

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE
ÚSTAV INFORMATIZÁCIE, AUTOMATIZÁCIE A MATEMATIKY

**Tvorba GUI pre identifikáciu a návrh fuzzy regulátorov
metódou ANFIS**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

FCHPT-5414-26894

2011

Bc. Jozef Wenchich

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKÉJ A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE
ÚSTAV INFORMATIZÁCIE, AUTOMATIZÁCIE A MATEMATIKY

Tvorba GUI pre identifikáciu a návrh fuzzy regulátorov
metódou ANFIS

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Bc. Jozef WENCHICH

Vedúci diplomovej práce:	Ing. Anna Vasičkaninová
Študijný program:	Automatizácia
Číslo a názov študijného odboru:	5.2.14 Automatizácia
Školiace pracovisko:	Oddelenie informatizácie a riadenia procesov

2011

Bc. Jozef Wenchich



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Jozef Wenchich**

ID študenta: 26894

Študijný program: automatizácia a informatizácia v chémii a potravinárstve

Študijný odbor: 5.2.14 automatizácia

Vedúca práce: Ing. Anna Vasičkaninová

Názov práce: **Tvorba GUI pre identifikáciu a návrh fuzzy regulátorov**

Špecifikácia zadania:

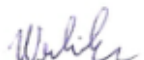
Princípy tvorby fuzzy modelov a návrhu fuzzy regulátorov.
Vytvorenie programového systému s grafickým používateľským rozhraním (GUI) v Matlabe –
Simulinku pre jednoduchú tvorbu fuzzy modelov a fuzzy regulátorov z experimentálnych dát.
Programový systém umožní komunikáciu v slovenskom jazyku.


Rozsah práce: 60


Riešenie zadania práce od: 14. 02. 2011

Dátum odovzdania práce: 21. 05. 2011




Bc. Jozef Wenchich
Študent


prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
Vedúci pracoviska


prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.
Garant študijného programu

ABSTRAKT

Predmetom predkladaného diplomového projektu bola tvorba GUI pre identifikáciu procesov metódou Anfis a návrh neuro-fuzzy regulátorov pomocou príkazov *genfis1*, *genfis2* a *genfis3*. GUI je súčasťou programového prostredia Matlab. Bolo vytvorené užívateľské rozhranie, ktoré umožňuje používateľovi jednoduché zadávanie potrebných údajov. Program bol rozdelený na dve časti.

Prvá časť umožňuje identifikáciu systémov metódou Anfis a druhá časť návrh neuro-fuzzy regulátorov metódou Anfis.

Pri vývoji a testovaní programu bol použitý model troch výmenníkov tepla zapojených v sérii v tvare s-funkcie. Pri identifikácii a návrhu fuzzy regulátora boli využité prostriedky fuzzy logiky, ktoré sú súčasťou Fuzzy Logic Toolboxu Matlabu.

ABSTRACT

The aim of my diploma thesis was the GUI creation for process identification by Anfis method and design of neuro-fuzzy controllers with instruction command *genfis1*, *genfis2* and *genfis3*. GUI is part of the programming environment Matlab. It was designed user interface that allows user to easily input the necessary parameters. The program was divided into two parts.

The first part allows the system identification by ANFIS method and the second part designed neuro-fuzzy controllers by ANFIS method.

For development and testing program was used model of three heat exchangers connected in series in the form of s-functions. In system identification and fuzzy controller design I worked with fuzzy logic instruments, which are parts of the Fuzzy Logic Toolbox.

Prehlásenie:

Prehlasujem, že na diplomovej práci som pracoval samostatne na základe vlastných teoretických a praktických poznatkov a za použitia uvedenej literatúry.

V Bratislave 18.5. 2011

.....
podpis

POĎAKOVANIE:

Touto cestou by som chcel poďakovať pani Ing. Anne Vasičkaninovej za odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní diplomovej práce.

Obsah

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČASŤ	12
1.1 Fuzzy logika	12
1.2 Fuzzy množiny	12
1.3 Fuzzy regulátor	13
1.3.1 Typy fuzzy regulátorov	14
1.3.2 Fuzzy pravidlá	14
1.3.3 Fuzzifikácia	15
1.3.4 Defuzzifikácia	15
1.3.5 Kompozícia	15
1.3.6 Inferencia	15
1.4 Anfis (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System)	16
1.4.1 Genfis 1	16
1.4.2 Genfis 2	18
1.4.3 Genfis 3	19
2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	20
2.1 Tvorba GUI pre návrh neuro-fuzzy regulátorov	20
2.1.1 Grafické užívateľské rozhranie (GUI)	20
2.1.2 Základné typy príkazov:	20
2.2 Použitie programového systému pre identifikáciu systémov metódou ANFIS	21
2.3 Použitie programového systému pre návrh neuro fuzzy regulátorov	31
ZÁVER	50
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	51

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Závislosť rýchlosti od funkcie príslušnosti	13
Obr. 2 Závislosť charakteristickej funkcie od teploty	13
Obr. 3 Fuzzy regulátor.....	14
Obr. 4 Architektúra siete Anfis.....	16
Obr. 5 Trojuholníkový tvar funkcie príslušnosti	17
Obr. 6 Lichobežníkový tvar funkcie príslušnosti	17
Obr. 7 Gaussovský tvar funkcie príslušnosti	18
Obr. 8 Hlavné okno	21
Obr. 9 Identifikácia.....	22
Obr. 10 Načítanie z dátového súboru	22
Obr. 11 Chyba pri načítaní z dátového súboru	23
Obr. 12 Výber metódy	23
Obr. 13 Zadávanie parametrov pre genfis1	24
Obr. 14 Výber typu funkcie príslušnosti	24
Obr. 15 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis1, ak bolo použitý 5 zvonových FP	25
Obr. 16 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis1, ak bolo použitý 10 trojuholníkových FP	26
Obr. 17 Uloženie vygenerovaného FIS	26
Obr. 18 Pravidlá.....	27
Obr. 19 Funkcie príslušnosti pre vstupnú veličinu	27
Obr. 20 Editor funkcií príslušnosti	28
Obr. 21 Zadávanie parametrov pre genfis2	28
Obr. 22 Zadaný parameter sa nenachádza v danom rozsahu.....	29
Obr. 23 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis2 (štvrtý parameter s hodnotou 0,41).....	29
Obr. 24 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis2 (štvrtý parameter s hodnotou 0,1).....	30
Obr. 25 Pribeh teploty pri riadení PID regulátorom s nastavením parametrov Strejcovou metódou	31
Obr. 26 Hlavné okno	31
Obr. 27 Návrh fuzzy regulátorov.....	32
Obr. 28 Načítanie z dátového súboru	32
Obr. 29 Chyba pri načítaní z dátového súboru	33
Obr. 30 Po načítaní z dátového súboru.....	33
Obr. 31 Počet vstupných údajov.....	33
Obr. 32 Rozdelenie dát pre jeden vstup.....	34
Obr. 33 Nekorektné údaje.....	34
Obr. 34 Výber príkazu pre jeden vstup	35
Obr. 35 Zadávanie parametrov pre genfis1	35
Obr. 36 Výber typu funkcie príslušnosti	36
Obr. 37 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis1	36
Obr. 38 Uloženie vygenerovaného FIS	37
Obr. 39 Pravidlá.....	37
Obr. 40 Funkcie príslušnosti pre vstupnú veličinu	38
Obr. 41 Editor funkcií príslušnosti	38
Obr. 42 Načítanie simulinkovej schémy	39

Obr. 43 Chyba pri načítaní simulinkovej schémy	39
Obr. 44 Po načítaní simulinkovej schémy	39
Obr. 45 Prebieha simulácia.....	40
Obr. 46 Pribeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom.....	40
Obr. 47 Zadávanie parametrov pre genfis2	41
Obr. 48 Zadaný parameter sa nenachádza v danom rozsahu.....	41
Obr. 49 Porovnanie tréovacích údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis2	42
Obr. 50 Pribeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom.....	42
Obr. 51 Zadávanie parametrov pre genfis3	43
Obr. 52 Porovnanie tréovacích údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis3	43
Obr. 53 Pribeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom.....	44
Obr. 54 Editor funkcií príslušnosti	44
Obr. 55 Načítanie z FIS súboru	45
Obr. 56 Chyba pri načítaní z dátového súboru	45
Obr. 57 Po načítaní z FIS súboru.....	45
Obr. 58 Počet vstupných údajov.....	46
Obr. 59 Porovnanie tréovacích údajov a upraveného výstupu po natrénovaní príkazom genfis3	46
Obr. 60 Pribeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom.....	47
Obr. 61 Rozdelenie dát pre dva vstupy	48
Obr. 62 Výber príkazu pre dva vstupy	48
Obr. 63 Okno na vypnutie a reštartovanie programu	49

Zoznam symbolov a skratiek

Anfis	Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System
de	Derivácia regulačnej odchýlky
e	Regulačná odchýlka
FIS	Fuzzy Inference System
FP	Funkcia príslušnosti
FR	Fuzzy regulátor
gaussmf	Gaussovská funkcia príslušnosti
gauss2mf	Kombinácia dvoch gaussovských funkcií príslušnosti
gbellmf	Zvonová funkcia príslušnosti
GUI	Graphical User Interface
MFE	Membership Function Editor
P	Proporcionálny regulátor
PCH	Prechodová charakteristika
PD	Proporcionálno-derivačný regulátor
PFP	Počet funkcií príslušnosti
PI	Proporcionálno-integračný regulátor
PID	Proporcionálno-integračno-derivačný regulátor
pimf	π -tvar funkcie príslušnosti
Tch ^s	Ustálená teplota chladenia
trapmf	Lichobežníková funkcia príslušnosti
trimf	Trojuholníková funkcia príslušnosti
TSK	Takagi-Sugeno-Kang
u	Akčný zásah

ÚVOD

Pri simuláciách, analýze a návrhu systémov majú dôležité miesto modely. Vytvorenie matematického modelu býva prvým krokom, ktorý sa musí vykonať pred návrhom regulátora. Zložitosť modelu závisí od toho, aký presný model potrebujeme. Veľa informácií o modeli sa dá ťažko zapísať vo forme algebrických či diferenciálnych rovníc, ale rozvíjajú sa aj metódy, ktoré dokážu zaviesť tieto informácie do modelu. Významné miesto tu patrí metódam, založeným na princípoch fuzzy modelovania a fuzzy logiky. V súčasnosti jedným z najpoužívanějších systémov je Matlab. Obsahuje množstvo stále sa vyvíjajúcich aplikačných knižníc a umožňuje okrem numerických výpočtov aj simulácie v prostredí Simulink a vizualizáciu výsledkov.

Fuzzy regulátory sú nelineárne regulátory, ktoré sa dajú navrhnúť presne podľa požiadaviek pre konkrétny riadiaci systém a pravidlá môžu byť odvodené podľa P, PD, PI, resp. PID regulátorov.

Súčasťou Fuzzy Logic Toolboxu Matlabu je aj GUI, v ktorom sa dajú navrhovať fuzzy modely a fuzzy regulátory. Sú pomerne obsiahle a vyžadujú, aby sa užívateľ orientoval v pojmoch z fuzzy logiky na slušnej úrovni. Cieľom práce nebolo nahradiť tieto prostredia, ale umožniť aj bežným užívateľom ľahšie a zrozumiteľnejšie využitie fuzzy logiky.

1 TEORETICKÁ ČASŤ

1.1 Fuzzy logika

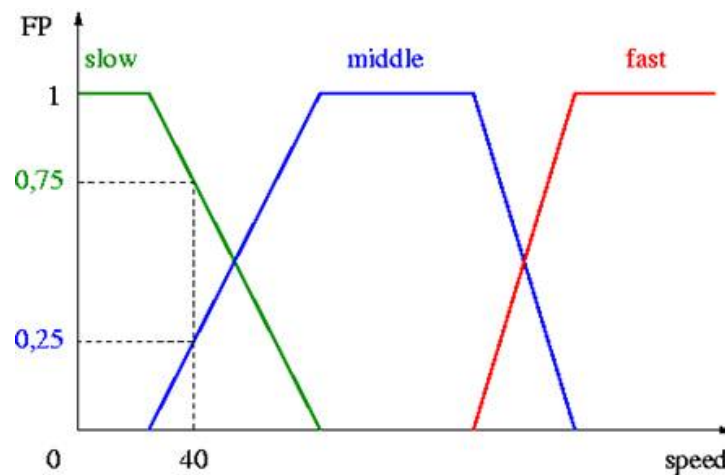
Fuzzy logika bola formulovaná roku 1965 Lotfím Zadehom z Kalifornskej univerzity v Berkeley. Fuzzy logika je odbor matematiky odvodený z teórie fuzzy množín, v ktorom sa logické výroky ohodnocujú stupňom príslušnosti (tiež index vágnosti), ktorého hodnoty sú v intervale od 0 do 1. V klasickej výrokovej a predikátovej logike sa výroky ohodnocujú buď ako pravdivé, alebo nepravdivé - v binárnom vyjadrení ako 1 alebo 0. Funkcia príslušnosti vo fuzzy logike umožňuje priradiť príslušnosť k množinám v rozmedzí od 0 do 1, vrátane oboch hraničných hodnôt. Fuzzy logika tak umožňuje matematicky vyjadriť pojmy ako „trochu“, „dost“ alebo „veľa“. Presnejšie, umožňuje vyjadriť čiastočnú príslušnosť k množine.

1.2 Fuzzy množiny

Formálne sú fuzzy množiny zovšeobecnením klasických množín. Matematicky ide o pomerne dobre preskúmanú a viac-menej uzavretú oblasť. Existujú teoretické dôkazy o fuzzy systéme ako o univerzálnom aproximátore funkcií. Aj v praxi sa dostalo značného využitia najmä fuzzy regulátorom.

