

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE  
KATEDRA INFORMATIZÁCIE ARIADENIA PROCESOV

SEMESTRÁLNY PROJEKT  
Návrh fuzzy regulátorov v prostredí Matlab

Vypracovala:

Martina Bihuňová

Vedúci projektu:

Ing. Anna Vasičkaninová

Bratislava 2005

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
FAKULTA CHEMICKEJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE  
STU V BRATISLAVE**

---

**Katedra: informatizácie a riadenia procesov**

**Číslo: 1/2005**

**Vec:** Zadanie semestrálneho projektu na ukončenie bakalárskeho štúdia.

- **Meno študenta /ky/: Martina Bihuňová**

(u vydatých aj rodné)

- **Meno vedúceho projektu: Ing. Anna Vasičkaninová**
- **Názov projektu:**  
/So všetkými podrobnosťami: formulácia úlohy, rozsahu, podmienok  
riešenia, harmonogramu riešenia a pod./

**Návrh fuzzy regulátorov v prostredí Matlab**

**4. Termín odovzdania záverečnej práce projektu: 21. 05. 2005**

**5. Záverečná práca projektu sa odovzdáva v 2 zviazaných exemplároch vedúcemu projektu.**

**Dátum: 14. 02. 2005**

**Doc. Dr. Ing. Miroslav Fikar  
vedúci katedry**

Dovoľujem si poďakovať vedúcej semestrálneho projektu Ing. Anne Vasičkaninovej za poskytnutie cenných rád a pripomienok pri vypracovaní tohto semestrálneho projektu.

# 1 Úvod

Zásobníky kvapaliny sú prietochné procesy s jednoduchou akumuláciou hmoty. Patria medzi najrozšírenejšie zariadenia chemickej technológie.

Pri riadení sústavy zásobníkov kvapaliny nás zaujíma hlavne, ako vplýva vstupný prietok kvapaliny na výšky hladín v jednotlivých zásobníkoch.

V posledných rokoch sa v praxi môžeme stretnúť v riadení a regulovaní s prístupmi a princípmi, ktoré sú založené na pomerne novej vednej disciplíne. Táto disciplína sa zaoberá symbiózou rôznych výpočtových postupov, pre ktoré je spoločným znakom odklon od klasického modelovania. Ich charakteristickým znakom sú mäkké požiadavky na presnosť popisovaných javov.

V tejto práci som riadila sústavu troch zásobníkov kvapaliny s interakciou medzi 2. a 3. zásobníkom pomocou fuzzy resp. neuro-fuzzy regulátora. Charakteristickým znakom fuzzy riadenia je možnosť bezprostredného použitia empirických znalostí človeka – operátora o riadenom procese. Môže byť využitý tam, kde je klasické riadenie neuspokojivé. Fuzzy regulátor je veľmi vhodný ako supervizor, ktorý dohliada na všetky ostatné regulátory a zapája ich vhodným spôsobom do riadenia.

Súčasťou MATLABu je FUZZY LOGIC TOOLBOX, ktorý poskytuje pohodlný spôsob návrhu fuzzy regulátora v interaktívnom grafickom prostredí Graphical User Interface (GUI).

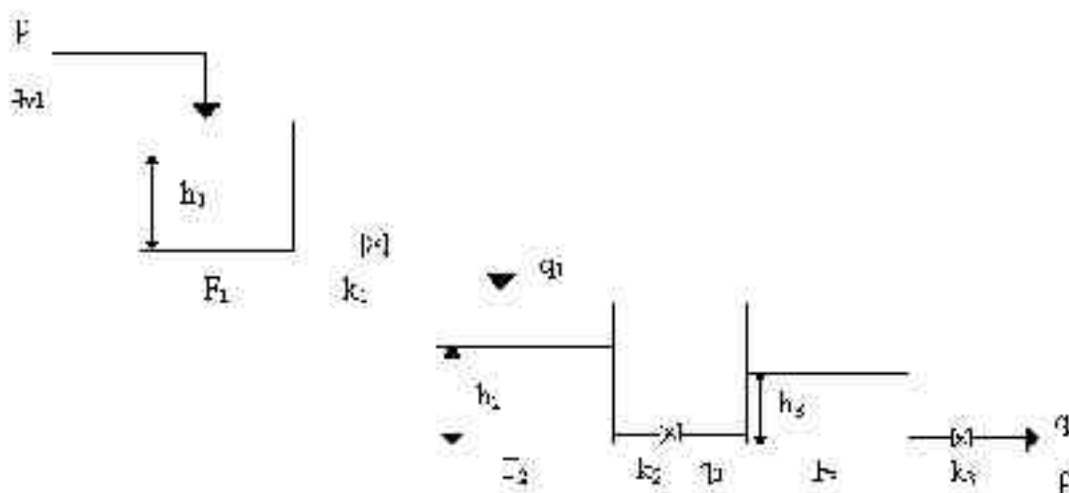
## 2 Matematické modely

Matematický model procesu je matematickou abstrakciou reálneho procesu. Opisuje vzťahy medzi vstupnými, stavovými a výstupnými veličinami procesu. Poskytuje možnosť určiť správanie sa procesu ak sú známe vstupy. Rozsah platnosti matematického modelu určujú situácie, v ktorých môže byť použitý.

Matematické modely môžu byť použité pri riadení spojitých technologických celkov, pri skúmaní dynamických vlastností procesov, pri optimálnom návrhu procesov a pri určení optimálnych prevádzkových podmienok procesu

### 2.1 Zásobníky kvapaliny

Zásobníky kvapaliny sú prietochné procesy s jednoduchou akumuláciou hmoty. Patria medzi najrozšírenejšie zariadenia chemickej technológie.



Obr. 1 Schéma troch zásobníkov kvapaliny

Na obr. 1 je schéma troch zásobníkov kvapaliny, pričom medzi 2. a 3. zásobníkom je interakcia. Fyzikálne sú reprezentované nádržami. Do prvej nádrže priteká kvapalina o prietoku  $q_{v1}$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ], s hustotou  $\rho$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] a vyteká z tretej nádrže o prietoku  $q_3$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ], hustotou  $\rho$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Ako výstupná veličina sa najčastejšie uvažuje výška hladiny kvapaliny

$h_3$  [m], ktorá je väčšinou postavená do úlohy regulovanej veličiny s cieľom udržať ju na určitej žiadanej veličine. Dynamické vlastnosti systému ovplyvňujú plochy povrchu hladiny kvapaliny  $F[m^2]$ . Predpokladáme, že na začiatku bola sústava v ustálenom stave.

| $q_{v1} / m^3s^{-1}$ | $k_1 / m^{2.5}h^{-1}$ | $k_2 / m^{2.5}h^{-1}$ | $k_3 / m^{2.5}h^{-1}$ | $F_1 / m^2$ | $F_2 / m^2$ | $F_3 / m^2$ |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1                    | 1,25                  | 1,25                  | 1,25                  | 2           | 2           | 2           |

Tab.1 Parametre sústavy

Pre zadané parametre bol na základe materiálovej bilancie vytvorený matematický model zásobníka v tvare 3 diferenciálnych rovníc, z ktorých po linearizácii dostaneme prenos

$$G_s(s) = \frac{H_3(s)}{Q_{v1}(s)} = \frac{0,076294}{s^3 + 1,5625s^2 + 0,61035s + 0,059605}$$

### 3 Regulátory a charakteristiky regulátorov

Regulátory, ktorým niekedy hovoríme ústredné členy a ktoré sa používajú v riadiacich obvodoch, majú tri základné prvky: proporcionálnu časť, integračnú časť a derivačnú časť. Názvy jednotlivých častí alebo celých regulátorov sú dané tým, akú matematickú operáciu vykonávajú.

Proporcionálny regulátor generuje výstupnú veličinu, ktorá je úmerná regulačnej

odchýlke  $e$ . Prenos P-člena je  $G_{RP}(s) = \frac{U_P(s)}{E(s)} = Z_R$ , kde  $Z_R$  je proporcionálne zosilnenie.

Integračný člen vykonáva operáciu integrovania vstupnej veličiny.

Prenosová funkcia I-člena má tvar  $G_{RI}(s) = \frac{U_I(s)}{E(s)} = \frac{1}{Ti \cdot s}$ . Jeho výhodou je, že vždy odstraňuje TRO.

Derivačný člen vykonáva operáciu derivovania vstupnej veličiny. Prenosová funkcia D-člena

je  $G_{RD}(s) = \frac{U_D(s)}{E(s)} = Td \cdot s$ . D-člen slúži hlavne na odstránenie náhlych zmien regulovanej veličiny.

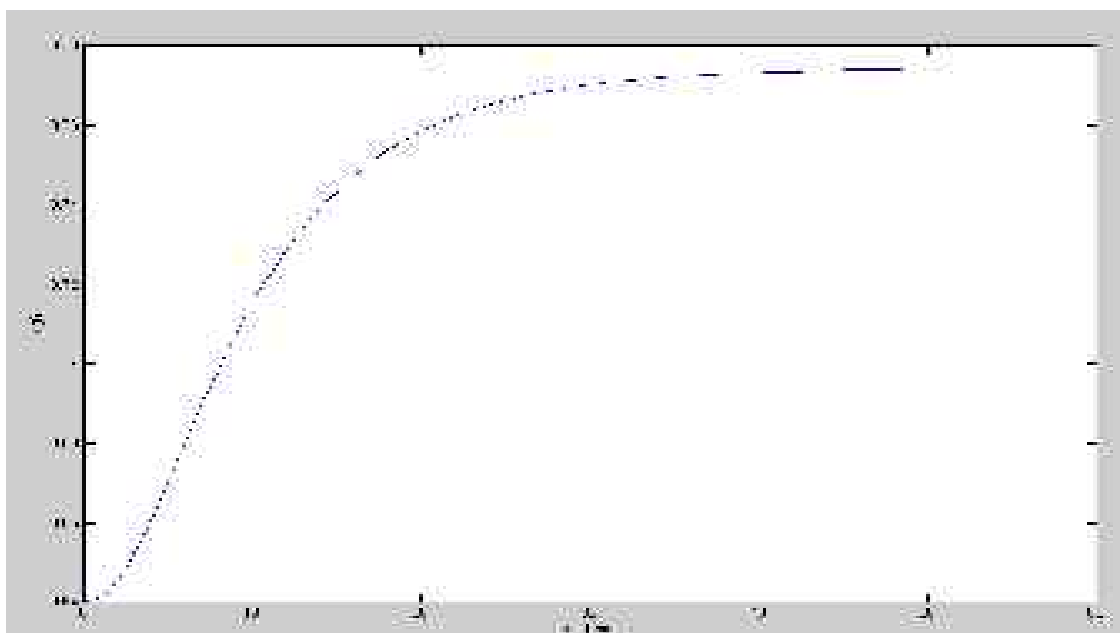
Kombináciou vyššie opísaných členov sa môžu vytvárať rôzne typy regulátorov so špecifickými vlastnosťami, ako je P, PI, PD, PID regulátor.

