

Číslicové regulátory pro řízení soustavy 3. řádu adaptivními regulátory

Bc. Martin Mitták

2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ABSTRACT

Cieľom tejto práce je zoznámiť čitateľov so zariadením od firmy AMIRA DTS200. Ďalej sa zaoberáme postupmi pri identifikácii danej sústavy. V prvej kapitole sa zoznámime s reálnym modelom a v nasledovnej kapitole sa budeme zaoberať s jej identifikáciou. Bude ukázané ako postupovať pri meraní statickej charakteristiky nasledovnej identifikácie a nakoniec riadenie adaptívnymi regulátormi.

OBSAH

1	MODEL.....	4
1.1	RIADIACE PRVKY SÚSTAVY	6
1.1.1	Čerpadlo	6
1.1.2	Ventil.....	7
1.1.3	Kalibrácia nádrže N2.....	7
1.2	STATICKÁ CHARAKTERISTIKA NÁDRŽE N2	8
1.3	IDENTIFIKÁCIA SÚSTAVY	9
2	NÁVRH REGULÁTORU.....	11
2.1	SKRIPT NA VÝPOČET 2DOF REGULÁTORA S RMNŠ	13
2.2	POUŽITÉ REGULÁTORY	17
	ZONAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	18
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	19
	ZOZNAM OBRÁZKOV	20
	ZÁVER.....	21

1 MODEL

Na Obr. 1 môžeme vidieť sústavu troch nádrží s označením AMIRA DTS200, ma ktorej prebiehalo meranie a následne jej riadenie.



Obr. 1. Reálny model AMIRA DTS200

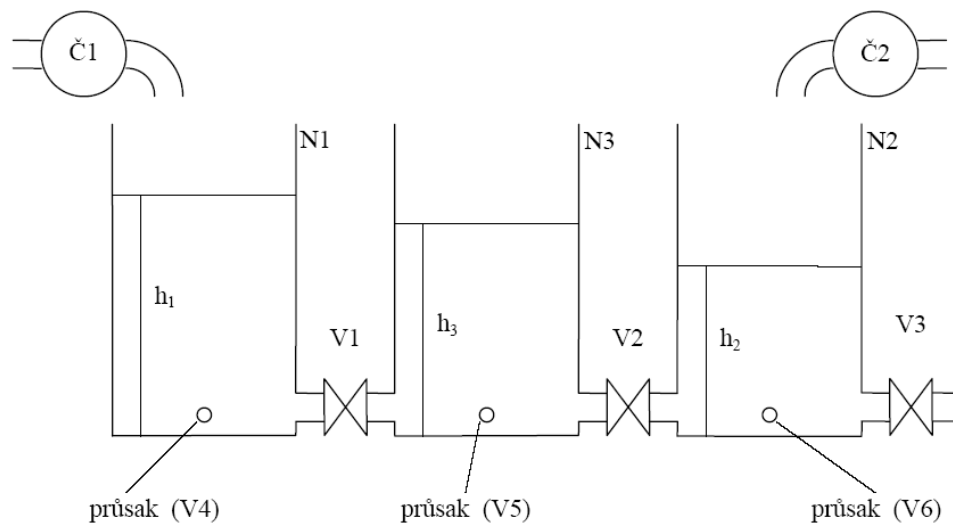
Základom je vaňa s kvapalinou, na ktorej sú pripevnené ďalšie funkčné časti ako: 2 zubové čerpadlá a 6 ventilov, senzory na zisťovanie výšky hladiny v každej nádrži a snímače na veľkosť prietoku kvapaliny ventilov. Hlavnými prvkami sú 3 nádrže ktoré sú navzájom prepojené príslušnými ventilmi.