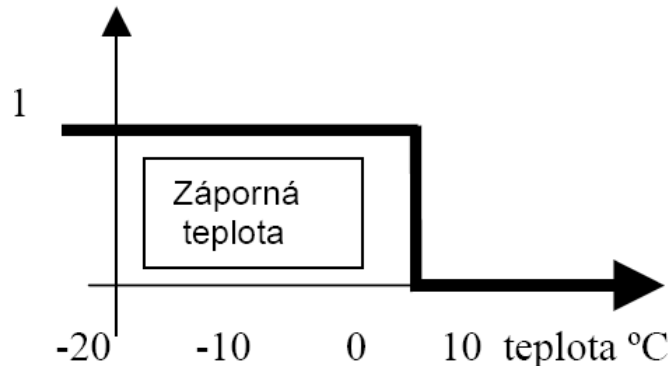
Pod pojmom fuzzy množina sa zvyčajne rozumie matematický aparát, ktorý definuje samotný pojem fuzzy množiny a operácie, ktoré možno s fuzzy množinami robiť. Fuzzy logika je širší pojem, ktorý sa používa najmä v súvislosti s využitím teórie fuzzy množín v praktických aplikáciách. Ak uvažujeme klasické množiny, môžeme pre každý prvok x rozhodnúť, že do množiny A buď patrí (1) alebo nepatrí (0). Príslušnosť prvku x do fuzzy množiny A udáva tzv. hodnota funkcia príslušnosti, ktorá môže nadobúdať hodnoty z intervalu $(0;1)$. Je potrebné rozlíšiť, že nejde o pravdepodobnosť, s ktorou prvok patrí do fuzzy množiny, ale skôr o silu, s ktorou do nej patrí.

Pre lepšie znázornenie predmetnej problematiky si zvolíme lingvistickú premennú rýchlosť (speed). Túto premennú možno bližšie určiť tromi kvalitatívnymi pojmami (tzv. lingvistickými hodnotami): slow, middle a fast. Prvok z množiny rýchlostí treba zaradiť do troch množín, ktorých hranice nie sú ostré (lebo sú to fuzzy množiny). Z obr. 1 [2] je zrejmé, že jednotlivé množiny sú definované funkciou príslušnosti (FP). Pre zvolenú rýchlosť 40 km/h príslušnosť do jednotlivých FM je nasledovná: FM "slow" je 0,75, FM "middle" je 0,25 a FM "fast" je 0.



Obr. 1 Závislosť rýchlosti od funkcie príslušnosti

Príklad charakteristickej funkcie množiny „Záporná teplota“ je na obr. 2 [5]. Prvok x v klasickej teórii množín do množiny buď patrí, alebo nepatrí, pretože jeho charakteristická funkcia nadobúda hodnotu 1 alebo 0. Hovoríme potom o *ostrých množinách*. Pokiaľ charakteristická funkcia charakterizuje stupeň, s akým prvok do množiny patrí, potom tieto množiny označujeme ako množiny *neostré - fuzzy množiny*.



Obr. 2 Závislosť charakteristickej funkcie od teploty

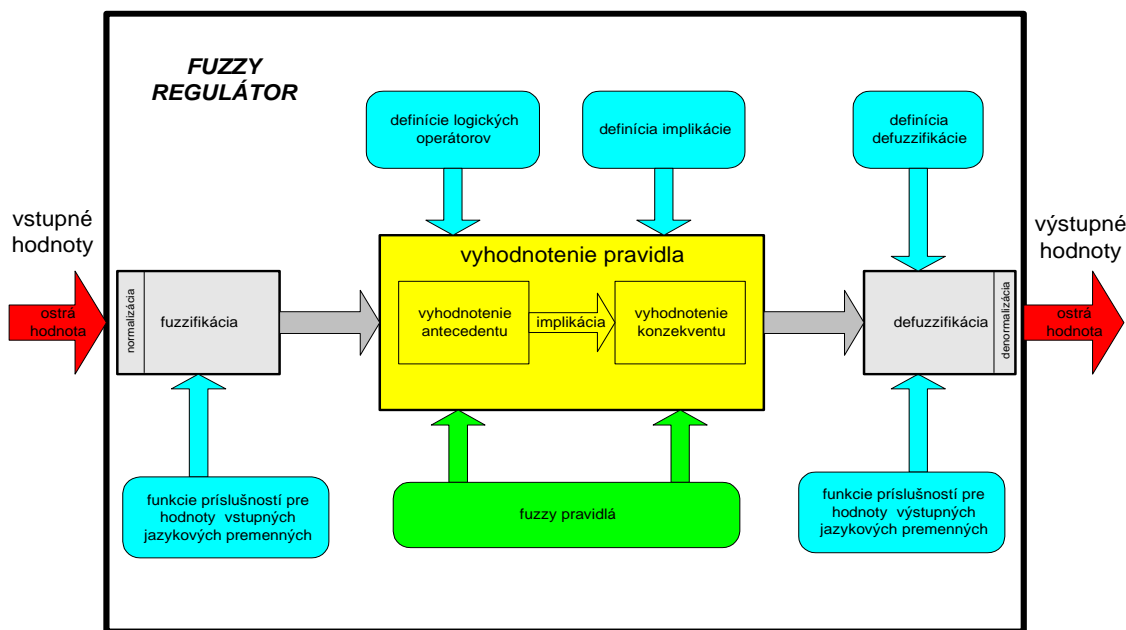
1.3 Fuzzy regulátor

Správna voľba vstupných a výstupných premenných fuzzy systému je základným predpokladom jeho správnej činnosti. Ak sa napr. navrhujú fuzzy P, PI, PD, PID alebo stavové regulátory, je dopredu dané, aké vstupné, resp výstupné veličiny budú vo fuzzy riadiacich pravidlách vystupovať. Veľmi často sa však fuzzy regulátory navrhujú na riadenie systémov, ktoré boli doteraz riadené len ľudskými operátormi, na základe nimi sformulovaných pravidiel. Podobne sa modelujú systémy, ktorých správanie sa je možné

opísať len vo forme výpovedí expertov. V takýchto prípadoch je najprv potrebné vykonať analýzu týchto lingvistických pravidiel a určiť, ktoré z v nich vystupujúcich premenných nesú relevantné informácie.

Štruktúra fuzzy regulátora je znázornená na obr. 3 [10].

Fuzzy regulátor je vo svojej podstate jednoduchý výpočtový člen, ktorý potrebuje relatívne malé množstvo aritmetických operácií. Problémom môže byť defuzzifikácia (výpočet integrálu), ale táto sa často nahradzuje jednoduchou rýchlou sumáciou, prípadne sa využívajú výpočtovo jednoduché inferenčné mechanizmy.



Obr. 3 Fuzzy regulátor

1.3.1 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 $z=f(x,y)$

1.3.2 Fuzzy pravidlá

Forma fuzzy pravidiel vyjadruje spôsob ľudského uvažovania, alebo formy popisu, ktorý je do veľkej miery založený na implikačnom tvare vo forme AK-POTOM pravidiel, na základe ktorých pri znalosti východzieho stavu popísaného fuzzy množinami

dedukujeme následky z nich vyplývajúce. Celý proces uvažovania je možné vyjadriť sústavou AK-POTOM pravidiel v tvare:

AK je odchýlka veľká, POTOM je akčný zásah veľmi veľký.

Kde *odchýlka* je vstupná premenná, *veľká* je fuzzy množina popisujúca tie veľkosti premennej *odchýlka*, ktoré sa dajú označiť za veľké. *Akčný zásah* je výstupná premenná a *veľmi veľký* je fuzzy množina popisujúca tie veľkosti premennej *akčný zásah*, ktoré sa dajú označiť za veľmi veľké. Takýmto spôsobom je možné pokryť rôzne prípady, ktoré môžu nastať a vyjadriť ich následky tak, že pre každý prípad použijeme samostatné AK - POTOM pravidlo. Výsledný popis tak vznikne zjednotením jednotlivých pravidiel.

1.3.3 Fuzzifikácia

Namerané alebo používateľom zadané hodnoty veličín sa pomocou funkcie príslušnosti prevedú na hodnoty príslušnosti pre jednotlivé fuzzy množiny.

1.3.4 Defuzzifikácia

Výsledkom činnosti bloku rozhodujúcich pravidiel je súbor funkcií príslušnosti pre jednotlivé termy lingvistických premenných. Pre praktické použitie fuzzy aproximácii je treba priradiť výstupným lingvistickým premenným ostrú hodnotu v prípustnom rozsahu. Tento proces „aproximácie neostrých termov“ ostrou hodnotu sa nazýva defuzzifikácia.

1.3.5 Kompozícia

Kompozícia je určenie jednej výslednej funkcie príslušnosti výstupov pomocou stupňov príslušnosti (pravdivosti) predpokladov jednotlivých pravidiel a samotných záverov pravidiel. Sú známe rôzne kompozičné metódy, najčastejšie sa používa metóda max, pri ktorej je výsledná funkcia príslušnosti vytváraná pridávaním maximálnych hodnôt funkcií príslušnosti záverov bod po bode (ináč to je zjednotenie fuzzy množín).

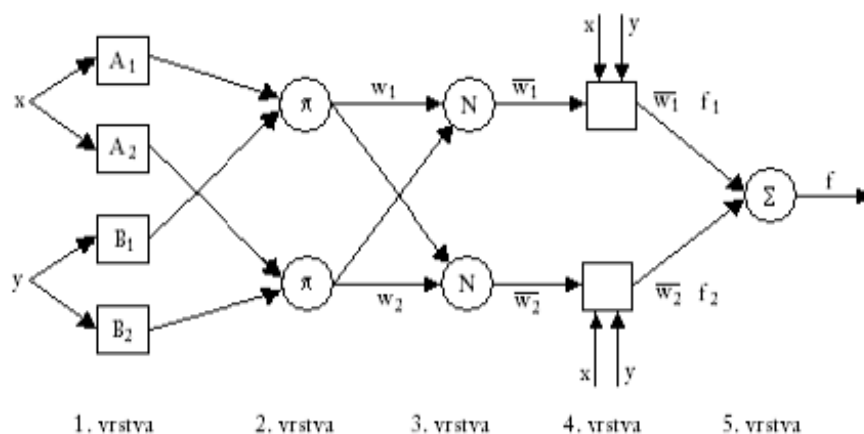
1.3.6 Inferencia

Inferencia je určenie výsledného stupňa príslušnosti celej predpokladovej časti pre každé pravidlo. Sú známe rôzne inferenčné metódy, najčastejšie sa používa metóda min,

pri ktorej je výsledný stupeň príslušnosti zhora orezaný najmenším stupňom príslušnosti vstupov (ináč to je prienik fuzzy množín).

1.4 Anfis (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System)

Anfis je adaptívna dopredná neurónová sieť, pre jej tréovanie sa používa hybridná učiaca metóda. Anfis svojou činnosťou zodpovedá TSK (Takagi-Sugeno-Kang) fuzzy regulátoru. Vnútorne je ale reprezentovaný ako päťvrstvová dopredná neurónová sieť, ktorej určenie je založené na minimalizácii odchýlok metódou najmenších štvorcov a zodpovedá úprave premisných a konsekventných parametrov. Tieto parametre nie sú uložené vo váhach spomínanej neurónovej siete, ale v jej uzloch - preto je správne hovoriť o adaptívnej, nie neurónovej sieti (jednou zo základných vlastností neurónových sietí je, že informácie sa ukladajú do synaptických váh). Architektúra siete Anfis je znázornená na obr. 4 [7].



Obr. 4 Architektúra siete Anfis

1.4.1 Genfis 1

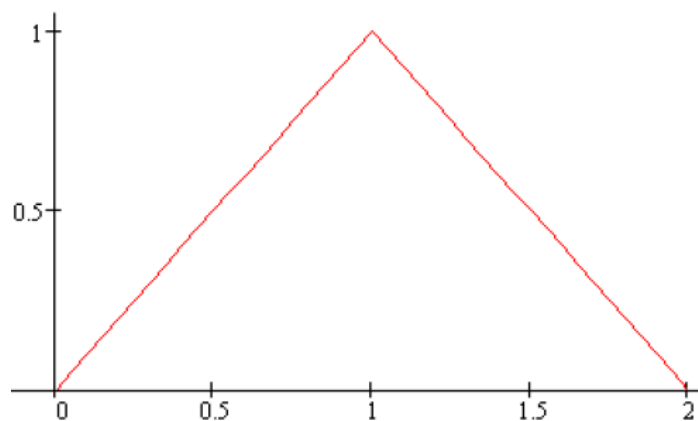
Príkaz *genfis1* generuje východiskový fuzzy inferenčný systém (*fis*) Sugenovského typu na tréovanie neurónovej siete použitím mriežkového rozkladu vstupných dát. Najjednoduchší formát príkazu je: *genfis1*(DATA).

DATA obsahujú údaje v stĺpcoch, pričom prvé stĺpce sú automaticky považované za vstupné údaje a posledný stĺpec je výstup. Pre každý vstup sa zvolí typ funkcie príslušnosti a parametre výstupu sa počítajú ako lineárna funkcia. Parametre príkazu sa dajú voliť:

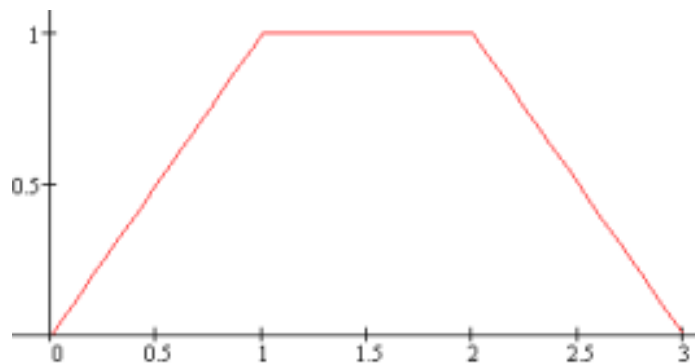
genfis1 (DATA, NUMMFS, INPUTMF, OUTPUTMF)

Môžeme voliť:

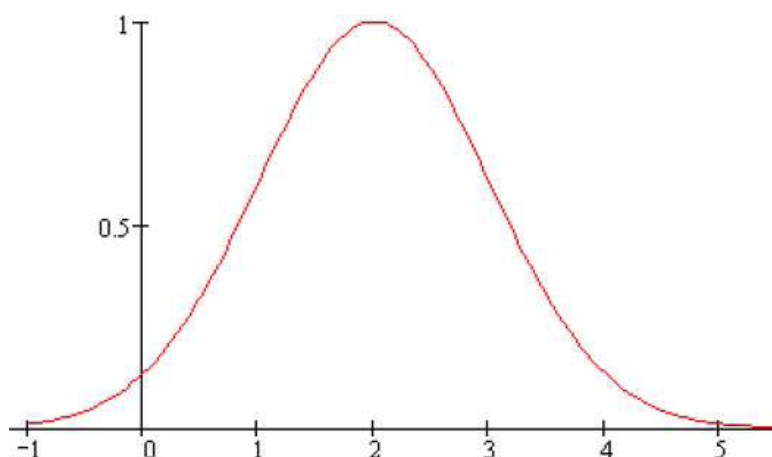
- NUMMFS: počet funkcií príslušnosti každého vstupu
- INPUTMF: typ funkcií príslušnosti každého vstupu. Fuzzy Toolbox obsahuje funkcie príslušnosti *trimf*, *trapmf*, *gbellmf*, *gaussmf*, *gauss2mf*, *dsigmf*, *psigmf*, *pimf*
- OUTPUTMF: parametre konsekventov pravidiel fis-funkcie môžu byť počítané ako konštanty alebo ako koeficienty lineárnej funkcie



Obr. 5 Trojuholníkový tvar funkcie príslušnosti



Obr. 6 Lichobežníkový tvar funkcie príslušnosti



Obr. 7 Gaussovský tvar funkcie príslušnosti

1.4.2 Genfis 2

Príkaz *genfis2* generuje fuzzy inferenčný systém (*fis*) Sugenovského typu použitím metódy subtraktívneho zhľukovania vstupných údajov pomocou funkcie *subclust* na určenie počtu funkcií príslušnosti a vytvorenie pravidiel. Príkaz na použitie *genfis2* v Matlabe má tvar: *genfis2* (XIN, XOUT, RADII).