### 3.1 Identifikácia

Pod identifikáciou procesov a iných častí systémov riadenia budeme rozumieť experimentálne nájdenie ich statických a dynamických charakteristík a ich vyhodnotenie. Statické charakteristiky nájdeme meraním výstupných veličín od vstupných veličín pri ustálených stavoch meraného zariadenia. Dynamické vlastnosti procesov zisťujeme pomocou dynamických charakteristík, ktoré získame meraním závislosti výstupných veličín od vstupných veličín pri neustálených stavoch meraného zariadenia. Dynamické vlastnosti systémov s veľkými časovými konštantami sa určujú pomocou prechodových a impulzných charakteristík. Časový priebeh výstupnej veličiny, ktorý je odozvou na skokovú zmenu jednej zo vstupných veličín, voláme reálnou prechodovou charakteristikou (PCH).

Identifikáciu som robila pomocou s-funkcie z23 vytvorenej v prostredí Matlab-u, ktorú uvádzam v prílohe.

Ako vstupná hodnota bol zvolený vstupný prietok  $q_{v1}$ . Sledovala som odozvu hladiny v 3. zásobníku na skokovú zmenu z  $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ( $u_0$ ) na  $1,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ( $u_\infty$ ). Získaná prechodová charakteristika je na obr.2



Obr.2 Identifikácia systému pomocou prechodovej charakteristiky

Údaje získané z identifikácie sú zaznamenané v tab.2

| Z   | D   | T  | T <sub>n</sub> | T <sub>u</sub> | n |
|-----|-----|----|----------------|----------------|---|
| 1,4 | 2,5 | 10 | 14,8           | 3,2            | 3 |

Tab.2 Údaje získané z identifikácie

### 3.2 Metódy návrhu parametrov regulátora

Pri navrhovaní parametrov regulátora treba postupovať tak, aby uzavretý systém riadenia bol stabilný a realizovateľný, a aby mal ďalšie vyžadované vlastnosti.

Metódy návrhu parametrov:

- analytické
- experimentálne

Medzi analytické metódy patria:

- Naslinova metóda (využíva sa vtedy, ak máme zadané maximálne preregulovanie)
- Metóda umiestnenia pólov (vhodná pre stabilný aperiodický systém)

Medzi experimentálne metódy návrhu parametrov regulátora patria:

- Ziegler, Nichols-ova metóda
- Strejc-ova metóda
- Metóda priamej syntézy
- Cohen, Coon-ova metóda
- Rivera, Morari-ova metóda (IMC)
- Haalman-ova metóda
- Chien, Hrones, Reswick-ova metóda
- Smith, Murrill-ova metóda

### 3.2.1 Návrh parametrov regulátora

Sú určené konštanty: zosilnenie  $Z$ , doba prietahu  $t_u$ , doba nábehu  $t_n$ , časová konštanta  $T$  a rád sústavy  $n$  (tab.2).

Na základe analytických a experimentálnych metód som určila členy  $P$ ,  $I$ ,  $D$ , ktoré sú zaznamenané v tab.3. Ako ukazovatele kvality riadenia boli použité hodnoty absolútnej regulačnej plochy ( $ise$ ) a kvadratickej regulačnej plochy ( $iae$ ). Ich hodnoty sú tiež uvedené v tabuľke.

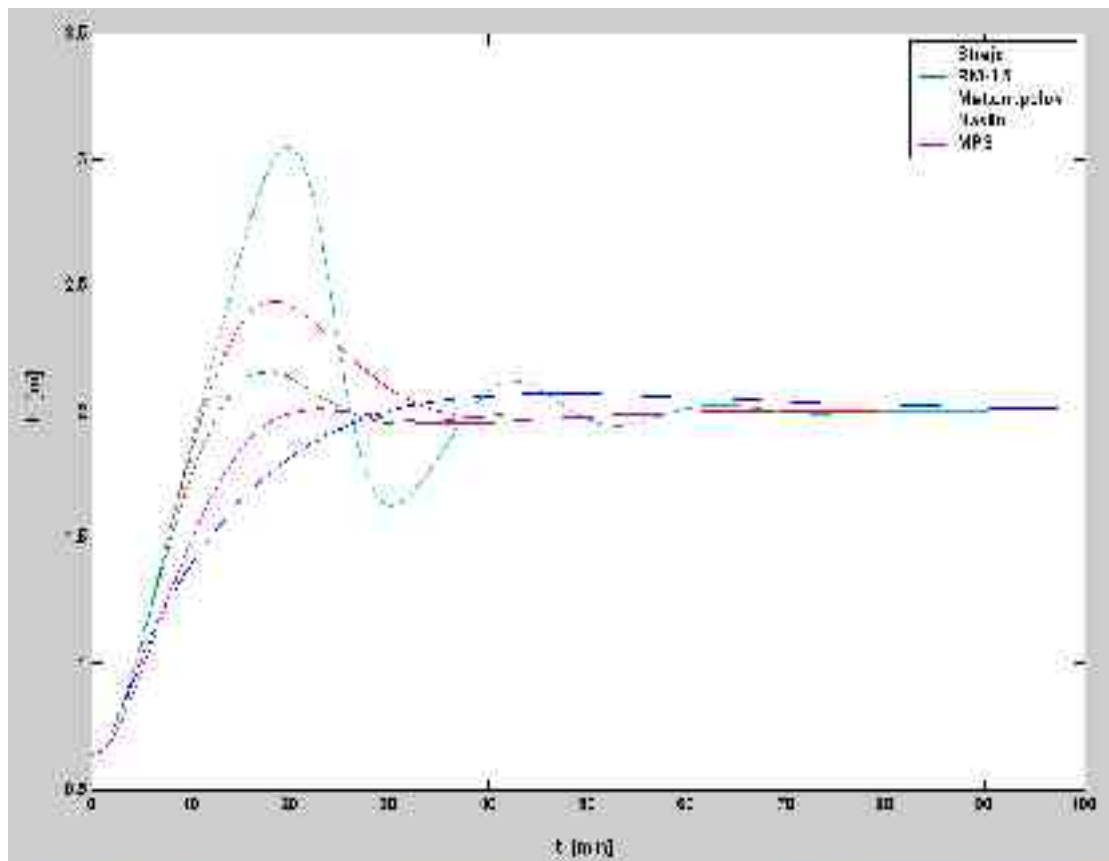
|                                                      | P      | I      | D       | ise     | iae     |
|------------------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Cohen-Coon                                           | 4,5833 | 0,6336 | 5,1316  | 16,0149 | 21,7038 |
| Metóda priamej syntézy (MPS)                         | 0,9697 | 0,0591 | 1,1406  | 11,4544 | 13,0480 |
| Rivera-Morari $\lambda$ - 0.5 (RM)                   | 2,4405 | 0,1488 | 3,5238  | 9,9349  | 12,5831 |
| Rivera-Morari $\lambda$ - 1.5 (RM)                   | 1,4643 | 0,0893 | 2,1143  | 9,4085  | 11,0766 |
| Rivera-Morari $\lambda$ - 5 (RM)                     | 0,6101 | 0,0372 | 0,8810  | 15,9942 | 20,5858 |
| Ziegler-Nicholsova metóda                            | 3,9643 | 0,6194 | 6,3429  | 16,2237 | 20,3103 |
| Strejcova metóda                                     | 1,6518 | 0,0670 | 13,3929 | 12,3059 | 17,2585 |
| Haalmanova metóda                                    | 2,6667 | 0,2667 | 0       | 12,2992 | 19,3204 |
| Smith-Murrillova metóda                              | 1,4902 | 0,1473 | 0       | 12,2992 | 19,3204 |
| Chien-Hrones-Reswickova met.<br>(preregulovanie 0%)  | 1,7143 | 0,1714 | 2,1429  | 11,3037 | 15,6377 |
| Chien-Hrones-Reswickova met.<br>(preregulovanie 20%) | 2,7143 | 0,1939 | 3,1893  | 10,8141 | 14,2265 |
| Metóda umiestnenia pólov                             | 1,9187 | 0,2109 | 6,7840  | 10,8403 | 14,8725 |
| Naslinova metóda                                     | 3,2112 | 0,5992 | 6,5546  | 17,7420 | 22,5723 |

Tab.3 Navrhnuté parametre regulátorov

### 3.3 Riadenie sústavy troch zásobníkov pomocou PID – regulátora

Riadenou veličinou bola výška hladiny v treťom zásobníku. Schéma pre simuláciu riadenia je uvedená na obr.3





