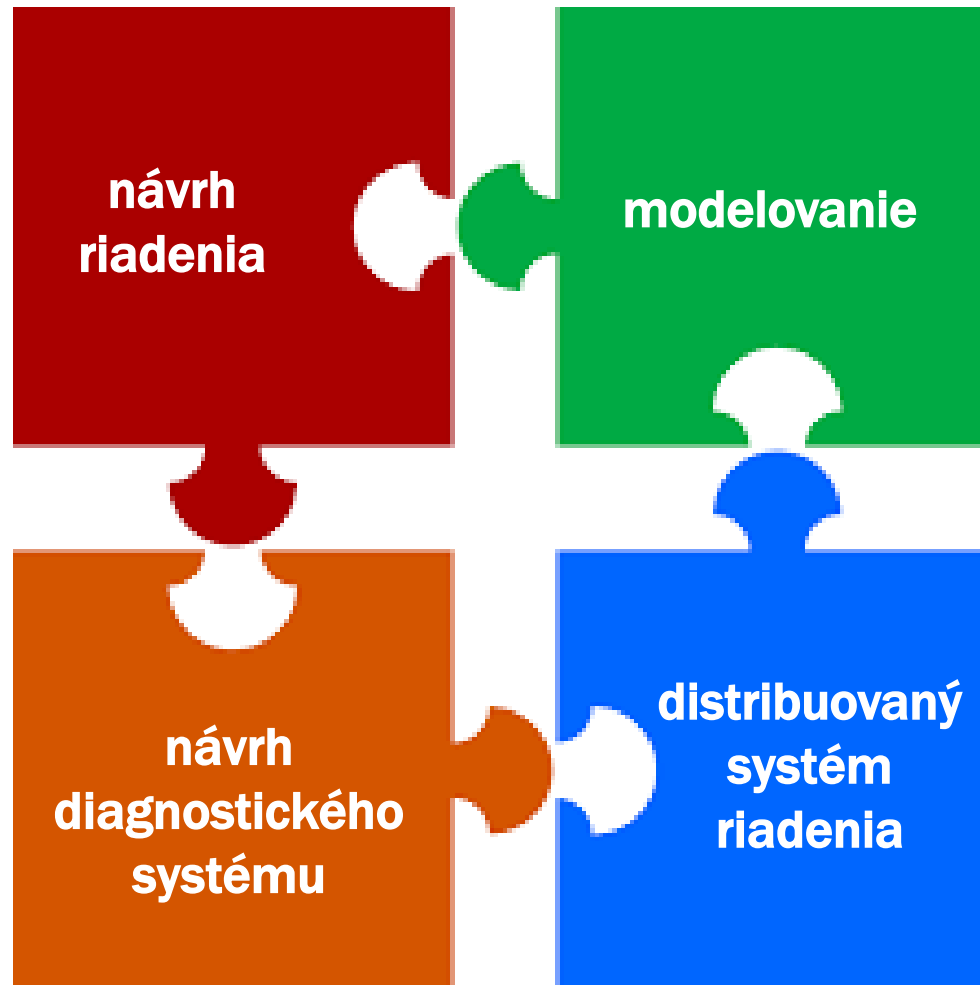
OBJEKT ZÁUJMU – FYZIKÁLNÝ SYSTÉM



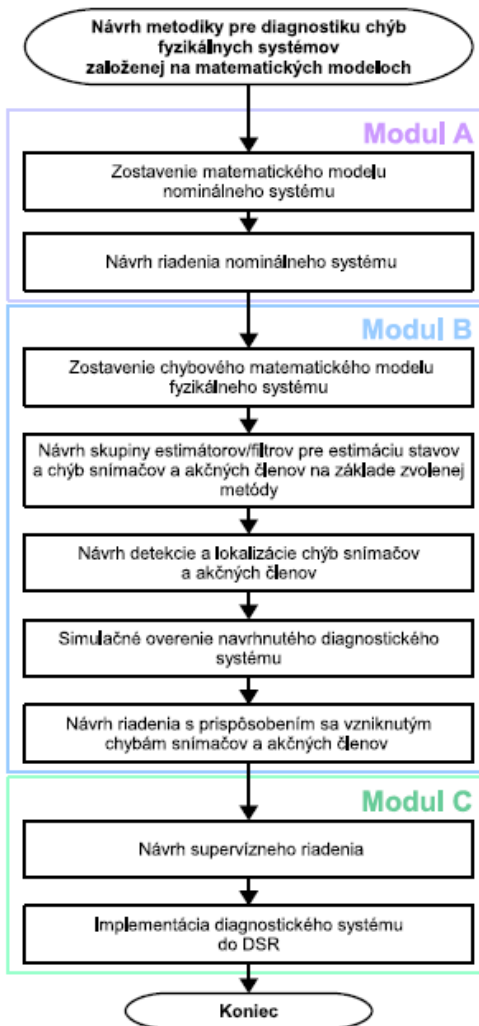
nominálny systém – fyzikálny systém bez vplyvu chýb

2. NÁVRH METODIKY PRE DIAGNOSTIKU CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTEMOV

NÁVRH METODIKY PRE DIAGNOSTIKU CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV

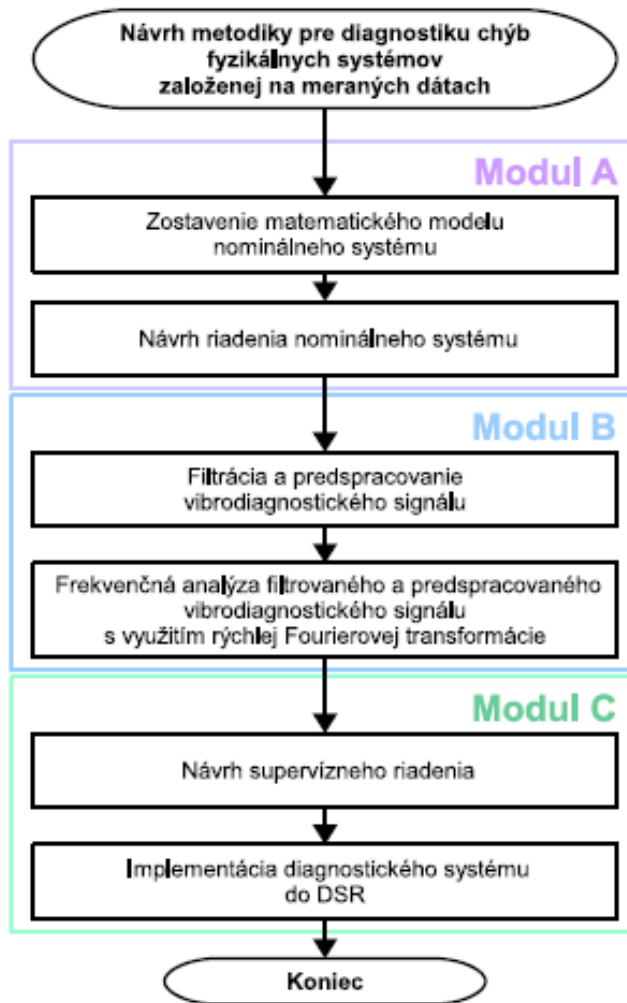


NÁVRH METODIKY PRE DIAGNOSTIKU CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV ZALOŽENEJ NA MATEMATICKOM MODELI



- **Modul A**
 - zostavenie nominálneho systému
 - návrh riadenia nominálneho systému
- **Modul B**
 - zostavenie chybového matematického modelu
 - návrh skupiny estimátorov/filtrov pre estimovanie stavov a chýb snímačov/akčných členov
 - návrh detekcie a lokalizácie chýb
 - simulačné/experimentálne overenie navrhnutého diagnostického systému
 - návrh riadenia s prispôbením sa chybám
- **Modul C**
 - supervízne riadenie
 - implementácia do DSR

NÁVRH METODIKY PRE DIAGNOSTIKU CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV ZALOŽENEJ NA MERANÝCH DÁTACH



- **Modul A**
 - zostavenie nominálneho systému
 - návrh riadenia nominálneho systému
- **Modul B**
 - filtrácia a predspracovanie meraného signálu
 - frekvenčná analýza filtrovaného a predspracovaného signálu s využitím FFT
- **Modul C**
 - supervízne riadenie
 - implementácia do DSR

3. OVERENIE NAVRHNUTEJ METODIKY PRE DIAGNOSTIKU CHÝB FYZIKÁLNYCH SYSTÉMOV

**simulačné overenie:
Scenár 1, Scenár 2**

**experimentálne overenie:
Scenár 3, Scenár 4**

3. SCENÁR 1

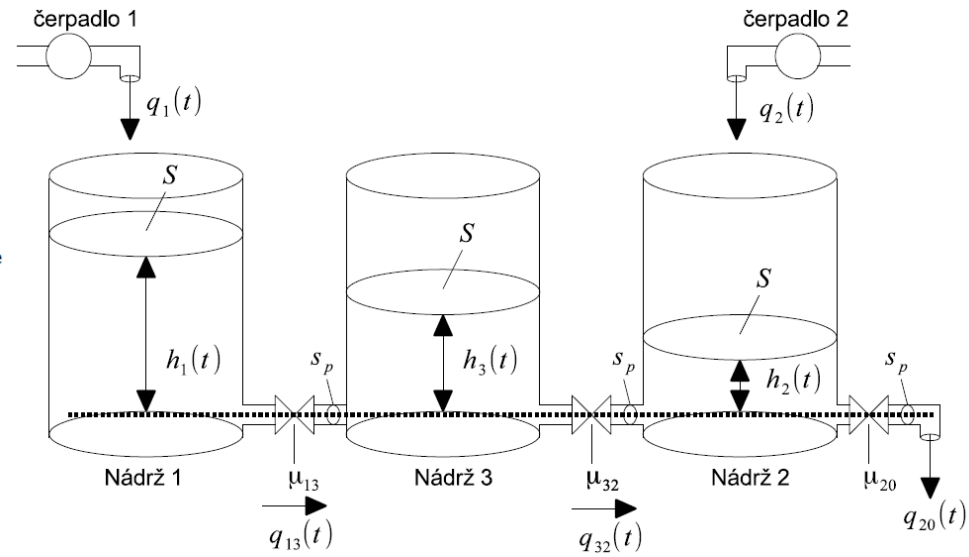
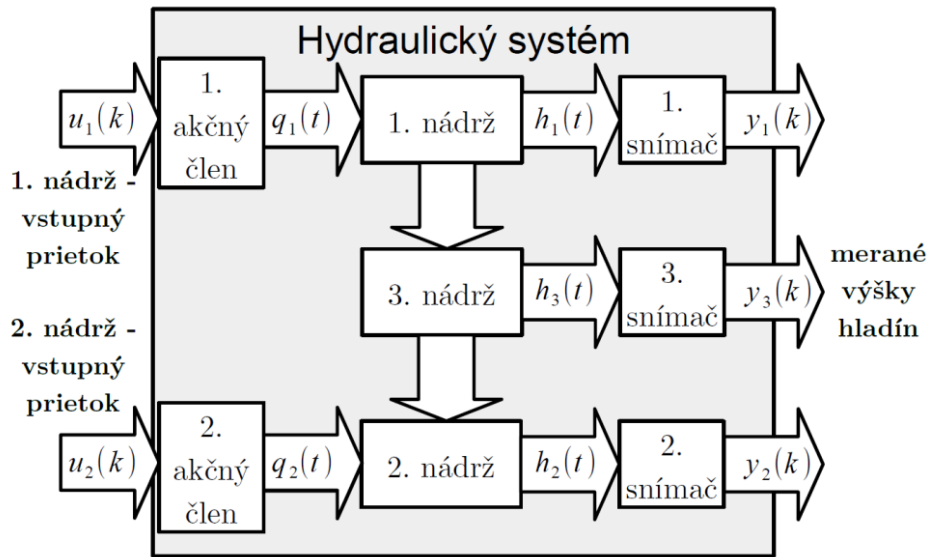
Modul A

Modul B

simulačné overenie navrhnutej metodiky pre diagnostiku chýb fyzikálneho systému založenej na matematickom modeli

Simulačný
model
hydraulický
systém
tri nádrže v
interakcii

SYSTÉMOVÝ OPIS FYZIKÁLNEHO SYSTÉMU – TRI NÁDRŽE V INTERAKCII



■ matematický model:

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{1}{S} (q_1(t) - q_{13}(t))$$

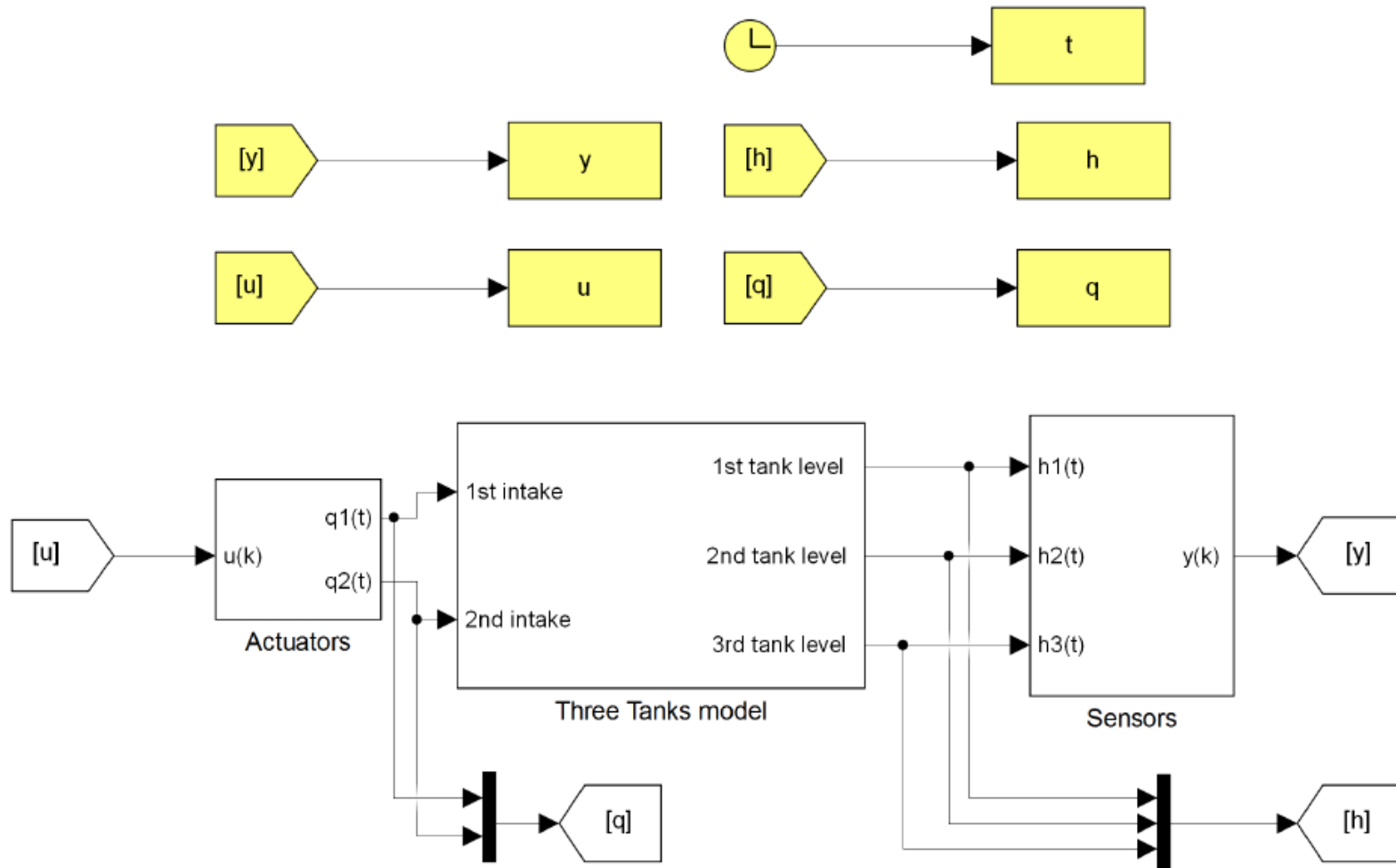
$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{1}{S} (q_2(t) + q_{32}(t) - q_{20}(t))$$

$$\frac{dh_3(t)}{dt} = \frac{1}{S} (q_{13}(t) - q_{32}(t))$$

■ MIMO systém

■ implementovaný v prostredí MATLAB/Simulink

SIMULAČNÝ MODEL FYZIKÁLNEHO SYSTÉMU – TRI NÁDRŽE V INTERAKCII



MODUL A: NOMINÁLNY SYSTÉM – TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

- linearizovaný matematický model v $\mathbf{PB} = [\mathbf{x}_{\text{PB}}, \mathbf{u}_{\text{PB}}]$ a diskretizovaný pri $T_{\text{vz}} = 1\text{s}$

$$\mathbf{PB} = \begin{cases} \mathbf{x}_{\text{PB}} = [h_{1,\text{PB}}, h_{2,\text{PB}}, h_{3,\text{PB}}] \text{ m} \\ \mathbf{u}_{\text{PB}} = [q_{1,\text{PB}}, q_{2,\text{PB}}] \text{ m}^3/\text{s} \end{cases}$$

- nominálny systém v tvare stavového opisu (MIMO):

$$\Delta \mathbf{x}(k+1) = \underbrace{\begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_d} \Delta \mathbf{x}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} \\ b_{2,1} & b_{2,2} \\ b_{3,1} & b_{3,2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_d} \Delta \mathbf{u}(k),$$

$$\Delta \mathbf{y}(k) = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}^T} \Delta \mathbf{x}(k),$$

- využitý pre návrh riadenia

MODUL A: NÁVRH RIADENIA NOMINÁLNEHO SYSTÉMU – TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

- optimálne stavové LQ riadenie:

$$\mathbf{u}(k) = -\mathbf{K}_{fb}(k)\mathbf{x}(k)$$

- funkcionál:

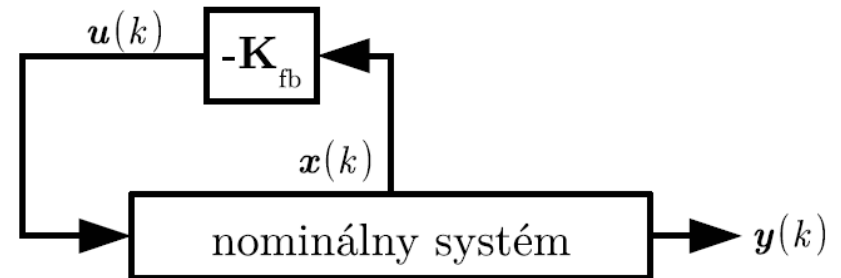
$$J_{LQ} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\mathbf{x}^T(k)\mathbf{Q}\mathbf{x}(k) + \mathbf{u}^T(k)\mathbf{R}\mathbf{u}(k) \right)$$

- stavový opis nominálneho systému:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}_d\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}_d\mathbf{u}(k)$$

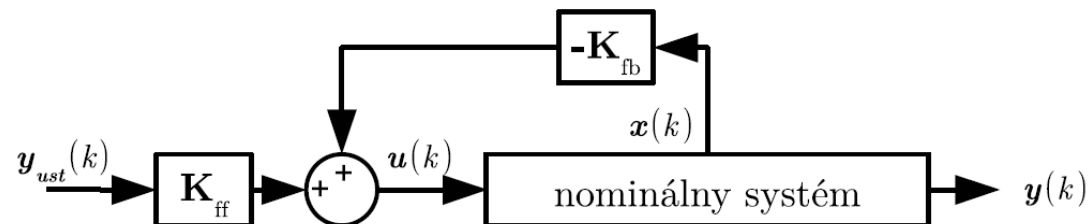
$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k),$$

- cieľ riadenia do pracovného bodu



- cieľ riadenia - nový ustálený stav

$$\mathbf{u}(k) = \mathbf{K}_{ff}\mathbf{y}_{ust}(k) - \mathbf{K}_{fb}\mathbf{x}(k)$$