Subtraktívne zhľukovanie patrí k metódam delenia vstupného priestoru pri hľadaní zhľukov, pričom poskytuje zásadnú výhodu automatického určenia počtu zhľukov, to znamená, že fuzzy modely sa automaticky vygenerujú pri poskytnutí iba vstupných údajov, bez zadávania počtu zhľukov. Pomocou tejto metódy sa vo vstupných údajoch hľadajú zhľuky navzájom podobných údajov. Okolo každého bodu sa kvantitatívne vyjadří hustota, s akou sú okolo neho rozložené okolité body. Bod s najväčšou hustotou predstavuje súradnice prvého zhľuku - prvé nájdené fuzzy pravidlo. Pri hľadaní ďalších zhľukov sa miery hustôt ďalších zhľukov oslabujú o hustotu nájdených zhľukov. Obyčajne stačí meniť posledný údaj RADII. Jeho hodnota je od 0 po 1. Čím je hodnota menšia, tým väčší je počet zhľukov. Počet pravidiel predstavuje počet zhľukov.

1.4.3 Genfis 3

Príkaz *genfis3* pracuje na princípe hľadania centier zhlukov pomocou algoritmu *fcm* a má 4 nastaviteľné parametre, ktoré majú štandardne hodnoty [0,5; 1,25; 0,5; 0,15]. Pri tejto metóde sa predpokladá, že všetky údaje patria do jednotkovej kocky.

V Matlabe má tvar: *genfis3* (x,y,'mamdani',14, [0,5; 1,25; 0,5; 0,15].)

- Prvý parameter vyjadruje mieru vplyvu na údaje v uvedenom priestore.
- Druhý parameter ovplyvňuje voľbu, či sú zhluky pri sebe blízko alebo ďaleko,
- Tretí parameter je polomer oblasti, v ktorej sa má počítať miera hustoty okolo daného bodu.
- Štvrtý parameter je polomer oblasti, v ktorej má dôjsť k redukcii miery hustoty v okolí zhuku daného bodu.

V procese inferencie sa používa operátor minima a v procese akumulácie operátor maxima.

2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

2.1 Tvorba GUI pre návrh neuro-fuzzy regulátorov

2.1.1 Grafické užívateľské rozhranie (GUI)

Matlab poskytuje vizualizáciu dát a tým umožňuje vytvoriť prostredie, ktoré sa vyznačuje jednoduchosťou obsluhy. Prostredie sa vytvára pomocou m-file, kde sa zadávajú jednotlivé príkazy.

2.1.2 Základné typy príkazov:

FIGURE - príkaz na vytvorenie okna

POSITION – príkaz na určenie presnej polohy

LEFT, BOTTOM, WIDTH, HEIGHT – rozmerové príkazy

UICONTROL - vytvorí prepojenie medzi užívateľom a ovládaním aktuálnej podoby okna

STYLE – charakterizuje typ tlačidla

- 'Style','text' – ikona v ktorej sa nachádza len text
- 'Style','push' – spúšťacie tlačidlo
- 'Style','edit' – ikona na zápis údajov
- 'Style','poup' – rolovacie (výberové) tlačidlo

FOREGROUNDCOLOR – farba popredia

BACKGROUNDCOLOR – farba pozadia

CALLBACK – príkaz na návrat do predošlého kroku

NUM2STR – konverzia čísla na reťazec

STR2NUM – konverzia reťazca na číslo

FONTSIZE - veľkosť písma

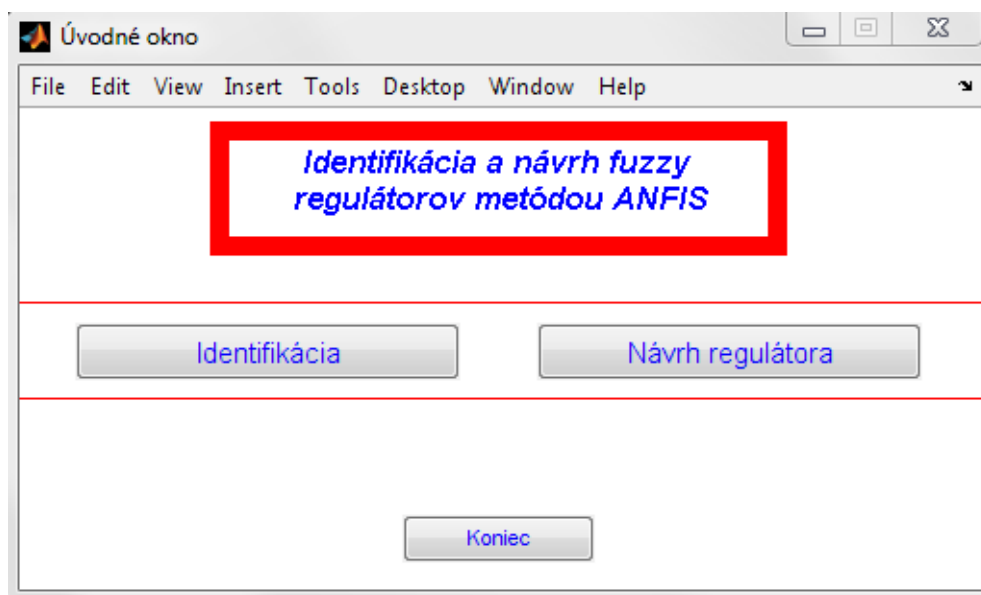
FONTWEIGHT - hrúbka písma

Programy, pomocou ktorých boli vytvorené všetky okná pre identifikáciu systémov metódou ANFIS, sú uvedené v prílohe.

2.2 Použitie programového systému pre identifikáciu systémov metódou ANFIS

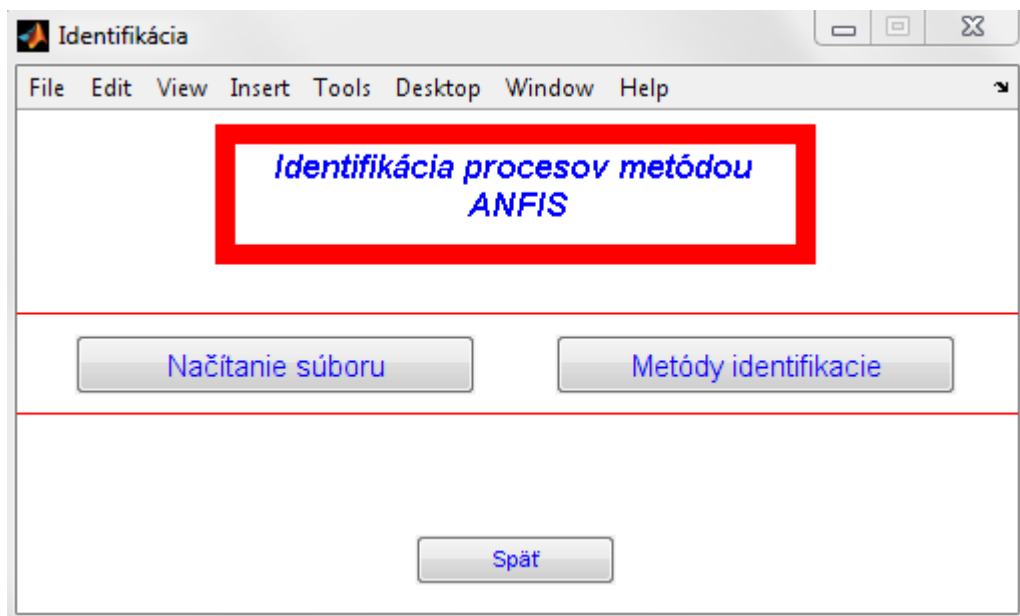
Pri vývoji a testovaní programu bol použitý model troch výmenníkov tepla zapojených v sérii v tvare s-funkcie, ktorý bol zdrojom vstupných údajov. Pre presnejšie porovnávanie sa zvolili na vstupe štyri rôzne skokové zmeny.

Pre spustenie programu sa najskôr spustí program MATLAB a nastaví sa aktuálny adresár. V príkazovom okne MATLABu sa zadá príkaz „spustenie_programu“ a po spustení sa otvorí okno s názvom „Úvodné okno“.



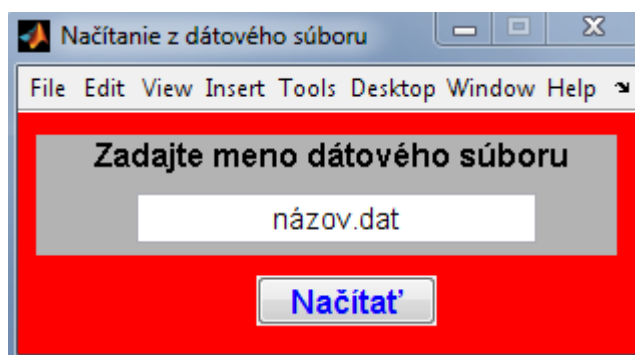
Obr. 8 Hlavné okno

Z hlavného okna sa kliknutím vyberie tlačidlo „Identifikácia“. Otvorí sa okno s názvom „Identifikácia“.



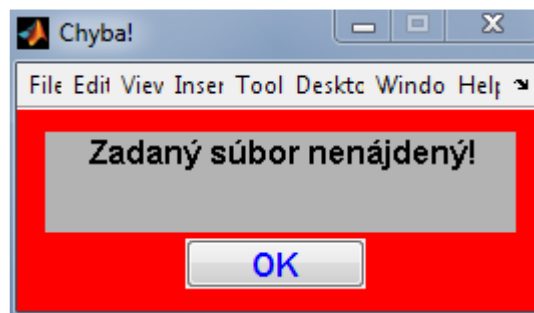
Obr. 9 Identifikácia

Z okna „Identifikácia“ sa kliknutím vyberie tlačidlo „Načítanie súboru“. Otvorí sa okno s názvom „Načítanie z dátového súboru“, v ktorom sa objaví možnosť načítania súboru.



Obr. 10 Načítanie z dátového súboru

Pri nenačítaní dát z dátového súboru, a to z dôvodu zlého zadania názvu súboru alebo neexistujúceho súboru, sa objaví okno s názvom „Chyba“, ktoré upozorňuje, že zadany súbor nebol nájdený a nemožno pokračovať v identifikácii.



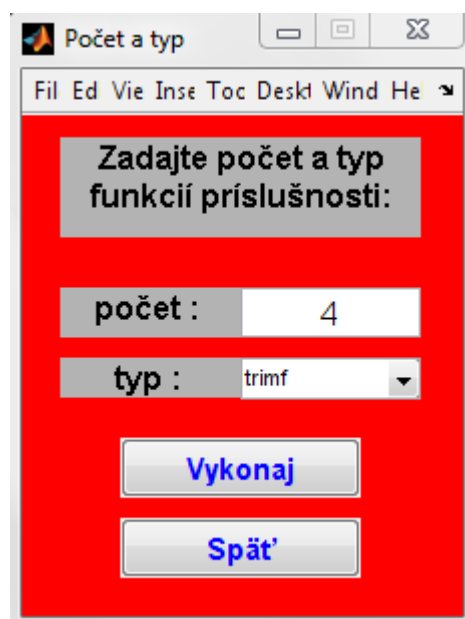
Obr. 11 Chyba pri načítaní z dátového súboru

Po načítaní dát z hlavného okna sa vyberie tlačidlo „Metódy identifikácie“. Následne sa otvorí výberové okno s názvom „Vyber metódu identifikácie“, kde je na výber identifikácia procesov príkazom *genfis1*, *genfis2* a *genfis3*.



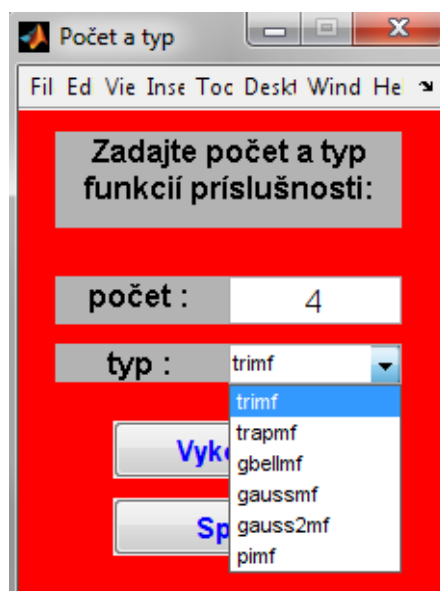
Obr. 12 Výber metódy

Po výbere príkazu „genfis1“ sa objaví okno „Počet a typ“, kde sa vyplnia požadované údaje - počet funkcií príslušnosti, ktorých hodnota je preddefinovaná a typ funkcií príslušnosti.