Sústava je pripojená k riadiacemu PC pomocou vstupno-výstupnej karty Advantech PCI-1711. Čerpadlá Č1 a Č2 sú riadené pomocou analógových výstupov, výšky hladín sú prenášané pomocou analógových vstupov. Rovnako tak aj aktuálne polohy ventilov sú do PC predávané pomocou analógový vstupov. Pomocou digitálnych vstupov je navyše predávaná informácia o úplne otvorenom, prípadne úplne uzatvorenom ventile. Polohu každého ventilu je tiež možné ovládať pomocou dvoch analógový výstupov. Pre monitorovanie a ovládanie sústavy sú teda využité nasledujúce vstupy a výstupy:

- Analógové vstupy: 3x aktuálna pozícia hladina v jednotlivých nádržiach
- Digitálne vstupy: 6x indikácia úplne otvoreného ventilu, 6c indikácia úplne uzatvoreného ventilu
- Analógové výstupy: 2x ovládanie čerpadla
- Digitálne výstupy: 6 dvojíc pre ovládanie ventilov, zo 4 kombinácií pre každý ventil sú platné 3: otvárať ventil, uzatvárať ventil, nemeniť polohu

Sústava teda disponuje 3 veličinami, ktoré je možné regulovať (výška hladín). Pre reguláciu je možné požiť až 8 akčných zásahov (2 čerpadlá a 6 ventilov).

Pre jednoduchšie pochopenie funkcie jednotlivých ovládacích prvkov si jednotlivé prvky vysvetlíme na základe Obr. 2, na ktorom je zobrazená bloková schéma modelu.



Obr. 2 Bloková schéma modelu

Popis jednotlivých ovládacích prvkov:

Č1	.....	čerpadlo č. 1
Č2	.....	čerpadlo č. 2
N1	.....	nádrž č. 1

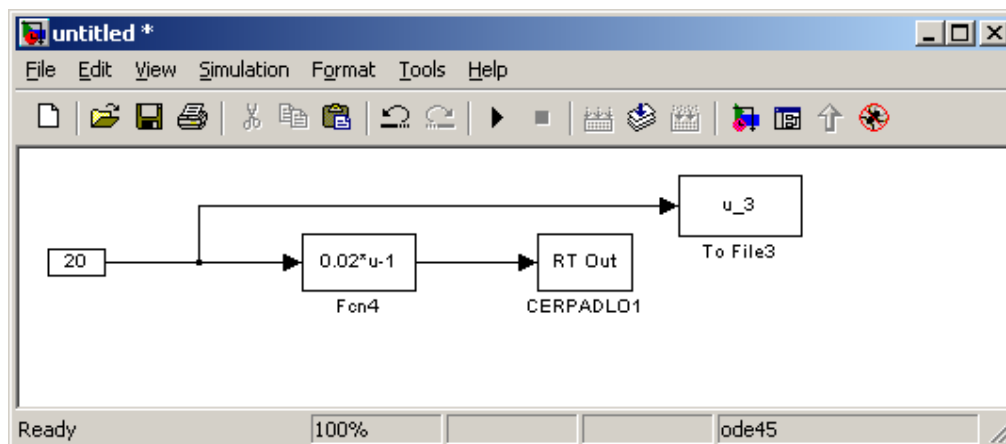
N2	.....	nádrž č. 2
N3	.....	nádrž č. 3
V1	.....	prepúšťací ventil medzi N1 a N3
V2	.....	prepúšťací ventil medzi N3 a N2
V3	.....	odtokový ventil z nádrže N2
V4	.....	odtokový ventil z nádrže N1
V5	.....	odtokový ventil z nádrže N3
V6	.....	odtokový ventil z nádrže N2

1.1 Riadiace prvky sústavy

Keďže riadim výšku hladiny v nádrži N2 a čerpadlom Č1 napúšťam nádrž N1 voda preteká cez 3 nádrže. Tým pádom sa jedná o sústavu 3. rádu. Aby som mohol sústavu riadiť ako sústavu tretieho rádu je potrebné, aby som nastavil odtok z nádrže N2 pomocou ventilu V6, ktorý je čiastočne pootvorený na konštantnú hodnotu. Celú sústavu riadim pomocou čerpadla Č1, ktorým sa naplňuje nádrž N1. Ventily V1 a V2 sú úplne otvorené a ventily V4 až V5 sú uzatvorené.