Obr.4 Priebeh riadenia hladiny  $h$

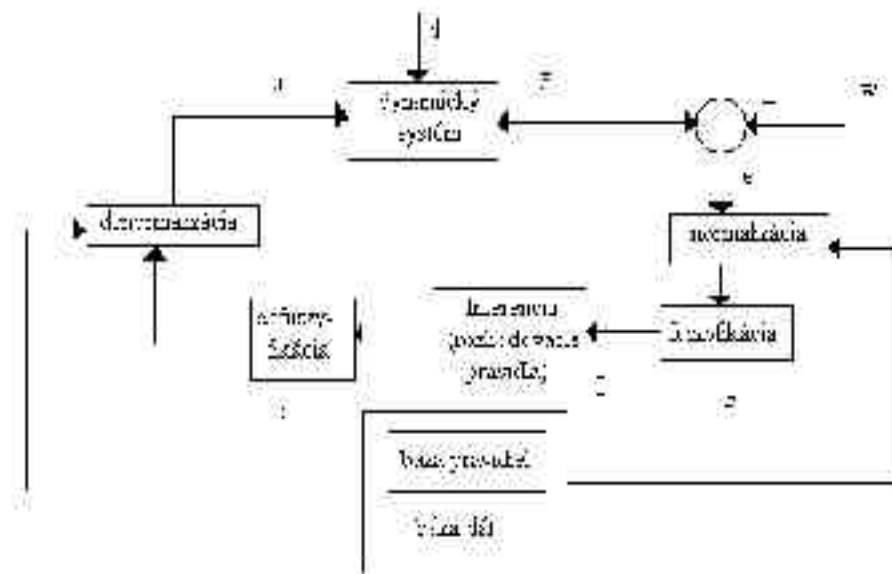
## 4 Fuzzy regulátory

Fuzzy regulátor je znalostný systém, ktorý pracuje v reálnom čase a modeluje spôsob ľudského uvažovania. Pre riadenie využíva znalosti experta v podobe pravidiel

$$AK \langle \text{fuzzy výrok} \rangle \text{ POTOM } \langle \text{fuzzy výrok} \rangle$$

Táto podmienka je označovaná ako „produkčné pravidlo“.

Štruktúra fuzzy regulátora je na obr.4 a jeho ústredný člen tvoria tri základné bloky: fuzzyfikácia F, inferencia I a defuzzyfikácia D.



Obr.5 Štruktúra fuzzy regulátora

V bloku fuzzyfikácia sa menia namerané, alebo udané údaje na fuzzy údaje. V bloku inferencia sa realizuje inferenčný mechanizmus z rozhodovacích pravidiel. Výsledkom rozhodovacích pravidiel je súbor funkcií príslušnosti pre jednotlivé výstupné lingvistické premenné. Priradenie ostrých hodnôt akčných veličín výstupným lingvistickým premenným v prípustnom rozsahu sa nazýva defuzzyfikácia.

Báza pravidiel obsahuje všetky fuzzy pravidlá, ktoré popisujú správanie fuzzy regulátora.

Sú známe dva základné typy fuzzy regulátorov:

- Fuzzy regulátor Mamdaniho typu
  - fuzzy pravidlo je v tvare: AK  $x$  je  $A$  a  $y$  je  $B$  POTOM  $z$  je  $C$
- Fuzzy regulátor Sugenovho typu
  - fuzzy pravidlo je v tvare: AK  $x$  je  $A$  a  $y$  je  $B$  POTOM  $z=f(x,y)$

#### 4.1 Návrh Fuzzy regulátora typu Sugeno

Súčasťou FUZZY TOOLBOX-u je štruktúra ANFIS, ktorú možno použiť na návrh neuro-fuzzy regulátora Sugenovho typu.

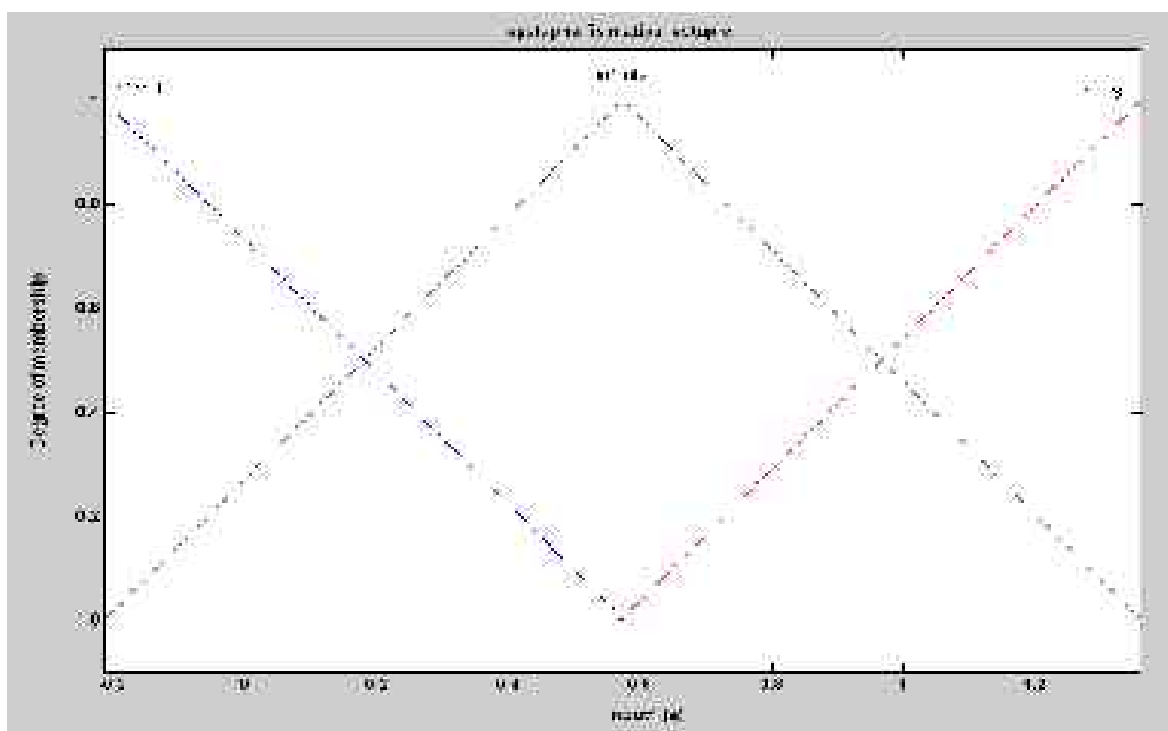
Jednoduchý program obsahuje príkazy:

- `anfis`: pre zadané tréningové údaje a vstupné fis-matice vygeneruje výslednú fis-maticu.
- `genfis1`: vytvára vstupné fis-matice pre zadané údaje, pre zadaný počet a typ funkcií príslušnosti.
- `plotmf`: kreslenie vstupných a výstupných funkcií príslušnosti, v prípade fis-matice pre regulátor Sugenovho typu iba vstupné, pretože výstup nie sú fuzzy hodnoty.
- `gensurf`: výstupný povrch
- `readfis`: načítanie fis-matice

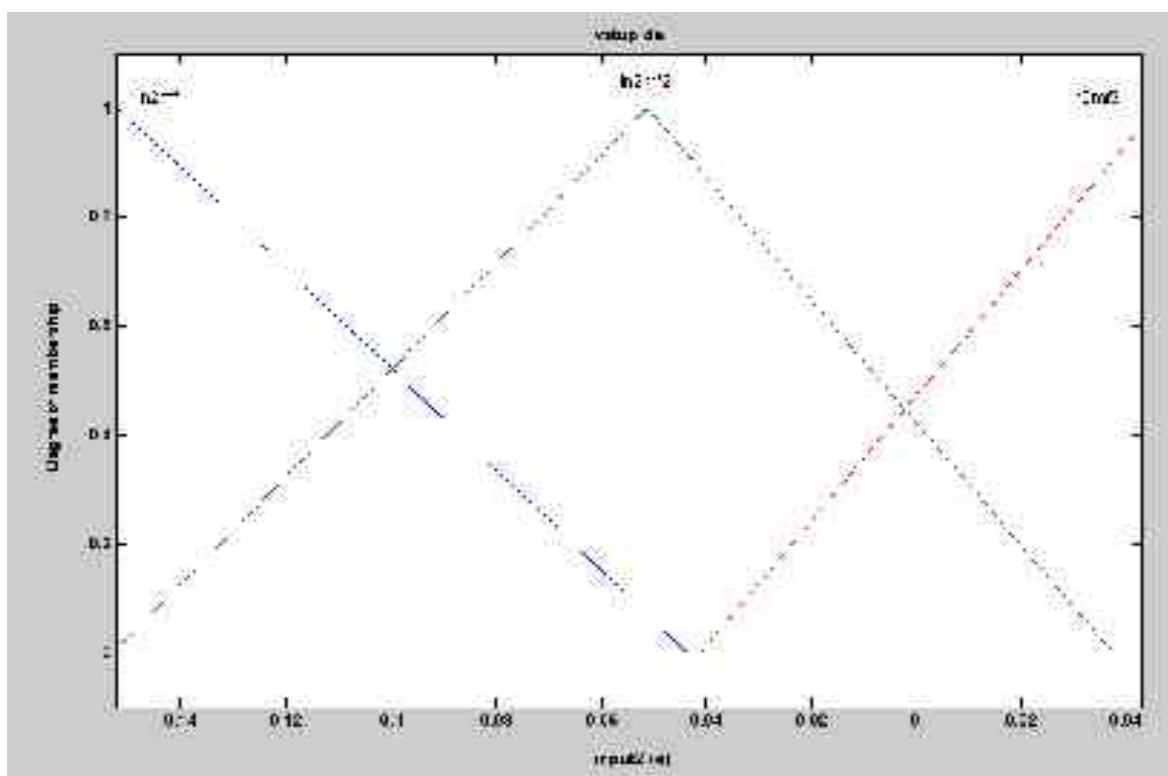
Ak použijeme ako tréningové údaje výsledky z riadenia zásobníkov kvapaliny metódou Rivera-Morari, keďže majú najmenšie hodnoty  $i_{ae}$ ,  $i_{se}$ , výsledkom je fis-matica `fis1.fis`, uvedená v prílohe.

Grafy trojuholníkových funkcií príslušnosti pre vstupy  $e$  a  $de$  sú na obrázkoch 6. a 7. Výsledný povrch  $u=f(e,de)$  je na obrázku 8.