Obr. 13 Zadávanie parametrov pre genfis1

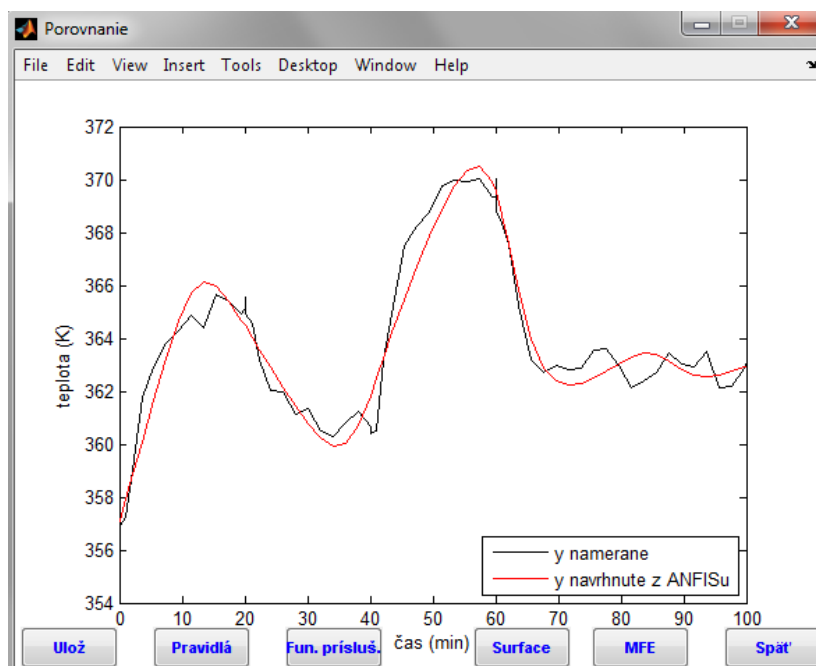
Po stlačení rolovacieho tlačidla sa ukážu typy funkcií príslušnosti *trimf* (trojuholníkový tvar funkcie príslušnosti), *trapmf* (lichobežníkový tvar funkcie príslušnosti), *gbellmf* (zvonový tvar funkcie príslušnosti), *gaussmf* (gaussovský tvar funkcie príslušnosti), *gauss2mf* (kombinácia dvoch gaussovských funkcií príslušnosti), *pimf* (π -tvar funkcie príslušnosti).



Obr. 14 Výber typu funkcie príslušnosti

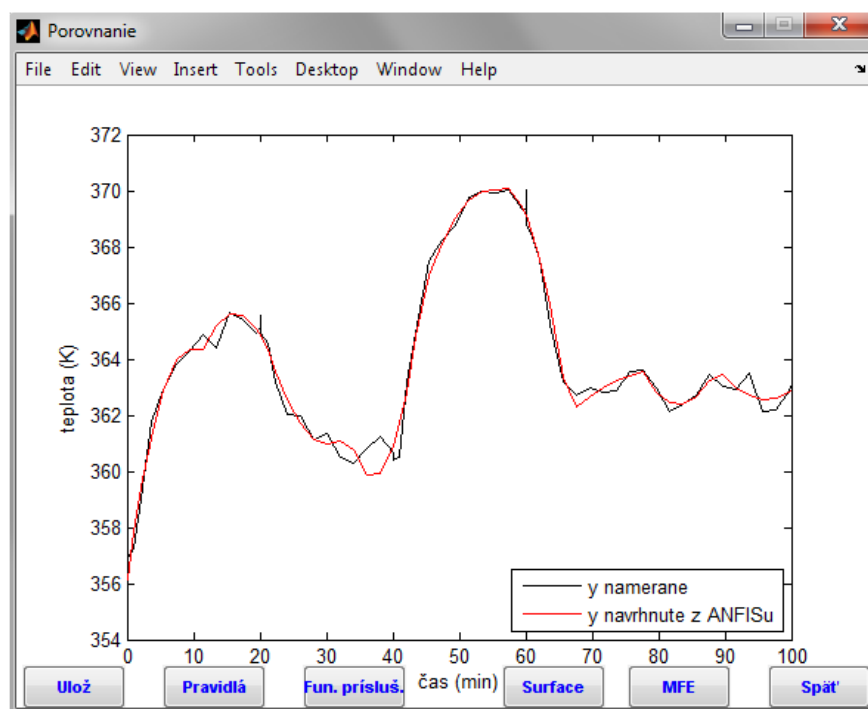
Po vyplnení údajov a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa objaví grafické okno s názvom „Porovnanie“.

Obr. 15 zobrazuje porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréning údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, ak bolo použitých 5 zvonových funkcií príslušnosti.



Obr. 15 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom *genfis1*, ak bolo použitých 5 zvonových FP

Obr. 16 zobrazuje, podobne ako obr. 15, porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréning údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, s tým rozdielom, že bolo použitých 10 trojuholníkových funkcií príslušnosti.

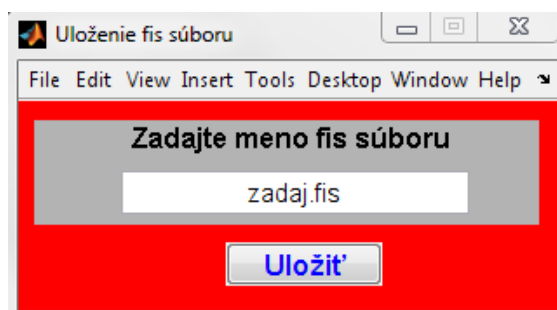


Obr. 16 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis1, ak bolo použitý 10 trojuholníkových FP

Z porovnania obr. 15 a 16 vyplýva, že so zvyšovaním počtu funkcií príslušnosti je identifikácia presnejšia, ale aj počet pravidiel je samozrejme vyšší.

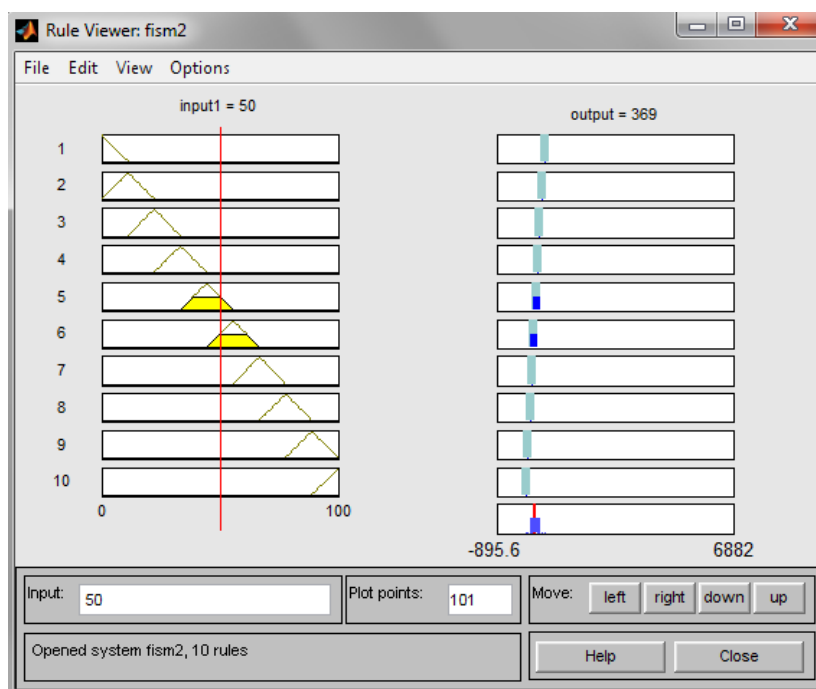
V dolnej časti okna sa nachádzajú tlačidlá „Ulož“, „Pravidlá“, „Fun. Prísluš.“, „Surface“ a „MFE“.

Po stlačení tlačidla „Ulož“ sa objaví okno s možnosťou uloženia vygenerovaného fuzzy interferenčného systému (*fis*).



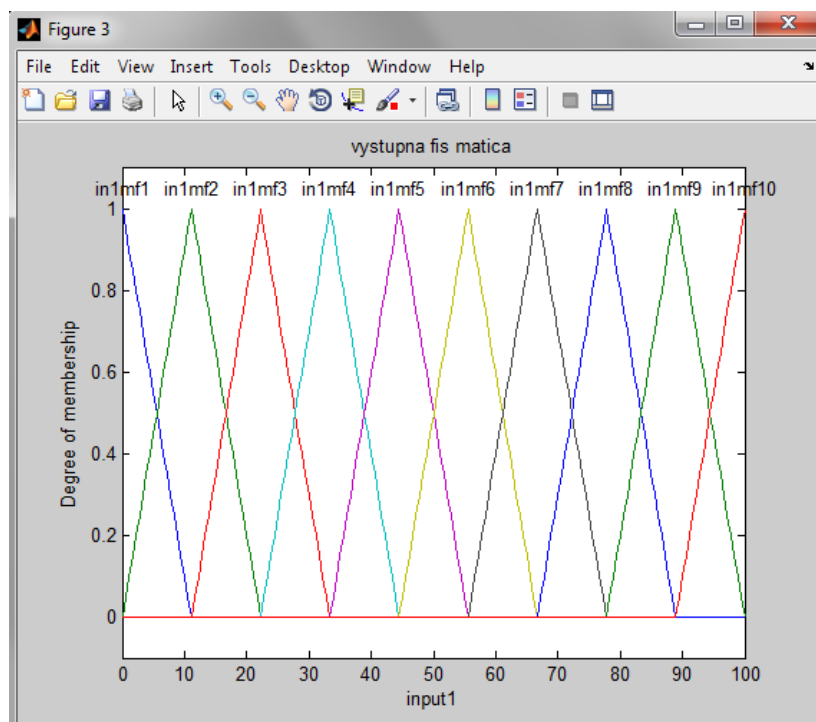
Obr. 17 Uloženie vygenerovaného FIS

Po stlačení tlačidla „Pravidlá.“ sa objaví grafické okno procesu inferencie, v ktorom sú zobrazené všetky pravidlá, tvary funkcií príslušnosti vstupov, výstupov a ich inferencie.



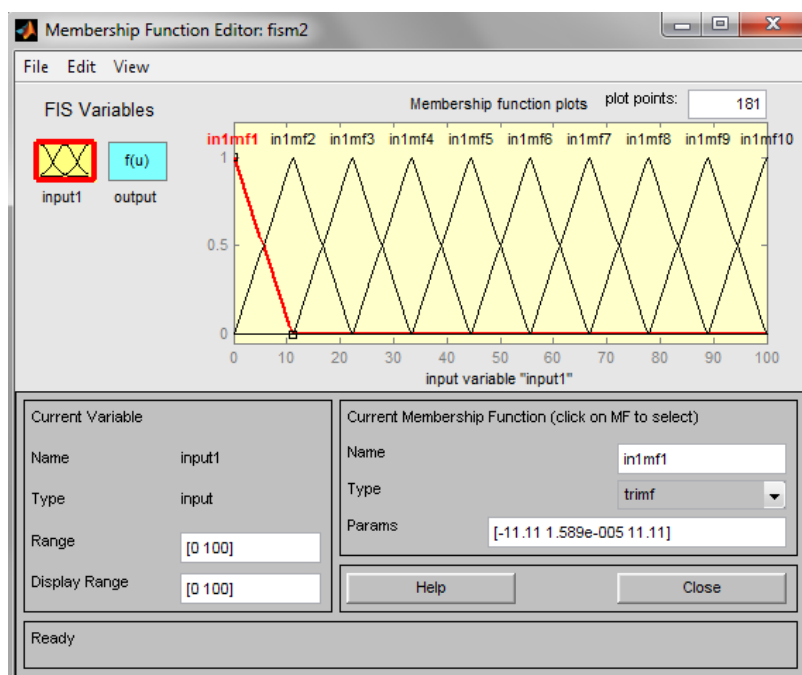
Obr. 18 Pravidlá

Po stlačení tlačidla „Fun. Prísluš.“ sa objaví okno, v ktorom sú zobrazené funkcie príslušnosti pre vstupnú veličinu.



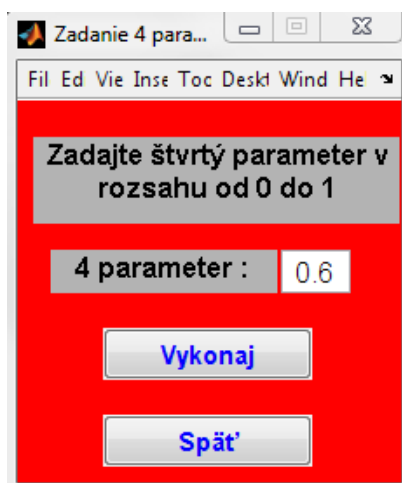
Obr. 19 Funkcie príslušnosti pre vstupnú veličinu

Po stlačení tlačidla „MFE.“ sa objaví graficke okno Membership function editor – editor funkcií príslušnosti



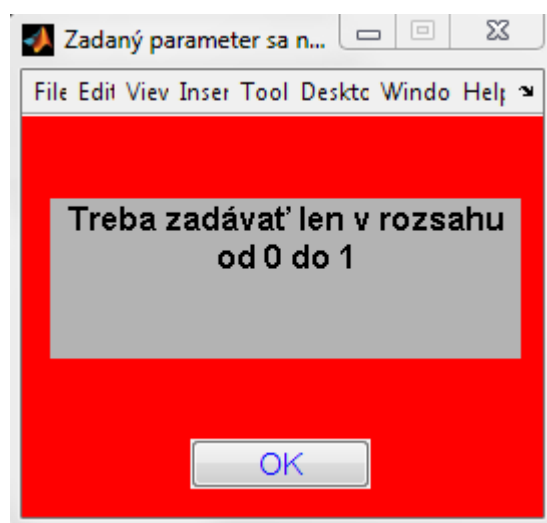
Obr. 20 Editor funkcií príslušnosti

Po výbere príkazu „genfis2“ sa objaví okno „Zadanie 4 parametra“, kde sa vyplní požadovaný parameter. Daný údaj sa zadáva v rozsahu od 0 do 1. Po zadaní parametra v uvedenom rozsahu a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa objaví grafické okno s názvom „Porovnanie“.