1.1.1 Čerpadlo

V simulinku sa dá výkon čerpadla riadiť zmenou hodnoty ktorá je v rozsahu -1 až 1, čo odpovedá: -1 – čerpadlo vypnuté; 1 – čerpadlo ide na plný výkon. Pre zjednodušenie vložíme pred čerpadlo blok *function*, pomocou ktorého môžeme riadiť výkon čerpadla v rozsahu 0 – 100% ako je znázornené na Obr. 3.



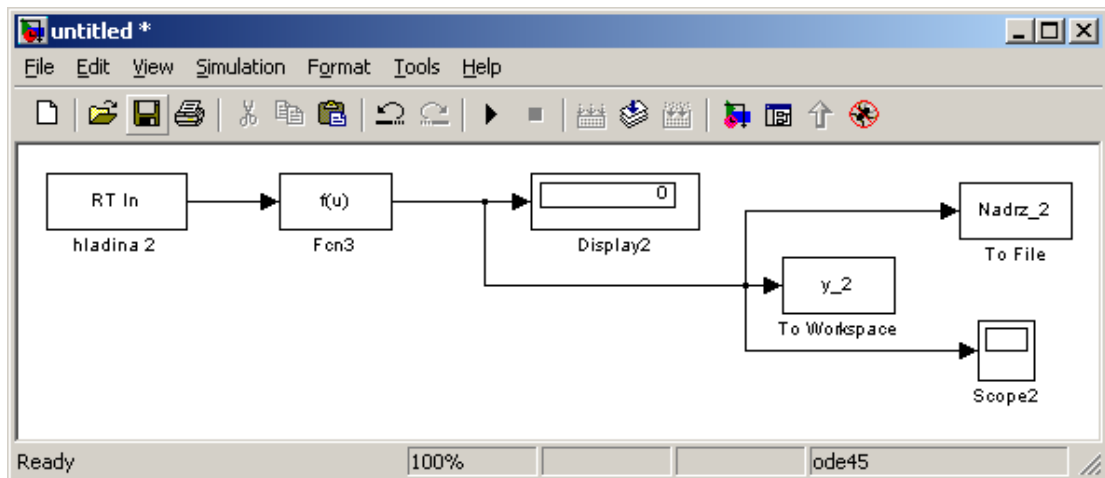
Obr. 3 Simulinková schéma na ovládanie výkonu čerpadla

1.1.2 Ventil

Odtok z nádrží je zabezpečený pomocou ventilu V6, ktorý je pootvorený na konštantnú hodnotu počas celého merania. Pootvorenie je nastavené v závislosti na experimentálnych pokusoch v závislosti na výkone čerpadla, aby bolo dosiahnuté čo najväčšieho rozsahu hladín.