MODUL A: NÁVRH RIADENIA NOMINÁLNEHO SYSTÉMU – TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

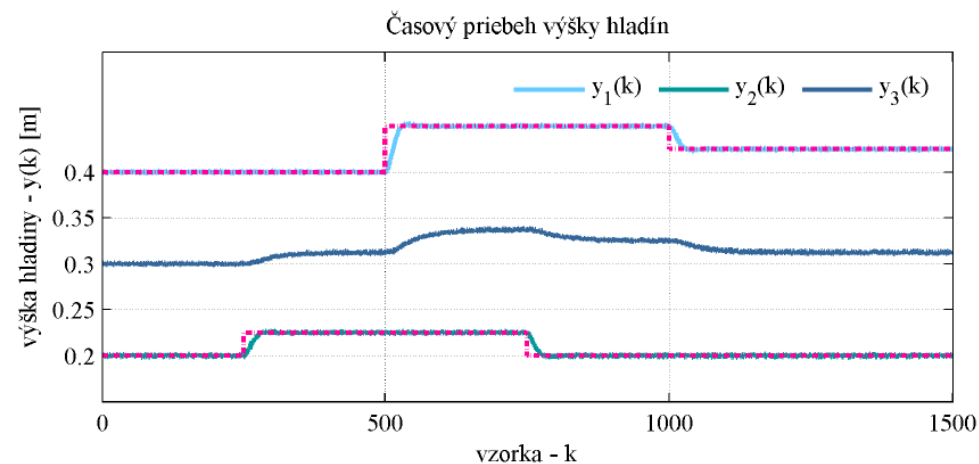
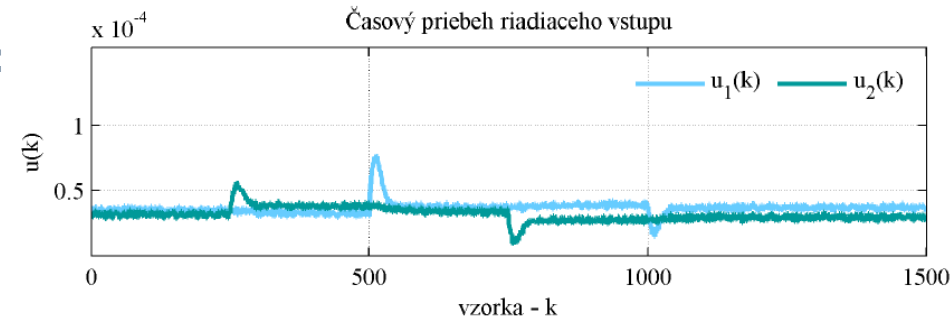
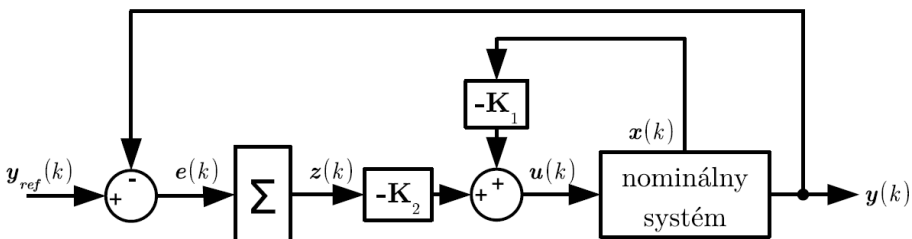
- optimálne stavové LQ riadenie s integrátorom regulačnej odchýlky:

$$\mathbf{u}(k) = -\mathbf{K}_1\mathbf{x}(k) - \mathbf{K}_2\mathbf{z}(k)$$

- iteračný výpočet:

$$\mathbf{z}(k+1) = \mathbf{z}(k) + T_s (\mathbf{y}_{ref}(k) - \mathbf{C}_1\mathbf{x}(k))$$

- cieľ riadenia - sledovanie zmien výšok hladín v 1. a 2. nádrži

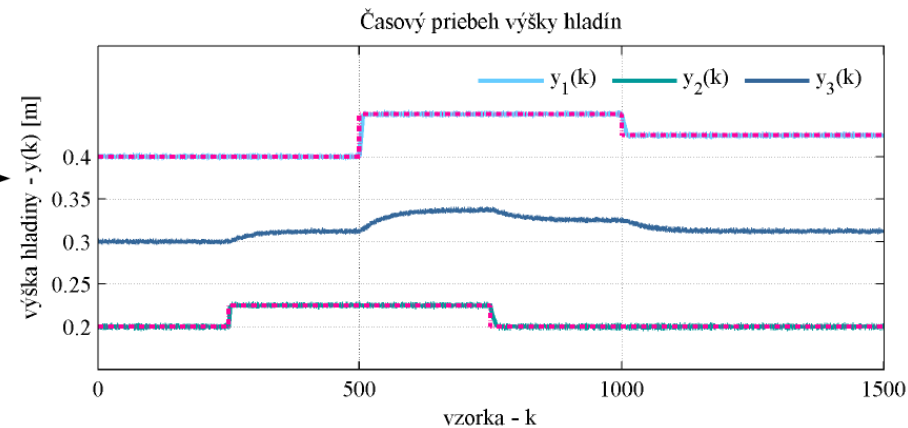
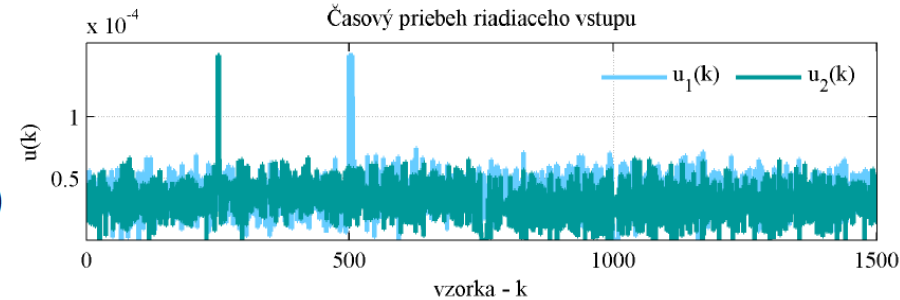
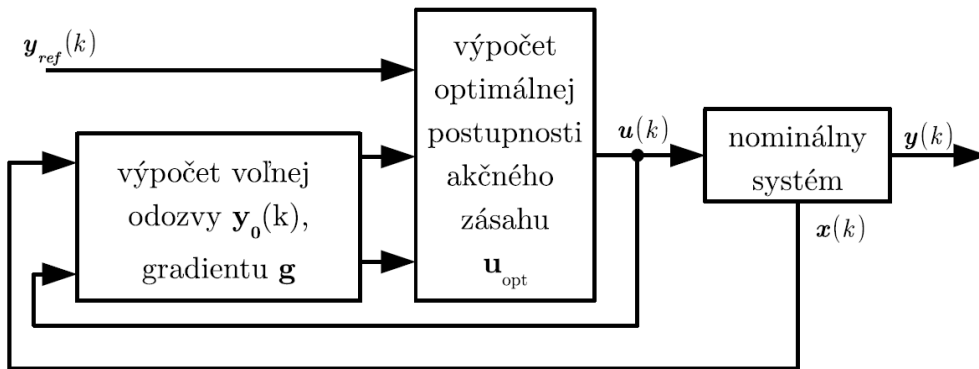


MODUL A: NÁVRH RIADENIA NOMINÁLNEHO SYSTÉMU – TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

- prediktívne riadenie
- funkcionál:

$$J_{MPC} = \sum_{i=1}^{N_p} \mathbf{Q} [\tilde{\mathbf{y}}(k+i) - \mathbf{y}_{ref}(k+i)]^2 + \sum_{i=1}^{N_u} \mathbf{R} [\tilde{\mathbf{u}}(k+i-1)]$$

- aplikované funkcie MPC toolbox-u



MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

- cieľ: detekcia a estimácia chýb snímačov/akčných členov
- chybové matematické modely v deskriptorovom tvare:

$$\mathbf{E}\bar{\mathbf{x}}_l(k+1) = \bar{\mathbf{A}}\bar{\mathbf{x}}_l(k) + \bar{\mathbf{B}}\mathbf{u}(k) + \bar{\mathbf{G}}\mathbf{v}(k)$$

$$\bar{\mathbf{y}}_l(k) = \bar{\mathbf{C}}\bar{\mathbf{x}}_l(k) + \mathbf{o}(k)$$

- snímače: $\bar{\mathbf{x}}_l(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{f}_s(k) \end{bmatrix}$, $\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_n & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$,
 $l = 1, 2, 3$

$$\bar{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_d & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix}, \bar{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_d \\ \mathbf{0} \end{bmatrix},$$

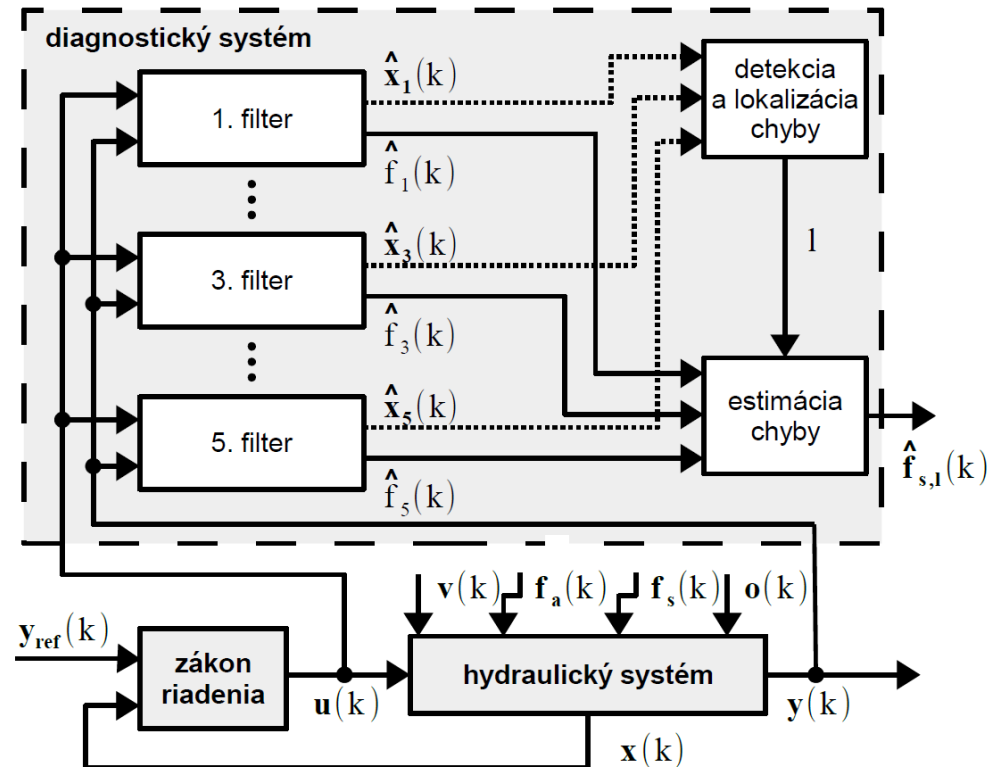
$$\bar{\mathbf{G}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_n \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \bar{\mathbf{C}} = [\mathbf{C}^T \quad \mathbf{F}_s^T]$$

- akčné členy: $\bar{\mathbf{x}}_l(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{f}_a(k) \end{bmatrix}$, $\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_n & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_q \end{bmatrix}$,
 $l = 4, 5$

$$\bar{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_d & \mathbf{F}_a \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_q \end{bmatrix}, \bar{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_d \\ \mathbf{0} \end{bmatrix},$$

$$\bar{\mathbf{G}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_n \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \bar{\mathbf{C}} = [\mathbf{C}^T \quad \mathbf{0}]$$

- návrh diagnostického systému s využitím skupiny filtrov



MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

- estimácia rozšíreného stavového vektora:

$$\hat{\mathbf{x}}_l(k+1|k) = \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \hat{\mathbf{x}}_l(k|k-1) + \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{B}}_l \mathbf{u}(k) + \mathbf{L}_l(k) \left(\mathbf{y}(k) - \bar{\mathbf{C}}_l \hat{\mathbf{x}}_l(k|k-1) \right) + \mathbf{N}_l \mathbf{y}(k+1),$$

- zosilnenie filtra: $\mathbf{L}_l(k) = \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \mathbf{P}_{e,l}(k|k-1) \bar{\mathbf{C}}_l^T \left[\bar{\mathbf{C}}_l \mathbf{P}_{e,l}(k|k-1) \bar{\mathbf{C}}_l^T + \mathbf{R}_o \right]^{-1}$

- iteračný výpočet kovariančnej matice:

- pre snímače:

$$\mathbf{P}_{e,l}(k+1|k) = \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \mathbf{P}_{e,l}(k|k-1) \left(\mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \right)^T - \mathbf{L}_l(k) \bar{\mathbf{C}}_l \mathbf{P}_{e,l}(k|k-1) \left(\mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \right)^T + \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{G}} \mathbf{Q}_v \left(\mathbf{T}_l \bar{\mathbf{G}} \right)^T + \mathbf{N}_l \mathbf{R}_o \mathbf{N}_l^T,$$

pre: $l = 1, 2, 3$

- pre akčné členy:

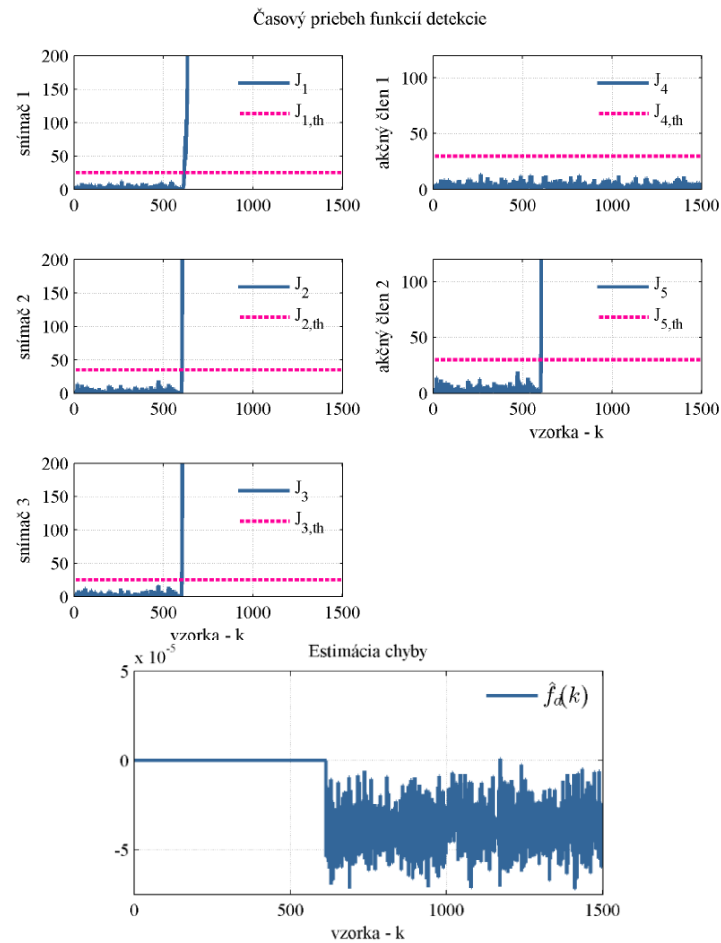
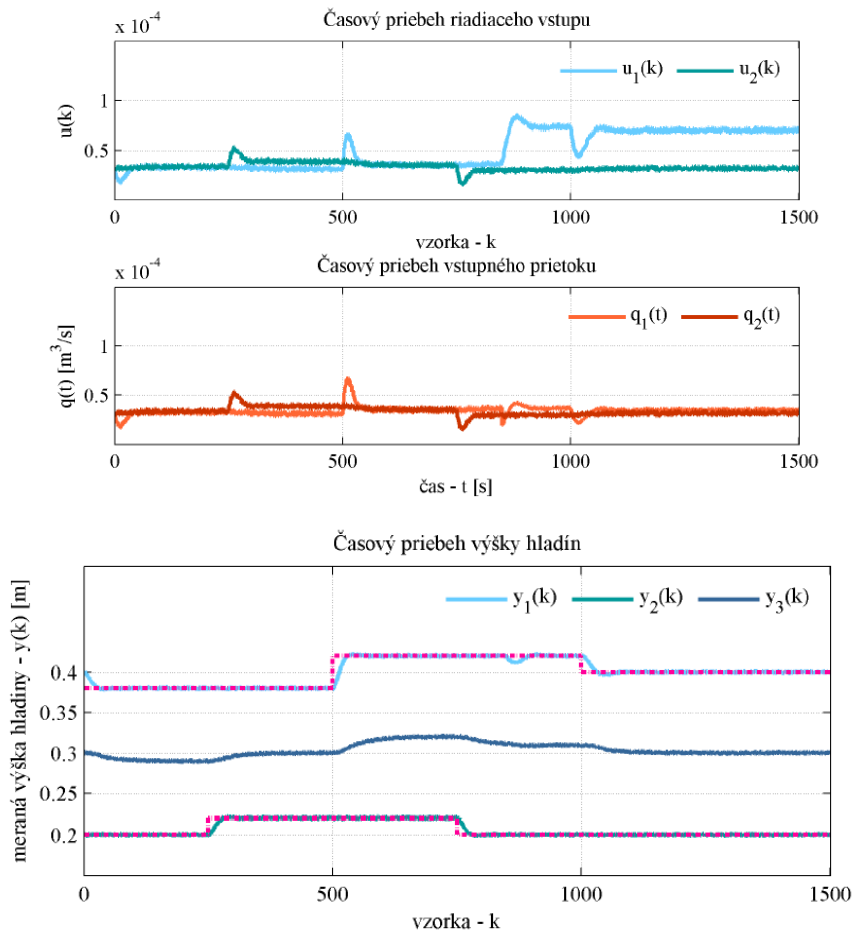
$$\mathbf{P}_{e,l}(k+1|k) = \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \mathbf{P}_{e,l}(k|k-1) \left(\mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \right)^T - \mathbf{L}_l(k) \bar{\mathbf{C}}_l \mathbf{P}_{e,l}(k|k-1) \left(\mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \right)^T + \mathbf{T}_l \mathbf{Q}_v \mathbf{T}_l^T + \mathbf{N}_l \mathbf{R}_o \mathbf{N}_l^T,$$

pre: $l = 4, 5$

Sensors fault diagnosis algorithm design of a hydraulic system / Matej Oravec, Anna Jadlovská. In: Acta Electrotechnica et Informatica. Roč. 17, č. 2 (2017), s. 30-37. (ADF)

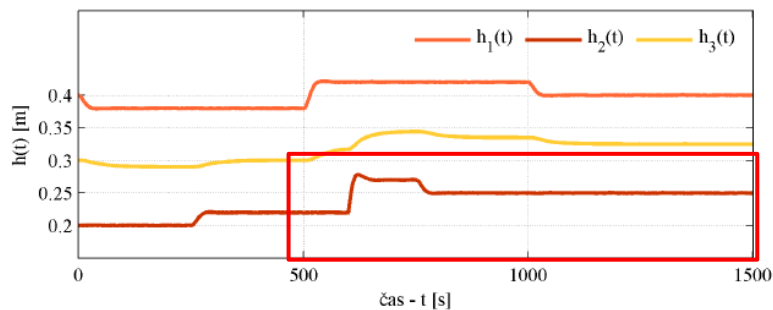
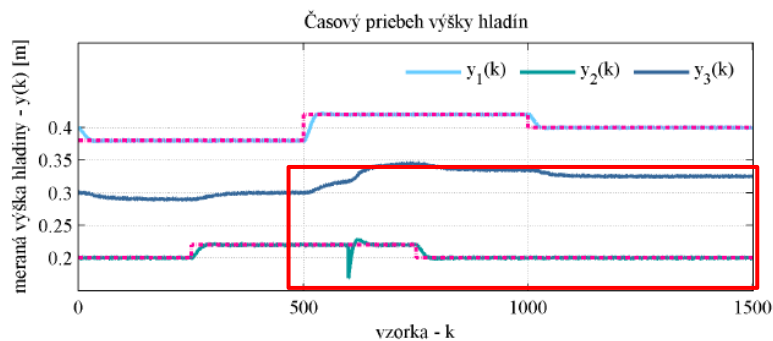
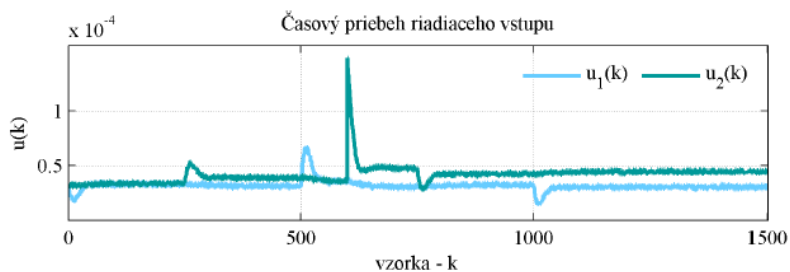
MODUL B: SIMULAČNÉ OVERENIE DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - TRI NÁDRŽE V INTERAKCI – CHYBA AKČNÉHO ČLENA