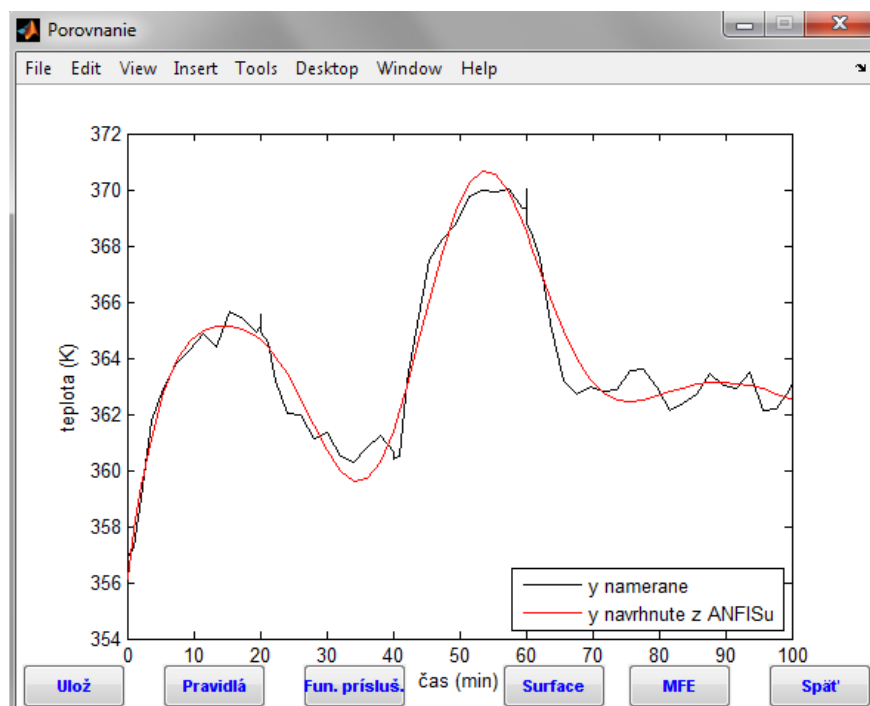
Obr. 21 Zadávanie parametrov pre genfis2

Pri zadaní parametra mimo uvedeného rozsahu sa objaví grafické okno „Zadaný parameter sa nenachádza v danom rozsahu!“



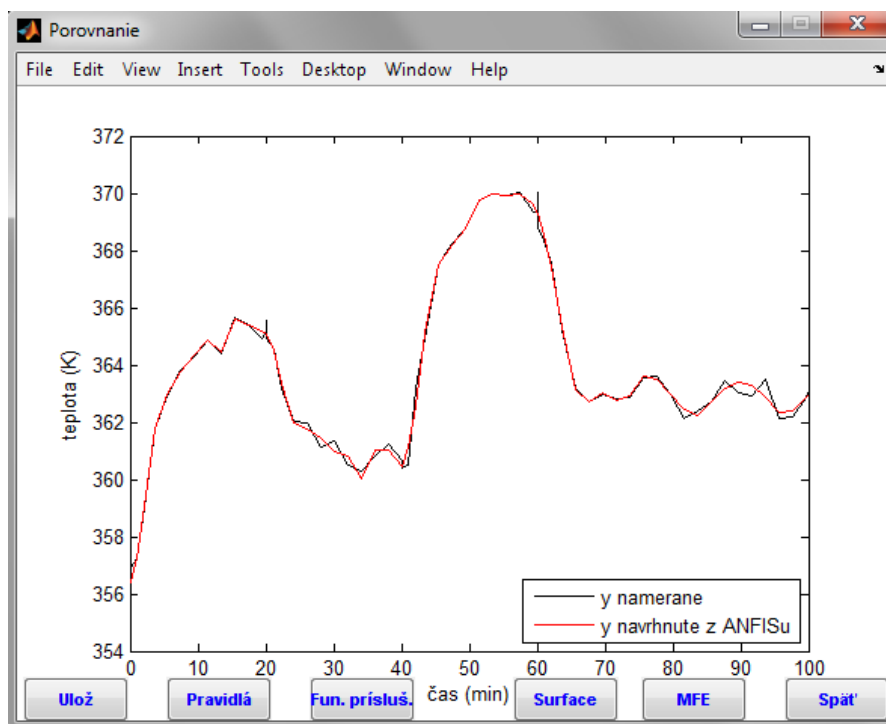
Obr. 22 Zadaný parameter sa nenachádza v danom rozsahu

Obr. 23 zobrazuje porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréovanie údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, pre prvé 3 štandardne nastavené parametre a štvrtý s hodnotou 0,41.



Obr. 23 Porovnanie tréovacích údajov a výstupu po natréovaní príkazom *genfis2* (štvrtý parameter s hodnotou 0,41)

Obr. 24 zobrazuje, podobne ako obr. 23, porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréovanie údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, pre prvé 3 štandardne nastavené parametre a štvrtý s hodnotou 0,1.



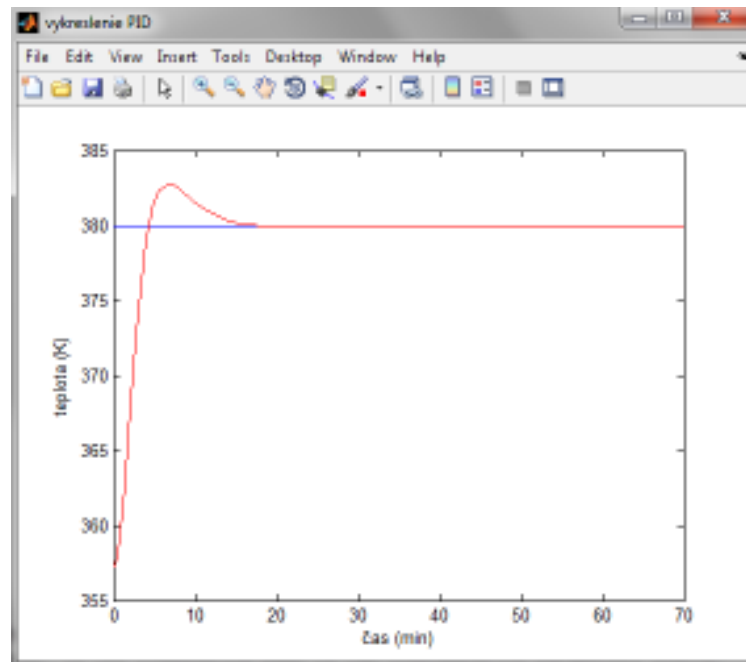
Obr. 24 Porovnanie tréovacích údajov a výstupu po natrénovaní príkazom *genfis2* (štvrtý parameter s hodnotou 0,1)

Z obr. 23 a 24 je vidieť, že so zmeňujúcou sa hodnotou štvrtého parametra bude identifikácia presnejšia, ale počet pravidiel bude narastať.

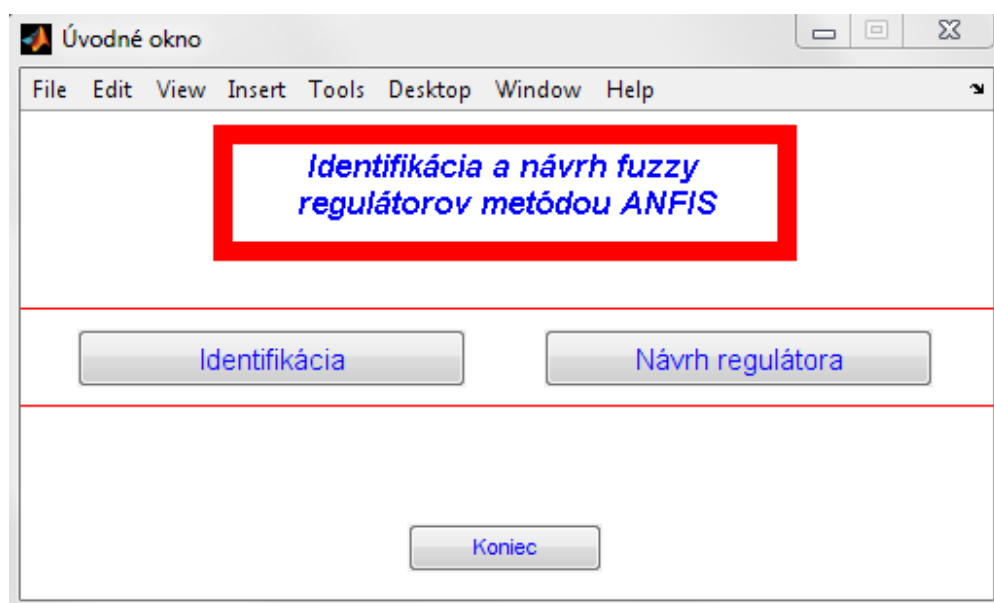
2.3 Použitie programového systému pre návrh neuro fuzzy regulátorov

Simuláciou 20% skokovej zmeny teploty sa získala PCH systému. Pomocou jej analýzy sa získali údaje potrebné k návrhu PID regulátora. Regulátor sa nastavil pomocou Strejcovej metódy. Trénovacie údaje boli získané simuláciou riadenia týmto regulátorom.

Vytvorené GUI umožňuje navrhnuť dva typy FR. Prvým je regulátor s jedným vstupom e a výstupom u . Druhým je regulátor s dvomi vstupmi e a de a výstupom u .

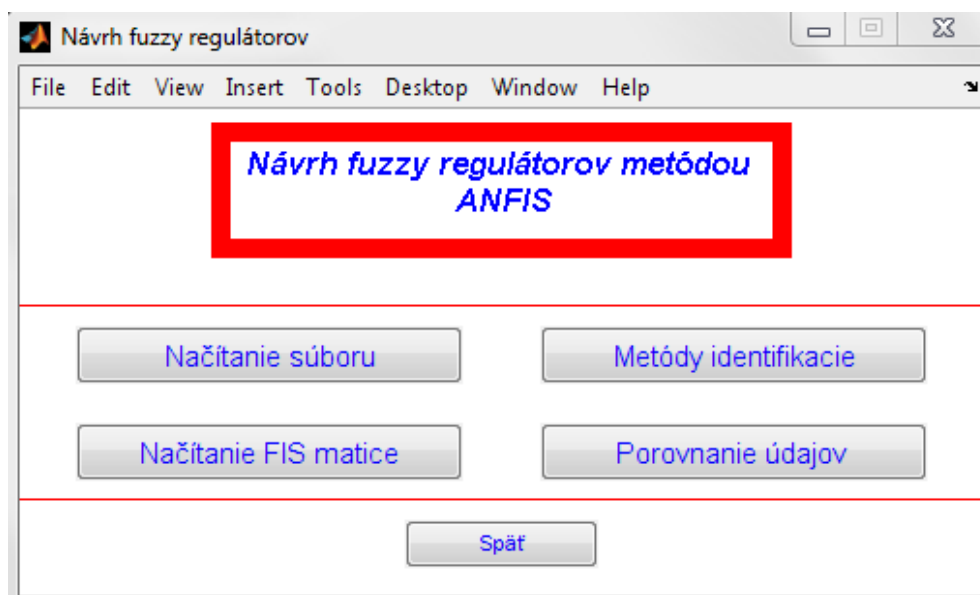


Obr. 25 Priebeh teploty pri riadení PID regulátorom s nastavením parametrov Strejcovou metódou



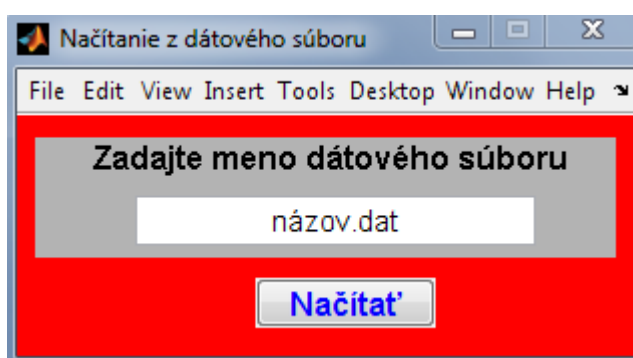
Obr. 26 Hlavné okno

Z hlavného okna sa kliknutím vyberie tlačidlo „Návrh regulátora“. Otvorí sa okno s názvom „Návrh fuzzy regulátorov“.



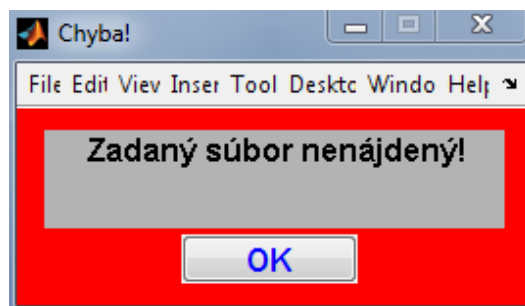
Obr. 27 Návrh fuzzy regulátorov

Z okna „Návrh fuzzy regulátorov“ sa kliknutím vyberie tlačidlo „Načítanie súboru“. Otvorí sa okno s názvom „Načítanie z dátového súboru“, v ktorom sa objaví možnosť načítania súboru.



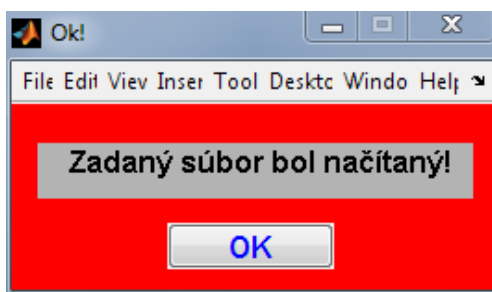
Obr. 28 Načítanie z dátového súboru

Pri nenačítaní dát z dátového súboru a to z dôvodu zlého zadania názvu súboru alebo neexistujúceho súboru sa objaví okno s názvom „Chyba“, ktoré upozorňuje, že zadaný súbor nebol nájdený a nemožno pokračovať v návrhu neuro-fuzzy regulátora.



Obr. 29 Chyba pri načítaní z dátového súboru

Po úspešnom načítaní dát z dátového súboru sa objaví okno s názvom „Ok“, ktoré upozorňuje, že zadaný súbor bol načítaný.



Obr. 30 Po načítaní z dátového súboru

Po načítaní dát z hlavného okna sa vyberie tlačidlo „Nastavenie parametrov“. Následne sa otvorí výberové okno s názvom „Počet vstupov do regulátora“, kde je na výber jeden vstup (jedná sa o vektor vstupných údajov s jedným stĺpcom) alebo dva vstupy (vektory vstupných údajov, resp. maticu s dvoma stĺpcami).