1.1.3 Kalibrácia nádrže N2

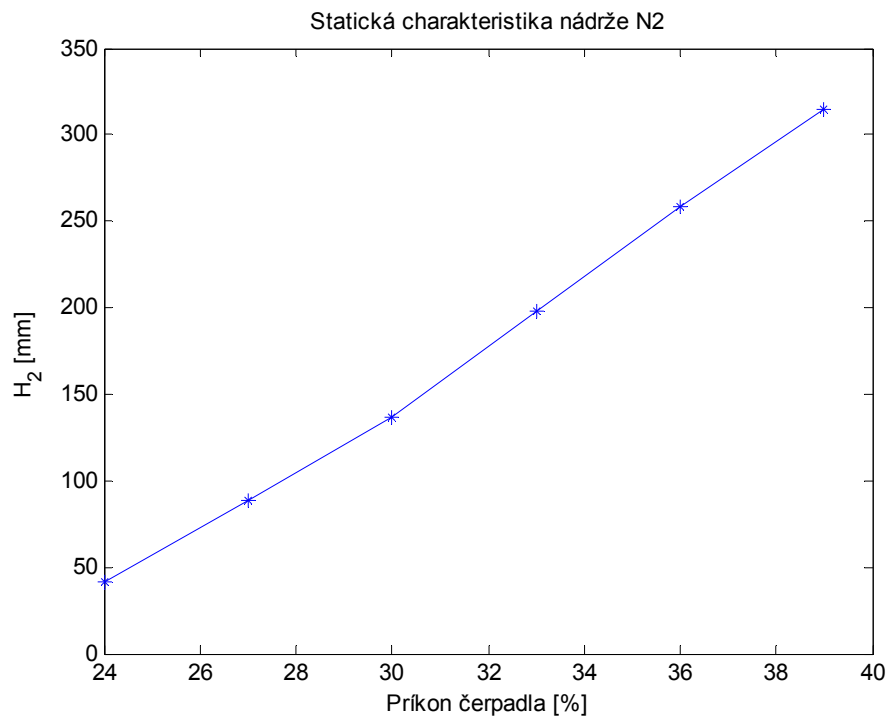
Pred vlastným meraním je nutné, aby sme skalibrovali meracie senzory na meranie výšky hladiny v nádrži N2. Kalibrácia v tomto prípade znamená, prepočet medzi výškou hladiny v nádrži a výstupným napätím na senzore. Ak takto skalibrujem senzor, dostanem presnú výšku hladiny, ktorá zodpovedá výške hladiny v nádrži, kde pomocou lineárnej regresie určím parametre prepočtu. Pomocou tejto funkcie zostavím funkciu, ktorú vložím ako blok *function* do simulinkovej schémy.



Obr. 4 Simulinková schéma na prepočet výšky hladiny [mm] v nádrži N2

1.2 Statická charakteristika nádrže N2

Keďže o sústave takmer nič nevieme, musíme si zmerať statickú charakteristiku nádrže N2, aby sme zistili lineárnu oblasť pre riadenie sústavy. To znamená, že danému výkonu čerpadla Č1 bude odpovedať určitá výška hladiny v nádrži N2, čo je zrejmé z Obr. 5.

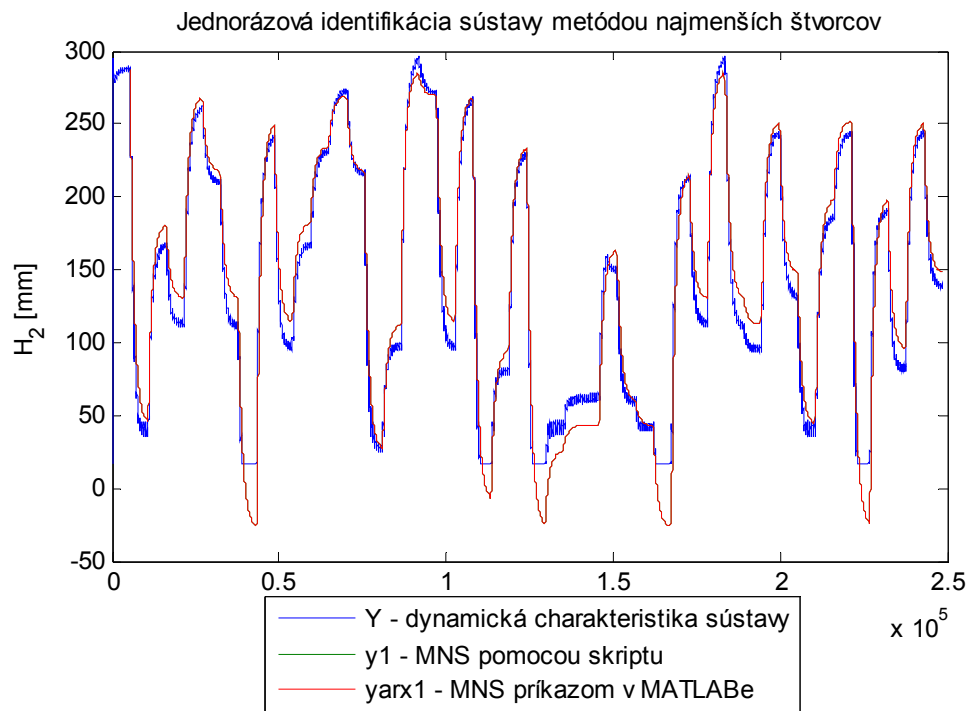


Obr. 5 Statická charakteristika nádrže N2

Ako je z Obr. 3 vidieť, lineárna oblasť pre riadenie výšky hladiny v nádrži N2 odpovedá výkonu čerpadla v rozmedzí od 24% do 39%. A tomu prislúchajúca maximálna možná výška hladiny je 320mm a minimálna výška hladiny je 40mm.

1.3 Identifikácia sústavy

Na identifikáciu sústavy bola využitá jednorazová metóda najmenších štvorcov (MNŠ) pomocou skriptu a ako kontrola bol použitý príkaz ARX, ktorý obsahuje Matlab. Ako vstupný signál bol použitý pseudonáhodný signál (PNS), kde akčný zásah bol v rozsahu 24 – 39% výkonu čerpadla Č1.



Obr. 6 Jednorázová identifikácia MNS

Pomocou identifikácie sme dostali odpovedajúci prenos, ktorý má tvar:

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_2 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}} \quad (1)$$

$T_0 = 15s$

2 NÁVRH REGULÁTORU

Keď máme identifikovanú sústavu, môžeme navrhnúť vhodný adaptívny regulátor. Pre riadenie sústavy sa osvedčil regulátor s dvoma stupňami voľnosti 2DOF, ktorý je založený na metóde umiestnenie pólov.

A keďže sa jedná o sústavu 3. rádu je potrebné, aby sme si všetky použité regulátory odvodili na 3. rád.

Systém je daný prenosom:

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}} \quad (2)$$

kde polynómy $A(z^{-1})$ a $B(z^{-1})$ majú tvar

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3} \\ B(z^{-1}) &= b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3} \end{aligned} \quad (3)$$

a budeme vychádzať z charakteristického polynómu

$$A(z^{-1})K(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})Q(z^{-1}) = D(z^{-1}) \quad (4)$$

kde stupne polynómov $K(z^{-1})$, $P(z^{-1})$ a $Q(z^{-1})$ sú

$$\begin{aligned} K(z^{-1}) &= 1 - z^{-1} \\ P(z^{-1}) &= 1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} \\ Q(z^{-1}) &= q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + q_3 z^{-3} \end{aligned} \quad (5)$$

a polynóm $D(z^{-1})$ vypočítame pomocou vzťahu

$$\begin{aligned} d_1 &= -2 \exp(-\xi \omega_n T_0) \cos(\omega_n T_0 \sqrt{1 - \xi^2}), \text{ pre } \xi \leq 1 \\ d_2 &= -2 \exp(-\xi \omega_n T_0) \cosh(\omega_n T_0 \sqrt{\xi^2 - 1}), \text{ pre } \xi > 1 \\ d_2 &= \exp(-2\xi \omega_n T_0) \\ d_3 &= d_4 = d_5 = d_6 = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Ak dosadíme vzťahy (3) a (5) do rovnice (4) dostaneme rovnicu v tvare

$$\begin{aligned} &(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3})(1 - z^{-1})(1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2}) + \\ &+ (b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3})(q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + q_3 z^{-3}) = D(z^{-1}) \end{aligned} \quad (7)$$

Po roznásobení a rozdelení jednotlivých koeficientov podľa mocnín si takto získané rovnice zapíšeme do matice

$$\begin{array}{cccccc}
 & & & & \text{A} & & \text{Q} & & \text{D} \\
 & & & & & & & & \\
 \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ b_2 & b_1 & 0 & 0 & a_1 - 1 & 1 \\ b_3 & b_2 & b_1 & 0 & a_2 - a_1 & a_1 - 1 \\ 0 & b_3 & b_2 & b_1 & a_3 - a_2 & a_2 - a_1 \\ 0 & 0 & b_3 & b_2 & -a_3 & a_3 - a_2 \\ 0 & 0 & 0 & b_3 & 0 & -a_3 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} d_1 + 1 - a_1 \\ d_2 + a_1 - a_2 \\ d_3 + a_2 - a_3 \\ d_4 + a_3 \\ d_5 \\ d_6 \end{bmatrix} \\
 & & & & & & & & (8)
 \end{array}$$

A pomocou takto zostavenej matice pomocou vzťahu (9) vypočítame parametre regulátora

$$Q = \text{inv}(A) * D \quad (9)$$

Výsledný prenos regulátoru potom je

$$\begin{aligned}
 G_R(z) &= \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})K(z^{-1})} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} + q_3 z^{-3}}{(1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2})(1 - z^{-1})} \\
 G_F(z) &= \frac{R(z^{-1})}{P(z^{-1})K(z^{-1})} = \frac{r_0}{(1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2})(1 - z^{-1})}
 \end{aligned} \quad (10)$$

Akčný zásah sa vypočíta pomocou vzťahu

$$P(z^{-1})K(z^{-1})u(k) = R(z^{-1})w(k) - Q(z^{-1})y(k) \quad (11)$$

Dosadením do vzťahu (11) dostaneme akčný zásah v tvare

$$\begin{aligned}
 u(k) &= r_0 w(k) - q_0 y(k) - q_1 y(k-1) - q_2 y(k-2) - q_3 y(k-3) + \\
 &+ (1 + p_1)u(k-1) + (p_1 - p_2)u(k-2) + p_2 u(k-3)
 \end{aligned} \quad (12)$$

Pomocou takto navrhnutého regulátoru môžeme napísať skript na riadenie výšky hladiny v nádrži N2.

2.1 Skript na výpočet 2DOF regulátora s RMNŠ

```
function uk = rad3_2dof(wk, yk)

%-----
% REKURZIVAN METODA NAJMENSICH STVORCOV SO SMEROVYM ZABUDANIM
% ADAPTIVNY REGULATOR 3. RADU ZALOZENY NA METODE PRIRADENIA POLOV - 2DOF
%-----

global yk_1;
global yk_2;
global yk_3;
global uk_1;
global uk_2;
global uk_3;
global a1;
global a2;
global a3;
global b1;
global b2;
global b3;
global Fik_1;
global COVk_1;
global Nik_1;
global Lambdak_1;
global Theta;
global k;
global Xi;
global Omega;
global Ro;
global Perioda;
global d3;
global d4;
global d5;
global d6;

a1(k) = Theta(1,1);
a2(k) = Theta(2,1);
a3(k) = Theta(3,1);
b1(k) = Theta(4,1);
b2(k) = Theta(5,1);
b3(k) = Theta(6,1);

d2 = exp(-2 * Xi * Omega * Perioda);
if Xi <=1
    d1 = -2 * exp((-Xi) * Omega * Perioda) * cos(Omega * Perioda * (sqrt(1
- Xi*Xi)));
else
    d1 = -2 * exp((-Xi) * Omega * Perioda) * cosh(Omega * Perioda *
(sqrt(Xi*Xi - 1)));
end

%-----
% VYPOCET PARAMETROV REGULATORA
%-----
```

```

BX = [b1(k) 0 0 0 1 0; b2(k) b1(k) 0 0 a1(k)-1 1; b3(k) b2(k) b1(k) 0
a2(k)-a1(k) a1(k)-1; 0 b3(k) b2(k) b1(k) a3(k)-a2(k) a2(k)-a1(k); 0 0
b3(k) b2(k) -a3(k) a3(k)-a2(k); 0 0 0 b3(k) 0 -a3(k)];
DX = [d1-a1(k)+1; d2+a1(k)-a2(k); d3+a2(k)-a3(k); d4+a3(k); d5; d6];
QX = zeros(6,1);

QX = inv(BX)*DX;

q0 = QX(1);
q1 = QX(2);
q2 = QX(3);
q3 = QX(4);
p1 = QX(5);
p2 = QX(6);

r0 = (1 + d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6)/(b1(k) + b2(k) + b3(k));

uk = r0 * wk - q0 * yk - q1 * yk_1 - q2 * yk_2 - q3 * yk_3 + (1 - p1) *
uk_1 + (p1 - p2) * uk_2 + p2 * uk_3;

%-----
% OBMEDZENIE AKCNEHO ZASAHU
%-----

if uk > 17
    uk = 17;
elseif uk < 0
    uk = 0;
end

Fik = [-yk_1; -yk_2; -yk_3; uk_1; uk_2; uk_3];
Ksi = Fik' * COVk_1 * Fik;
e_strieska = yk - Theta' * Fik;
Theta = Theta + (((COVk_1 * Fik) / (1 + Ksi)) * e_strieska);

%-----
% VYPOCET SMEROVEHO ZABUDANIA
%-----

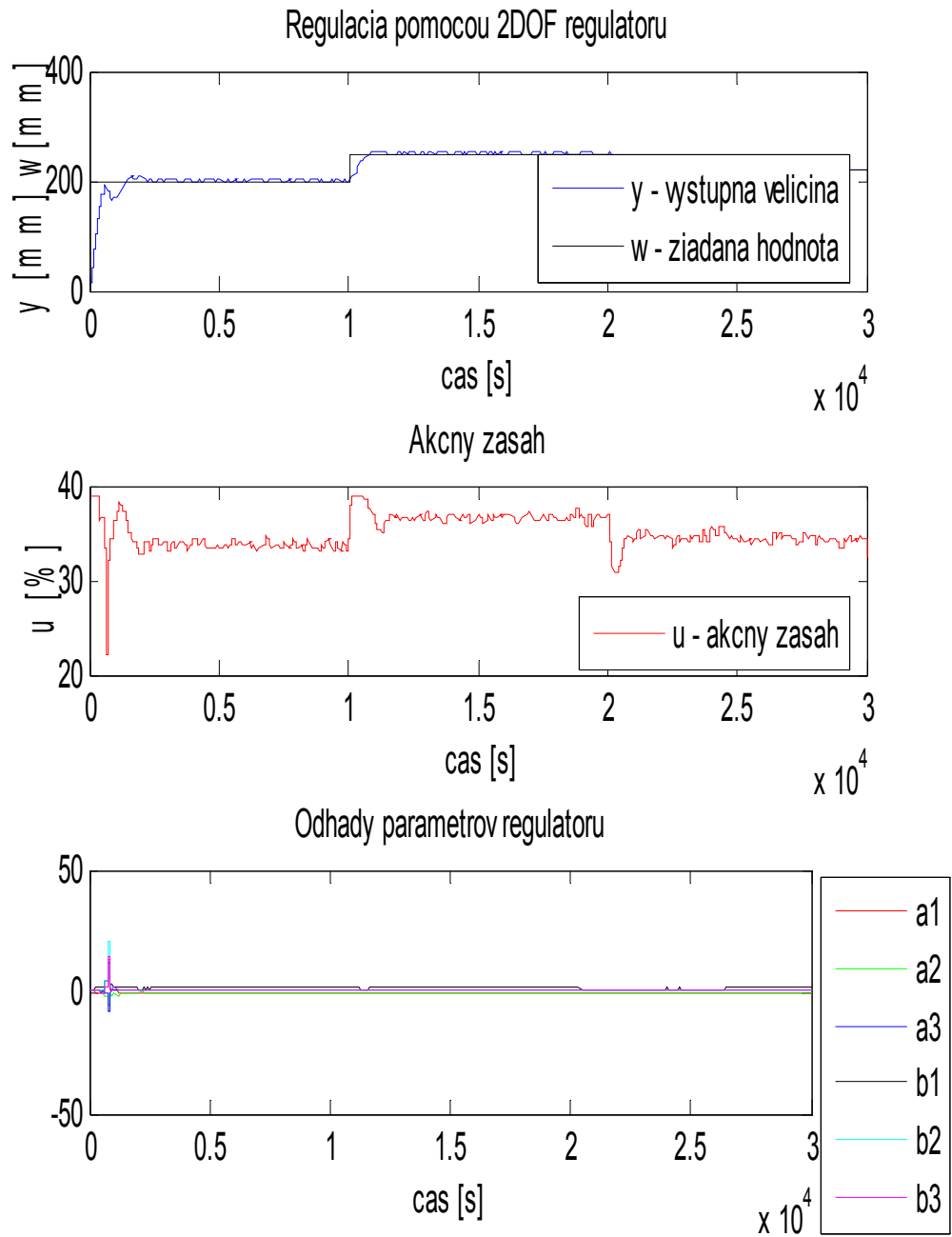
if Ksi > 0
    Nik = Fik_1 * (Nik_1 + 1);
    Lambdak = Fik_1 * (Lambdak_1 + ((e_strieska^2) / (1 + Ksi)));
    Eta = (e_strieska^2) / Lambdak;
    Fik = 1 + (1 + Ro) * (log(1 + Ksi) + (((Nik + 1) * Eta) / (1 + Ksi +
Eta)) - 1) * (Ksi / (1 + Ksi)));
    Epsilon = Fik - ((1 - Fik) / Ksi);
    COV = COVk_1 - ((COVk_1 * Fik * Fik' * COVk_1) / ((Epsilon^-1) +
Ksi));
    Fik_1 = Fik;
    Lambdak_1 = Lambdak;
    Nik_1 = Nik;
else
    COV = COVk_1;
end

yk_3 = yk_2;
yk_2 = yk_1;

```

```
yk_1 = yk;  
uk_3 = uk_2;  
uk_2 = uk_1;  
uk_1 = uk;  
COVk_1 = COV;  
k = k + 22;
```

Pomocou tohto skriptu sa počítajú odhady regulátora a následne s takto identifikovanou sústavou prebieha regulácia výšky hladiny v nádrži N2.



Obr. 7 Regulácia výšky hladiny pomocou 2DOF regulátoru

2.2 Použité regulátory

Pre adaptívne riadenie sústavy 3. rádu boli použité nasledovné druhy regulátorov:

- Číslicové PID regulátory založené na metóde priradenia pólov: PID – A1, PID – A2
- Číslicové PID regulátory založené na modifikovanom Ziegler-Nicholsovom kritériu: ZOBD, DOBD
- Metódy založené na kritériu konečného počtu krokov: Silná verzia
- Metódy založené na priradení pólov: 2DOF

ZONAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] BALÁTĚ, Jaroslav. *Adaptivní a prediktivní řízení*. 1. vyd. Zlín: Universita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. ISBN 978-80-7318-662-3
- [2] Bobál, V, Chalupa, P. Self-Tuning Controllers Simulink Library, Version 2. User's Manual, Zlín, Tomas Bata University, 2002, (see <http://www.utb.cz/stctool>).
- [3] Bobál, V. *Adaptivní a prediktivní řízení*. Zlín, Universita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. ISBN 978-80-7318-662-2

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Č1	Čerpadlo 1
Č2	Čerpadlo 2
N1	Nádrž 1
N2	Nádrž 2
N3	Nádrž 3
V1	Ventil 1
V2	Ventil 2
V3	Ventil 3
V4	Ventil 4
V5	Ventil 5
V6	Ventil 6
PNS	Pseudonáhodný signál
ARX	Autoregressive eXogenous
2DOF	Two Degree of Freedom (Regulátor s dvoma stupňami voľnosti)

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1. Reálny model AMIRA DTS200	4
Obr. 2 Bloková schéma modelu.....	5
Obr. 3 Simulinková schéma na ovládanie výkonu čerpadla.....	7
Obr. 4 Simulinková schéma na prepočet výšky hladiny [mm] v nádrži N2	8
Obr. 5 Statická charakteristika nádrže N2	9
Obr. 6 Jednorazová identifikácia MNŠ	10
Obr. 7 Regulácia výšky hladiny pomocou 2DOF regulátoru	16

ZÁVER

Táto práca bola zameraná na zoznámenie sa s problematikou riadenia reálnej sústavy vyššieho rádu a zoznámenie sa s adaptívnym riadením. Cieľom bolo identifikovať sústavu a navrhnúť vhodné typy adaptívnych regulátorov. Táto práca bude voľne k dispozícii pre vedecké účely.