- multiplikatívna chyba 1. AČ (strata výkonu o 50%) v $T_f = 600s$

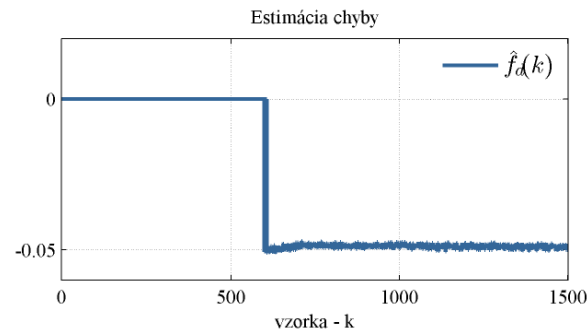
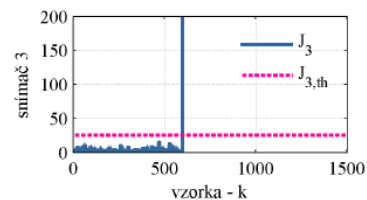
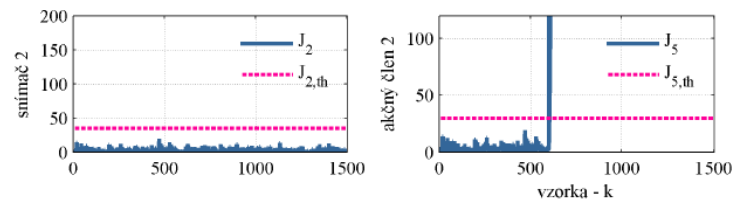
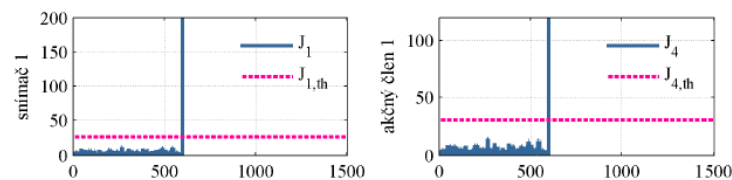


MODUL B: SIMULAČNÉ OVERENIE DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - TRI NÁDRŽE V INTERAKCII – CHYBA SNÍMAČA

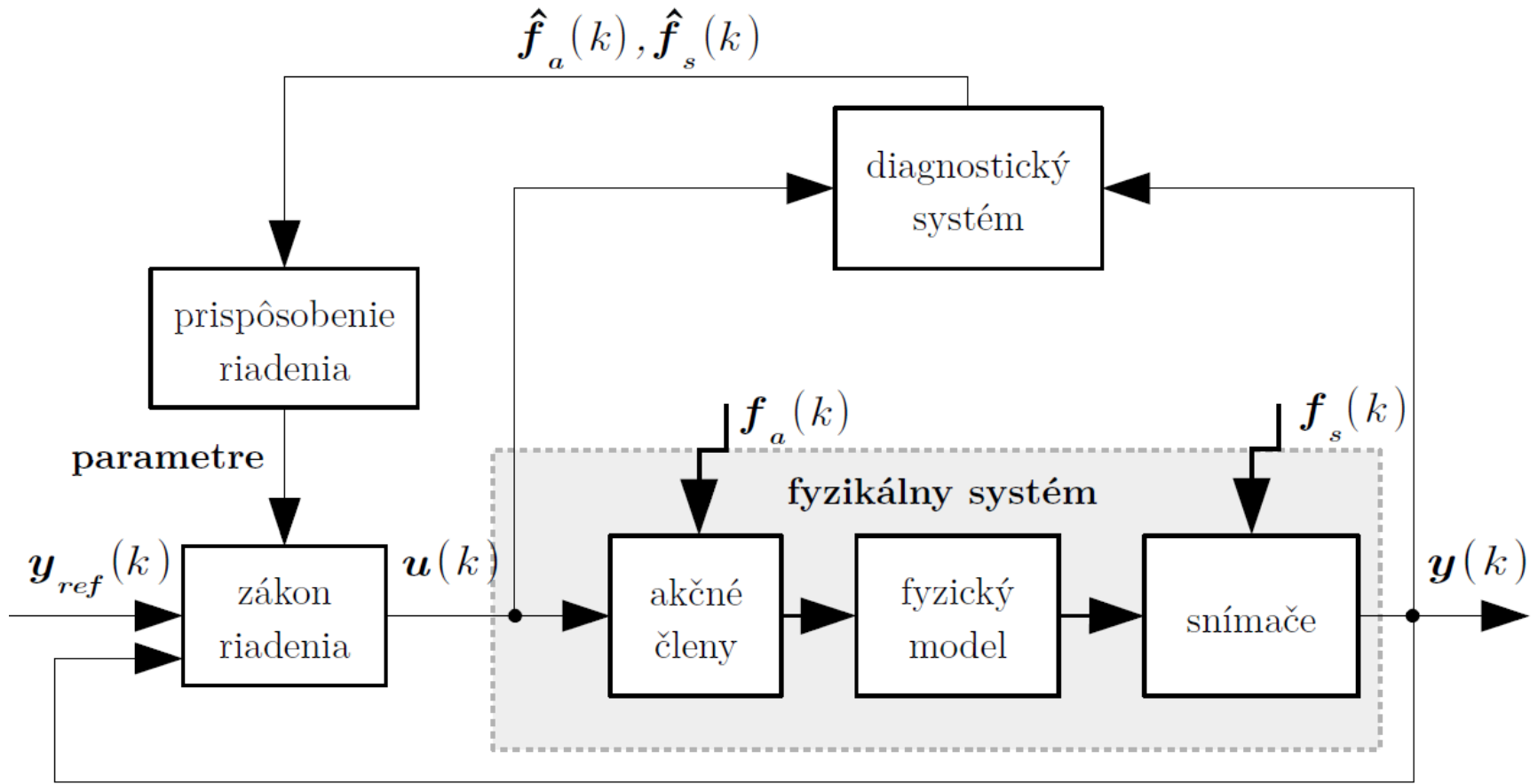
- aditívna chyba 2. SN (konštantná chyba -0.05m) v $T_f = 600s$



Časový priebeh funkcií detekcie

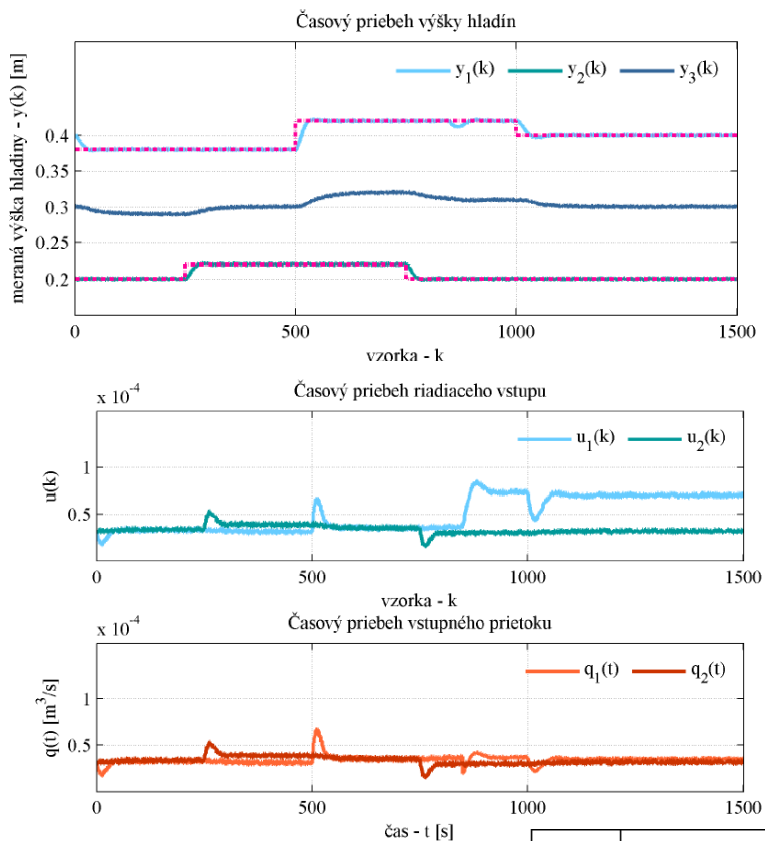


MODUL B: RIADENIE S PRISPÔSOBENÍM SA CHYBE

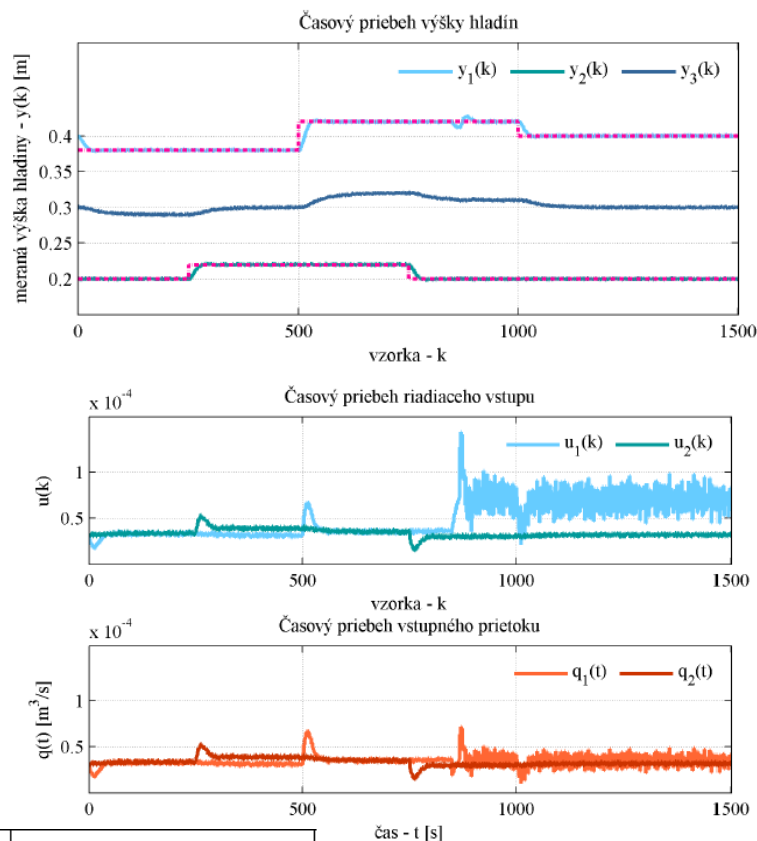


MODUL B: RIADENIE S PRISPÔSOBENÍM SA CHYBE AKČNÉHO ČLENA - TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

■ bez prispôsobenia



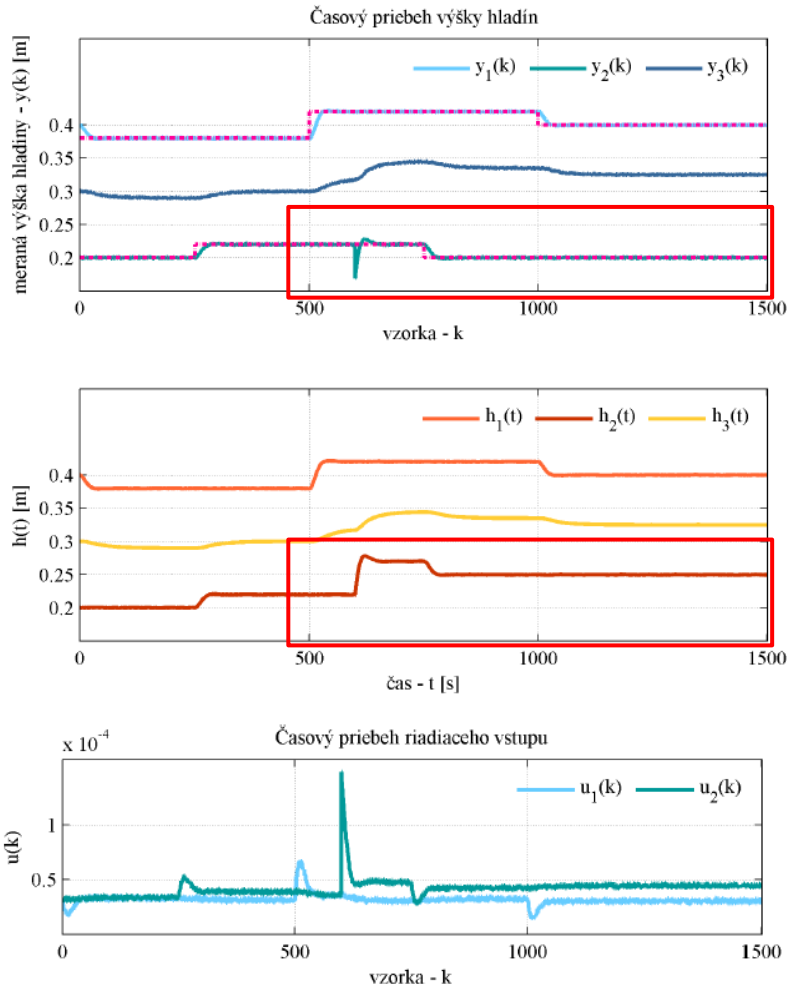
■ s prispôsobením



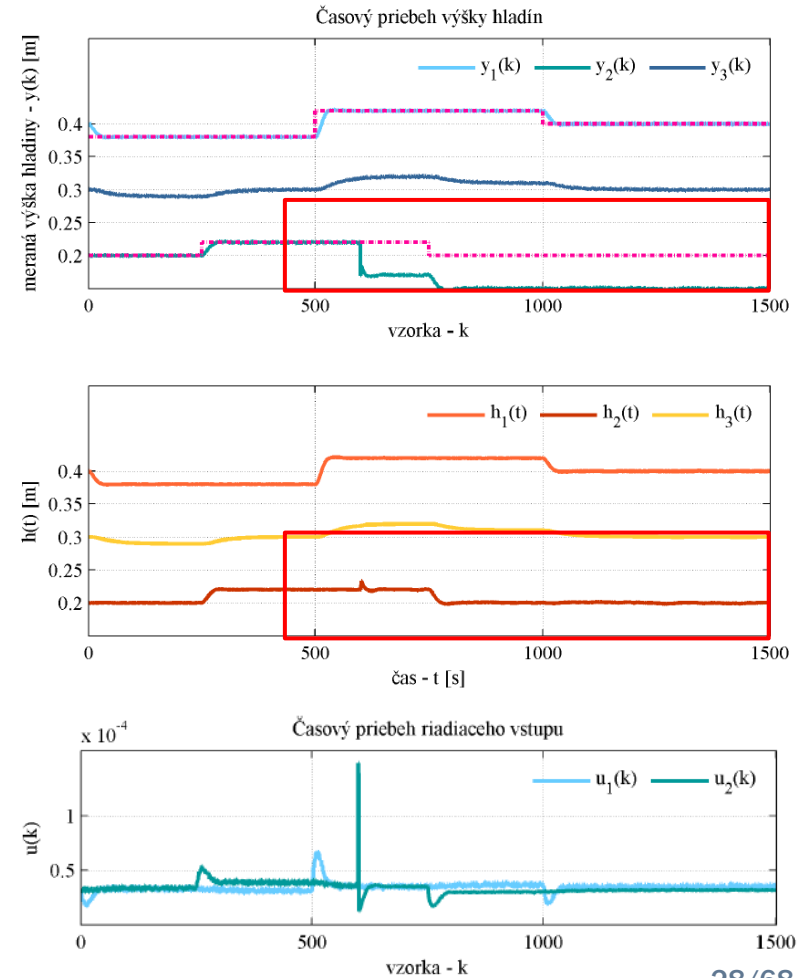
	bez prispôsobenia	s prispôsobením
$\ e\ $	0.168409042322904	0.165095281594631

MODUL B: RIADENIE S PRISPÔSOBENÍM SA CHYBE AKČNÉHO ČLENA - TRI NÁDRŽE V INTERAKCII

■ bez prispôsobenia



■ s prispôsobením



3. SCENÁR 2

Modul A

Modul B

Modul C

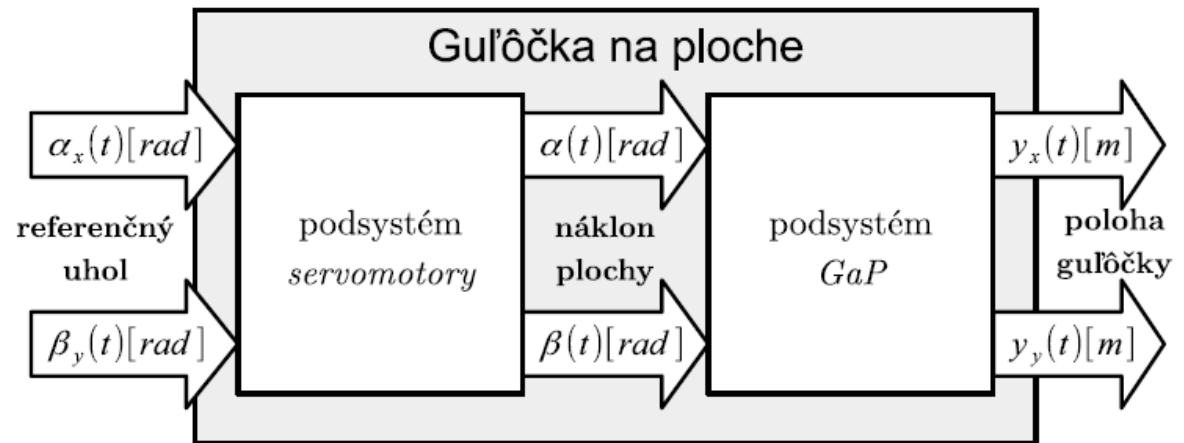
simulačné overenie navrhutej metodiky pre diagnostiku
chýb fyzikálneho systému založenej na matematickom
modeli

Simulačný
model
Guľôčka
na ploche

SYSTÉMOVÝ OPIS FYZIKÁLNEHO SYSTÉMU GULÔČKA NA PLOCHE



Laboratórium moderných metód riadenia fyzikálnych systémov



<http://kyb.fe.i.tuke.sk/laboratoria/modely/gnk.php>

■ dva podsystemy:

■ podsystem servomotory:

$$\dot{\alpha}(t) = \frac{1}{T_x} (K_x \alpha_x(t) - \alpha(t))$$

$$\dot{\beta}(t) = \frac{1}{T_y} (K_y \beta_y(t) - \beta(t))$$

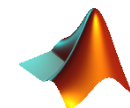
koeficienty získané experimentálne

podsystem GaP:

$$\ddot{y}_x(t) = \frac{5}{7} g \sin \alpha(t)$$

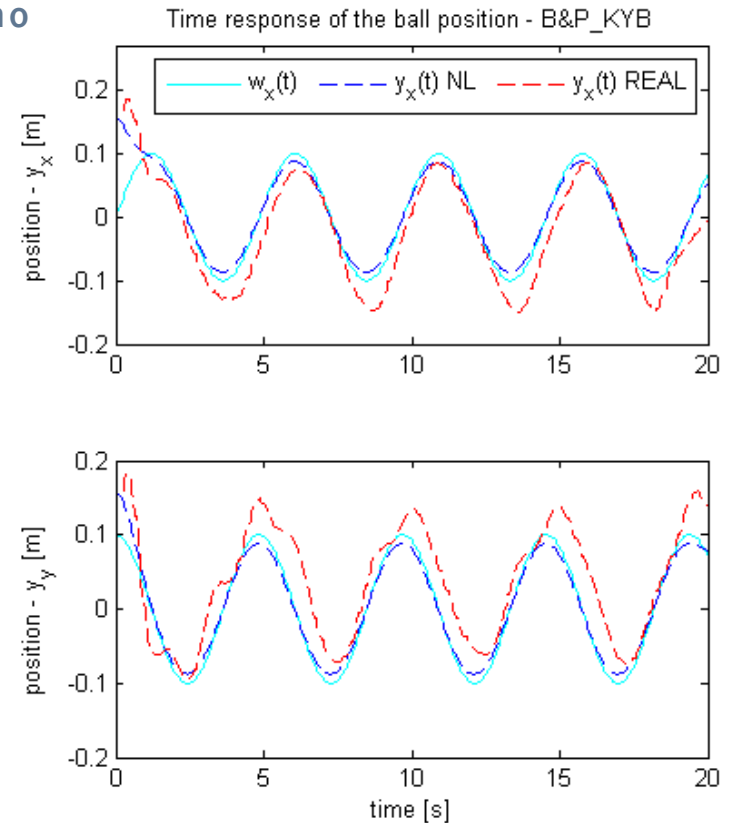
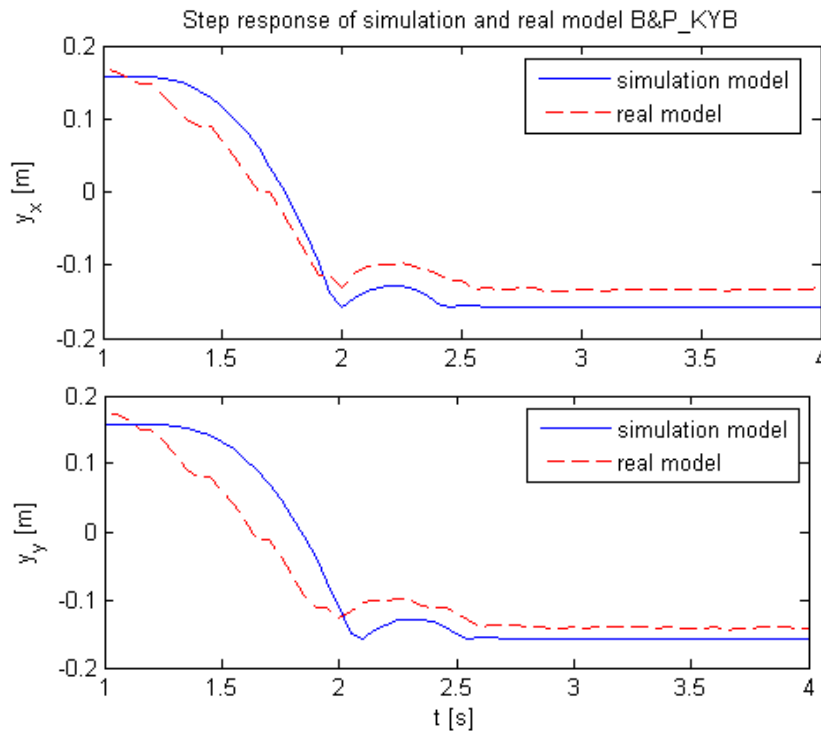
$$\ddot{y}_y(t) = \frac{5}{7} g \sin \beta(t)$$

Simulačný model
implementovaný do
prostredia Matlab



SIMULAČNÝ MODEL GUĽÔČKA NA PLOCHE

- porovnané časové odozvy simulačného a reálneho fyzikálneho systému



Model Predictive Control of Ball and Plate Laboratory Model / Matej Oravec, Anna Jadlovská. In: SAMI 2015. - Danvers : IEEE, 2015 S. 165-170 (ADF)

MODUL A: NOMINÁLNY SYSTÉM - GUĽÔČKA NA PLOCHE

- linearizovaný matematický model

$$\mathbf{v} \mathbf{PB}_x = [y_{x,PB} \dot{y}_{x,PB} \alpha_{x,PB}] ([m], [m/s], [rad])$$

$$\mathbf{PB}_y = [y_{y,PB} \dot{y}_{y,PB} \beta_{y,PB}] ([m], [m/s], [rad])$$

- diskretizovaný pri $T_{vz} = 0.05s$ s využitím Matlab funkcie c2d

- nominálny systém \rightarrow matematický model v tvare diskkrétnej prenosovej funkcie (2 x SISO):

$$F_x(z^{-1}) = \frac{b_{x,1}z^{-1} + b_{x,2}z^{-2} + b_{x,3}z^{-3}}{1 + a_{x,1}z^{-1} + a_{x,2}z^{-2} - a_{x,3}z^{-3}},$$

$$F_y(z^{-1}) = \frac{b_{y,1}z^{-1} + b_{y,2}z^{-2} + b_{y,3}z^{-3}}{1 + a_{y,1}z^{-1} + a_{y,2}z^{-2} - a_{y,3}z^{-3}},$$

- využitý pre návrh prediktívneho riadenia



pre os x:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix}}_{\dot{\mathbf{x}}_x(t)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{5}{7}g \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_x} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_x} \underbrace{\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_x(t)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_x}{T_x} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_x} u_x(t)$$

$$y_x(t) = \underbrace{[1 \quad 0 \quad 0]}_{\mathbf{C}_x^T} \underbrace{\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_x(t)}$$



pre os y:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \end{bmatrix}}_{\dot{\mathbf{x}}_y(t)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{5}{7}g \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_y} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_y} \underbrace{\begin{bmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_y(t)} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_y}{T_y} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_y} u_y(t)$$

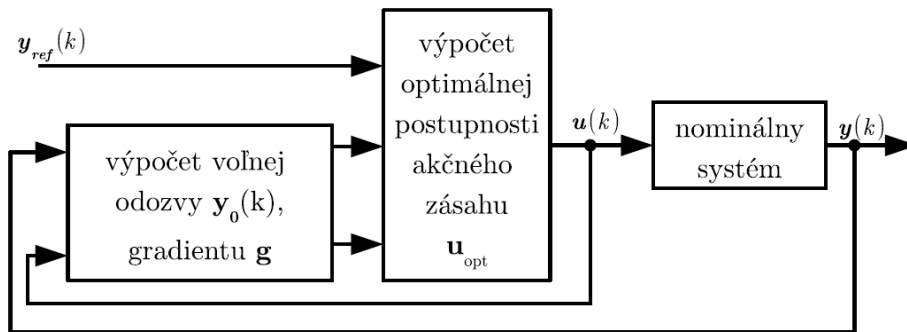
$$y_y(t) = \underbrace{[1 \quad 0 \quad 0]}_{\mathbf{C}_y^T} \underbrace{\begin{bmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}_y(t)}$$

MODUL A: NÁVRH RIADENIA NOMINÁLNEHO SYSTÉMU - GULÔČKA NA PLOCHE

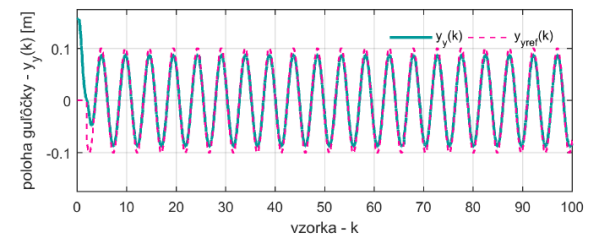
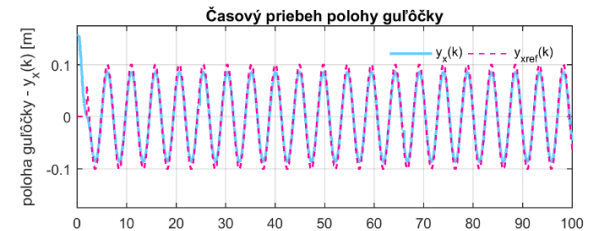
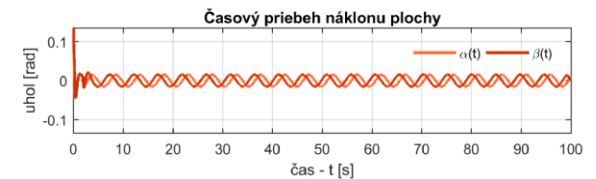
- prediktívne riadenie minimalizujúce funkcionál:

$$J_{GPC} = \sum_{i=1}^{N_p} \mathbf{Q} [\tilde{\mathbf{y}}(k+i) - \mathbf{y}_{ref}(k+i)]^2 + \sum_{i=1}^{N_u} \mathbf{R} [\tilde{\mathbf{u}}(k+i-1)]^2$$

- s uvažovaním fyzikálnych ohraňení → využitá funkcia *quadprog* (Optimization toolbox)



pre os x: $\mathbf{Q}_x = 1000\mathbf{I}_{N_p}$, $\mathbf{R}_x = 0.01\mathbf{I}_{N_u}$
 pre os y: $\mathbf{Q}_y = 750\mathbf{I}_{N_p}$, $\mathbf{R}_y = 0.01\mathbf{I}_{N_u}$
 $N_p = 20$, $N_u = 1$



MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - GUL'ÔČKA NA PLOCHE

- matematický model v tvare stavového opisu (MIMO):

$$\mathbf{x}(k+1) = \underbrace{\begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{2,2} & a_{2,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{3,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{4,4} & a_{4,5} & a_{4,6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{5,5} & a_{5,6} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{6,6} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}_d} \mathbf{x}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ b_{3,1} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & b_{6,2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_d} \mathbf{u}(k),$$

$$\mathbf{y}(k) = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}^T} \mathbf{x}(k),$$

- využitý pre návrh diagnostického systému

- chybové matematické modely:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}_d \mathbf{x}(k) + \mathbf{B}_d \mathbf{u}(k) + \mathbf{F}_{d,a} \mathbf{f}_{d,a}(k) + \mathbf{F}_a^* \mathbf{f}_a^*(k) + \mathbf{v}(k),$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}^T \mathbf{x}(k) + \mathbf{o}(k),$$

$$\mathbf{F}_{d,a} = \mathbf{F}_{a,1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_{3,1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{F}_{d,a} = \mathbf{F}_{a,2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{6,2} \end{bmatrix}$$

- cieľ: detekcia a estimácia chýb servomotorov

MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - GUĽÔČKA NA PLOCHE

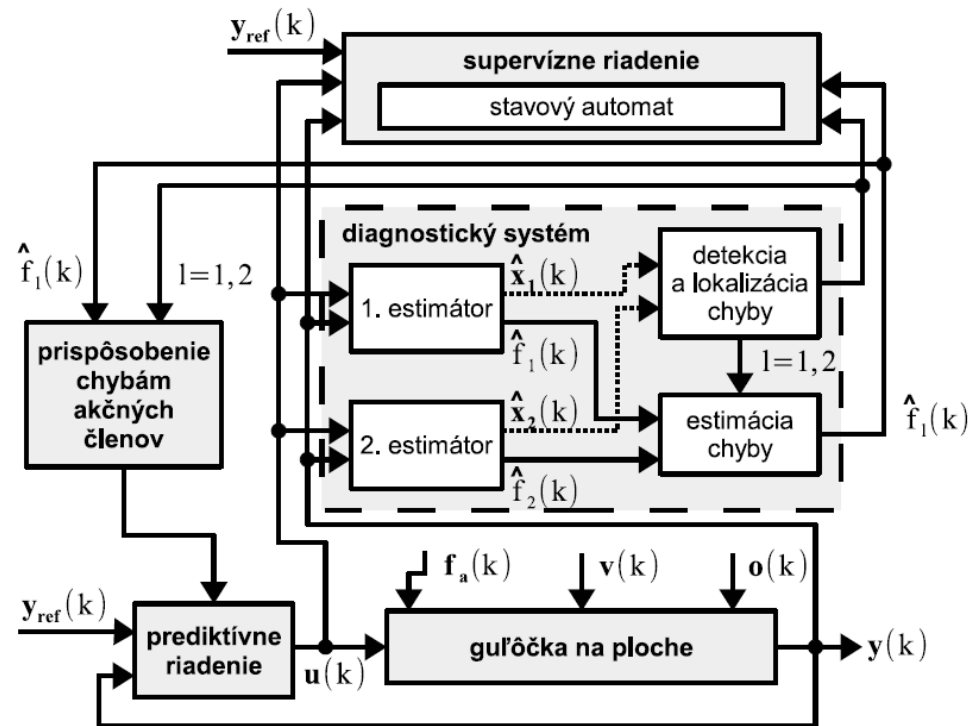
- využitie pre návrh 2 estimátorov s neznámym vstupom:

$$\mathbf{x}_{e,1}(k+1) = \mathbf{F}_{e,1}(k)\mathbf{x}_{e,1}(k) + \mathbf{T}_{e,1}\mathbf{B}_d\mathbf{u}(k) + \mathbf{L}_1(k)\mathbf{C}^T\mathbf{x}_1(k),$$
$$\hat{\mathbf{x}}_1(k) = \mathbf{x}_{e,1}(k) + \mathbf{C}^T\mathbf{H}_{e,1}\mathbf{x}_1(k),$$

$$\mathbf{x}_{e,2}(k+1) = \mathbf{F}_{e,2}(k)\mathbf{x}_{e,2}(k) + \mathbf{T}_{e,2}\mathbf{B}_d\mathbf{u}(k) + \mathbf{L}_2(k)\mathbf{C}^T\mathbf{x}_2(k),$$
$$\hat{\mathbf{x}}_2(k) = \mathbf{x}_{e,2}(k) + \mathbf{C}^T\mathbf{H}_{e,2}\mathbf{x}_2(k),$$

- použitie kovariančné matice:

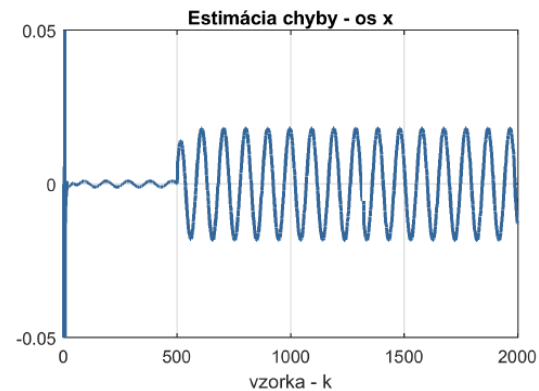
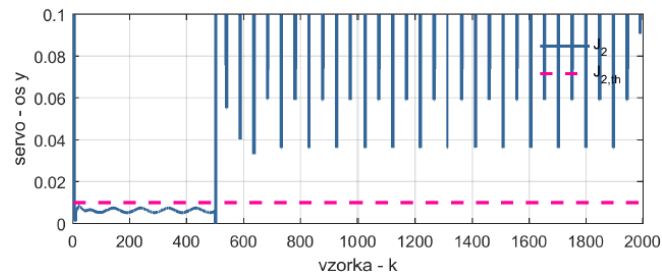
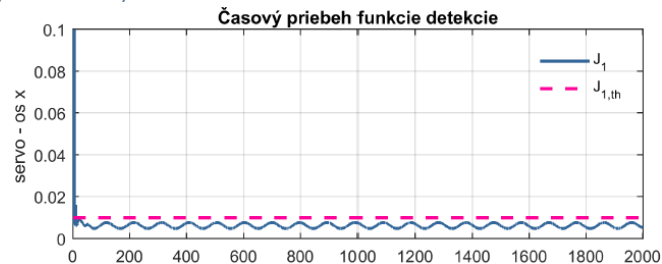
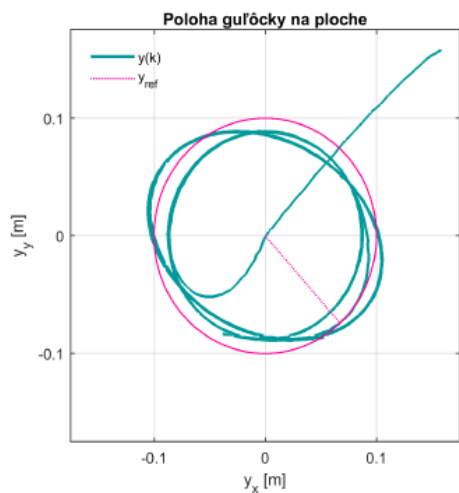
$$\mathbf{Q}_v = 0.0005\mathbf{I}_6 \text{ a } \mathbf{R}_v = 0.001\mathbf{I}_6$$



Intelligent positioning plate predictive control and concept of diagnosis system design /
Matej Oravec, Anna Jadlovská. In: Journal of Manufacturing and Industrial Engineering
(MIE). Roč. 15, č. 1-2 (2017), s. 1-9. (ADF)

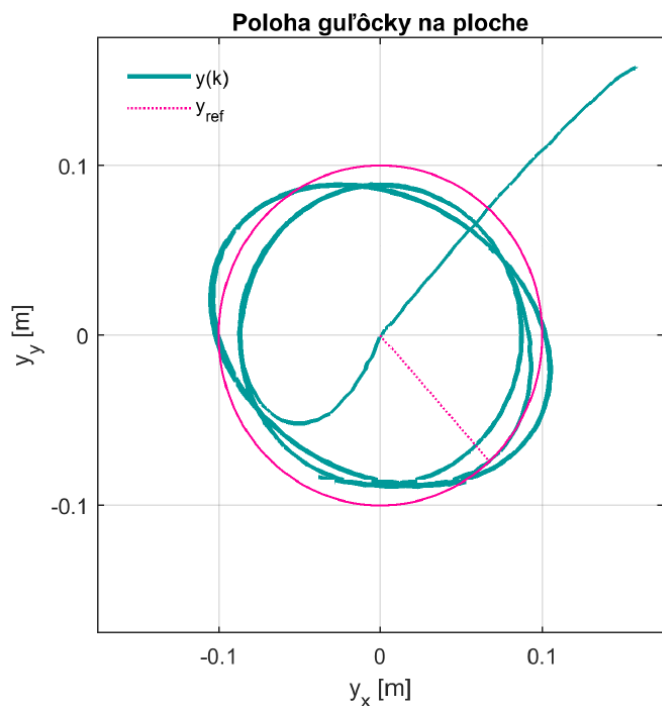
MODUL B: SIMULAČNÉ OVERENIE DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - GULÔČKA NA PLOCHE

- chyba servomotora (os x) - 50% strata výkonu, $T_f = 25$ s

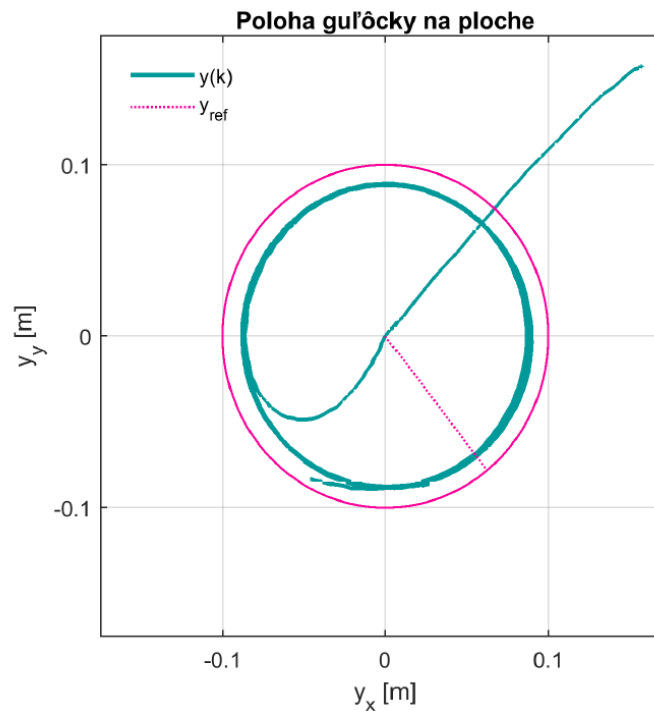


MODUL B: RIADENIE S PRISPÔSOBENÍM SA CHYBE SERVOMOTOROV - GUĽÔČKA NA PLOCHE

■ bez prispôsobenia



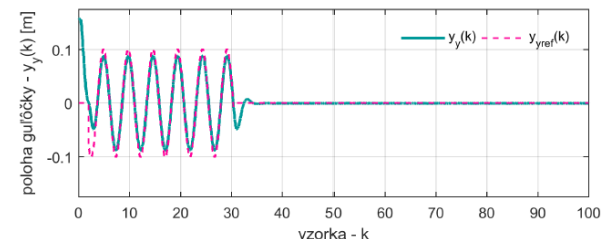
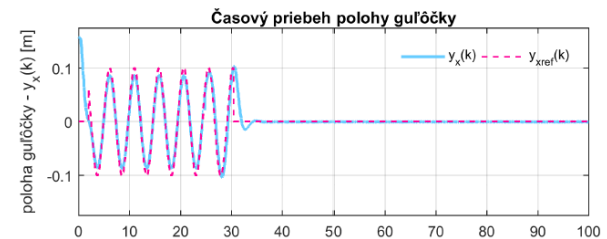
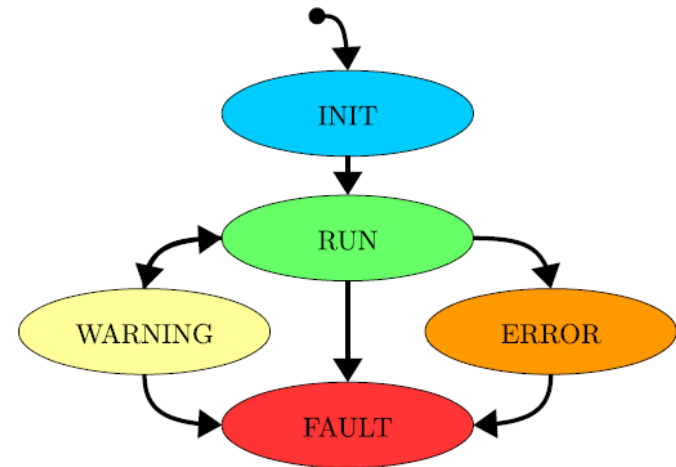
■ s prispôsobením



	bez prispôsobenia	s prispôsobením
$\ e_x\ $	1.1158	0.8401

MODUL C: SUPERVÍZNE RIADENIE SIMULAČNÉHO MODELU GUĽÔČKA NA PLOCHE - GUĽÔČKA NA PLOCHE

- INIT: inicializačný stav systému
- RUN: prevádzkový stav systému
- WARNING: stav v ktorom je detekovaná chyba niektorého servomotora a riadenie je prispôbené tejto chybe (vplyv chyby je eliminovaný)
- ERROR: chyba oboch servomotorov súčasne/riadenie s prispôbením sa chybe nie je schopné ju eliminovať
- FAULT: závažná chyba servomotora/servomotorov



3. SCENÁR 3

Modul A

Modul B

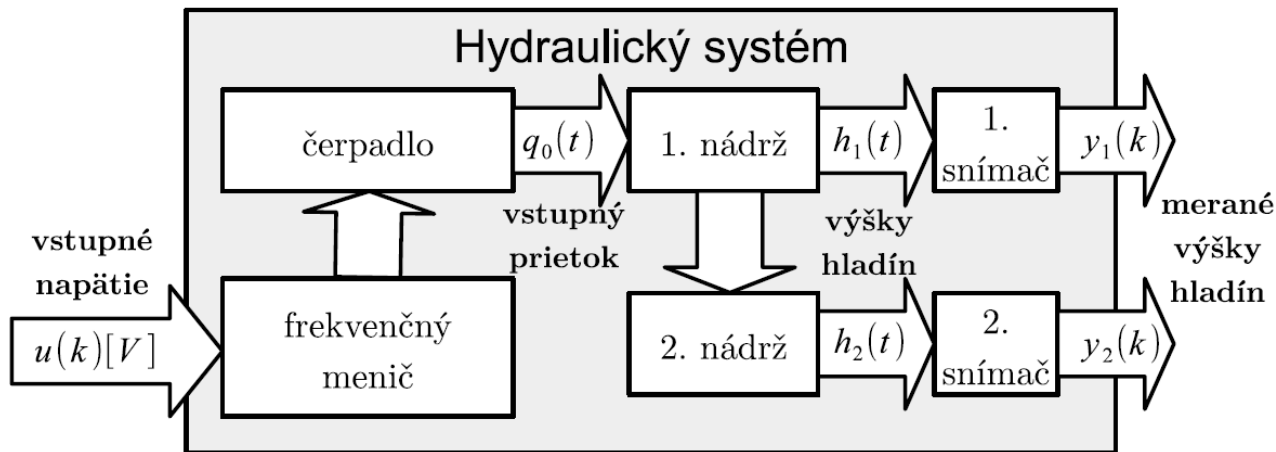
Modul C

**experimentálne overenie navrhutej metodiky pre
diagnostiku chýb fyzikálneho systému založenej na
matematickom modeli**

Laboratórny
model
hydraulický
systém

SYSTÉMOVÝ OPIS LABORATÓRNEHO MODELU HYDRAULICKÝ SYSTÉM

- Laboratórium moderných metód riadenia fyzikálnych systémov

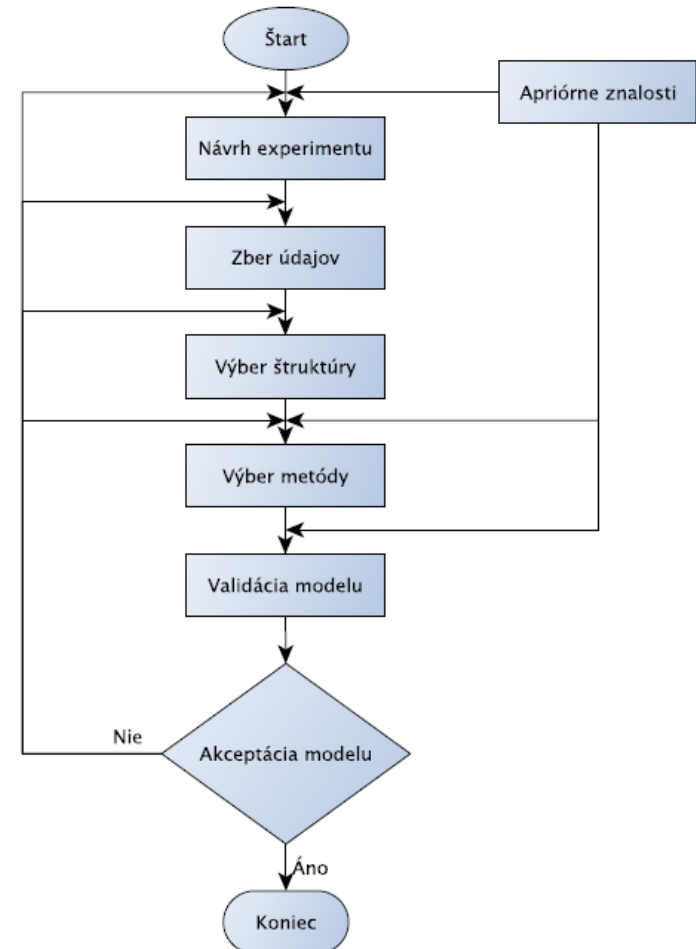
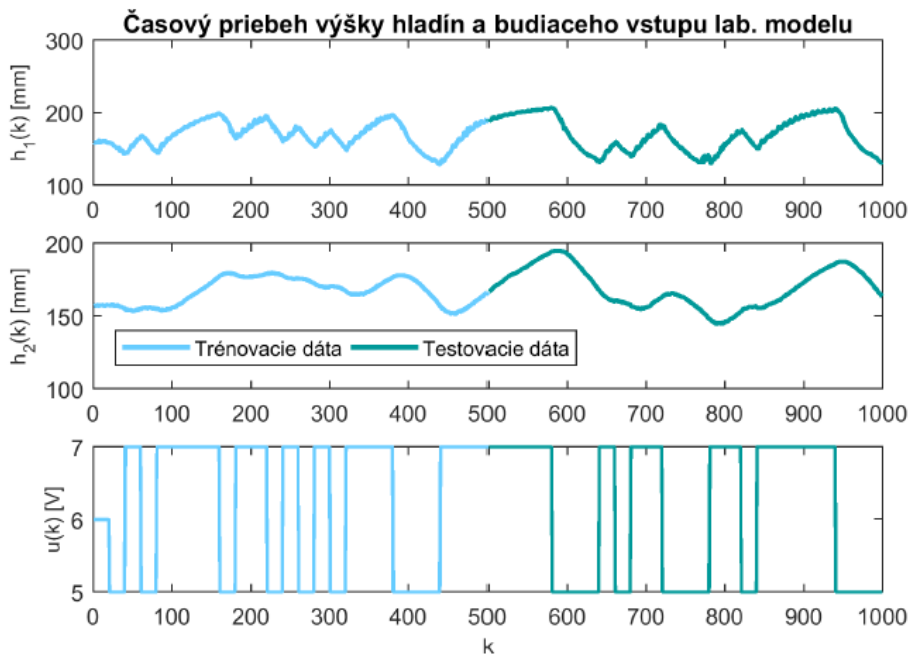


- <http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/modely/hyd.php>
- matematický model získaný experimentálnou identifikáciou



MODUL A: NOMINÁLNY SYSTÉM - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM

- $\mathbf{PB} = [U_{PB} \ h_{1,PB} \ h_{2,PB}]$ ([V],[mm],[mm])
- $T_{vz} = 1s$
- využitý *System Identification toolbox-u*
- funkcia **ss** - pre získanie stavového opisu



MODUL A: NÁVRH RIADENIA NOMINÁLNEHO SYSTÉMU - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM

- optimálne stavové LQ riadenie so sumátorom

- funkcionál:

$$J_{LQ} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\mathbf{x}^T(k) \mathbf{Q} \mathbf{x}(k) + \mathbf{u}^T(k) \mathbf{R} \mathbf{u}(k) \right)$$

- zákon riadenia:

$$\mathbf{u}(k) = -\mathbf{K}_1 \mathbf{x}(k) + \mathbf{s}_u(k) + \mathbf{K}_2 \mathbf{y}_{ref}(k-1)$$

- iteračný výpočet sumátora:

$$\mathbf{s}_u(k+1) = \mathbf{s}_u(k) + \mathbf{K}_2 \mathbf{e}(k) = \mathbf{s}_u(k) + \mathbf{K}_2 \left(\mathbf{y}_{ref}(k) - \mathbf{C}_1 \mathbf{x}(k) \right)$$

- stavový opis:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}_d \mathbf{x}(k) + \mathbf{B}_d \mathbf{u}(k),$$

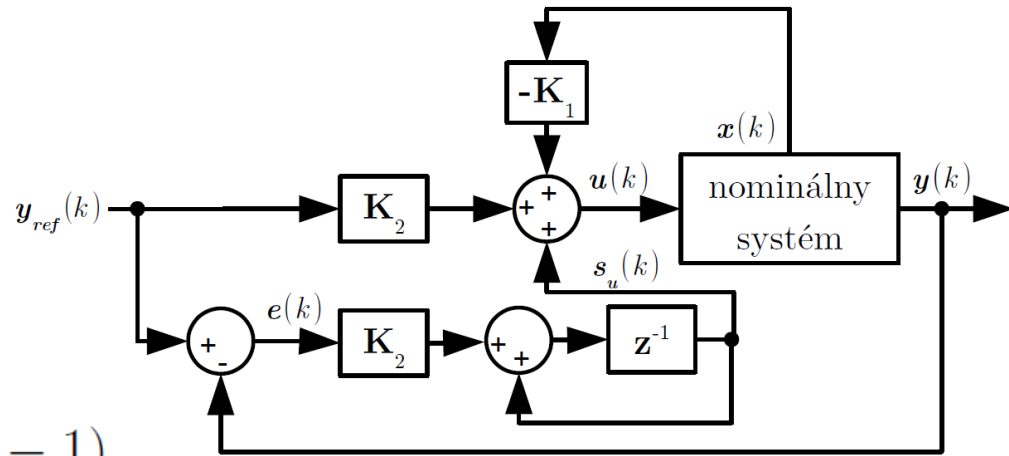
$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C} \mathbf{x}(k),$$



$$\mathbf{A}_d = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \mathbf{B}_d = \begin{bmatrix} a_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix}, \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- použité kovariančné matice:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix}, \mathbf{R} = 500$$



- cieľ riadenia: sledovanie zmien požadovanej výšky hladiny v 2. nádrži

MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYTÉMU - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM

- cieľ: detekcia a estimácia chýb snímačov

- chybový matematický model:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}_d \mathbf{x}(k) + \mathbf{B}_d \mathbf{u}(k) + \mathbf{v}(k)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}^T \mathbf{x}(k) + \mathbf{F}_s \mathbf{f}_s(k) + \mathbf{o}(k)$$

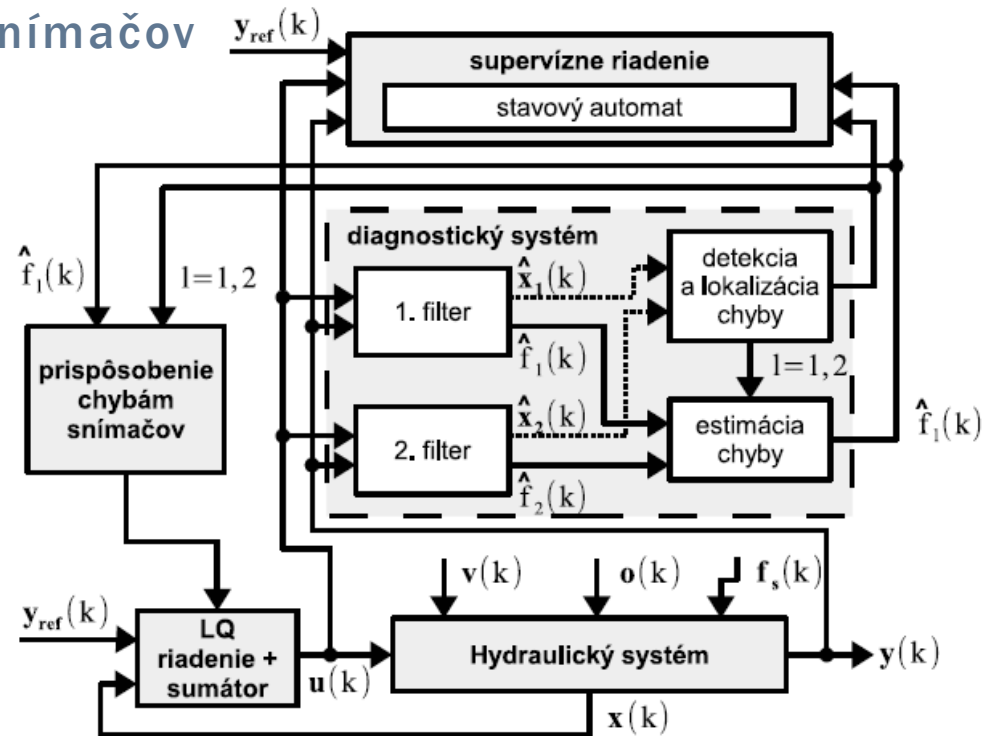
$$F_{s,1} = [1, 0]^T \quad F_{s,2} = [0, 1]^T$$

- využité pre návrh 2 filtrov:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_l(k+1|k) = & \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{A}}_l \hat{\mathbf{x}}_l(k|k-1) + \mathbf{T}_l \bar{\mathbf{B}}_l \mathbf{u}(k) + \\ l = 1, 2 & + \mathbf{L}_l(k) \left(\mathbf{y}(k) - \bar{\mathbf{C}}_l \hat{\mathbf{x}}_l(k|k-1) \right) + \\ & + \mathbf{N}_l \mathbf{y}(k+1), \end{aligned}$$

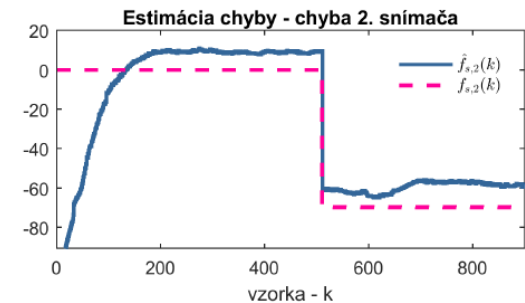
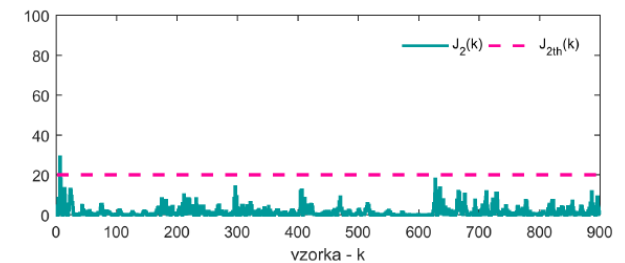
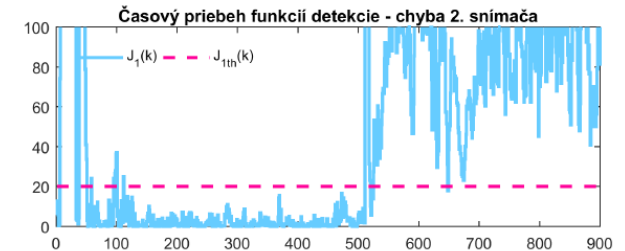
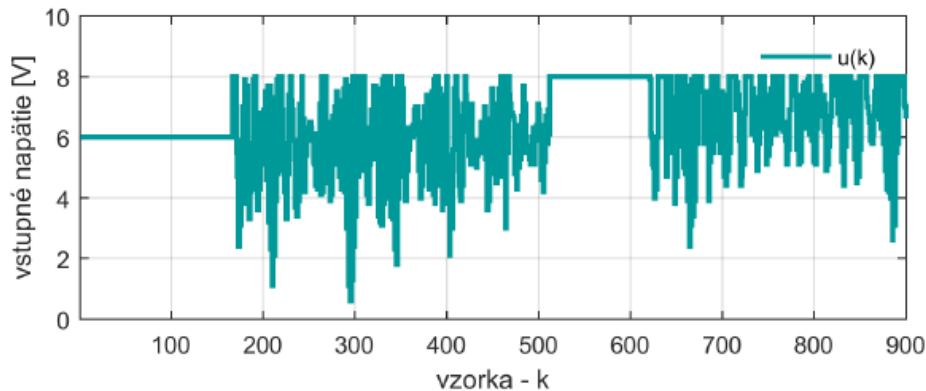
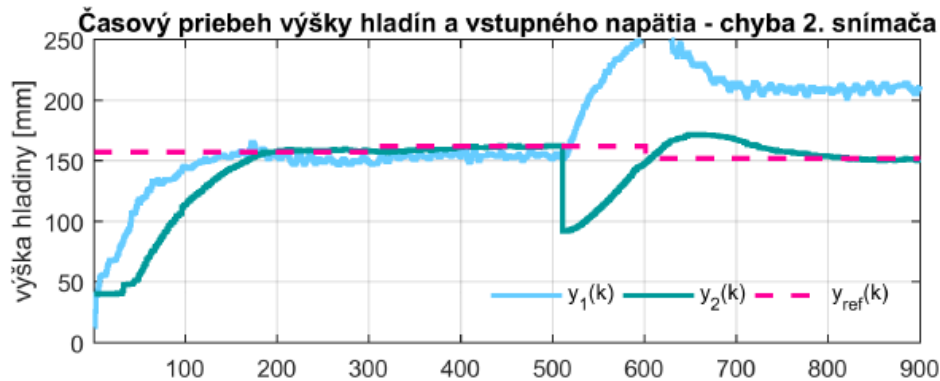
- použité kovariančné matice šumov:

$$\mathbf{Q}_v = \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 2.5 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_o = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$



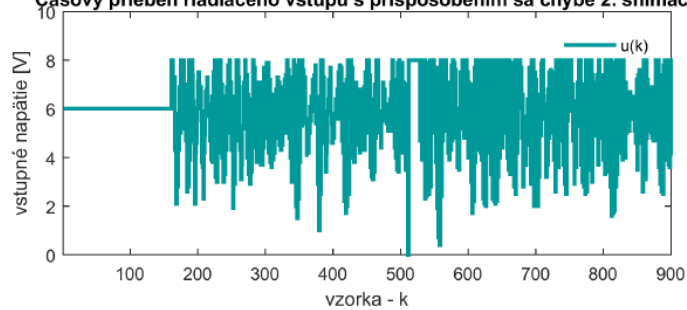
MODUL B: EXPERIMENTÁLNE OVERENIE DIAGNOSTICKÉHO SYTÉMU - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM

- aditívna chyba 2. snímača (-70 mm), $T_f = 510s$

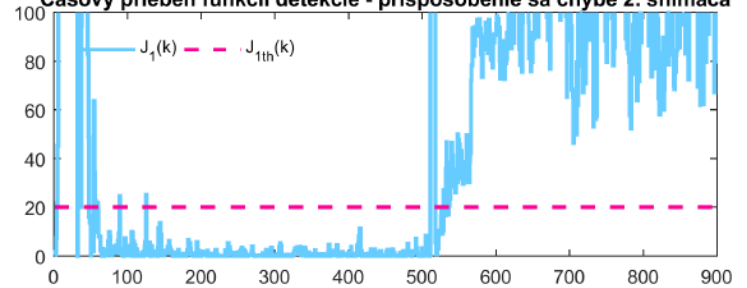


MODUL B: RIADENIE S PRISPÔSOBENÍM SA CHYBE SNÍMAČOV - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM

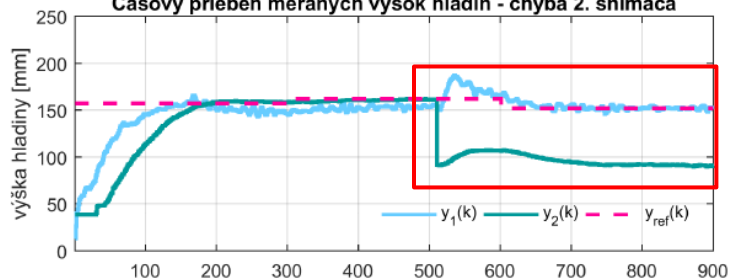
Časový priebeh riadiaceho vstupu s prispôsobením sa chybe 2. snímača



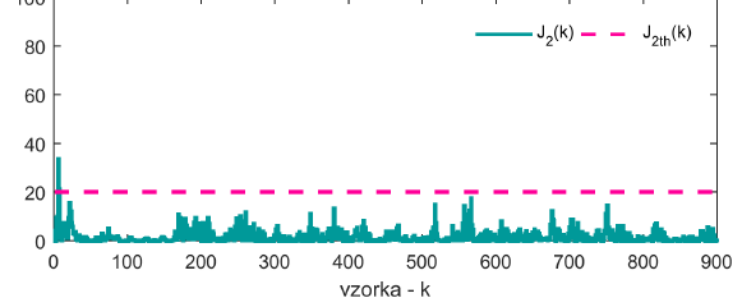
Časový priebeh funkcií detekcie - prispôsobenie sa chybe 2. snímača



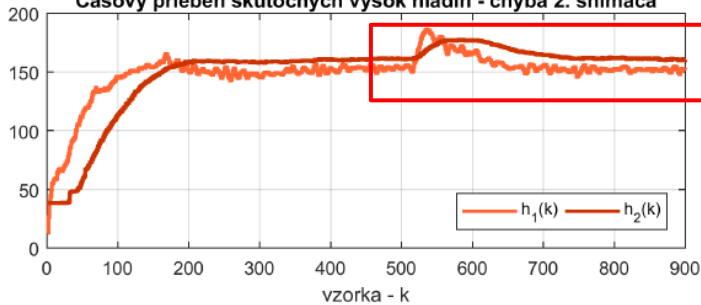
Časový priebeh meraných výšok hladín - chyba 2. snímača



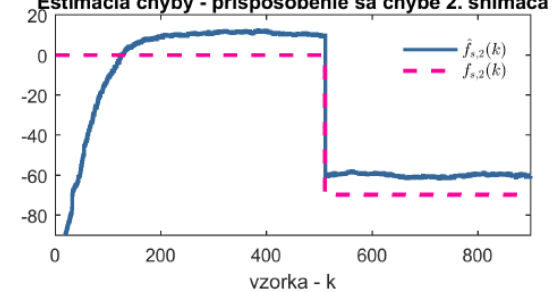
Časový priebeh funkcií detekcie - prispôsobenie sa chybe 2. snímača



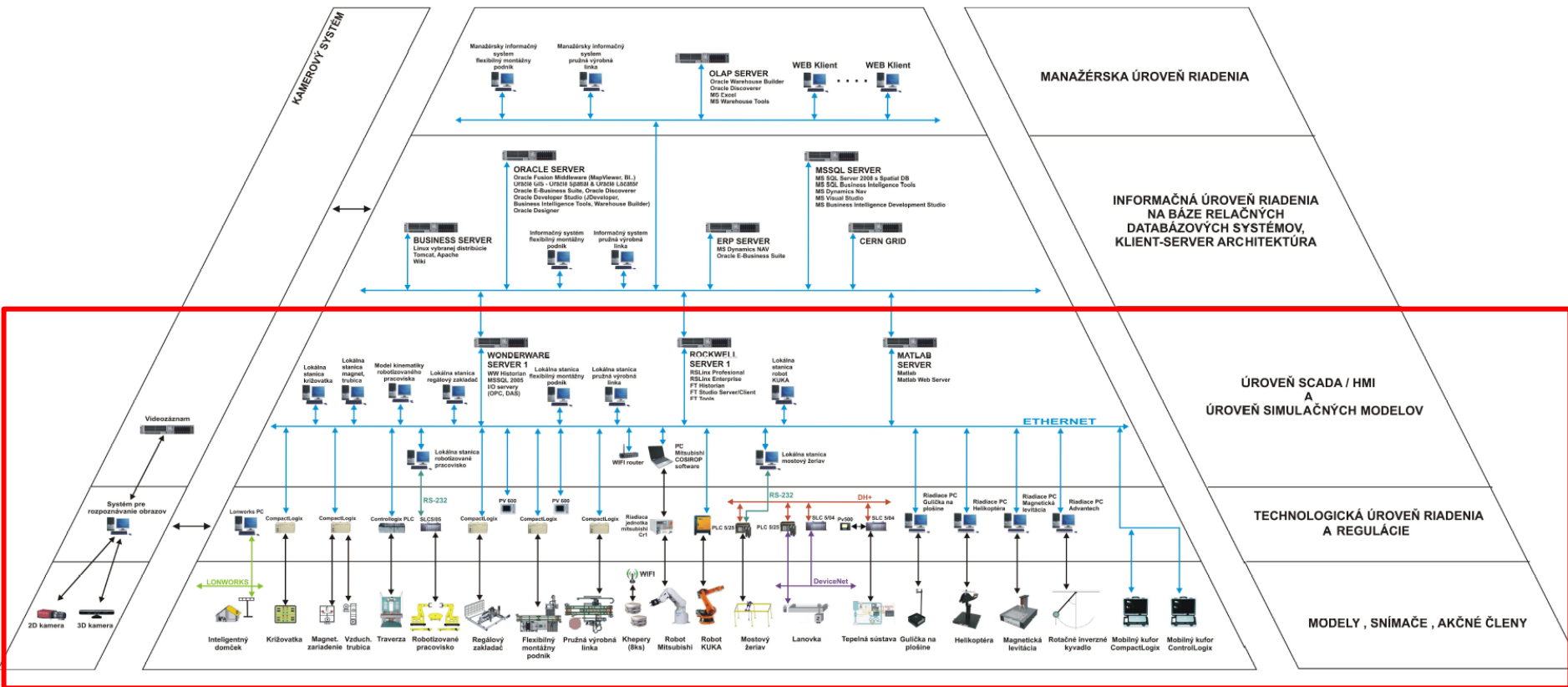
Časový priebeh skutočných výšok hladín - chyba 2. snímača



Estimácia chyby - prispôsobenie sa chybe 2. snímača

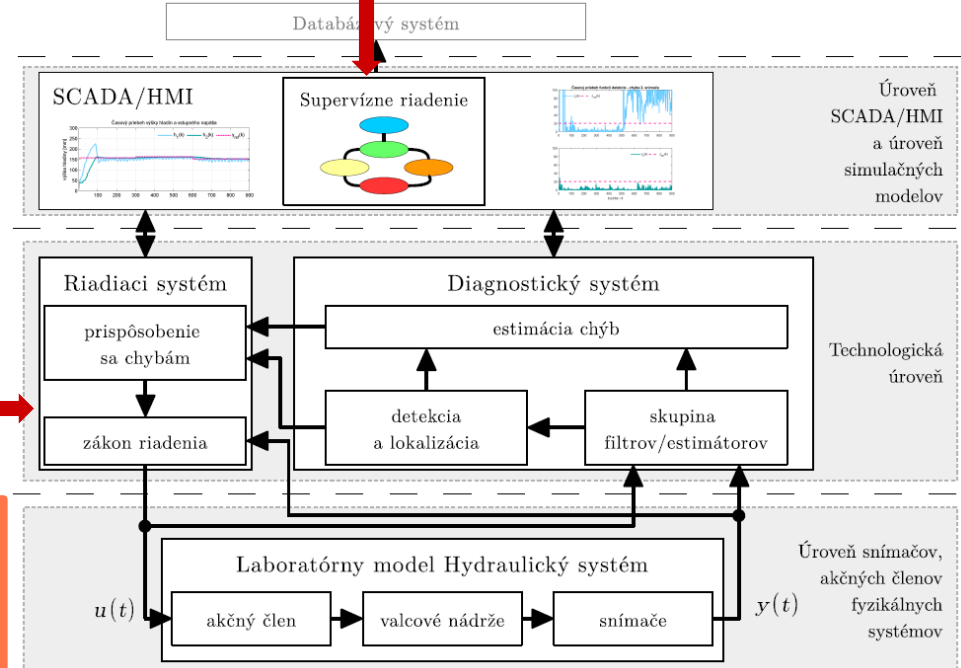
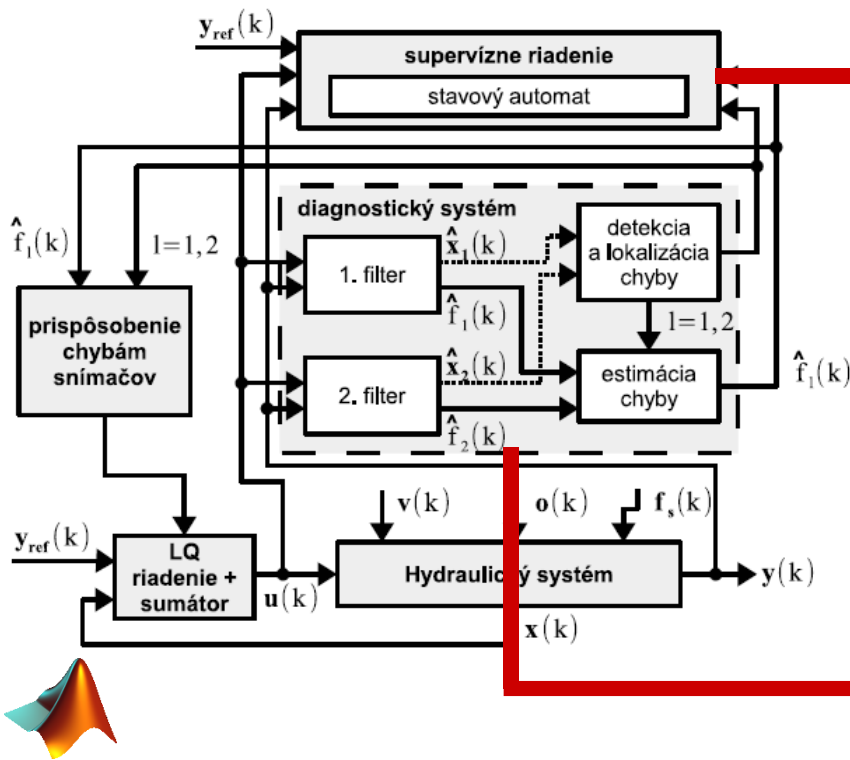


MODUL C: IMPLEMENTÁCIA DO DSR NA KKUI



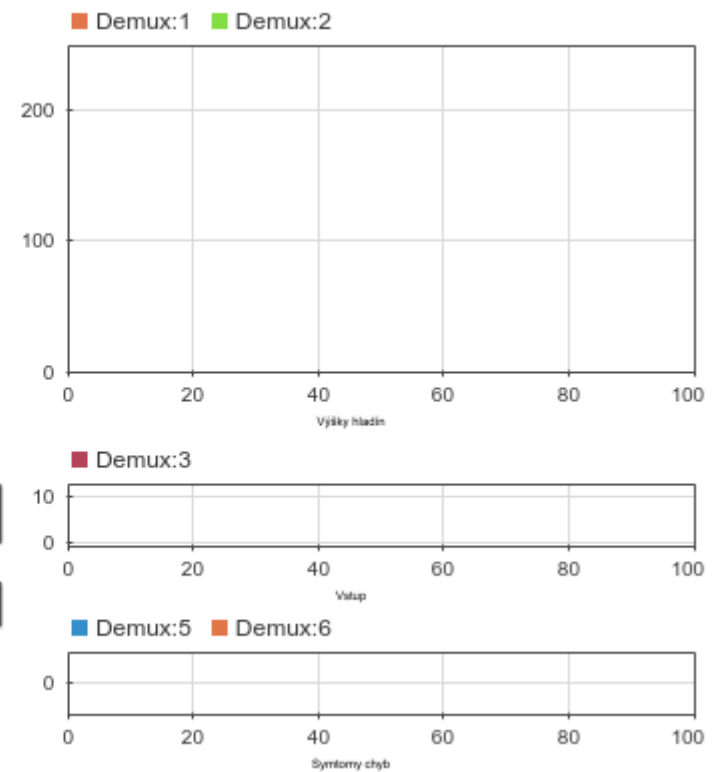
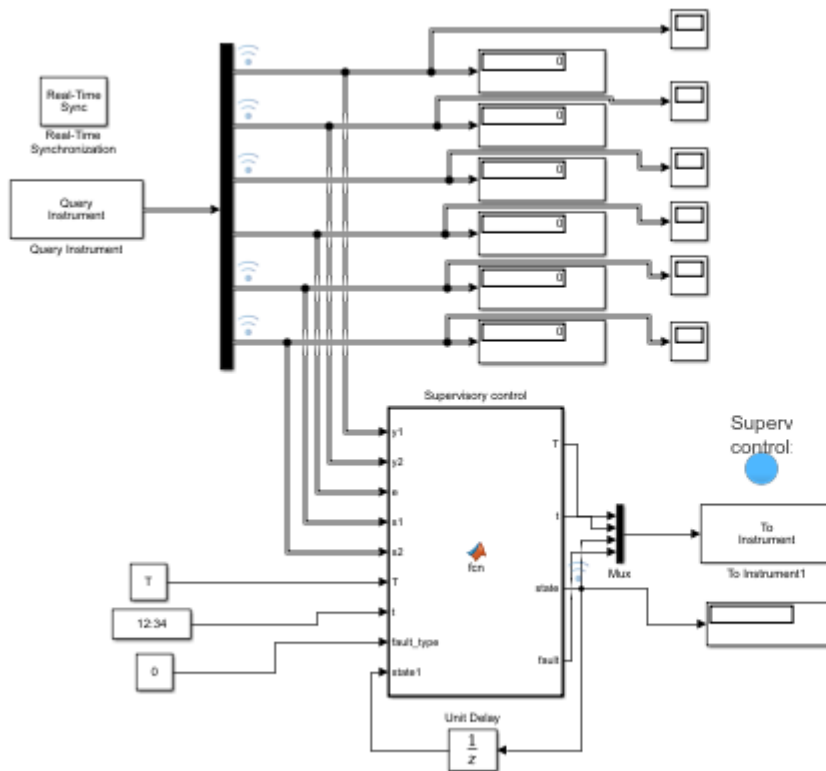
<http://kyb.fei.tuke.sk/laboratoria/infdsr.php>

MODUL C: SUPERVÍZNE RIADENIE A IMPLEMENTÁCIA DO DSR - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM



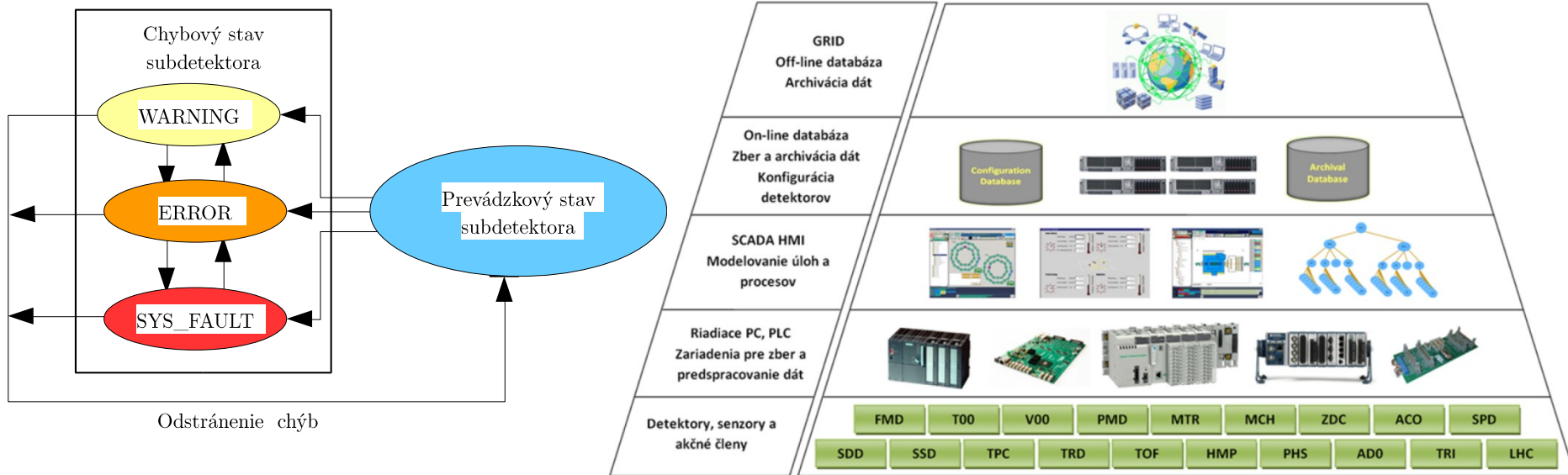
`[J1,J2, filter_struct, diag_struct] = fddsystem(filter_struct, diag_struct, y, y_1, u)`
 funkcia, v ktorej je implementovaný diagnostický systém založený na skupine dvoch filtrov pre estimovanie stavov a chýb snímačov laboratórneho modelu

MODUL C: SCADA/HMI - LABORATÓRNY MODEL HYDRAULICKÝ SYSTÉM



INFRAŠTRUKTÚRA DETECTOR CONTROL SYSTEMU EXPERIMENTU ALICE NA LHC V CERNE

- postupy riadenia a diagnostiky subdetektorov v rámci experimentu ALICE
- diagnostika stavu subdetektora → s využitím stavových automatov → princíp supervízneho riadenia



Communication architecture of the detector control system for the inner tracking system / J. Jadlovský, et al. .In: ICALEPCS 2017. - Barcelona : Mondial and Cititravel Congressos, 2017 P. 1-4. (AFC)

3. SCENÁR 4

Modul A

Modul B

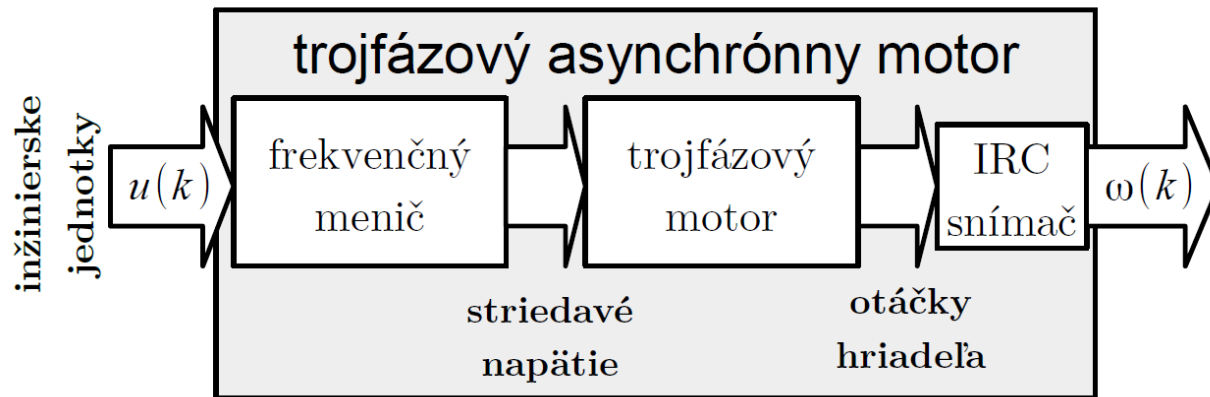
Modul C

**experimentálne overenie navrhutej metodiky pre
diagnostiku chýb fyzikálneho systému založenej na
meraných dátach**

Laboratórny
model
trojfázový
asynchrónny
motor

SYSTÉMOVÝ OPIS LABORATÓRNEHO MODELU TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR

- Laboratórium moderných metód riadenia fyzikálnych systémov



- <http://kyb.feit.tuke.sk/laboratoria/modely/mfm.php>
- matematický model získaný experimentálnou identifikáciou
- cieľ: detekcia nevyváženosti hriadeľa



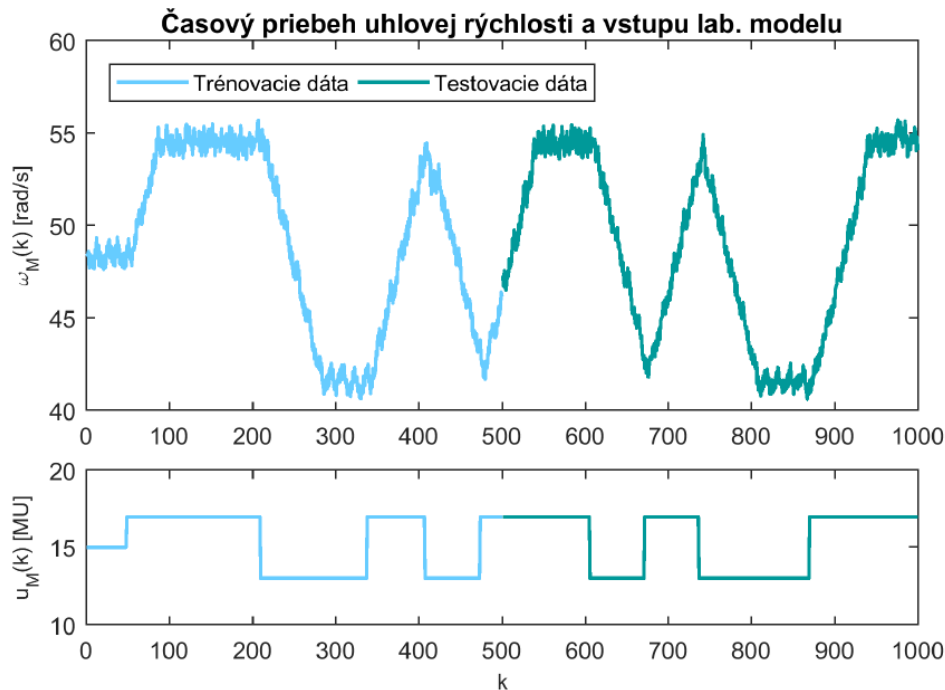
MODUL A: NOMINÁLNY SYSTÉM - LABORATÓRNY MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR

- $\mathbf{PB} = [U_{PB} \ \omega_{PB}]$ ([MU], [rad/s])
- $T_{vz} = 0.01\text{ s}$

- využité funkcie *System Identification toolbox-u*

- funkcia *armax* – pre získanie prenosovej funkcie:

$$F_M(z) = \frac{b_{z,1}z^{-1} + b_{z,2}z^{-2}}{1 + a_{z,1}z^{-1} + a_{z,2}z^{-2}} + \frac{c_{z,1}z^{-1} + c_{z,2}z^{-2}}{1 + a_{z,1}z^{-1} + a_{z,2}z^{-2}} = \frac{B_z(z)}{A_z(z)} + \frac{C_z(z)}{A_z(z)}$$



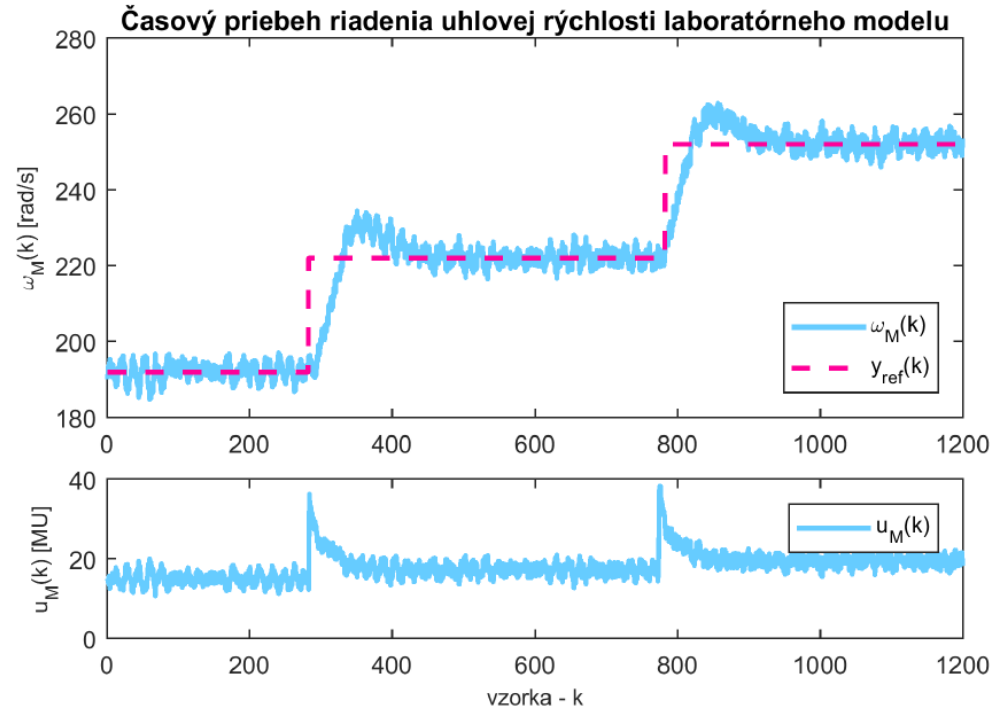
MODUL A: NÁVRH RIADENIA NOMINÁLNEHO SYSTÉMU - LABORATÓRNY MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR

- číslicové riadenie na báze metódy umiestenia pólov

- zákon riadenia:

$$u(k) = o_0 e(k) + o_1 e(k-1) + o_2 e(k-2) - r_1 u(k-1) - r_2 u(k-2)$$

- implementovaný v PLC



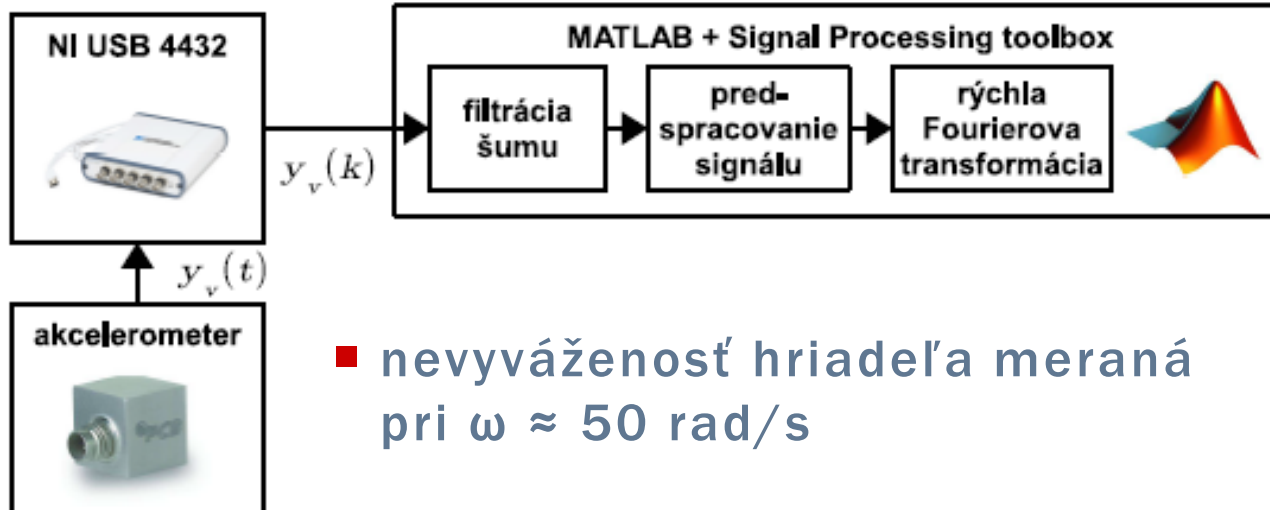
CPT

Compute
Dest

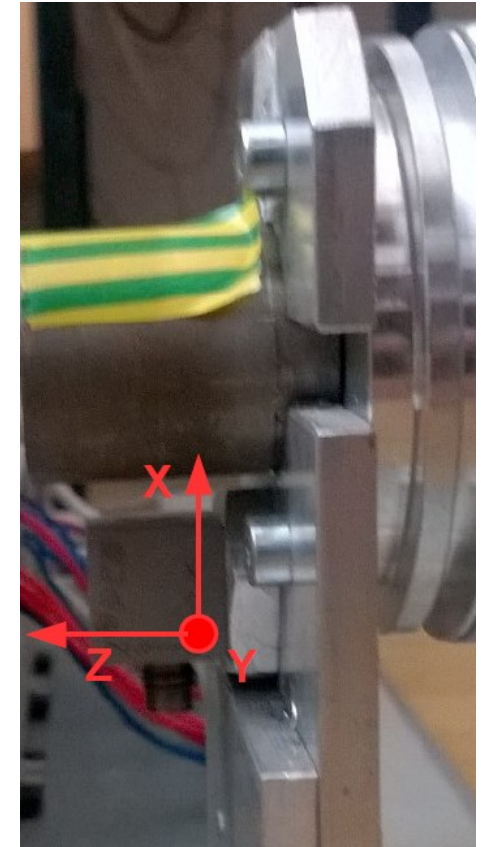
Expression $(1.8162 * Vstup[index-1]) - (0.8162 * Vstup[index-2]) + (0.7252 * Chyba[index]) - (1.3938 * Chyba[index-1]) + (0.6701 * Chyba[index-2])$

Frekvencia
50.0 ←

MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - LABORATÓRNY MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR

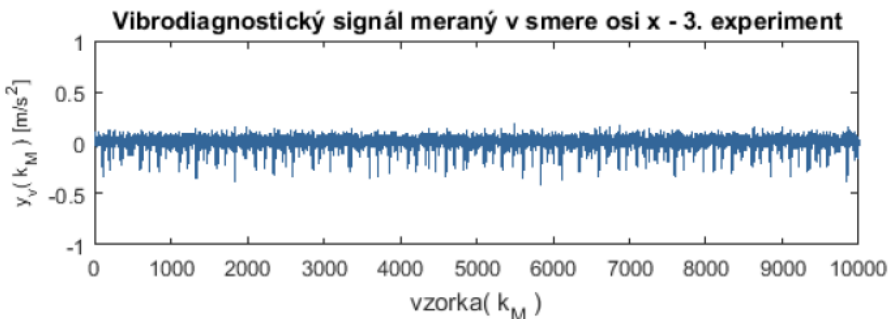
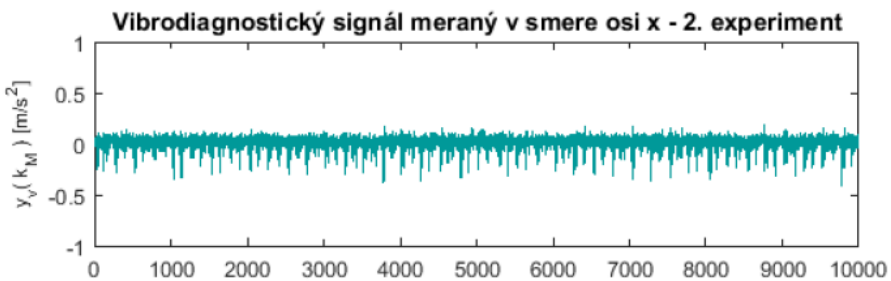
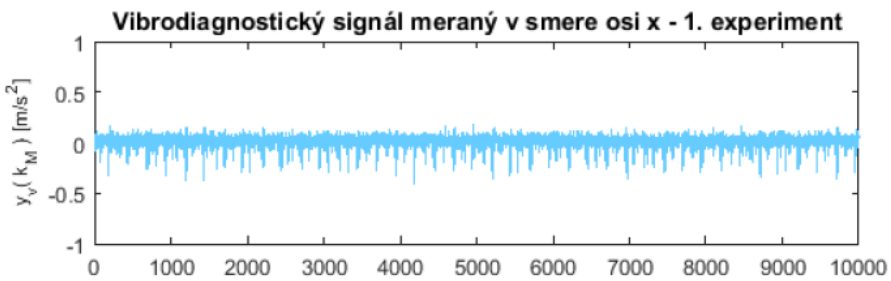


- nevyváženosť hriadeľa meraná pri $\omega \approx 50$ rad/s
- dáta získavané prostredníctvom meracej karty NI USB 4432 s frekvenciou $f_M = 1000$ Hz
- vyhodnocované dáta v smere osi x

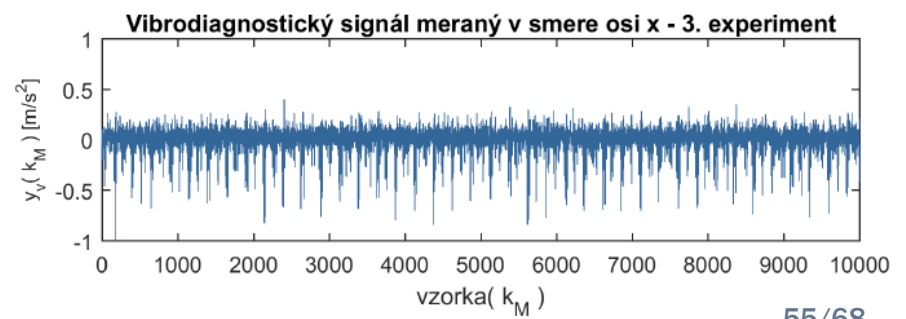
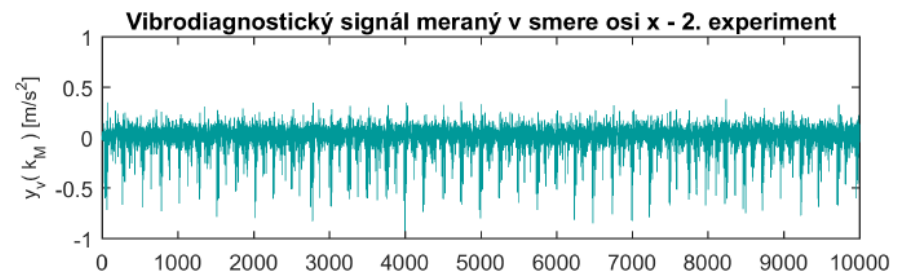
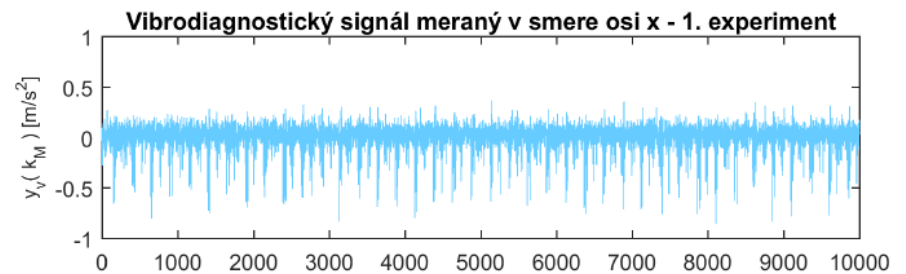


MODUL B: NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU - LABORÁTORNY MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR

- dáta z nominálneho systému



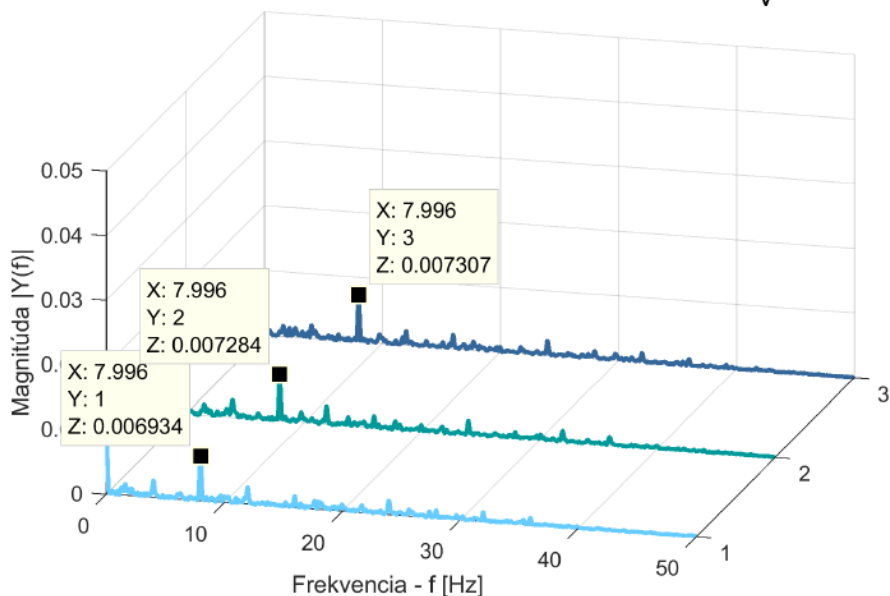
- dáta zo systému ovplyvneného chybou - nevyváženosť hriadeľa



MODUL B: EXPERIMENTÁLNE OVERENIE DIAGNOSTICKÉHO SYTÉMU - LABORATÓRNY MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR

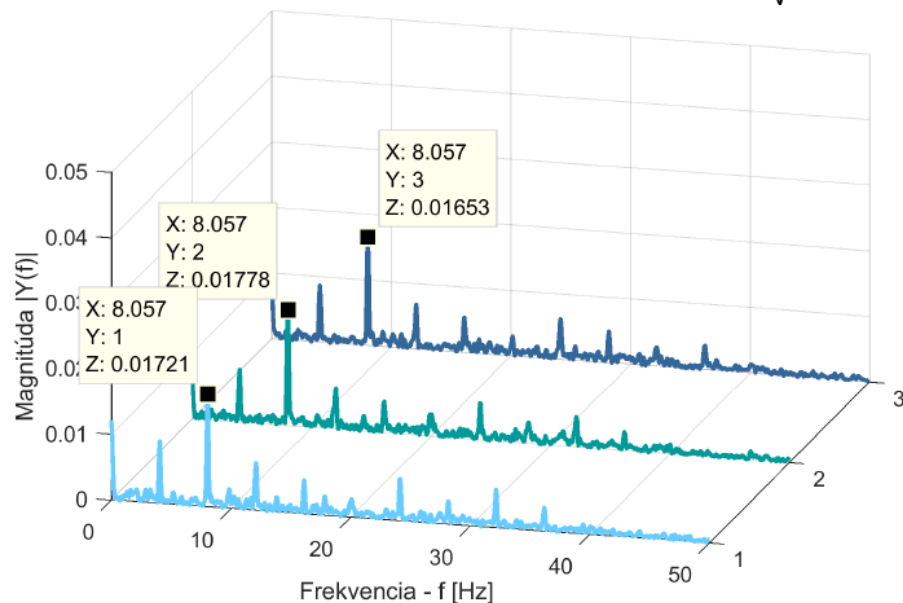
■ nominálny systém

Frekvenčná analýza vibrodiagnostického signálu y_v

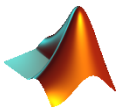
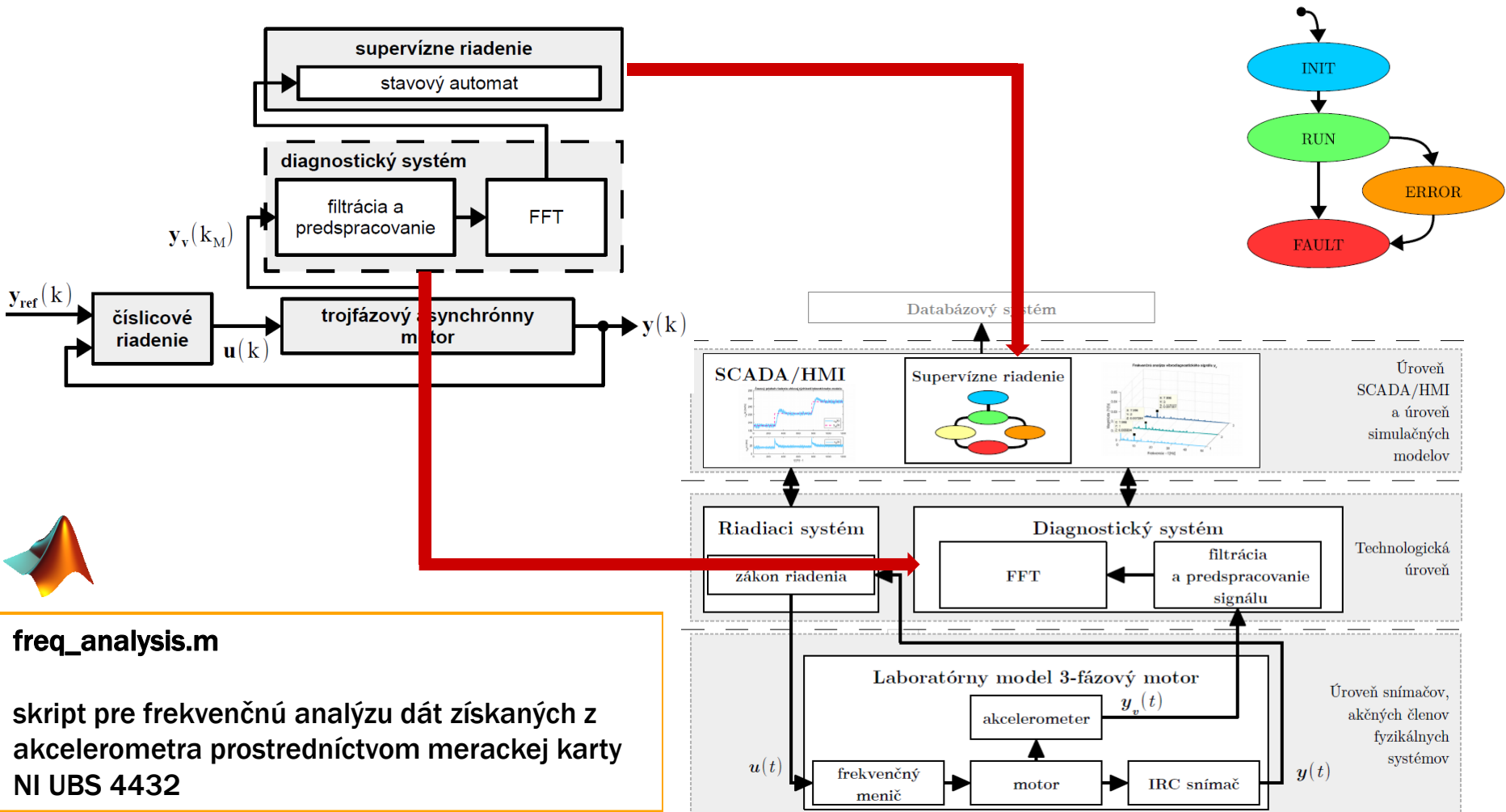


■ nevyváženosť hriadeľa

Frekvenčná analýza vibrodiagnostického signálu y_v

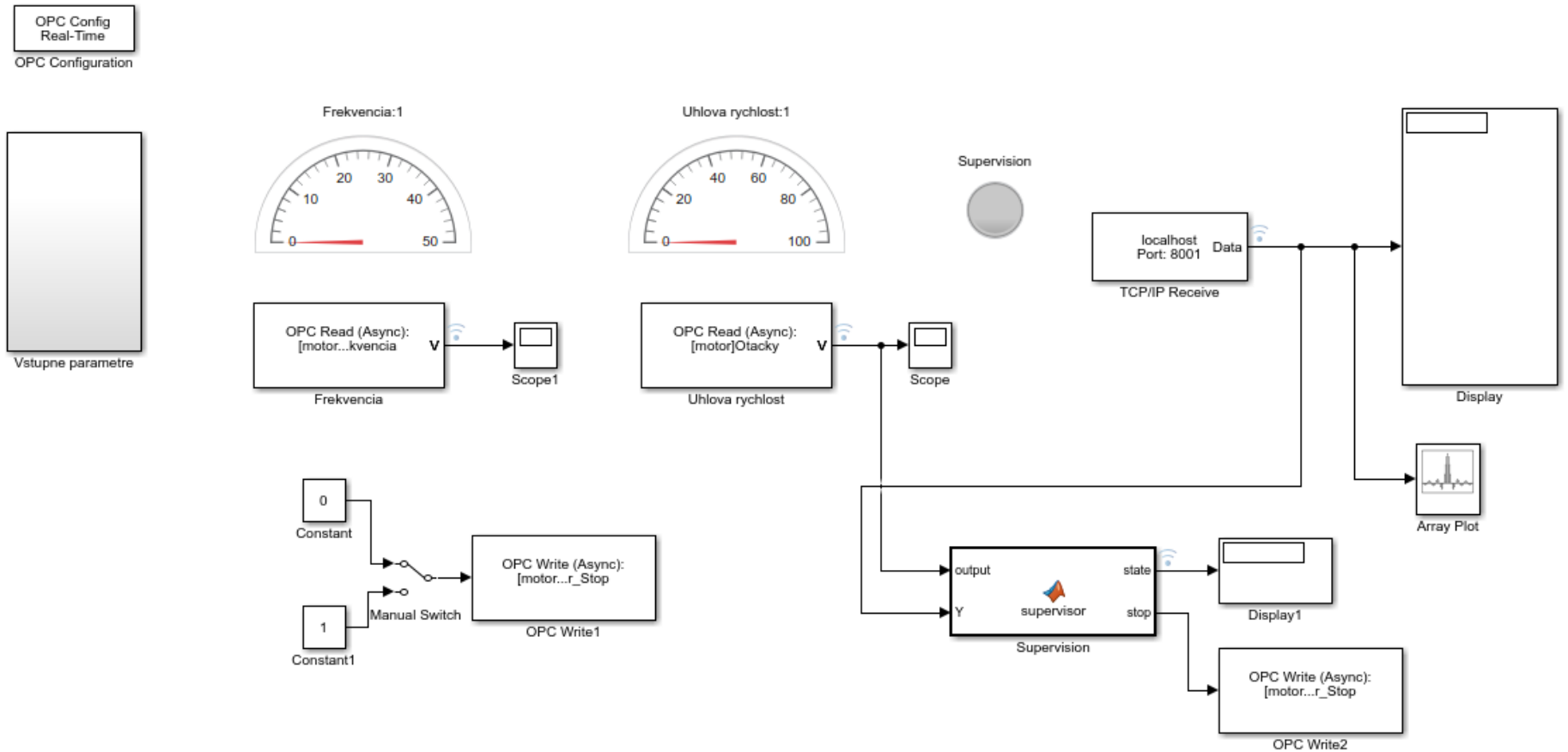


MODUL C: SUPERVÍZNE RIADENIE A IMPLEMENTÁCIA DO DSR - LABORATÓRNY MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR



freq_analysis.m
 skript pre frekvenčnú analýzu dát získaných z akcelerometra prostredníctvom meracej karty NI UBS 4432

MODUL C: SCADA/HMI - LABORATÓRNÝ MODEL TROJFÁZOVÝ ASYNCHRÓNNY MOTOR



4. PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

PRÍNOSY DZP PRE VEDU A PRAX

- prínosy dosiahnuté pre vedný odbor Kybernetika a prax:

- spracovanie teoretických východísk a návrh algoritmov diagnostiky chýb na báze skupiny filtrov a estimátorov s neznámym vstupom pre estimáciu stavov a chýb snímačov alebo akčných členov fyzikálneho systému (**1. a 2. cieľ DZP**)

- modifikácia vybraných algoritmov diagnostiky chýb snímačov a akčných členov s ohľadom na charakter diagnostikovaného fyzikálneho systému (**2. cieľ DZP**)

PRÍNOSY DZP PRE VEDU A PRAX

- modifikácia navrhnutých algoritmov riadenia fyzikálnych systémov pre prispôsobenie sa chybám snímačov alebo akčných členov fyzikálneho systému (**2. cieľ DZP**)

- spracovanie teoretických východísk a návrh algoritmov pre diagnostiku vibrácií riadeného fyzikálneho systému s využitím rýchlej Fourierovej transformácie (**2. cieľ DZP**)

- overenie navrhutej metodiky a algoritmov diagnostiky chýb s využitím simulačných a reálnych modelov fyzikálnych systémov na experimentálnom pracovisku v rámci Centra Moderných Metód Riadenia a Priemyselnej Informatiky (**3. a 4. cieľ DZP**)

PRÍNOSY DZP PRE VEDU A PRAX

- implementácia navrhnutej metodiky do sieťovej riadiacej infraštruktúry distribuovaného systému riadenia na KKUI, FEI, TU v Košiciach (**3. a 4. cieľ DZP**)

- overenie algoritmov riadenia a diagnostiky chýb na experimentálnom pracovisku s využitím dostupných programových, výpočtových a technických prostriedkov v rámci Centra moderných metód riadenia a priemyselnej informatiky na KKUI, FEI, TU v Košiciach (**4. cieľ DZP**)

PROJEKTY

- projekt Univerzitný vedecký park Technicom pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS:26220220182, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, **Centrum pre nedeštruktívnu diagnostiku technologických procesov so štandardným softvérovým vybavením pre riadenie a komunikáciu** (aktivita 3.1), (2013 - 2015)
- projekt Univerzitný vedecký park Technicom pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II.fáza, kód ITMS:313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, (2015 - 2017), **Centrum pre nedeštruktívnu diagnostiku technologických procesov so štandardným softvérovým vybavením pre riadenie a komunikáciu** (aktivita 3.1, PP7), (2015 - 2017)
- projekt KEGA c.001TUKE-4/2015, **CyberLabTrainSystem – demonštrátor a trenažér informacno-riadiaceho systému - inovácia** (2015 - 2017)
- grant FEI TUKE 2015-33 s názvom Výskumné laboratórium nelineárnych podaktuovaných systémov (**Research laboratory for nonlinear underactuated systems**), (1/2017 - 12/2017)
- projekt ALICE KE FEI TUKE (0222/2016 - 2/2016-DOT) s názvom **Experiment ALICE na LHC v CERN: Štúdium silno interagujúcej hmoty v extrémnych podmienkach**, (2016-2020)

PROJEKT – EXPERIMENT ALICE NA LHC V CERN: ŠTÚDIUM SILNO INTERAGUJÚCEJ HMOTY V EXTRÉMNYCH PODMIENKACH

SPOLUPRÁCA TU – CERN

PRACOVNÉ CESTY

PUBLIKÁCIE

KONFERENCIE

PROPAGÁCIA

KONTAKT

ALICE COLLABORATION



TU Košice – plný člen kolaborácie experimentu ALICE CERN v Ženeve

Projekt výskumu a vývoja ALICE CERN na FEI TU v Košiciach

Technická univerzita v Košiciach bola ku dňu 12. 10. 2012 prijatá za asociovaného člena projektu [ALICE](#) v Európskom centre pre jadrový výskum ([CERN](#)). Pri tejto príležitosti bol v dvojtyždenníku [ALICE MATTERS](#), vydávanom v rámci projektu ALICE, zverejnený článok o našej univerzite. Na úlohách spojených s projektom sa podieľajú členovia [Centra moderných metód riadenie a priemyselnej informatiky](#) z CAK na KKUI FEI TU, ktorí začali pracovať na modernizácii systému DCS (Detector Control System) v CERN-e s dôrazom na optimalizáciu procesu výmeny dát medzi online a offline databázou ([CHEP 2013](#)).

Upgrade of the ALICE Inner Tracking System

Členovia skupiny [CMMRaPI](#) na KKUI FEI TU v Košiciach sú zapojení do riešenia výskumnej úlohy Upgrade of the Alice Inner Tracking System, zameranej na vývoj Pixelového detektora s požiadavkou na registráciu a identifikáciu častíc vznikajúcich v zrážkach Pb-Pb pri energii 14 TeV na n-n pár, keď v koncovom stave môže byť tisíce nabitých častíc. Riešenie uvedenej úlohy je súčasťou medzivládnej dohody "Memorandum of Understanding for Collaboration in the Construction of the ALICE Detector Upgrade of the ALICE Inner Tracking System" podpísanej zástupcami

■ 5 pracovných ciest:

- február 2015, marec 2015, august 2015,
- jún 2016, jún 2017

■ podiel na tvorbe a správe stránky pre projekt:

<http://alice-cern.fei.tuke.sk/>

PROJEKT – EXPERIMENT ALICE NA LHC V CERN

ICALEPCS 2017 - The 17th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems

COMMUNICATION ARCHITECTURE OF THE DETECTOR CONTROL SYSTEM FOR THE INNER TRACKING SYSTEM

J. Jadlovsky, A. Jadlovska, S. Jadlovska, M. Oravec, D. Voscek, M. Kopcik, J. Cabala, M. Tkacik,
Technical University of Košice, Košice, Slovakia
P. Chochula, O. Pinazza, CERN, Geneva, Switzerland

Abstract - This paper presents the proposed communication architecture of the Detector Control System (DCS) for the Inner Tracking System (ITS). The purpose of the DCS is to acquire and control the states of the ITS. Since the ITS is not yet fully implemented, an emulator of the communication architecture is being developed. The proposed architecture comprises five levels. At the bottom, the detector is emulated by sensors connected to microcontrollers. Each microcontroller is then connected to a Raspberry Pi which represents the ALICE low-level front-end (ALF) electronics at the second level of communication architecture. The third level is represented by Front-End Device (FRED), a Linux server where more than one ALF device can be connected. FRED is then connected to the fourth level, implemented by the SCADA interface – WinCC OA. Above all these levels is an archiving and configuration database setup. Configuration bypasses the SCADA interface and is managed directly through FRED. The purpose of the emulator is to verify the proposed architecture in terms of data throughput and cooperation of the mentioned modules.

DCS schematics for ITS detector

ALFRED communication architecture for DCS of ITS detector testing workplace

Protocol DIM throughput and response

Conclusion - The purpose of this paper was to present the proposed communication architecture of DCS for ITS and to describe its individual modules. The communication architecture is emulated within conditions which are expected to be present in the real ITS detector. Therefore complex conditions have to be met and taken into account. The architecture is based on several different implementations starting with Arduino MCU, Raspberry Pi, Linux server up to the WinCC OA SCADA/HMI system and databases. Tests validating throughput via DIM and OPC protocols were also conducted in the favour of DIM protocol.

- **Communication architecture of the detector control system for the inner tracking system / J. Jadlovský ... [et al.] - 2017. ICALEPCS 2017. - Barcelona : Mondial and Cititravel Congressos, 2017 P. 1-4. - ISBN 978-3-95450-193-90**

PREHĽAD PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI

- ADF - vedecké práce v ostatných domácich časopisoch (4)
- AED - vedecké práce v domácich recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách (3)
- AFC - publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách (3)
- AFD - publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách (6)
- AFL - postery z domácich konferencií (1)
- ADC - publikácií v rámci projektu základného výskumu ALICE KE FEI TUKE – Experiment ALICE na LHC v CERN: Štúdium silno interagujúcej hmoty v extrémnych podmienkach (40)

PREHĽAD PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI

- **Model Predictive Control of Ball and Plate Laboratory Model / Matej Oravec, Anna Jadlovská - 2015. In: SAMI 2015. - Danvers : IEEE, 2015 pp. 165-170. - ISBN 978-1-4799-8220-2**

2017 [1] ROY, P. et al. Cascaded sliding mode control for position control of a ball and plate system In: TechSym 2016 : 4th IEEE Students' Technology Symposium : IIT Kharagpur Kharagpur, 30 September-2 October, 2016 P. 79-84 ISBN: 978-150905163-2

2017 [1] DOBRIBORSCI, D., KOLYUBIN, S. Design and control of parallel kinematics platform for nonprehensile manipulation In: ECMSM 2017 : IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics : Donostia-San Sebastian, 24-26 May, 2017 Art. no. 7945896 ISBN: 978-150905582-1

2017 [1] DUSEK, F., HONC, D., SHARMA K.R. Modelling of ball and plate system based on first principle model and optimal control In: PC 2017 : 21st International Conference on Process Control : Štrbské Pleso, 6-9 June, 2017 P. 216-221 ISBN: 978-153864011-1

2015 [3] KUMAR, Jitendra et al. Design and Experimental Analysis of Automatic Bowling Machine In: MIT International Journal of Mechanical Engineering Vol. 5, no. 2 (2015), p. 88-92 ISSN: 2230-7680

2016 [3] ROY, Prasanta - DAS, Arindam - ROY, Binoy Krishna Cascaded fractional order sliding mode control for trajectory control of a ball and plate system In: Transactions of the Institute of Measurement and Control DOI: 10.1177/0142331216663826 (2016), p. 1-11 ISSN: 0142-3312

2017 [3] DOBRIBORSCI, D., NIKOLAEV, N.A., DIDRENTS, A.A. Control system for tiltable plate with two degrees of freedom for research of dynamic manipulation problems In: Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics Vol. 17, no. 1 (2017), p. 187-190 ISSN: 2226-1494

PRIPRAVOVANÉ PUBLIKÁCIE

- **Návrh metodiky pre diagnostiku modelov fyzikálnych systémov a jej aplikácia do distribuovaného systému riadenia, časopis QuoVadis, FEI, TUKE [ORAVEC, Matej - JADLOVSKÁ, Anna]**
- **Actuator fault accommodation in predictive control algorithm with application to Ball on plate system, pripravovaná publikácia do zahraničného časopisu**

ĎAKUJEM ZA POZORNOST



Website: kyb.fei.tuke.sk

E-mail: matej.oravec@tuke.sk