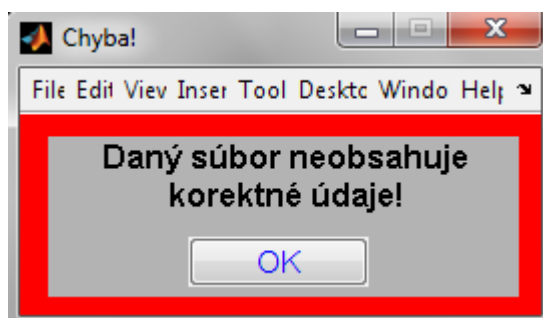
Obr. 31 Počet vstupných údajov

Po stlačení tlačidla „1 vstup“ sa objaví okno s názvom „Rozdelenie dát“, kde sa vyplnia parametre, regulačná odchýlka (e) a akčný zásah (u) v závislosti na akej pozícii sa nachádzajú v danom načítanom dátovom súbore, ktorý bol získaný simuláciou riadenia PID regulátorom.



Obr. 32 Rozdelenie dát pre jeden vstup

Pri neúspešnom načítaní parametrov do regulátora sa objaví okno s názvom „Chyba!“, pretože daný súbor neobsahuje korektné údaje.



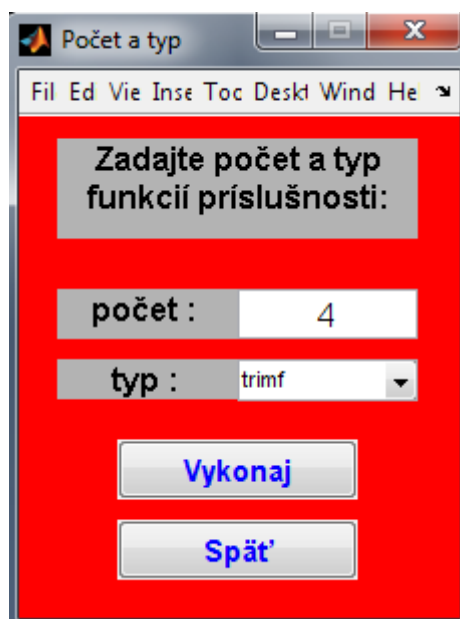
Obr. 33 Nekorektné údaje

Po úspešnom načítaní parametrov do regulátora, vyplnení údajov a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa následne otvorí výberové okno s názvom „Výber príkazu“, kde je na výber príkaz *genfis1*, *genfis2* a *genfis3* na generovanie fuzzy inferenčného systému.



Obr. 34 Výber príkazu pre jeden vstup

Po výbere príkazu „genfis1“ sa objaví okno „Počet a typ“, kde sa vyplnia požadované údaje - počet funkcií príslušnosti, ktorej hodnota je preddefinovaná a typ funkcií príslušnosti .



Obr. 35 Zadávanie parametrov pre genfis1

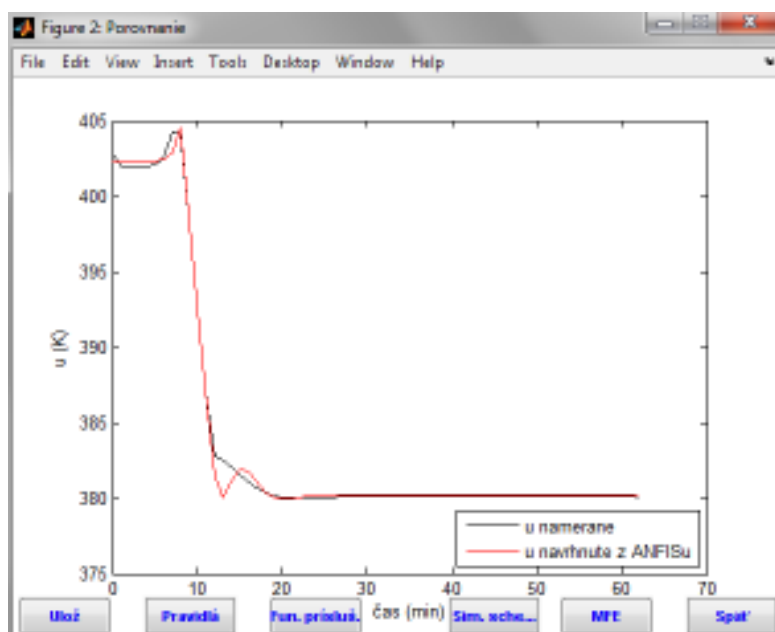
Po stlačení rolovacího tlačidla sa ukážu typy funkcií príslušnosti *trimf* (trojuholníkový tvar funkcie príslušnosti), *trapmf* (lichobežníkový tvar funkcie príslušnosti), *gbellmf* (zvonový tvar funkcie príslušnosti), *gaussmf* (gaussovský tvar

funkcie príslušnosti), *gauss2mf* (kombinácia dvoch gaussovských funkcií príslušnosti), *pimf* (π -tvar funkcie príslušnosti).



Obr. 36 Výber typu funkcie príslušnosti

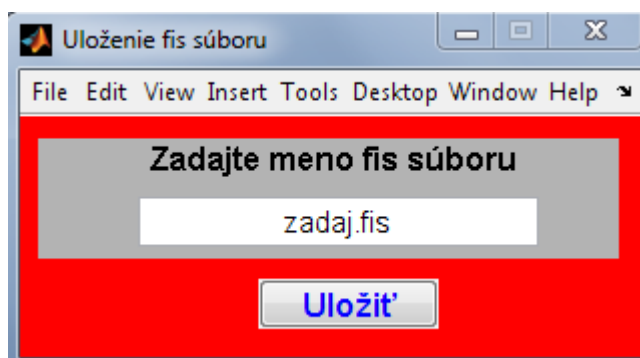
Po vyplnení údajov a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa objaví grafické okno s názvom „Porovnanie“. Obr. 37 zobrazuje porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréning údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, ak bolo použitých 5 trojuholníkových funkcií príslušnosti.



Obr. 37 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom *genfis1*

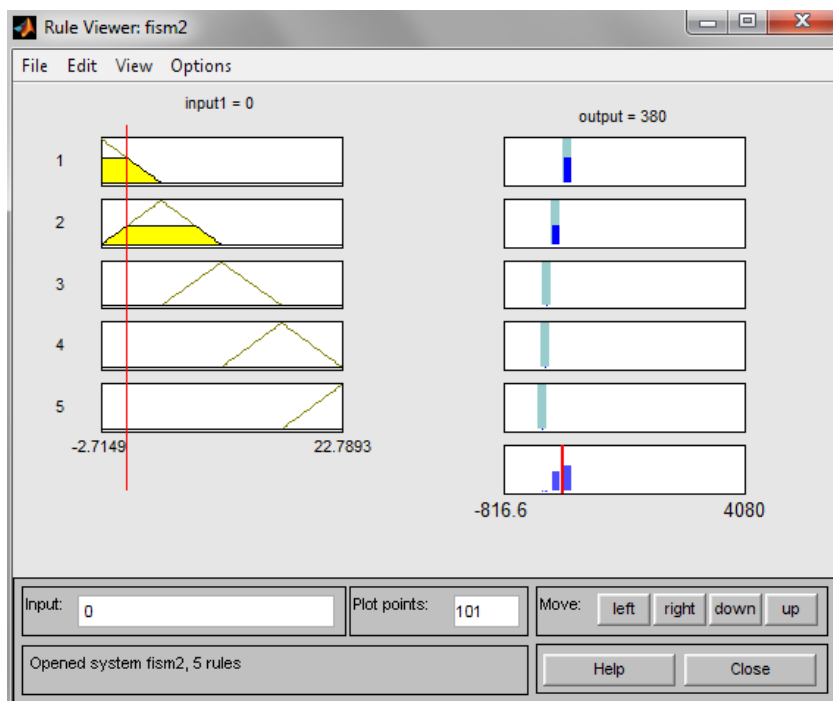
V dolnej časti okna sa nachádzajú tlačidlá „Ulož“, „Pravidlá“, „Fun. Prísluš.“, „Sim. schéma“ a „MFE“.

Po stlačení tlačidla „Ulož“ sa objaví okno s možnosťou uloženia vygenerovaného fuzzy interferenčného systému (*fis*).



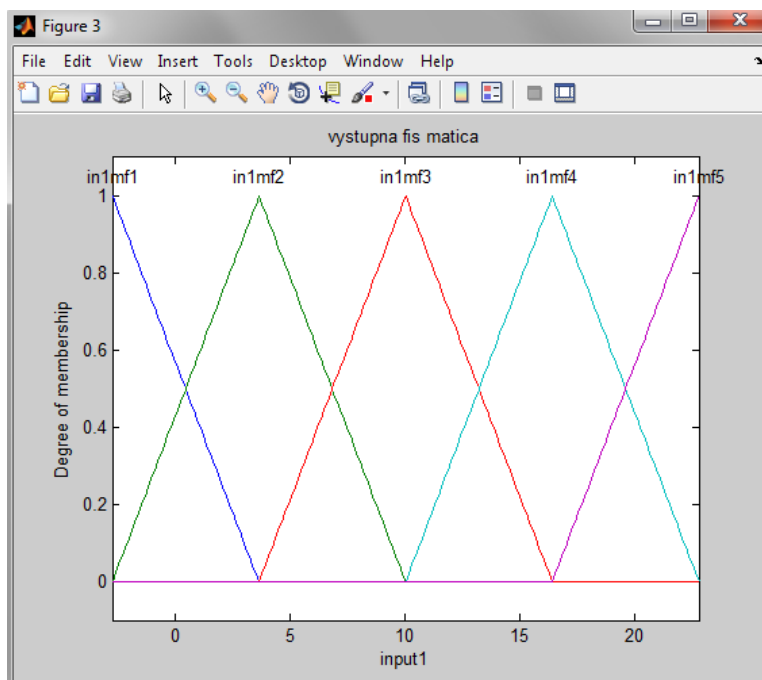
Obr. 38 Uloženie vygenerovaného FIS

Po stlačení tlačidla „Pravidlá.“ sa objaví grafické okno procesu inferencie, na ktorom sú zobrazené všetky pravidlá, tvary funkcií príslušnosti vstupov, výstupov a ich inferencie.



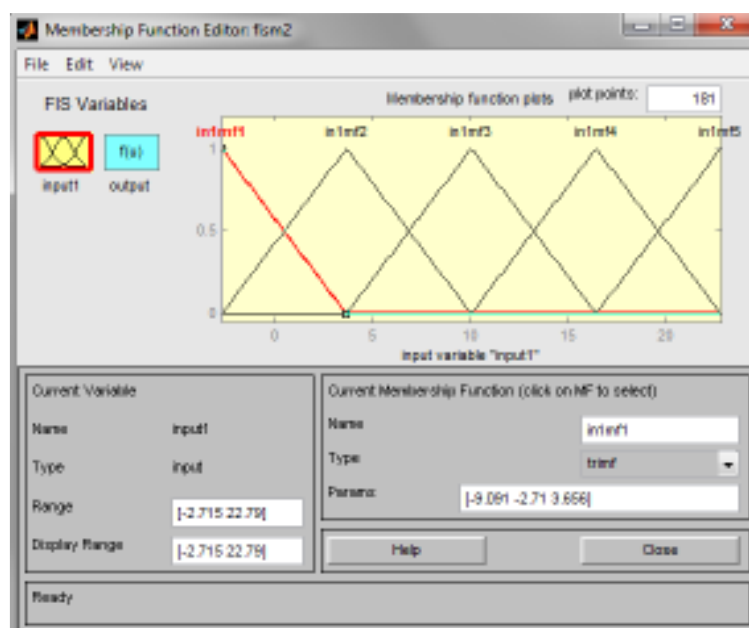
Obr. 39 Pravidlá

Po stlačení tlačidla „Fun. Prísluš.“ sa objaví okno, v ktorom sú zobrazené funkcie príslušnosti pre vstupnú veličinu.



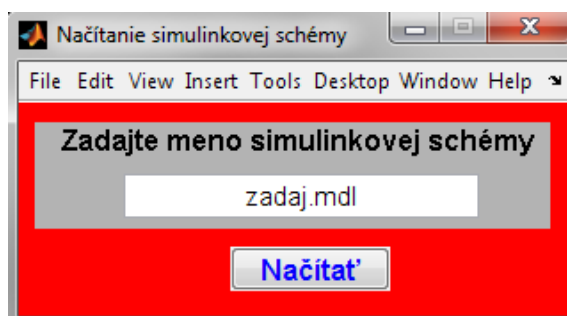
Obr. 40 Funkcie príslušnosti pre vstupnú veličinu

Po stlačení tlačidla „MFE.“ sa objaví graficke okno Membership function editor – editor funkcií príslušnosti.



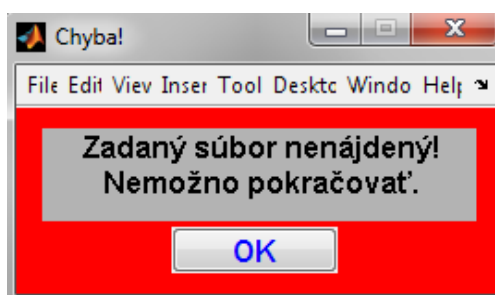
Obr. 41 Editor funkcií príslušnosti

Po stlačení tlačidla „Sim. schema“ sa objaví grafické okno s názvom „Načítanie simulinkovej schémy“, v ktorom sa objaví možnosť načítania schémy.



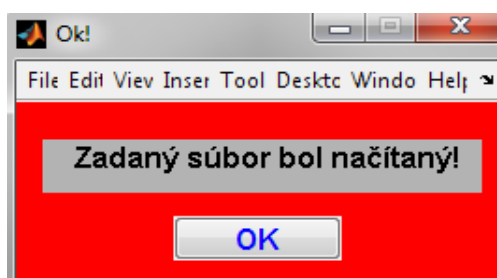
Obr. 42 Načítanie simulinkovej schémy

Pri nenačítaní schémy a to z dôvodu zlého zadania názvu schémy alebo neexistujúcej schémy v nastavenom adresári sa objaví okno s názvom „Chyba“, ktoré upozorňuje, že zadaná schéma nebola nájdená a nemožno pokračovať v simulácii riadenia s navrhnutým neuro-fuzzy regulátorom.