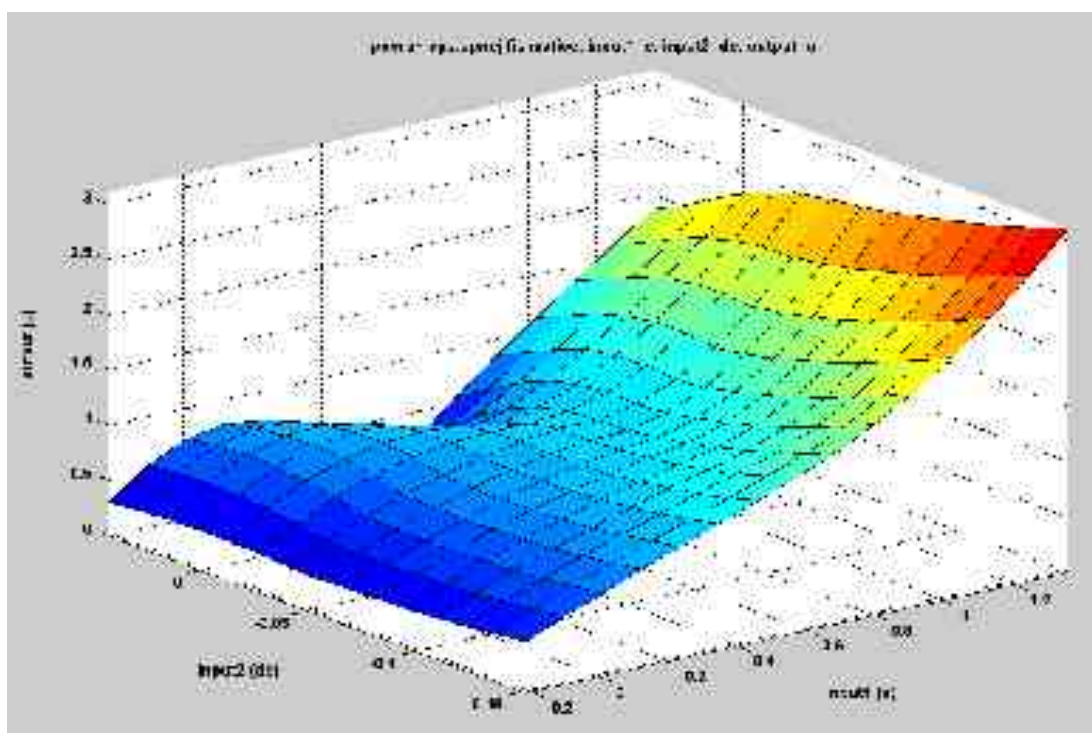
Program, obsahujúci uvedené príkazy, je súčasťou prílohy.



Obr. 6. Trojuholníkové funkcie príslušnosti pre vstup  $e$



Obr. 7. Trojuholníkové funkcie príslušnosti pre vstup de



Obr. 8.  $u=f(e,de)$

## 4.2 Návrh Fuzzy regulátora typu Mamdani

Návrh fuzzy regulátora možno uskutočňovať pomocou interaktívneho grafického prostredia Graphical User Interface (GUI) .

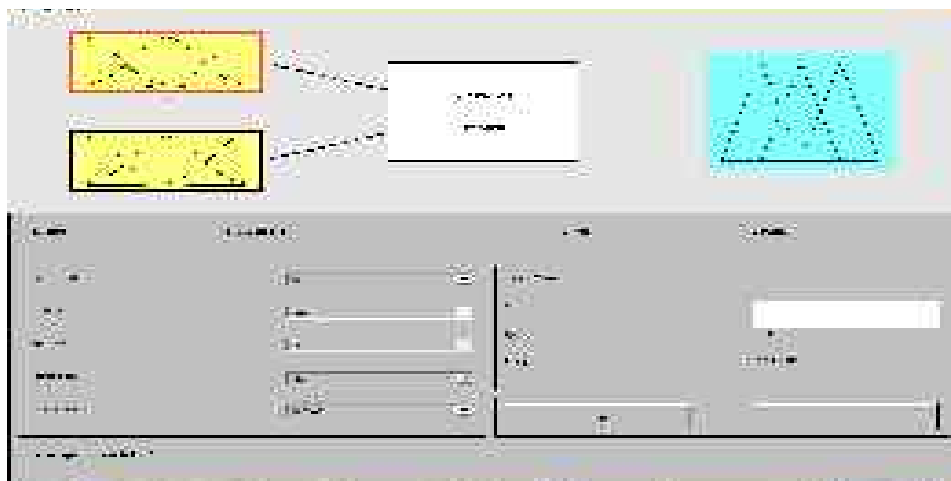
Inferenčný systém fuzzy (FIS) tvorí 3 editory:

- FIS Editor (editor inferenčného systému fuzzy regulátorov, obr. 9)
- Membership Function Editor (editor funkcií príslušností, obr. 10)
- Rule Editor (editor pravidiel, obr. 12 )

a dve zobrazovania Rule (obr.13) a Surface Viewer (obr.14) (grafické zobrazovanie procesu inferencie a plochy ohraničujúce priestor generovaných akčných zásahov)

### 4.2.1 FIS Editor

Hlavné menu umožňuje ukladanie a vyvolávanie súborov a upravovanie fuzzy systému pomocou nástrojov GUI. V grafickom okne sú tromi ikonami zobrazované bloky: vstupné premenné (e, de), typ inferencie FIS (Sugeno, Mamdani), výstupná premenná (u).



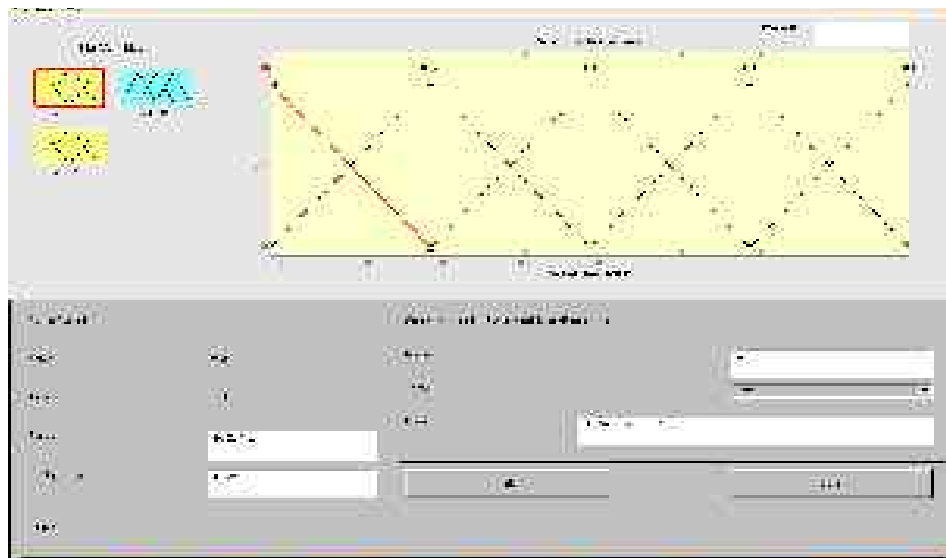
Obr.9 FIS Editor

#### 4.2.2 Membership Function Editor (MF editor)

Spustí sa vo FIS Editore dvojitém kliknutím na ikonu vstupu alebo výstupu.

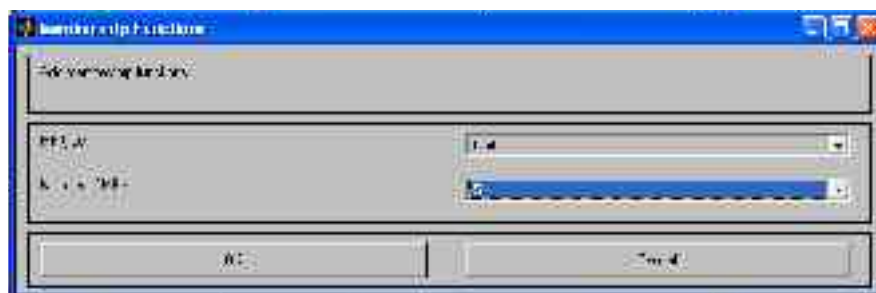
Kliknutím na ikonu vstupu alebo výstupu vybraná ikona po obvode sčervená a v grafickom okne „Membership function plots“ sa zobrazia všetky jej funkcie príslušnosti s nastavenými parametrami a s menami ich premenných. Po kliknutí na ktorúkoľvek z funkcií príslušností možno meniť jej meno, tvar ačíselné parametre.

V okne „Current Variable“ je uvedené meno, typ, rozsah. V tomto okne môžeme zadávať potrebné rozsahy - minimálne a maximálne hodnoty vstupov ( $e$ ,  $de$ ) a výstupu ( $u$ ).



Obr.10 Membership Function Editor

Kliknutím v rolovacom menu Edit na príkaz Add FMs sa objaví okno „Add membership functions“ podľa obr.11. Zvolila som 5 funkcií príslušnosti vstupných aj výstupnej veličiny trojuholníkového typu.

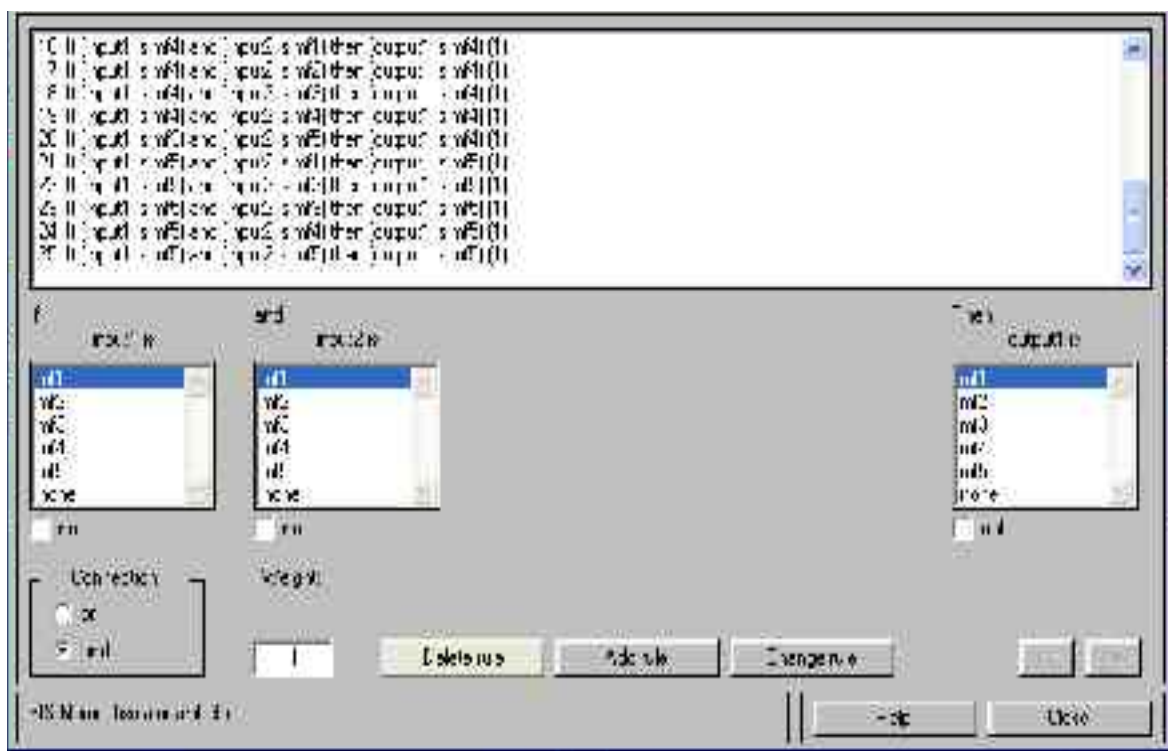


Obr.11 Okno „Add membership functions“

### 4.2.3 Rule Editor

Spustí sa vo FIS editore cez rolovacie okno View-Edit Rules.

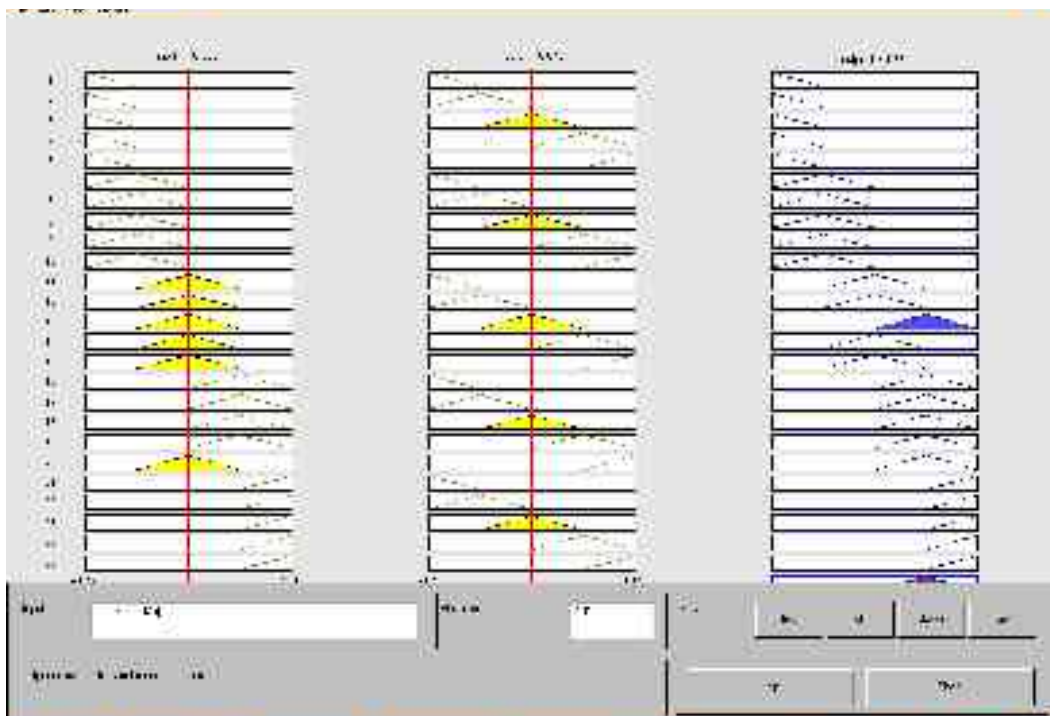
V tomto poli môžeme priamo zadávať pravidlá. Vlastné pravidlo zostavujeme pomocou roliet vstupných a výstupných premenných (e, de, u). Jednotlivé termy je možné spojovať pomocou operátorov AND alebo OR, môžu byť aj negácii.



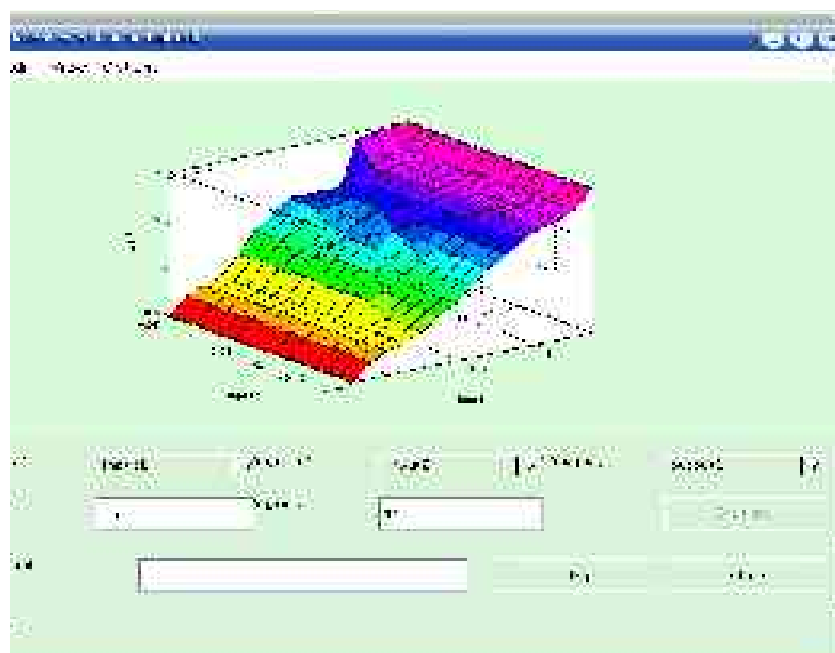
Obr.12 Rule Editor

#### 4.2.4 Rule Viewer, Surface Viewer

Rule Viewer sa aktivuje cez roletové menu – View výberom Rule Viewer. Obsahuje všetky pravidla a tvary funkcií príslušností vstupov avýstupov a ich inferencií.



Obr.13 Rule Viewer



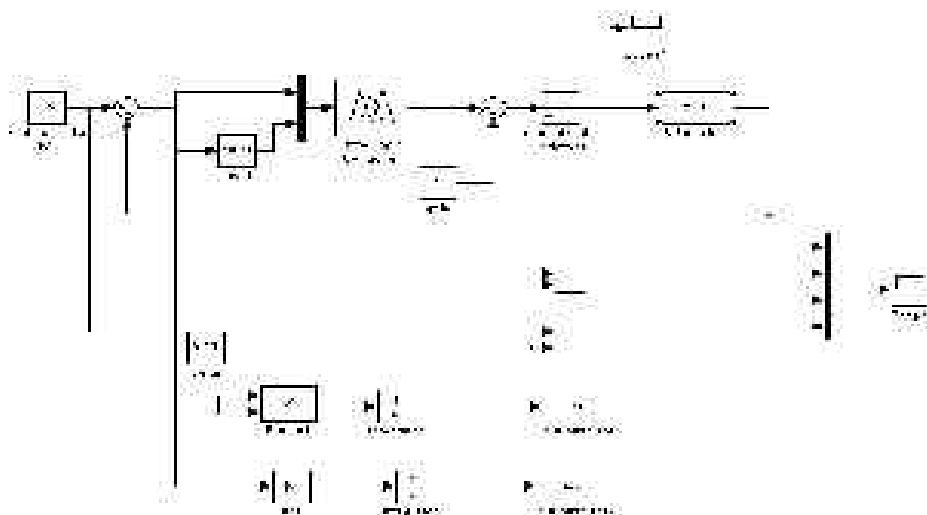
Obr.14 Surface Viewer

Aby bolo možné spustiť simuláciu v Simulink-u, je treba FIS maticu uložiť a načítať. Pred samotnou simuláciou je nutné načítať maticu príkazom

#### 4.3 Riadenie sústavy troch zásobníkov s využitím fuzzy regulátorov

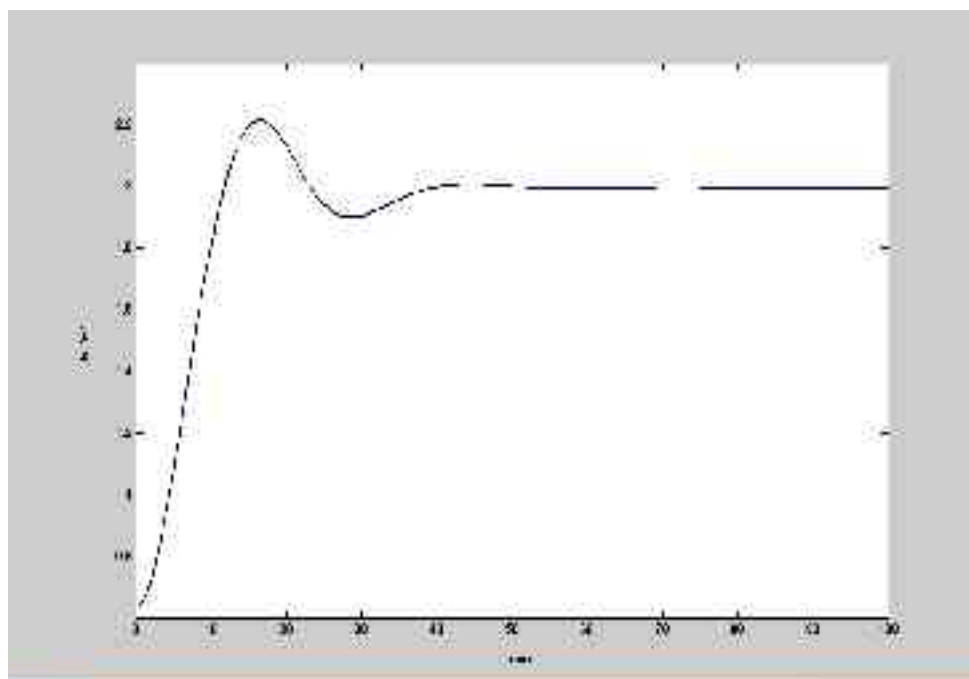
Pre reguláciu v reálnom čase, meranie a simuláciu sa používa Simulink, ktorý pri aktivácii Fuzzy Logic Toolboxu obsahuje vmenu regulátory:

- Fuzzy logic controller, ktorý zastupuje základnú štruktúru fuzzy regulátora (znázornený v obr. 15 )
- Fuzzy logic controller with Ruleviewer

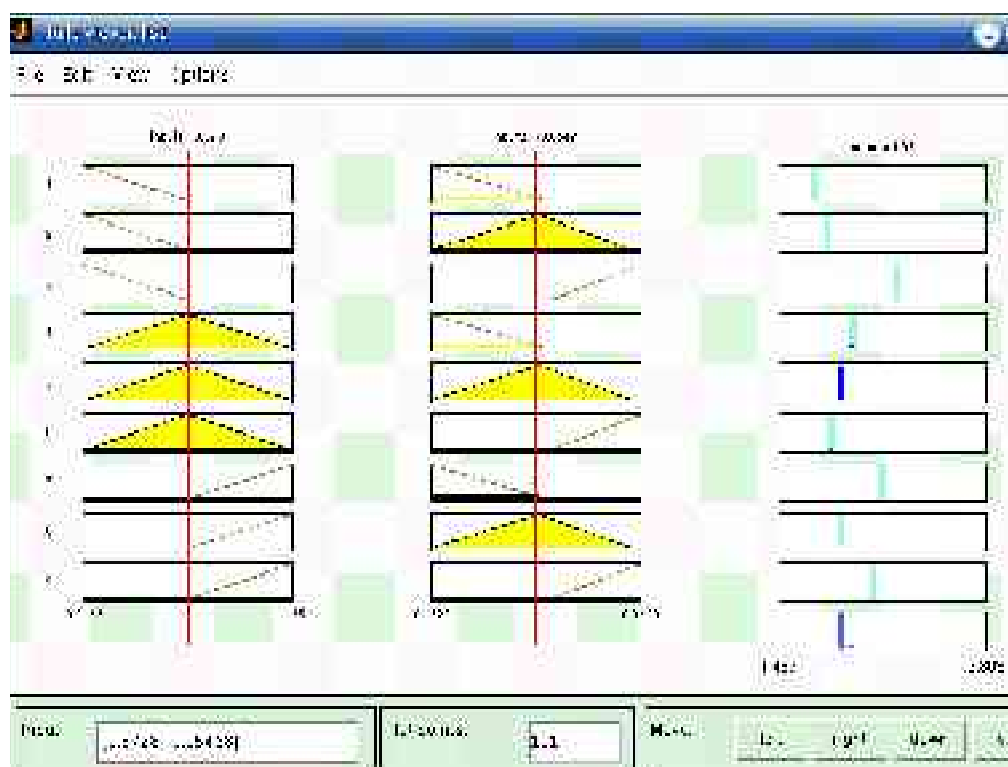


Obr.15 Simulačná schéma pre riadenie zásobníkov pomocou fuzzy regulátora

#### 4.4.1 Riadenie pomocou fuzzy regulátora typu Sugeno

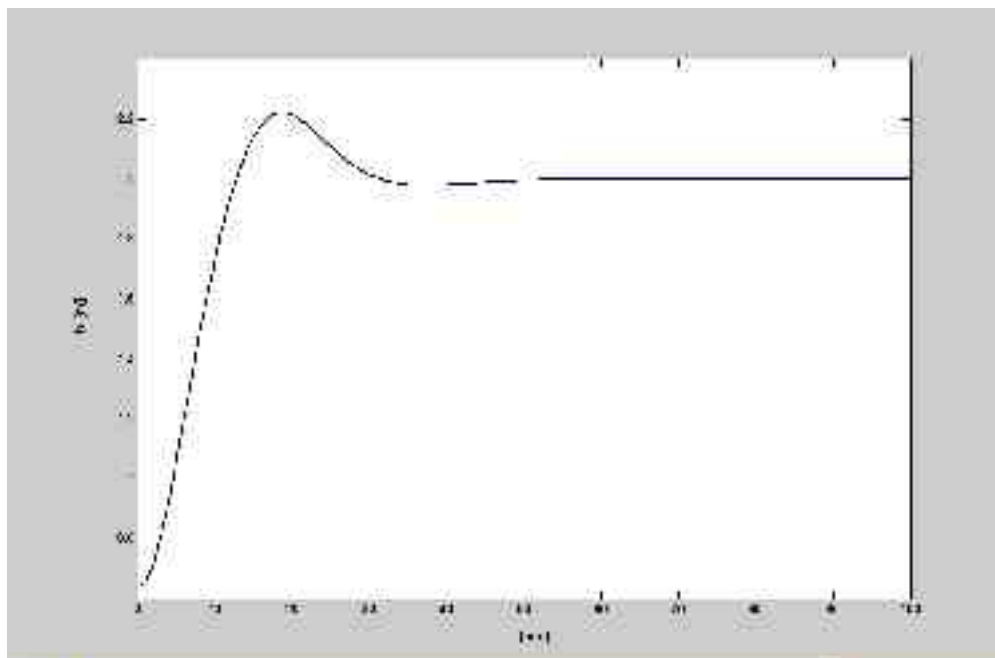


Obr. 16 Pribeh riadenia sústavy pomocou fuzzy regulátora typu Sugeno

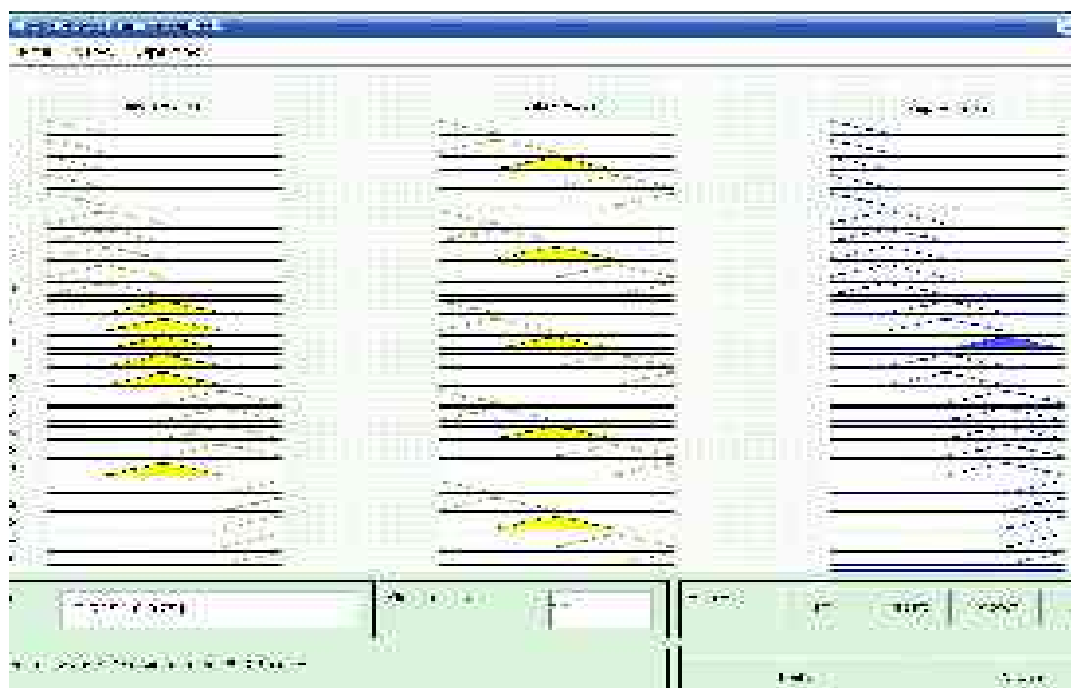


Obr.17 Fuzzy regulátor animáciou – zobrazenie pravidiel

#### 4.4.2 Riadenie pomocou fuzzy regulátora typu Mamdani



Obr.18 Pribeh riadenia sústavy pomocou fuzzy regulátora typu Mamdani



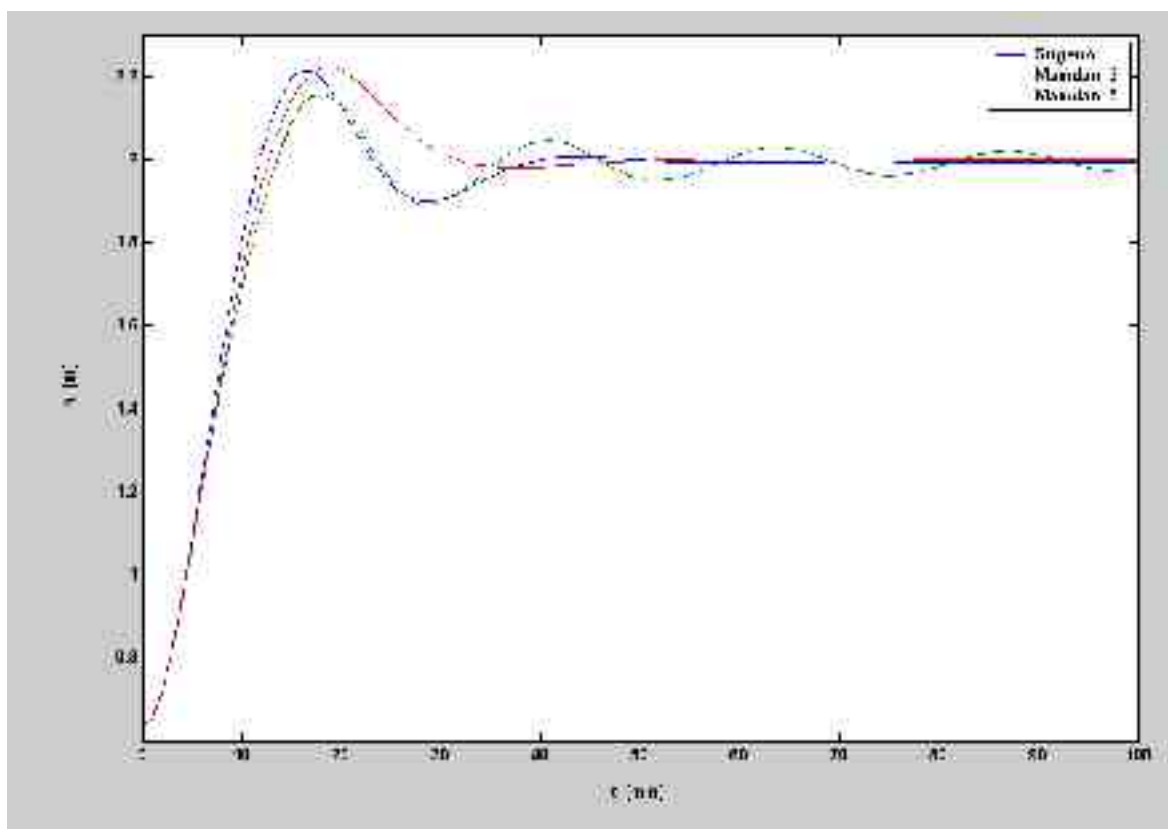
Obr.19 Fuzzy regulátor s animáciou – zobrazenie pravidiel

## Porovnanie regulátorov

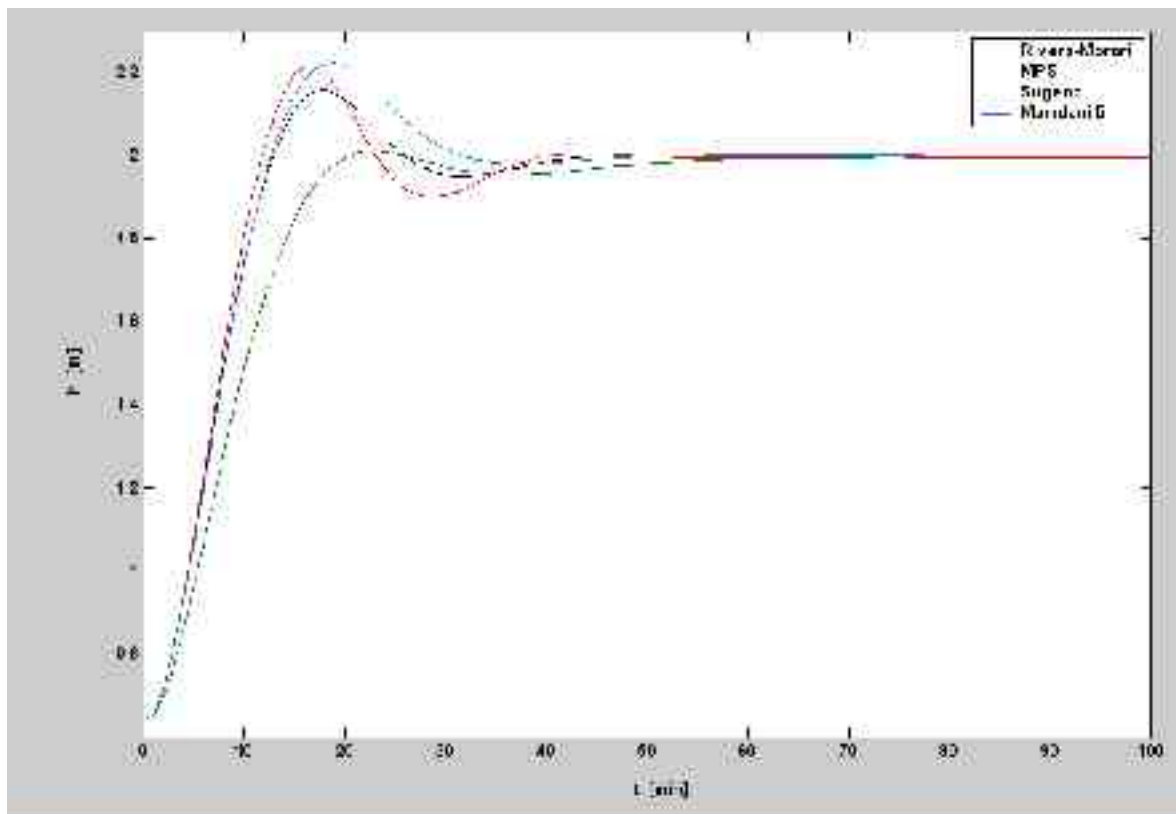
| Typ regulátora | ise    | iae     |
|----------------|--------|---------|
| Sugeno         | 9,377  | 11,655  |
| Mamdani 3      | 9,6665 | 12,9322 |
| Mamdani 5      | 9,7204 | 11,8950 |

Tab.4 Ukazovatele kvality riadenia (ise, iae) fuzzy regulátorov

Mamdani 3 je regulátor Mamdaniho typu s 3 funkciami príslušnosti trojuholníkového typu, Mamdani 5 má 5 funkcií príslušnosti trojuholníkového tvaru.



Obr.20 Porovnanie fuzzy regulátorov



Obr.21 Porovnanie fuzzy regulátorov s vybranými PID regulátormi

## 5 Záver

Fuzzy regulátory založené na fuzzy logike sú schopné matematicky podchytiť slovne vyjadrené informácie a môžu pracovať s nejednoznačnými pojmami.

Vytvárajú sa ako reprezentácia klasických regulátorov P, PD, PI, PID..., ale aj ako samostatné objekty, navrhnuté podľa aktuálnych podmienok regulovaného procesu.

Pre fuzzy regulátor sa rozhodneme vtedy, ak:

- Sústava, ktorú máme riadiť, je matematicky ťažko popísateľná
- Sústava je silne nelineárna
- Sústava je citlivá na prudké zmeny akčného zásahu
- Je potrebné meniť dynamiku regulátora, atým rýchlosť regulácie
- Je predpoklad, že počas životnosti regulátora sa v ňom budú robiť časté zásahy
- Vyžaduje sa veľká robustnosť riadiaceho systému

Aby bol fuzzy systém schopný učiť sa napr. na základe spracovávaných údajov, používajú sa rôzne hybridné systémy, ktoré kombinujú neurónové siete a fuzzy systémy. V Matlabe je možné využiť špeciálnu triedu adaptívnych sietí ANFIS. Pomocou nej sa navrhuje regulátor Sugenovho typu. Pri návrhu môžeme využiť aj poznatky a skúsenosti z návrhu regulátorov navrhnutých experimentálnymi, resp. analytickými metódami.

Boli navrhnuté 2 typy regulátorov a výsledky riadenia boli porovnané s inými regulátormi navrhnutými známymi metódami. Navrhnutý regulátor typu Sugeno je pomerne jednoduchý, má 9 pravidiel a riadenie je porovnateľné s riadením s najvhodnejším PID regulátorom. Vhodnosť regulátora bola posúdená na základe hodnôt  $i_{ae}$ ,  $i_{se}$ . Regulátor typu Mamdani má s 9 pravidlami riadenie horšie, ale s 25 pravidlami je riadenie opäť porovnateľné s najvhodnejším PID regulátorom.

## 6 Literatúra

- [1] Bakošová, M. a kol.: Základy automatizácie. Laboratórne cvičenie zo základov automatizácie. Vydavateľstvo STU, Bratislava 2003
- [2] Mikleš, J., Dostál, P., Mészáros, A.: Riadenie technologických procesov. Vydavateľstvo STU, Bratislava 1994
- [3] Mészáros, A. a kol.: Základy automatizácie. Vydavateľstvo STU, Bratislava 1997
- [4] Vysoký, P.: Fuzzy řízení, ČVUT Praha, 1996
- [5] <http://www.fm.vslib.cz>: O. Modrlák. Fuzzy řízení a regulace

## **Abstrakt**

S využitím Fuzzy Toolboxu Matlabu som navrhla fuzzy (neuro-fuzzy) regulátor typu Mamdani a Sugeno pre .....

Tieto regulátory boli porovnané s regulátormi navrhnutými známymi experimentálnymi a analytickými metódami pre návrh PID regulátorov.

Ak venujeme dostatok času návrhu fuzzy regulátora, dosiahneme výsledky porovnateľné s najlepšími fuzzy regulátormi.

## **Abstract**

With the use of Fuzzy Toolbox Matlab, I designed a Sugeno and Mamdani fuzzy controllers. These regulators were compared with regulators designed using renowned experimental and analytic methods.

In case we devote sufficient time to the design of a fuzzy regulator, we will achieve required results and the designed fuzzy con regulator will be comparable with the best PID controllers regulators.

## 7 Prílohy

### S-funkcia pre identifikáciu sústavy zásobníkov kvapaliny

```
function [sys,x0,str,ts] = z23(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 1,
    sys = mdlDerivatives(t,x,u);
case 3,
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case {2, 4, 9}
    sys = []; % do nothing
otherwise
    error(['unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 3;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 0;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
k1=1.25; k2=1.25; k3=1.25; s1=2; s2=2; s3=2;
qv1=1; qv2=0; qv3=0;
h3s=((qv1+qv2+qv3)/k3)^2
h2s=((qv1+qv2)/k2)^2+h3s
h1s=((qv1)/k1)^2
x0=[h1s h2s h3s];
str = [];ts = [0];
function sys = mdlDerivatives(t,x,u)
k1=1.25; k2=1.25; k3=1.25; s1=2; s2=2; s3=2;
if x(1)<0
    x(1)=0;
end
if x(2)<0
    x(2)=0;
end
if x(3)<0
    x(3)=0;
end
sys(1) = (1/s1)*u(1)-(k1/s1)*sqrt(x(1));
sys(2) =(k1/s2)*sqrt(x(1))-(k2/s2)*sqrt(x(2)-x(3));
sys(3) =(k2/s3)*sqrt(x(2)-x(3))-(k3/s3)*sqrt(x(3));
sys=[sys(1);sys(2);sys(3)];
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
if x(1)<0
```

```

        x(1)=0;
    end
    if x(2)<0
        x(2)=0;
    end
    if x(3)<0
        x(3)=0;
    end
    sys=[x(3)];

```

### S-funkcia pre riadenie sústavy zásobníkov kvapaliny

```

function [sys,x0,str,ts] = z23r(t,x,u,flag,k1,k2,k3,s1,s2,s3,qv1,qv2,qv3)
% nelinearny matematicky model 3 zasobnikov kvapaliny s interakciou medzi
% 2. a 3. zasobnikom
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes(k1,k2,k3,s1,s2,s3,qv1,qv2,qv3);
case 1,
    sys = mdlDerivatives(t,x,u,k1,k2,k3,s1,s2,s3,qv1,qv2,qv3);
case 3,
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case {2, 4, 9}
    sys = []; % do nothing
otherwise
    error(['unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes(k1,k2,k3,s1,s2,s3,qv1,qv2,qv3);
k1=1.25; k2=1.25; k3=1.25; s1=2; s2=2; s3=2;sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 3;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 1;
sizes.DirFeedthrough = 0;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
h3s=((qv1+qv2+qv3)/k3)^2;h2s=((qv1+qv2)/k2)^2+h3s;h1s=((qv1)/k1)^2;
x0=[h1s h2s h3s];
str = [];ts = [0];
function sys = mdlDerivatives(t,x,u,k1,k2,k3,s1,s2,s3,qv1,qv2,qv3);
if x(1)<0
    x(1)=0;
end
if x(2)<0
    x(2)=0;
end
if x(3)<0
    x(3)=0;
end

```

```

sys(1) = (1/s1)*u(1)-(k1/s1)*sqrt(x(1));
sys(2) = (k1/s2)*sqrt(x(1))-(k2/s2)*sqrt(x(2)-x(3));
sys(3) = (k2/s3)*sqrt(x(2)-x(3))-(k3/s3)*sqrt(x(3));
sys=[sys(1);sys(2);sys(3)];
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
if x(1)<0
    x(1)=0;
end
if x(2)<0
    x(2)=0;
end
if x(3)<0
    x(3)=0;
end
sys=[x(3)];

```

### Program na návrh neuro-fuzzy regulátora Sugenovho typu.

```

e=edeudu(:,2);de=edeudu(:,3);u=edeudu(:,4);x=[0:length(edeudu)-1];
trnData = [e de u];
numMFs =input('zadaj pocet funkcii prislusnosti:napr. 3 ');
mfType =input('zadaj typ funkcii prislusnosti v apostrofoch:gaussmf,
gauss2mf,gbellmf,trapmf,trimf,pimf ');
epoch_n = 3;
in_fismat = genfis1(trnData,numMFs,mfType);
writefis(in_fismat,'fis3');%type fis3.fis;
a=readfis('fis3');
plotmf(a,'input',1),title('vstup e'),pause
plotmf(a,'input',2),title('vstup de'),pause
%Sugeno vystup sa neda nakreslit, nie je to fuzzy vystup
out_fismat = anfis(trnData,in_fismat,3);
writefis(out_fismat,'fis1');
%type fis1.fis
a=readfis('fis1');
%plotmf(a,'input',1),title('vystupna fis matica, vstup e'),pause
%plotmf(a,'input',2),title('vystupna fis matica, vstup de'),pause
gensurf(a),title('povrch vystupnej fis matice, input1=e, input2=de, outpu=u'),pause
plot(x,u,x,evalfis([e de],out_fismat));
legend('u namerane','u navrhnuté z ANFISu ')
fismat=readfis('fis1');

```

### FIS matica typu Mamdani

```

Name='fismamdani15'
Type='mamdani'
Version=2.0

```

```
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=25
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='e'
Range=[-0.25 1.38]
NumMFs=5
MF1='mf1':trimf,[-0.6575 -0.25 0.1575]
MF2='mf2':trimf,[-0.25 0.1575 0.565]
MF3='mf3':trimf,[0.1575 0.565 0.9725]
MF4='mf4':trimf,[0.565 0.9725 1.38]
MF5='mf5':trimf,[0.9725 1.38 1.787]
```

```
[Input2]
Name='de'
Range=[-0.2 0.05]
NumMFs=5
MF1='mf1':trimf,[-0.2625 -0.2 -0.1375]
MF2='mf2':trimf,[-0.2 -0.1375 -0.075]
MF3='mf3':trimf,[-0.1375 -0.075 -0.0125]
MF4='mf4':trimf,[-0.075 -0.0125 0.05]
MF5='mf5':trimf,[-0.0125 0.05 0.1125]
```

```
[Output1]
Name='u'
Range=[0.34 2.2]
NumMFs=5
MF1='mf1':trimf,[-0.125 0.34 0.805]
MF2='mf2':trimf,[0.34 0.805 1.27]
MF3='mf3':trimf,[0.805 1.27 1.734]
MF4='mf4':trimf,[1.27 1.734 2.2]
MF5='mf5':trimf,[1.734 2.2 2.664]
```

```
[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
1 3, 1 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
1 5, 1 (1) : 1
2 1, 2 (1) : 1
2 2, 2 (1) : 1
2 3, 2 (1) : 1
2 4, 2 (1) : 1
2 5, 2 (1) : 1
3 1, 3 (1) : 1
3 2, 3 (1) : 1
```

3 3, 4 (1) : 1  
3 4, 3 (1) : 1  
3 5, 3 (1) : 1  
4 1, 4 (1) : 1  
4 2, 4 (1) : 1  
4 3, 4 (1) : 1  
4 4, 4 (1) : 1  
3 5, 4 (1) : 1  
5 1, 5 (1) : 1  
5 2, 5 (1) : 1  
5 3, 5 (1) : 1  
5 4, 5 (1) : 1  
5 5, 5 (1) : 1

### **FIS matica typu Sugeno**

[System]

Name='fis1'

Type='sugeno'

Version=2.0

NumInputs=2

NumOutputs=1

NumRules=9

AndMethod='prod'

OrMethod='max'

ImpMethod='prod'

AggMethod='sum'

DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='input1'

Range=[-0.21 1.36]

NumMFs=3

MF1='in1mf1':trimf,[-1.00 -0.21 0.58]

MF2='in1mf2':trimf,[-0.21 0.57 1.36]

MF3='in1mf3':trimf,[0.57 1.36 2.15]

[Input2]

Name='input2'

Range=[-0.15 0.04]

NumMFs=3

MF1='in2mf1':trimf,[-0.25 -0.15 -0.04]

MF2='in2mf2':trimf,[-0.15 -0.05 0.04]

MF3='in2mf3':trimf,[-0.04 0.05 0.14]

[Output1]

Name='output'

Range=[0.35 2.38]

NumMFs=9

MF1='out1mf1': 'linear', [-0.29 -2.56 0.02]  
MF2='out1mf2': 'linear', [0.16 -1.06 0.32]  
MF3='out1mf3': 'linear', [3.32 -3.00 1.14]  
MF4='out1mf4': 'linear', [-0.36 1.01 1.77]  
MF5='out1mf5': 'linear', [-0.41 4.18 1.45]  
MF6='out1mf6': 'linear', [0.13 -6.35 0.18]  
MF7='out1mf7': 'linear', [0.66 0.91 2.35]  
MF8='out1mf8': 'linear', [1.96 2.497 0.004]  
MF9='out1mf9': 'linear', [-0.18 -3.23 2.24]

[Rules]

1 1, 1 (1) : 1  
1 2, 2 (1) : 1  
1 3, 3 (1) : 1  
2 1, 4 (1) : 1

2 2, 5 (1) : 1  
2 3, 6 (1) : 1  
3 1, 7 (1) : 1  
3 2, 8 (1) : 1  
3 3, 9 (1) : 1

## Obsah

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod .....                                                             | 5  |
| 2 Matematické modely .....                                               | 6  |
| 2.1 Zásobníky kvapaliny .....                                            | 6  |
| 3 Regulátory a charakteristiky regulátorov .....                         | 7  |
| 3.1 Identifikácia .....                                                  | 8  |
| 3.2 Metódy návrhu parametrov regulátora .....                            | 9  |
| 3.2.1 Návrh parametrov regulátora .....                                  | 10 |
| 3.3 Riadenie sústavy troch zásobníkov pomocou PID – regulátora .....     | 11 |
| 4 Fuzzy regulátory .....                                                 | 12 |
| 4.1 Návrh regulátora typu Sugeno .....                                   | 13 |
| 4.2 Návrh regulátora typu Mamdani .....                                  | 15 |
| 4.2.1 Fis Editor .....                                                   | 16 |
| 4.2.2 Membership Function Editor .....                                   | 16 |
| 4.2.3 Rule Editor .....                                                  | 17 |
| 4.2.4 Rule Viewer, Surface Viewer .....                                  | 18 |
| 4.3 Návrh fuzzy regulátora .....                                         | 19 |
| 4.4 Riadenie sústavy troch zásobníkov s využitím fuzzy regulátorov ..... | 20 |
| 4.4.1 Riadenie pomocou fuzzy regulátora typu Sugeno .....                | 20 |
| 4.4.2 Riadenie pomocou fuzzy regulátora typu Mamdani .....               | 21 |
| 5 Záver .....                                                            | 24 |
| 6 Literatúra .....                                                       | 25 |
| 7 Abstrakt .....                                                         | 26 |
| 8 Prílohy .....                                                          | 27 |