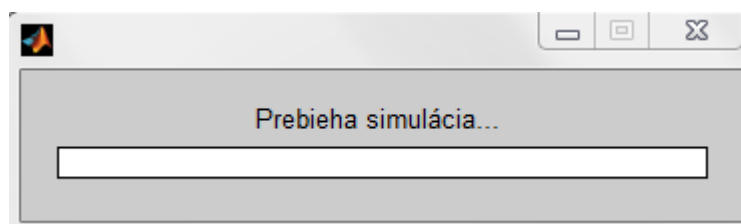
Obr. 43 Chyba pri načítaní simulinkovej schémy

Po úspešnom načítaní schémy sa objaví okno s názvom „Ok“, ktoré upozorňuje, že zadaná schéma bola načítaná.



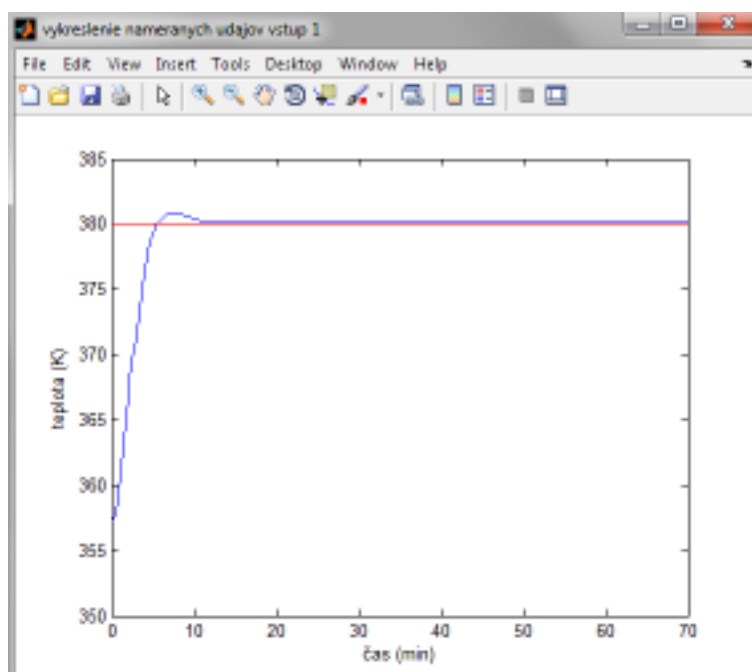
Obr. 44 Po načítaní simulinkovej schémy

Po stlačení tlačidla „Ok“ sa objaví grafické okno oznamujúce prebieh simulácie simulinkovej schémy.



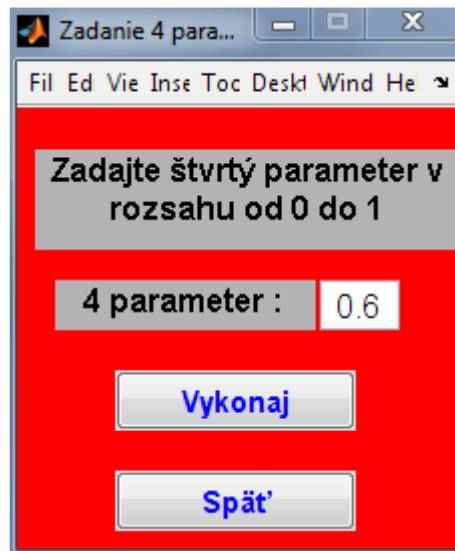
Obr. 45 Prebieha simulácia

Po odsimulovaní simulinkovej schémy sa objaví grafické okno zobrazujúce priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupným údajom.



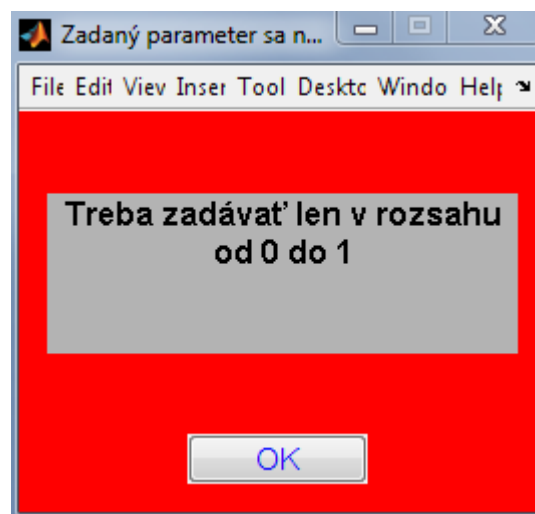
Obr. 46 Priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom

Po výbere príkazu „genfis2“ sa objaví okno „Zadanie 4 parametra“, kde sa vyplní požadovaný parameter. Daný údaj sa zadáva v rozsahu od 0 do 1. Po zadaní parametra v uvedenom rozsahu a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa objaví grafické okno s názvom „Porovnanie“.



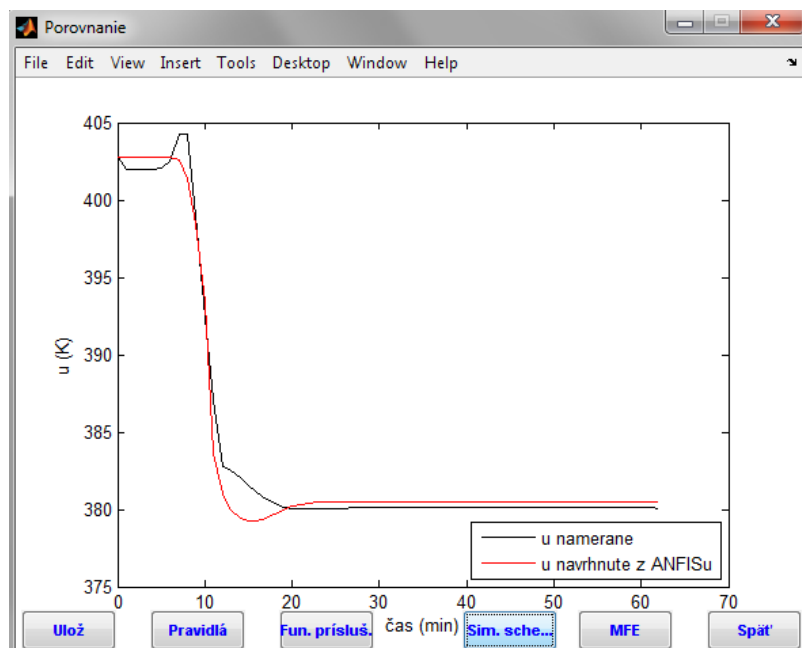
Obr. 47 Zadávanie parametrov pre genfis2

Pri zadaní parametra mimo uvedeného rozsahu sa objaví grafické okno „Zadaný parameter sa nenachádza v danom rozsahu!“



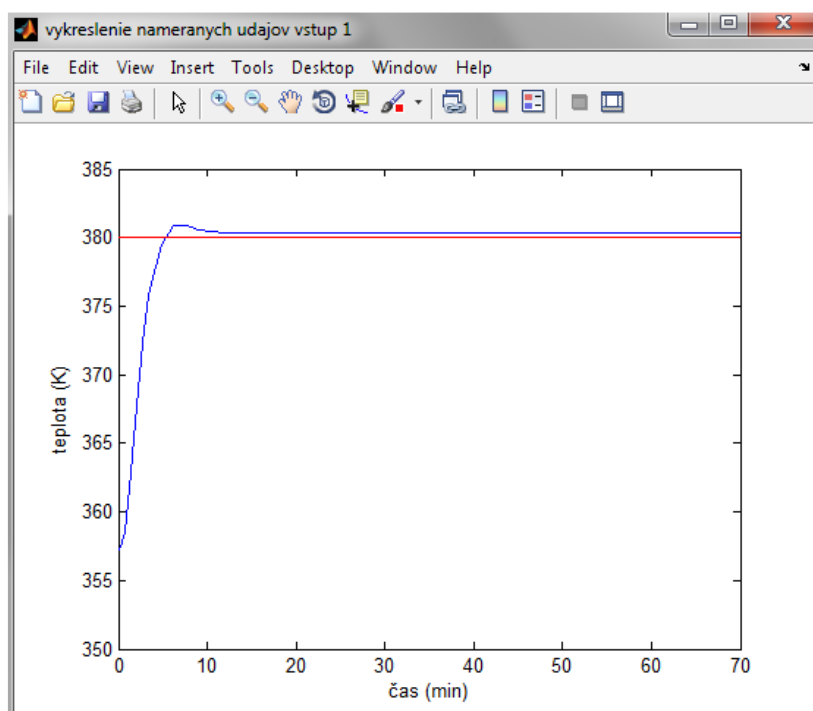
Obr. 48 Zadaný parameter sa nenachádza v danom rozsahu

Obr. 49 zobrazuje porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréning údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, pre prvé 3 štandardne nastavené parametre a štvrtý s hodnotou 0,4.



Obr. 49 Porovnanie trérovacích údajov a výstupu po natrérovaní príkazom genfis2

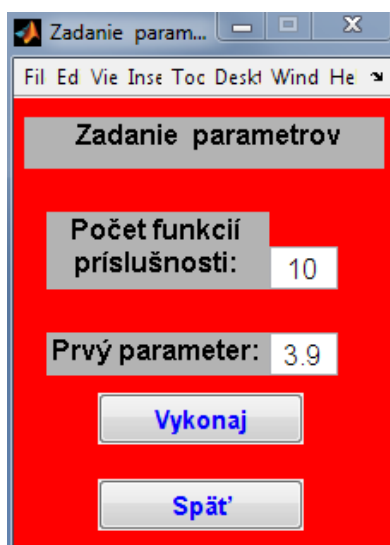
Po stlačení tlačidla „Sim. schema“ sa objaví grafické okno zobrazujúce priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupným údajom.



Obr. 50 Priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom

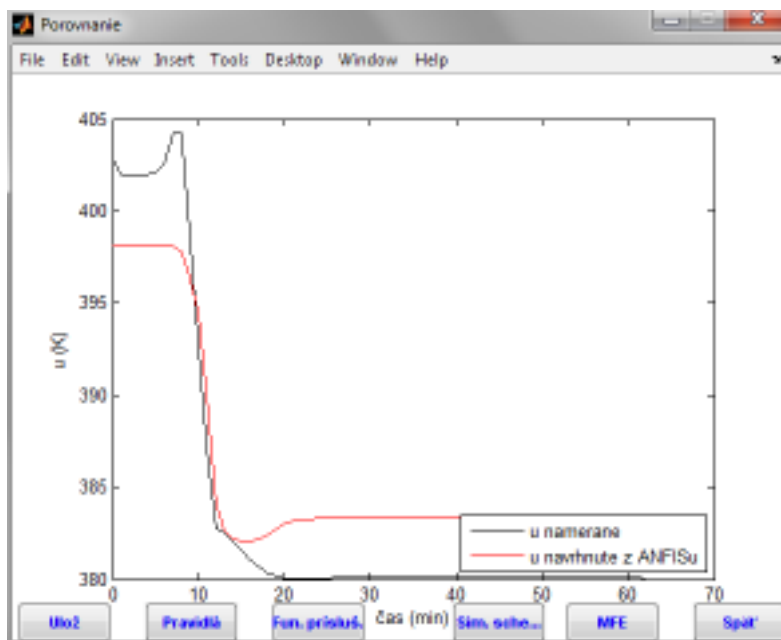
Po výbere príkazu „genfis3“ sa objaví okno „Zadanie parametrov“, kde sa vyplnia požadované údaje - počet funkcií príslušnosti, ktorej hodnota je preddefinovaná a miera

vplyvu na údaje v uvedenom priestore, ktorej hodnota je tiež preddefinovaná. Po vyplnení údajov a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa objaví grafické okno s názvom „Porovnanie“.



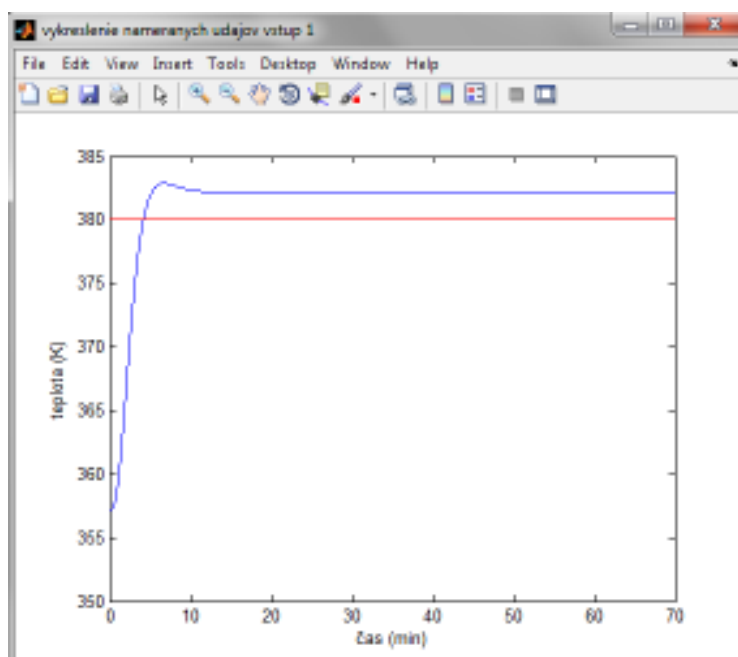
Obr. 51 Zadávanie parametrov pre genfis3

Obr. 52 zobrazuje porovnanie pôvodných nameraných údajov, ktoré slúžia na tréning údajov, získaných pomocou vypočítaného *fis*, ak bolo použitých 10 funkcií príslušnosti a prvý parameter s hodnotou 3,9



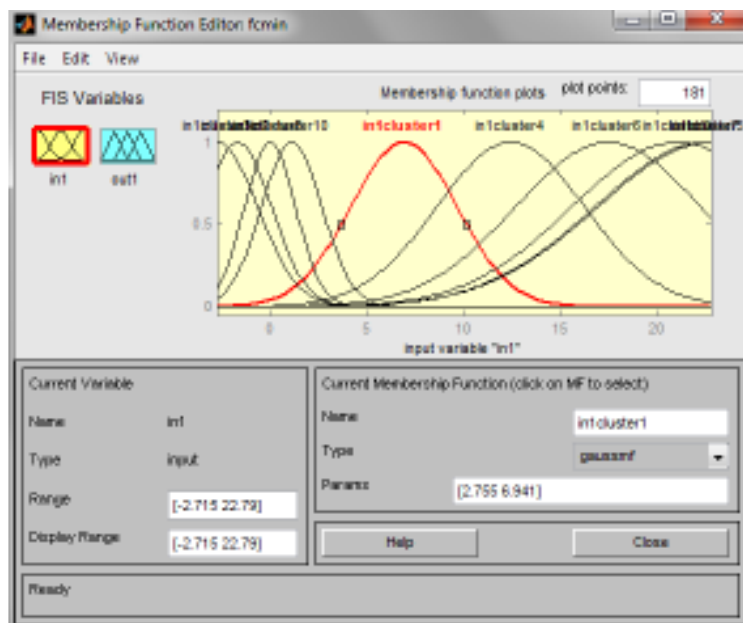
Obr. 52 Porovnanie tréningových údajov a výstupu po natrénovaní príkazom genfis3

Po stlačení tlačidla „Sim. schema“ sa objaví grafické okno zobrazujúce priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom.



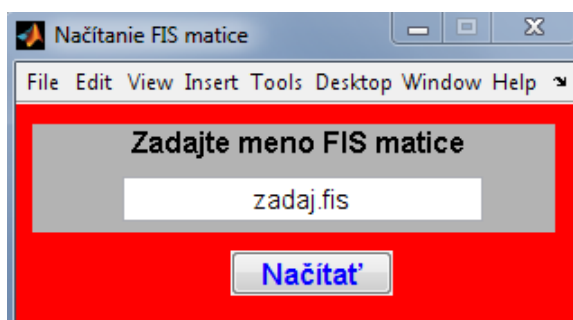
Obr. 53 Priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom

Ako vidno na obr. 52, výstup po natrénovaní príkazom `genfis3` nie je dostatočne presný v porovnaní s pôvodnými nameranými údajmi, preto bude následne upravený v MFE a uložený.



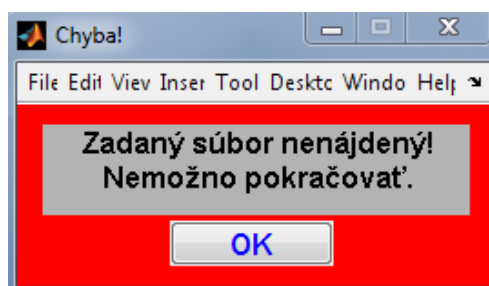
Obr. 54 Editor funkcií príslušnosti

Z hlavného okna sa kliknutím vyberie tlačidlo „Načítanie FIS matice“. Otvorí sa okno s názvom „Načítanie FIS matice“, v ktorom sa objaví možnosť načítania súboru.



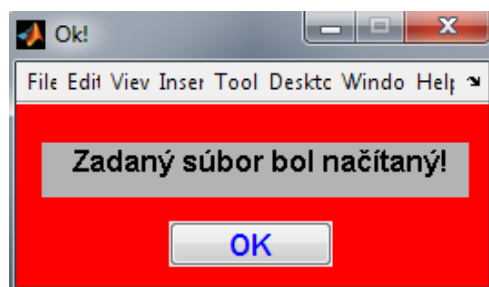
Obr. 55 Načítanie z FIS súboru

Pri nenačítaní dát z *fis* súboru, a to z dôvodu zlého zadania názvu súboru alebo neexistujúceho súboru, sa objaví okno s názvom „Chyba“, ktoré upozorňuje, že zadaný súbor nebol nájdený a nemožno pokračovať v návrhu neuro-fuzzy regulátora.



Obr. 56 Chyba pri načítaní z dátového súboru

Po úspešnom načítaní dát z *fis* súboru sa objaví okno s názvom „Ok“, ktoré upozorňuje, že zadaný súbor bol načítaný.



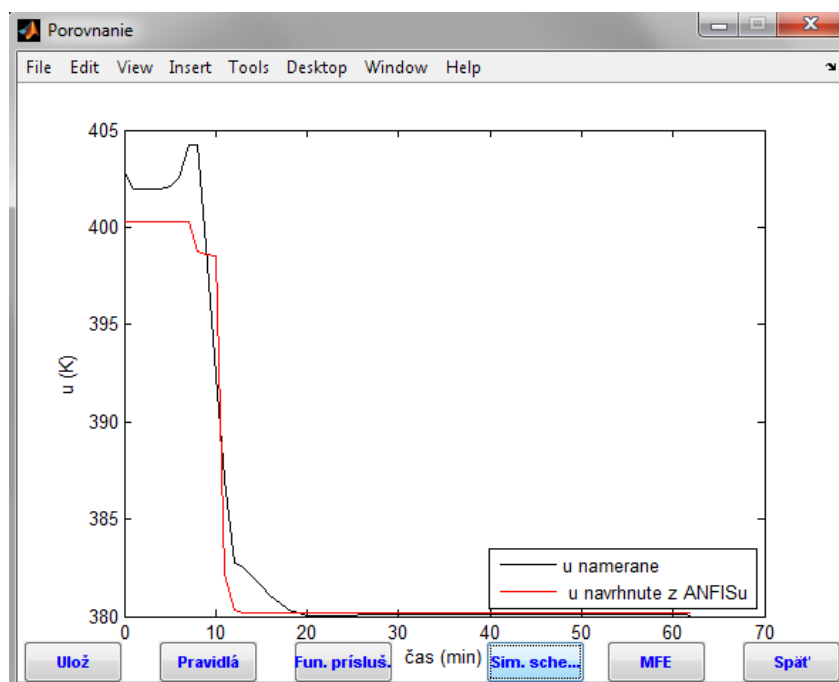
Obr. 57 Po načítaní z FIS súboru

Po načítaní dát z hlavného okna sa vyberie tlačidlo „Porovnanie údajov“. Následne sa otvorí výberové okno s názvom „Počet vstupov do regulátora“, kde je na výber jeden vstup (jedná sa o vektor vstupných údajov s jedným stĺpcom) alebo dva vstupy (vektory vstupných údajov, resp. maticu s dvoma stĺpcami).



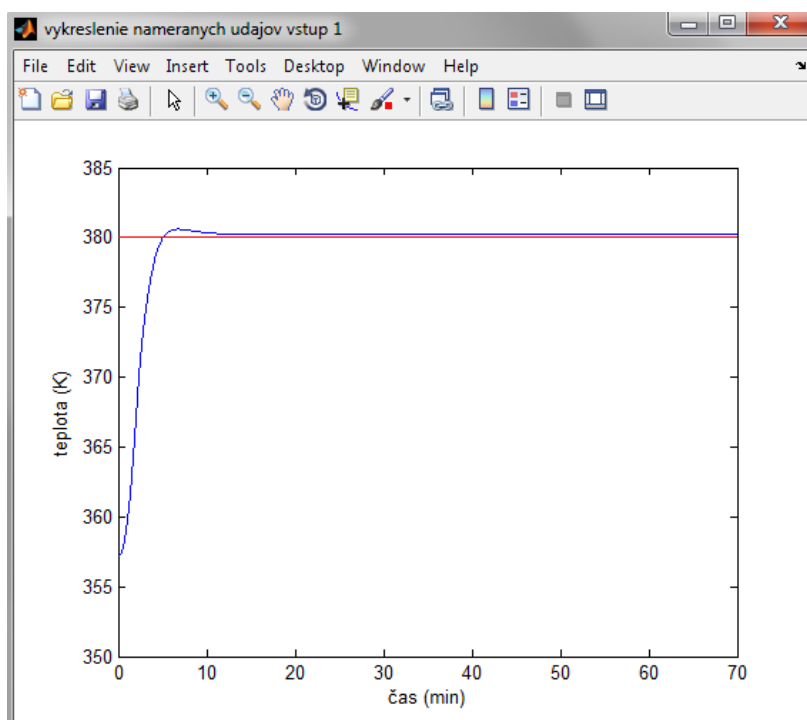
Obr. 58 Počet vstupných údajov

Po stlačení tlačidla „1 vstup“ sa objaví okno s názvom „Porovnanie“.



Obr. 59 Porovnanie tréningových údajov a upraveného výstupu po natrénovaní príkazom genfis3

Po stlačení tlačidla „Sim. schema“ sa objaví grafické okno zobrazujúce priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom.



Obr. 60 Priebeh teploty pri riadení FR s jedným vstupom

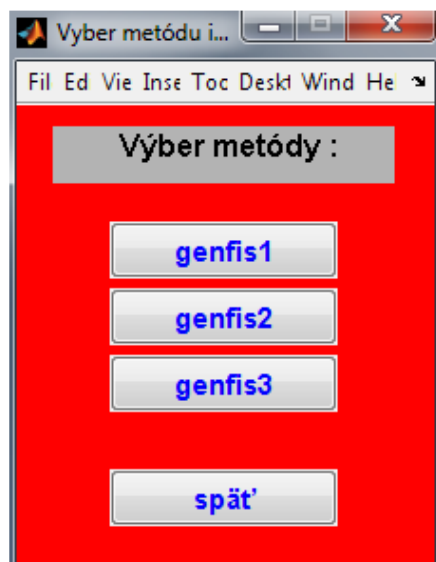
Ako vidno na obr. 59 upravený výstup je dostatočne presný v porovnaní s pôvodnými nameranými údajmi.

Po stlačení tlačidla „2 vstupy“ sa objaví okno s názvom „Rozdelenie dát“, kde sa vyplnia parametre, regulačná odchýlka (e), derivácia regulačnej odchýlky (de) a akčný zásah (u) v závislosti na akej pozícii sa nachádzajú v danom načítanom dátovom súbore.



Obr. 61 Rozdelenie dát pre dva vstupy

Po vyplnení údajov a kliknutí na tlačidlo „Vykonaj“ sa následne otvorí výberové okno s názvom „Výber príkazu“, kde je na výber príkaz *genfis1*, *genfis2* a *genfis3* na generovanie fuzzy inferenčného systému.



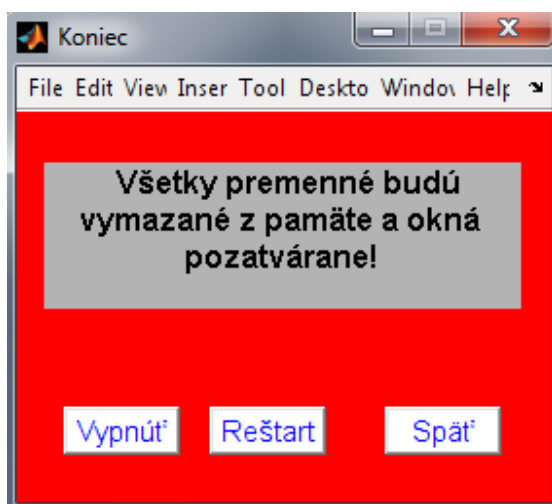
Obr. 62 Výber príkazu pre dva vstupy

Následne sa pokračuje rovnako ako pre jeden vstup do FR.

Po návrhu FR s jedným vstupom a aj s dvomi vstupmi boli použité simulinkové schémy na simuláciu riadenia s daným FR.

Ako vidno z obrázkov 46, 50 a 60 všetky navrhnuté FR riadili výstupnú T_{ch}^s z tretieho výmenníka na žiadanú hodnotu, t.j. na 380 K.

V hlavnom okne po kliknutí na tlačidlo „Koniec“ sa následne otvorí okno s názvom „Koniec“, kde je na výber „Vypnúť“, „Reštart“ a „Späť“.



Obr. 63 Okno na vypnutie a reštartovanie programu

Po stlačení tlačidla „vypnúť“ sa pozatvárajú všetky okná a všetky premenné budú vymazané, po stlačení tlačidla „Reštart“ budú vymazané všetky premenné a po stlačení tlačidla „Späť“ sa vráti späť do hlavného okna.

ZÁVER

Cieľom mojej práce bolo vytvorenie programového systému pre identifikáciu procesov a návrh FR metódou Anfis prostredníctvom grafického užívateľského rozhrania (GUI) v prostredí MATLABu.

Pri vývoji a testovaní programu bol použitý model troch výmenníkov tepla zapojených v sérii v tvare s-funkcie, ktorý bol zdrojom trénovacích údajov pre identifikáciu. Meranou veličinou bola teplota na výstupe z výmenníkov. Pri návrhu FR sa získala PCH systému a pomocou jej analýzy sa získali údaje potrebné k návrhu PID regulátora. Trénovacie údaje boli získané simuláciou riadenia týmto regulátorom.

Anfis navrhuje FR na základe nameraných údajov, ktoré boli získané simuláciou riadenia PID regulátorom a výsledkom je neuro-fuzzy regulátor typu Takagiho-Sugenu navrhnutý pomocou príkazu *genfis1* a *genfis2* a fuzzy regulátor Mamdaniho typu navrhnutý pomocou príkazu *genfis3*. GUI umožňuje navrhnuť dva typy FR. Prvým je regulátor s jedným vstupom e a výstupom u . Druhým je regulátor s dvomi vstupmi e a de .

Vytvorené GUI umožňuje jednoduché nastavenie parametrov pre identifikáciu procesov, tvorbu neuro-fuzzy, resp. fuzzy modelov a FR aj bežnému používateľovi po zadaní príslušných parametrov. Pri jeho vytvorení išlo o snahu čo najjednoduchším spôsobom priblížiť možnosti, ktoré poskytuje Fuzzy Logic Toolbox Matlabu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] V. Novák.: Základy fuzzy modelování, Ostrava: BEN, 2000
ISBN 80-7300-009-1
- [2] <http://www.root.cz/clanky/ako-pracuju-fuzzy-systemy/>
- [3] I. Sekaj: Fuzzy a neuronové systémy.
- [4] M. Fikar a kol.: Identifikácia systémov. Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1999.
- [5] O. Modrlák: Fuzzy řízení a regulace. 2004, Studijní materiály
- [6] Dokumentácia k programu Matlab R2008a,
- [7] A. Vasičkaninová, M. Bakošová, J. Dvoran: Tvorba neuro - fuzzy modelov metódou Anfis, AT&P journal 11/2006
- [8] J. Wenchich: Identifikácia vybraných procesov metódou Anfis, Bakalárska práca 2009
- [8] Bc. J. Wenchich: Tvorba GUI pre identifikáciu systémov metódou Anfis, Semestrálna práca 2009
- [9] <http://marcelm.szm.com/>
- [10] www.urpi.fei.stuba.sk/files/folders/docs/106_Solek.doc
- [11] Bc. J. Wenchich: Tvorba GUI pre návrh neuro-fuzzy regulátorov v prostredí Matlab, Semestrálna práca 2010

Prílohy

CD médium – práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe