

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

IDENTIFIKÁCIA VYBRANÝCH PROCESOV
METÓDOU ANFIS

BAKALÁRSKA PRÁCA

Jozef Wenchich

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Anna Vasičkaninová

Bratislava 2009

ABSTRACT

Subject of this bachelor project was identification of heat exchangers by Anfis method (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System). By means of the Anfis method as a part of the Matlab programme interface there was obtained a neuro-fuzzy model for three series connected shell heat exchangers. The model of the heat exchangers in form of S-function provided a source for input data for obtaining fuzzy model in fis function form. The heat exchangers belong to the important devices in the chemical industry and their proper operation has a great technological and economic significance. During identification of the heat exchangers by means of the Toolbox Fuzzy Logic Matlab the various types of the membership functions were compared. For the initialization of the fuzzy system two approaches were used - grid partition of input data and subtraction clustering of input data. From the comparison of the various kinds of membership functions which were used in formation of neuro-fuzzy model of the heat exchanger we found out that the generalized bell and the Gaussian the membership functions are more precise, while triangle and trapezium ones are simpler.

ABSTRAKT

Predmetom predkladaného bakalárskeho projektu bola identifikácia výmenníkov tepla metódou Anfis. Touto metódou, ktorá je súčasťou programového prostredia Matlab, sa získal neuro - fuzzy model pre tri plášťové výmenníky tepla zapojené v sérii. Model výmenníkov tepla v tvare s-funkcie bol zdrojom vstupných údajov pre získanie fuzzy modelu v tvare fis funkcie. Výmenníky tepla v chemickom priemysle patria medzi dôležité zariadenia, ktorých správny chod má veľký technologický a ekonomický význam. Pri identifikácii výmenníkov pomocou Toolboxu Fuzzy Logic Matlabu boli porovnávané rôzne typy funkcií príslušnosti a ich rôzny počet, na inicializáciu fuzzy systému boli použité dva prístupy - mriežkové rozdelenie vstupných údajov a subtraktívne zhľukovanie vstupných údajov. Na základe porovnania rôznych druhov funkcií príslušnosti využívaných pri tvorbe neuro - fuzzy modelu výmenníka tepla môžeme konštatovať, že zvonové a Gaussovske funkcie príslušnosti sa ukazujú ako presnejšie, aj keď trojuholníkové a lichobežníkové sú jednoduchšie.

Prehlásenie:

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

V Bratislave 27.5. 2009

.....
podpis

POĎAKOVANIE:

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

OBSAH

1. ÚVOD	13
2. TEORETICKÁ ČASŤ	14
2.1 FUZZY LOGIKA.....	14
2.2 FUZZY MNOŽINY	14
2.3 FUZZY PRAVIDLÁ	16
2.4 FUZZIFIKÁCIA	16
2.5 DEFUZZIFIKÁCIA.....	17
2.6 FUZZY SYSTÉM.....	17
2.7 VYTVORENIE FUZZY MODELU	18
2.8 ANFIS (ADAPTIVE NEURO - FUZZY INFERENCE SYSTEM).	19
3. FUZZY IDENTIFIKÁCIA V MATLABE	20
3.1 ANFIS EDITOR.....	21
3.2 MEMBERSHIP FUNCTION EDITOR - EDITOR FUNKCIÍ PRÍSLUŠNOSTI	21
3.3 RULE EDITOR - EDITOR PRAVIDIEL	24
3.3.1 Rule Viewer - Grafické zobrazenie procesu inferencie ...	24
3.4 SURFACE VIEWER	25
3.5 ANFIS ŠTRUKTÚRA.....	25
4. APLIKAČNÁ ČASŤ	27
4.1 VÝMENNÍK TEPLA.....	27
4.2 IDENTIFIKÁCIA VÝMENNÍKA METÓDOU ANFIS	30
4.2.1 Generovanie FIS modelov pomocou mriežkového rozdelenia vstupných údajov	30

4.2.2	Generovanie FIS modelu pomocou subtraktívneho zhlukovania vstupných údajov.....	39
5.	ZÁVER	42
6.	LITERATÚRA	43

PRÍLOHY:

- č. 1. Rovnice opisujúce výmenníky tepla (s-funkcia)
- č. 2. Fis funkcia: Typ FP - TRIMF s 3 FP a VP je konštantná
- č. 3. Fis funkcia: Typ FP - TRIMF s 3 FP a VP je lineárna
- č. 4. Fis funkcia: Typ FP - TRIMF s 10 FP a VP je konštantná
- č. 5. Fis funkcia: Typ FP - TRAPMF s 3 FP a VP je konštantná
- č. 6. Fis funkcia: Typ FP - TRAPMF s 3 FP a VP je lineárna
- č. 7. Fis funkcia: Typ FP - TRAPMF s 10 FP a VP je konštantná
- č. 8. Fis funkcia: Typ FP - GAUSSMF s 3 FP a VP je konštantná
- č. 9. Fis funkcia: Typ FP - GAUSSMF s 3 FP a VP je lineárna
- č. 10. Fis funkcia: Typ FP - GBELLMF s 3 FP a VP je konštantná
- č. 11. Fis funkcia: Typ FP - GBELLMF s 10 FP a VP je konštantná
- č. 12. Fis funkcia: Pravidlá pre zhlukovanie [0,5; 1,25; 0,5; 0,2]
- č. 13. Fis funkcia: Pravidlá pre zhlukovanie [0,5; 1,25; 0,5; 0,41]

ZOZNAM OBRÁZKOV:

Obrázok 1: Závislosť rýchlosti od funkcie príslušnosti

Obrázok 2: Závislosť charakteristickej funkcie od teploty

Obrázok 3: Štruktúra fuzzy systému

Obrázok 4: Architektúra siete Anfis

Obrázok 5: Anfis editor

Obrázok 6: FIS editor

Obrázok 7: Trojuholníkový tvar funkcie príslušnosti

Obrázok 8: Lichobežníkový tvar funkcie príslušnosti

Obrázok 9: Gaussovský tvar funkcie príslušnosti

Obrázok 10: Membership Function Editor

Obrázok 11: Membership Functions

Obrázok 12: Rule Editor

Obrázok 13: Rule Viewer

Obrázok 14: Surface Viewer

Obrázok 15: Model Structure

Obrázok 16: Výmenníky tepla zapojené sériovo

Typ FP - Trimf s 3 FP a VP je konštantná

Obrázok 17: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 18: Trojuholníkové funkcie príslušnosti

Obrázok 19: Štruktúra Anfis

Obrázok 20: Pravidlá

Typ FP - Trimf s 3 FP a VP je lineárna

Obrázok 21: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Typ FP - Trimf s 10 FP a VP je konštantná

Obrázok 22: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 23: Trojuholníkové funkcie príslušnosti

Obrázok 24: Štruktúra Anfis

Obrázok 25: Pravidlá

Typ FP - Trapmf s 3 FP a VP je konštantná

Obrázok 26: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 27: Lichobežníkové funkcie príslušnosti

Obrázok 28: Pravidlá

Typ FP - Trapmf s 10 FP a VP je lineárna

Obrázok 29: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Typ FP - Trapmf s 10 FP a VP je konštantná

Obrázok 30: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 31: Lichobežníkové funkcie príslušnosti

Obrázok 32: Pravidlá

Typ FP - gaussmf s 3 FP a VP je konštantná

Obrázok 33: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 34: Gausovské funkcie príslušnosti

Obrázok 35: Pravidlá

Typ FP - gaussmf s 3 FP a VP je lineárna

Obrázok 36: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Typ FP - gbellmf s 3 FP a VP je konštantná

Obrázok 37: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 38: Zvonové funkcie príslušnosti

Obrázok 39: Pravidlá

Typ FP - gbellmf s 10 FP a VP je konštantná

Obrázok 40: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 41: Zvonové funkcie príslušnosti

Obrázok 42: Pravidlá

Subtraktívne zhlukovanie - [0,5; 1,25; 0,5; 0,2]

Obrázok 43: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 44: Funkcie príslušnosti

Obrázok 45: Štruktúra Anfis

Obrázok 46: Pravidlá

Subtraktívne zhlukovanie - [0,5; 1,25; 0,5; 0,41]

Obrázok 47: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

Obrázok 48: Funkcie príslušnosti

Obrázok 49: Štruktúra Anfis

Obrázok 50: Pravidlá

ZOZNAM TABULIEK:

Tabuľka 1: Look-up tabuľka pre fuzzy inferenčný systém s dvomi vstupmi (strmosť svahu a výkon motora) a jedným výstupom (rýchlosť vozidla)

Tabuľka 2: Zadané parametre plášťového výmenníka tepla

Zoznam použitých skratiek:

Anfis	Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System
CL	Command Line
FIS	Fuzzy Inference System
FP	Funkcia príslušnosti
FR	Fuzzy regulátor
gaussmf	Gaussovská funkcia príslušnosti
gbellmf	Zvonová funkcia príslušnosti
GUI	Graphical User Interface
PFP	Počet funkcií príslušnosti
trapmf	Lichobežníková funkcia príslušnosti
trimf	Trojuholníková funkcia príslušnosti
TSK	Takagi-Sugeno-Kang
VP	Výstupná premenná

1. ÚVOD

Väčšina procesov chemickej technológie sú procesy zložité, nelineárne, s dopravným oneskorením. Napriek tomu, že je známe množstvo rôznych nelineárnych identifikačných metód, v posledných desaťročiach sa v tejto oblasti stále viac uplatňujú prístupy, ktoré vedú k tvorbe neuro-fuzzy modelov. Ak sú k dispozícii namerané údaje, možno metódou Anfis navrhnúť fuzzy inferenčný systém typu Takagi-Sugeno.

Pri simuláciách, analýze a návrhu systémov majú dôležité miesto modely; vytvorenie matematického modelu býva prvým krokom, ktorý sa musí vykonať pred návrhom regulátora. Z modelu sa získavajú informácie o stave systému v procese riadenia. Modely obyčajne vznikajú na základe pochopenia fyzikálnych zákonitostí a interakcií v skúmanom systéme. 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 patrí k najviac používaným systémom na univerzitách a výskumných pracoviskách systém Matlab americkej firmy MathWorks. Obsahuje množstvo stále sa vyvíjajúcich aplikačných knižníc, umožňuje okrem numerických výpočtov aj simulácie v prostredí Simulink a vizualizáciu výsledkov. Na riešenie konkrétnych fuzzy problémov slúži v Matlabe Fuzzy Logic Toolbox.

2. TEORETICKÁ ČASŤ

2.1 FUZZY LOGIKA

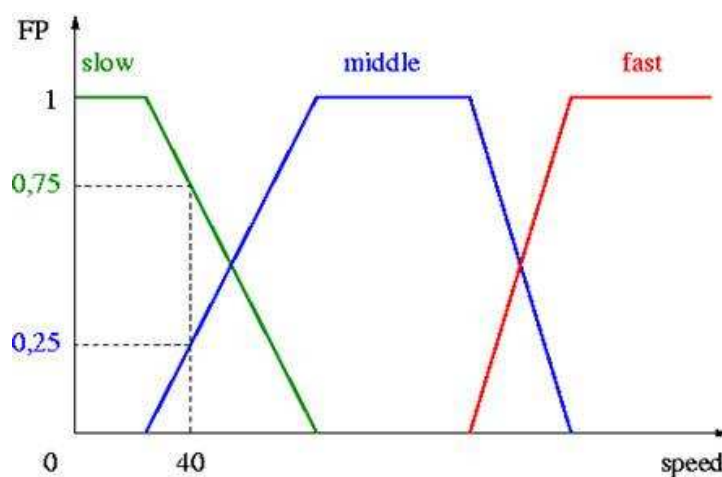
Fuzzy logika bola formulovaná roku 1965 Lotfím Zadehom z Kalifornskej univerzity v Berkeley. Fuzzy logika je odbor matematiky odvodený z teórie fuzzy množín, v ktorom sa logické výroky ohodnocujú stupňom príslušnosti (tiež index vágnosti), ktorého hodnoty sú v intervale od 0 do 1. V klasickej výrokovej 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“, „dosť“ alebo „veľa“. Presnejšie, umožňuje vyjadriť čiastočnú príslušnosť k množine.

2.2 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.

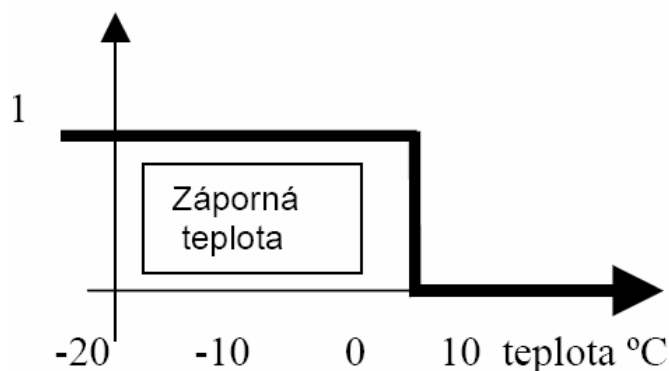
Pod pojmom fuzzy množina sa zvyčajne rozumie matematický aparát, ktorý definuje samotný pojem fuzzy množiny a operácie, ktoré možno s fuzzy množinami robiť. Fuzzy logika je širší pojem, ktorý sa používa najmä v súvislosti s využitím teórie fuzzy množín v praktických aplikáciách. Ak uvažujeme klasické 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.

Názorne to možno vidieť na obrázku 1 [2]. Majme jeden pojem (tzv. lingvistickú premennú) rýchlosť (speed), ktorú chceme popísať tromi kvalitatívnymi pojmami (tzv. lingvistickými hodnotami): slow, middle a fast. Chceme teda prvok z množiny rýchlostí zaradiť do troch množín, pričom hranice medzi týmito množinami nie sú ostré - preto sú to fuzzy množiny. Každá z týchto množín je definovaná svojou funkciou príslušnosti (FP), tak ako je znázornené na obrázku. Pre rýchlosť 40km/hod môžeme vidieť, že jej príslušnosť do FM "slow" je 0,75, príslušnosť do FM "middle" je 0,25 a príslušnosť do FM "fast" je 0.



Obrázok 1: Závislosť rýchlosti od funkcie príslušnosti

Príklad charakteristickej funkcie množiny Záporná teplota je na obrázku 2. 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*. V klasickej teórii množín sú definované operácie zjednotenia, prienik a komplement.



Obrázok 2: Závislosť charakteristickej funkcie od teploty

2.3 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 odchýlka je veľká, POTOM nech akčný zásah je 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.

2.4 FUZZIFIKÁCIA

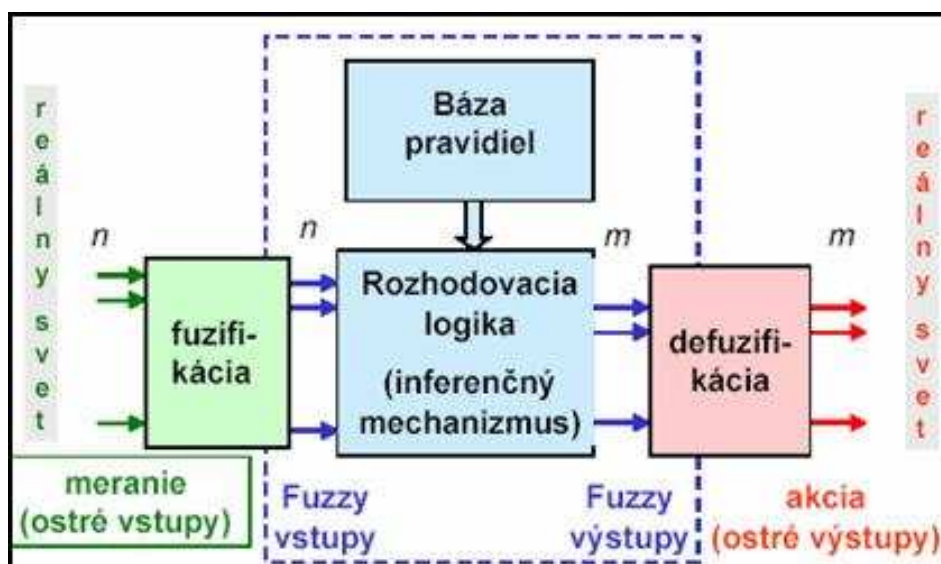
Namerané alebo používateľom zadané hodnoty veličín sa pomocou funkcie príslušnosti prevedú na hodnoty príslušnosti pre jednotlivé fuzzy množiny.

2.5 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 defuzifikácia.

2.6 FUZZY SYSTÉM

Fuzzy systém slúži na interpretáciu lingvisticky (jazykovo) formulovaných znalostí, ktoré sú obsiahnuté v báze pravidiel.



Obrázok 3: Štruktúra fuzzy systému

Samotná činnosť fuzzy systému je založená na odvodzovacích (inferenčných) pravidlách AK - POTOM, podobne ako je tomu v expertných systémoch. Výhodou takejto reprezentácie vedomostí je prehľadnosť a ľahká "čitateľnosť" človekom. Báza znalostí fuzzy systému je rozdelená do dvoch častí: prvou sú už spomínané definície fuzzy množín, druhou sú pravidlá pre odvodzovanie, ktoré sú zvyčajne uložené v tzv. look-up table.

Tabuľka 1: Look-up tabuľka pre fuzzy inferenčný systém s dvomi vstupmi (strmosť svahu a výkon motora) a jedným výstupom (rýchlosť vozidla)

Svah/výkon	Nízky	Stredný	Vysoký
Mierny	stredná	veľká	veľká
Stredný	malá	stredná	veľká
Strmý	malá	malá	stredná

Ak na vstupe bude kombinácia "nízky výkon motora" a "strmý svah", podľa uvedenej look-up tabuľky sa odvodí, že "rýchlosť je malá".

2.7 VYTVORENIE FUZZY MODELU

Projektovanie modelov vyžaduje definovať vstupné a výstupné premenné, ich rozsahy, funkcie príslušnosti a ich parametre, zadávanie inferenčných a rozhodovacích pravidiel, nastavenie metód fuzzifikácie a defuzzifikácie. V závislosti od štruktúry pravidla sa používajú dva hlavné typy modelov: model typu Mamdani a model typu Takagi-Sugeno.

Model typu Mamdani

R_i : Ak x je A_i potom y je B_i $i=1,2,\dots,k$

A_i a B_i sú lingvistické premenné antecedentu a konsekventu pravidla R_i , reprezentované fuzzy množinami, k je počet pravidiel.

Model typu Takagi-Sugeno

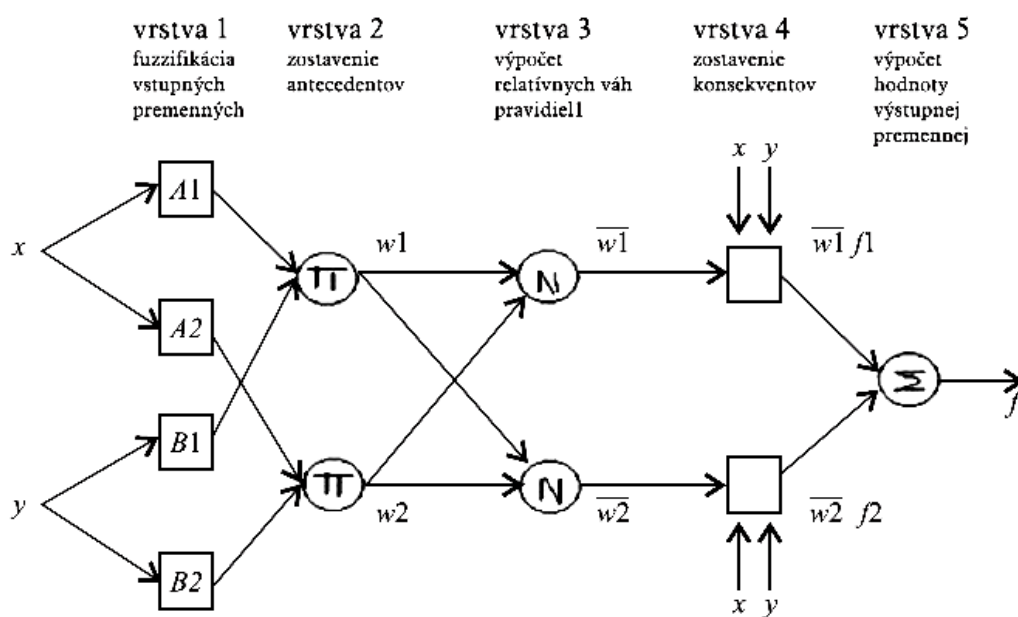
Tento model je vhodný v prípade identifikácie z nameraných údajov.

R_i : Ak x je A_i potom $y=a_i^t x + b_i$ $i=1,2,\dots,k$

Definícia antecedentu pravidla ostáva rovnaká, konsekvent je vyjadrený ako lineárna funkcia vstupných premenných.

2.8 ANFIS (ADAPTIVE NEURO - FUZZY INFERENCE SYSTEM).

Anfis je adaptívna dopredná neurónová sieť, pre jej trénovanie 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 medzi neurónových spojení, tzv. synaptických váh).



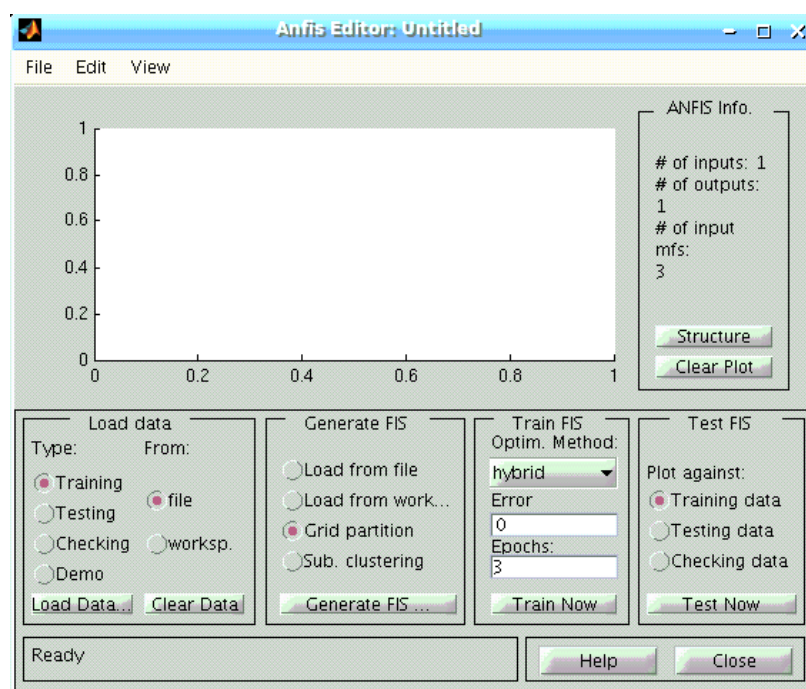
Obrázok 4: Architektúra siete Anfis

3. FUZZY IDENTIFIKÁCIA V MATLABE

V Matlabe je možné pri identifikácii a návrhu modelov použiť Fuzzy Logic Toolbox. Simulačné výpočty sa uskutočňujú v Simulinku. Pri identifikácii je jednou z možností využitie interaktívneho grafického prostredia GUI (Graphical User Interface).

Ak sú k dispozícii namerané vstupno-výstupné údaje, je možné použiť editor Anfis, ktorý slúži na vytvorenie, tréňovanie a testovanie neuro-fuzzy modelu typu Sugeno.

Súčasťou Anfis editora sú editory: **Fis Editor** (editor inferenčného systému), **Membership Function Editor** (editor funkcií príslušnosti), **Rule Editor** (editor pravidiel) a editor štruktúry Anfis.

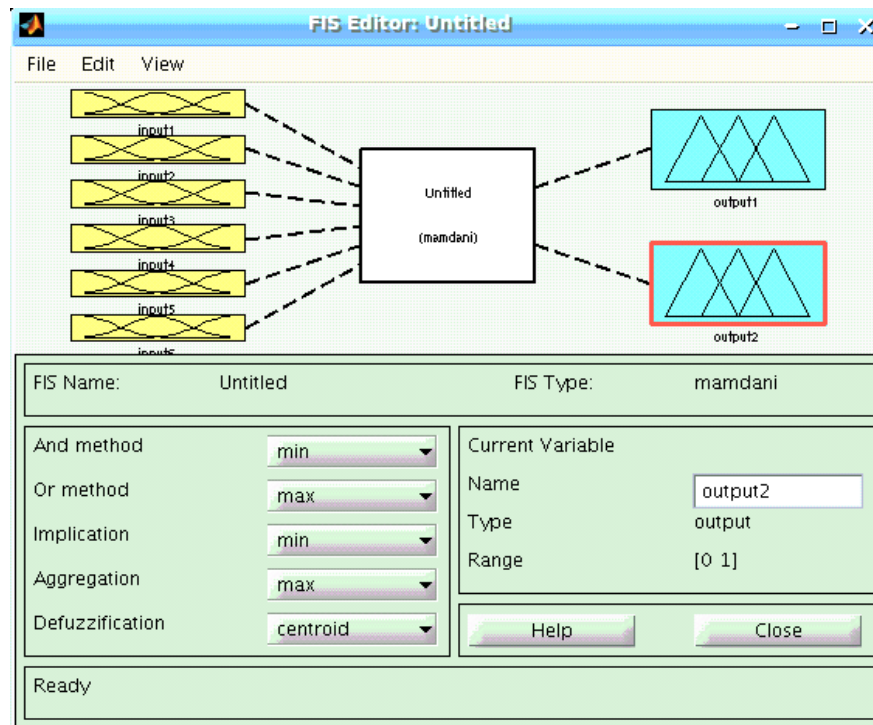


Obrázok 5: Anfis editor

Anfis editor sa otvorí po napísaní príkazu *anfisedit*

3.1 ANFIS EDITOR

Hlavné menu FIS Editor obsahuje roletové menu File, Edit, View, ktoré umožňujú ukladanie a volanie súborov a editáciu fuzzy systému. V ponuke Edit je možné pridaním alebo odobratím určit počet vstupov a výstupov.



Obrázok 6: FIS editor

V grafickom okne sú zobrazené tromi ikonami vstupné premenné, typ inferencie FIS a výstupné premenné. Dvojitým kliknutím na vybranú ikonu môžeme prejsť do príslušného editora.

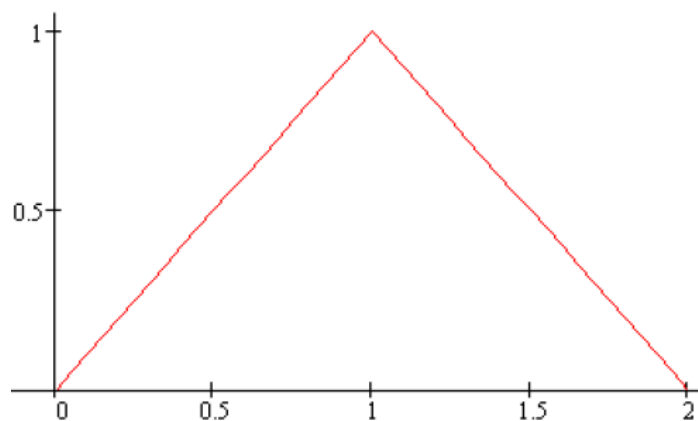
3.2 MEMBERSHIP FUNCTION EDITOR - EDITOR FUNKCIÍ PRÍSLUŠNOSTI

Dvojitým kliknutím na vybranú vstupnú premennú reprezentovanú obrázkom je možné prejsť do Membership Function Editor - obrázok 10. Spustí sa tiež cez roletové okno Membership Function Editor.

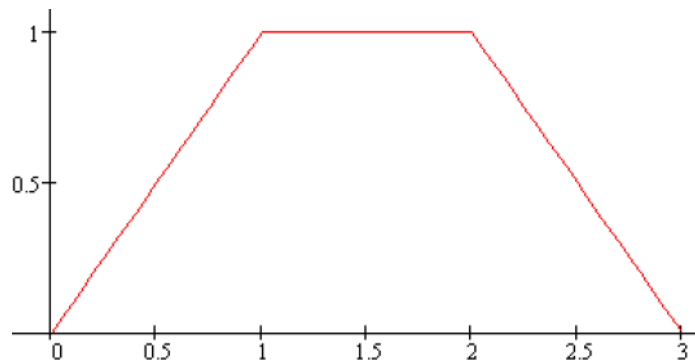
V okne Current Variable je uvedené meno, typ, rozsah a rozsah displeja označené heslami: Name, Typ, Range, Display Range. V tomto okne sa nastavujú rozsahy premenných a rozsahy ich zobrazenia.

V rolovacom menu MF type sa volí typ funkcie príslušnosti vstupnej alebo výstupnej premennej z množiny: trimf, trapmf, gbellmf, gausmf, gaus2mf, pimf, dsigmf, psigmf.

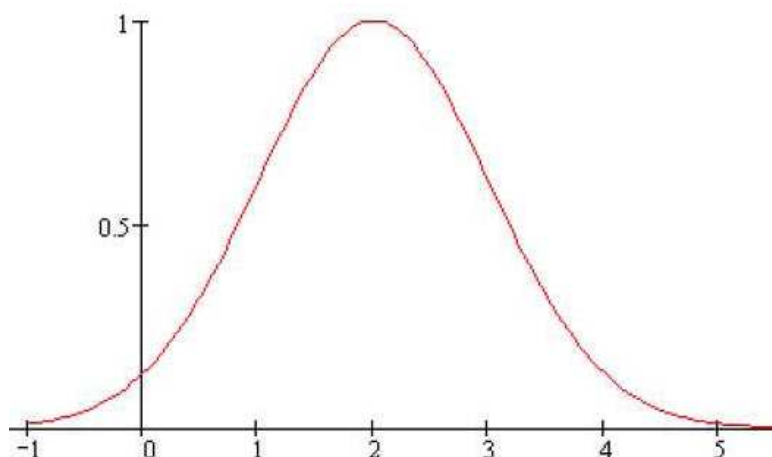
V technických aplikáciách sa väčšinou používajú funkcie príslušnosti v tvare trojuholníka, lichobežníka a Gaussovské. (obr. 7 - 9).



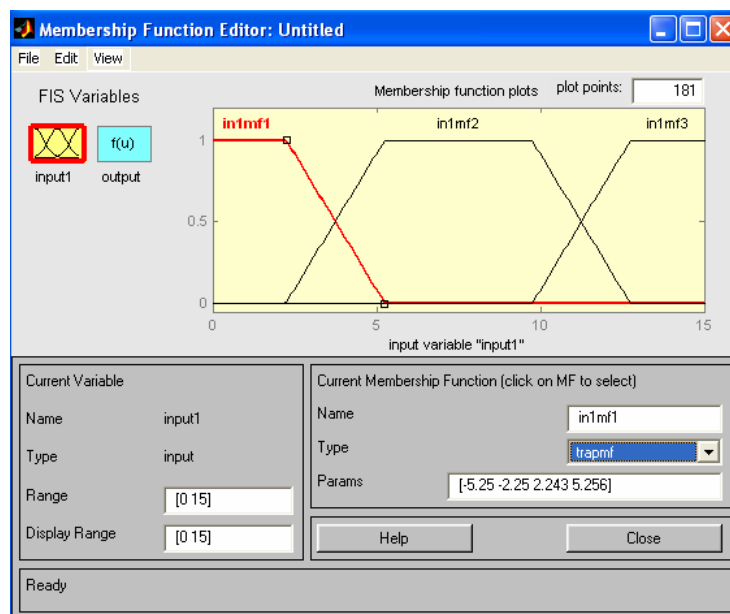
Obrázok 7: Trojuholníkový tvar funkcie príslušnosti



Obrázok 8: Lichobežníkový tvar funkcie príslušnosti

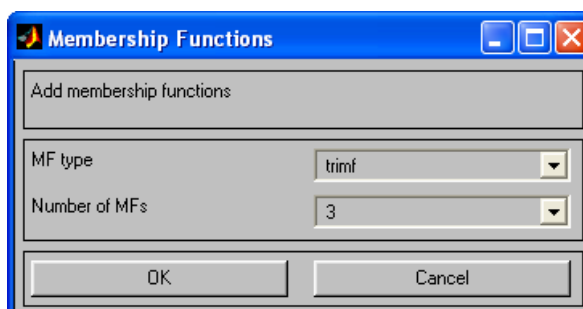


Obrázok 9: Gaussovský tvar funkcie príslušnosti



Obrázok 10: Membership Function Editor

V rolovacom menu **Number of MFs** sa volí počet funkcií príslušnosti pre vstupné alebo výstupné premenné.

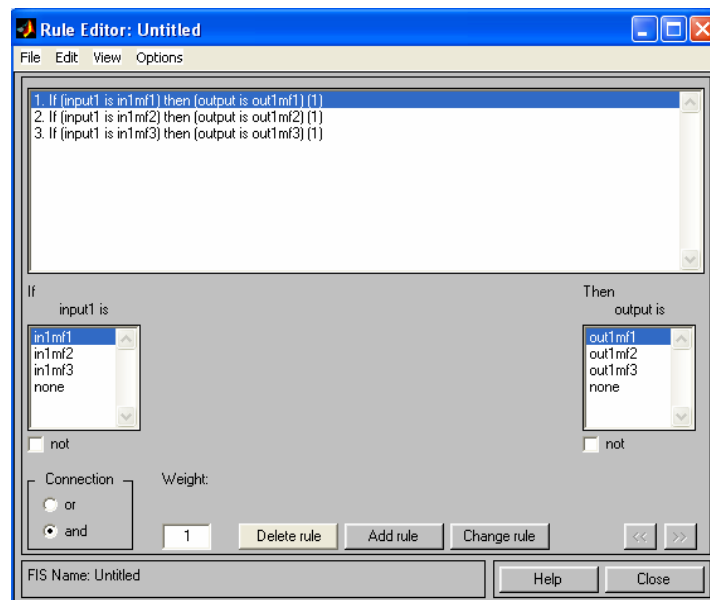


Obrázok 11: Membership Functions

3.3 RULE EDITOR - EDITOR PRAVIDIEL

Spustí sa v Anfis Editore pomocou roletového okna Edit - Edit Rules - obrázok 12. Obsahuje editačné a zobrazovacie pole. V tomto poli je možné pravidlá priamo editovať ručne alebo použiť zadané tlačidlá:

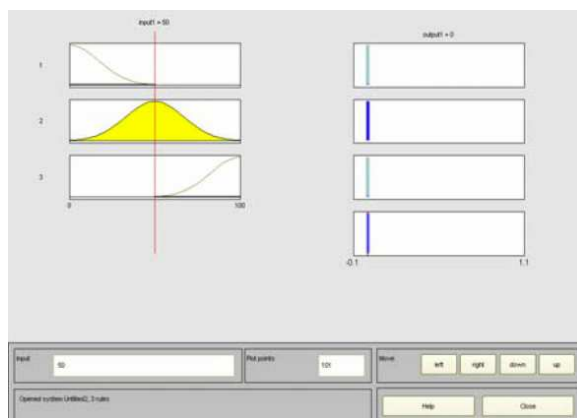
- delete rule - vymaže pravidlo,
- add rule - pridá pravidlo,
- change rule - zmení pravidlo.



Obrázok 12: Rule Editor

3.3.1 Rule Viewer - Grafické zobrazenie procesu inferencie

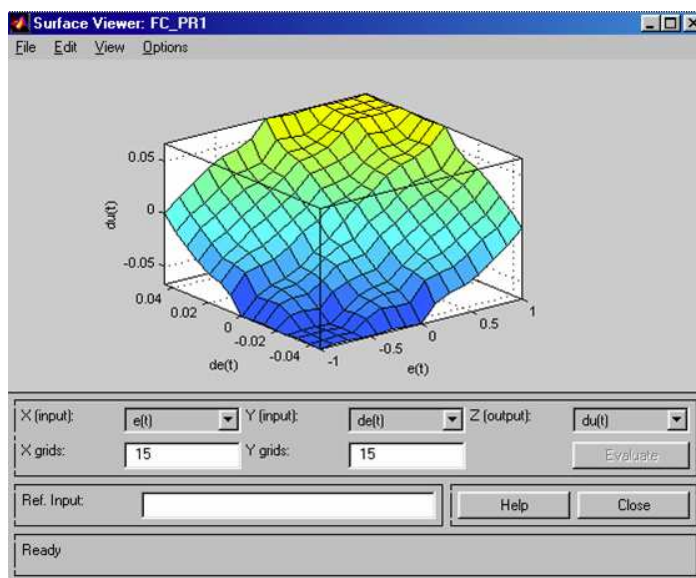
Aktivuje sa pomocou roletových menu View - Rule Viewer. Obsahuje všetky pravidlá, tvary funkcií príslušnosti vstupov, výstupov a ich inferencie. Pravidlá prislúchajúce 3 funkciám príslušnosti typu trapmf sú znázornené na obrázku 13 : výstup je jedna ostrá hodnota.



Obrázok 13: Rule Viewer

3.4 SURFACE VIEWER

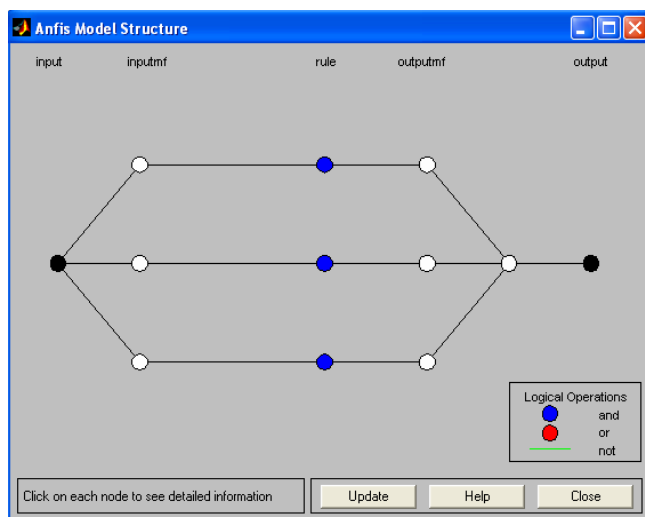
Aktivuje sa pomocou roletových menu View - Surface Viewer - obrázok 14 . Zobrazuje priestor výstupnej veličiny v závislosti od vstupných veličín.



Obrázok 14: Surface Viewer

3.5 ANFIS ŠTRUKTÚRA

Aktivuje sa pomocou tlačidla „structure“ v Anfis Editore.



Obrázok 15: Model Structure

Informácie, uložené vo Fuzzy Inference System sú v tvare matíc, ktoré sa označujú ako fis matice. Tieto konkrétne fis matice sú uvedené v prílohe.

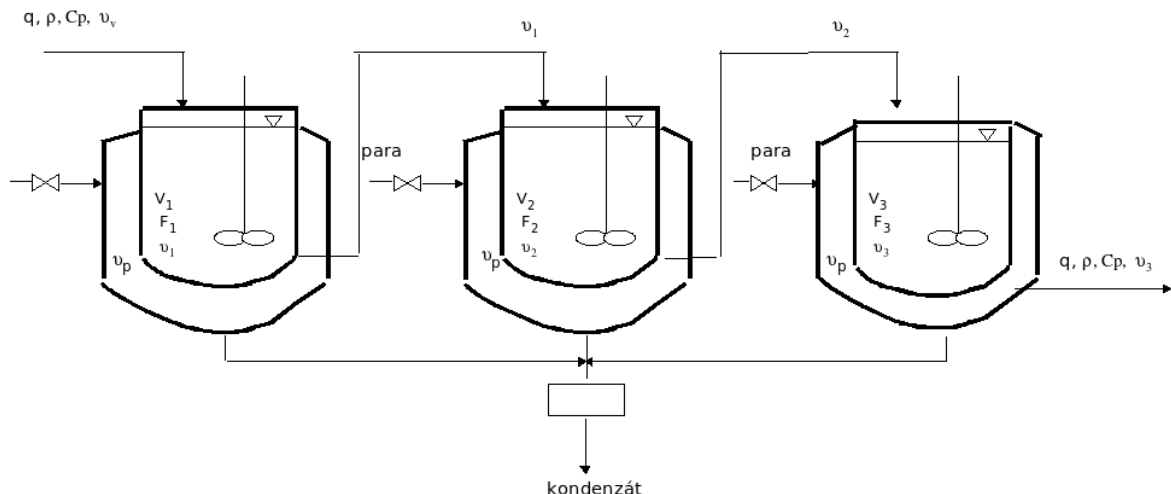
4. APLIKAČNÁ ČASŤ

4.1 VÝMENNÍK TEPLA

Výmenník tepla je zariadenie, ktoré sprostredkuje výmenu tepla medzi činnými médiami (plyn, kvapalina). Rozoznávajú sa výmenníky povrchové (k výmene tepla dochádza prostredníctvom teplo výmennej plochy), kontaktné (k výmene tepla dochádza na ploche vytvorenej hladinou kvapaliny) a zmiešavacie (dochádza k premiešaniu kvapalín). Medzi výmenníky tepla patrí parný generátor, výparník a podobne.

Plášťové výmenky tepla z hľadiska matematického opisu a požiadaviek na riadenie patria k zložitým systémom.

Konkrétny príklad, opisovaný v predloženej práci, sú 3 v sérii zapojené výmenníky tepla (obr. 16). Pre tento prípad bola odvodená entalpická bilancia, definovanie Z a T .



Obrázok 16: Výmenníky tepla zapojené sériovo

Tabuľka 2: Parametre plášťového výmenníka tepla

Parameter	Jednotka	Hodnota
ϑ_{vs}	K	300
ϑ_{ps}	K	400
q	$\text{m}^3 \text{min}^{-1}$	1,4 3
V_1	m^3	5
V_2	m^3	2,3
V_3	m^3	3,2
F_1	m^2	120
F_2	m^2	210
F_3	m^2	300
α	$\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1} \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$	9,3
ρ	kg m^{-3}	1000
c_p	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	4,2

Entalpická bilancia dynamického systému

1 výmenník

$$q\rho c_p \vartheta_v(t) + \alpha F_1 \vartheta_p(t) = (\alpha F_1 + q\rho c_p) \vartheta_1(t) + V_1 \rho c_p \frac{d\vartheta_1(t)}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{q\rho c_p}{\alpha F_1 + q\rho c_p} \vartheta_v(t) + \frac{\alpha F_1}{\alpha F_1 + q\rho c_p} \vartheta_p(t) = \vartheta_1(t) + \frac{V_1 \rho c_p}{\alpha F_1 + q\rho c_p} \frac{d\vartheta_1(t)}{dt}$$

$$Z_{12} \vartheta_v(t) + Z_{11} \vartheta_p(t) = \vartheta_1(t) + T_1 \frac{d\vartheta_1(t)}{dt}$$

$$T_1 \frac{d\vartheta_1(t)}{dt} + \vartheta_1(t) = Z_{11} \vartheta_p(t) + Z_{12} \vartheta_v(t)$$

2 výmenník

$$\begin{aligned} q\rho c_p \vartheta_1(t) + \alpha F_2 \vartheta_p(t) &= (\alpha F_2 + q\rho c_p) \vartheta_2(t) + V_2 \rho c_p \frac{d\vartheta_2(t)}{dt} \\ \frac{q\rho c_p}{\alpha F_2 + q\rho c_p} \vartheta_1(t) + \frac{\alpha F_2}{\alpha F_2 + q\rho c_p} \vartheta_p(t) &= \vartheta_2(t) + \frac{V_2 \rho c_p}{\alpha F_2 + q\rho c_p} \frac{d\vartheta_2(t)}{dt} \\ Z_{12} \vartheta_1(t) + Z_{11} \vartheta_p(t) &= \vartheta_1(t) + T_1 \frac{d\vartheta_1(t)}{dt} \\ T_2 \frac{d\vartheta_2(t)}{dt} + \vartheta_2(t) &= Z_{21} \vartheta_p(t) + Z_{22} \vartheta_1(t) \end{aligned} \quad (2)$$

3 výmenník

$$\begin{aligned} q\rho c_p \vartheta_2(t) + \alpha F_3 \vartheta_p(t) &= (\alpha F_3 + q\rho c_p) \vartheta_3(t) + V_3 \rho c_p \frac{d\vartheta_3(t)}{dt} \\ \frac{q\rho c_p}{\alpha F_3 + q\rho c_p} \vartheta_2(t) + \frac{\alpha F_3}{\alpha F_3 + q\rho c_p} \vartheta_p(t) &= \vartheta_3(t) + \frac{V_3 \rho c_p}{\alpha F_3 + q\rho c_p} \frac{d\vartheta_3(t)}{dt} \\ Z_{12} \vartheta_1(t) + Z_{11} \vartheta_p(t) &= \vartheta_1(t) + T_1 \frac{d\vartheta_1(t)}{dt} \\ T_3 \frac{d\vartheta_3(t)}{dt} + \vartheta_3(t) &= Z_{31} \vartheta_p(t) + Z_{32} \vartheta_2(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Definovanie Z a T

1. výmenník

$$Z_{11} = \frac{\alpha F_1}{\alpha F_1 + q\rho\rho_p} = 0,1595 \quad (4)$$

$$Z_{12} = \frac{q\rho\rho_p}{\alpha F_1 + q\rho\rho_p} = 0,8405 \quad (5)$$

$$T_1 = \frac{V_1 \rho c_p}{\alpha F_1 + q\rho\rho_p} = 0,8405 \quad (6)$$

2. výmenník

$$Z_{21} = \frac{\alpha F_2}{\alpha F_2 + q\rho\rho_p} = 0,2493 \quad (7)$$

$$Z_{22} = \frac{q\rho\rho_p}{\alpha F_2 + q\rho\rho_p} = 0,7507 \quad (8)$$

$$T_2 = \frac{V_2 \rho c_p}{\alpha F_2 + q\rho\rho_p} = 1,2332 \quad (9)$$

3. výmenník

$$Z_{31} = \frac{\alpha F_3}{\alpha F_2 + q\rho\rho_p} = 0,3218 \quad (10)$$

$$Z_{32} = \frac{q\rho\rho_p}{\alpha F_3 + q\rho\rho_p} = 0,6782 \quad (11)$$

$$T_3 = \frac{V_3\rho c_p}{\alpha F_3 + q\rho\rho_p} = 1,5502 \quad (12)$$

Rovnice, opisujúce výmenníky tepla, tvoria s-funkciu (príloha č.1). Táto s-funkcia bola použitá na vytvorenie simulinkovej schémy na získanie vstupných trénovacích údajov.

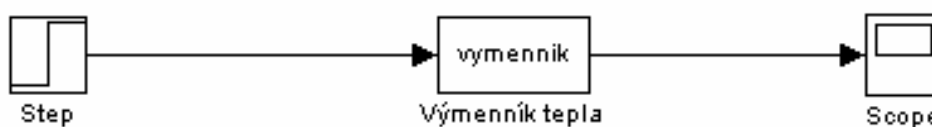
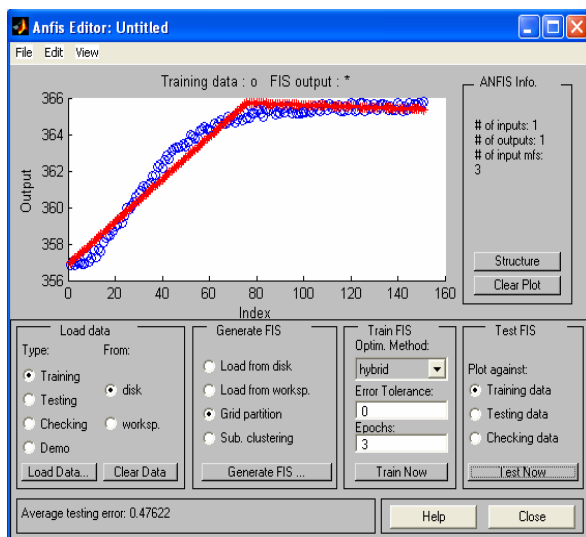


Schéma 1: Schéma plášťového výmenníka tepla

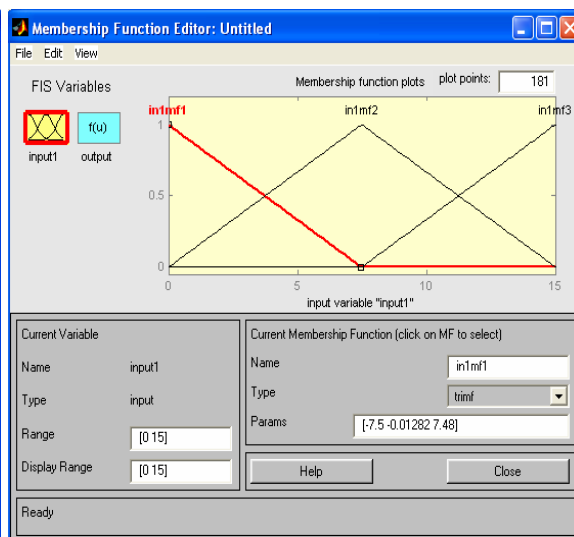
4.2 IDENTIFIKÁCIA VÝMENNÍKA METÓDOU ANFIS

4.2.1 Generovanie FIS modelov pomocou mriežkového rozdelenia vstupných údajov

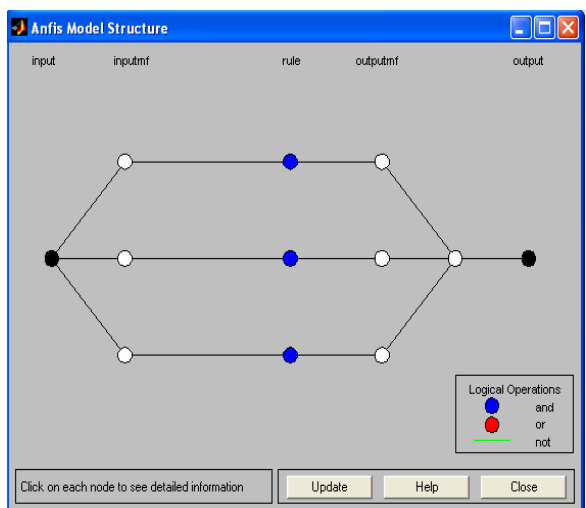
Obrázky 17. - 20. zobrazujú výsledok identifikácie, ak boli použité 3 trojuholníkové funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola po defuzzifikácii počítaná ako konštanta. Na obrázku 17. sú uvedené aj pôvodné údaje. Na ostatných obrázkoch sú zobrazené funkcie príslušnosti vstupnej premennej, štruktúra Anfis a pravidlá.



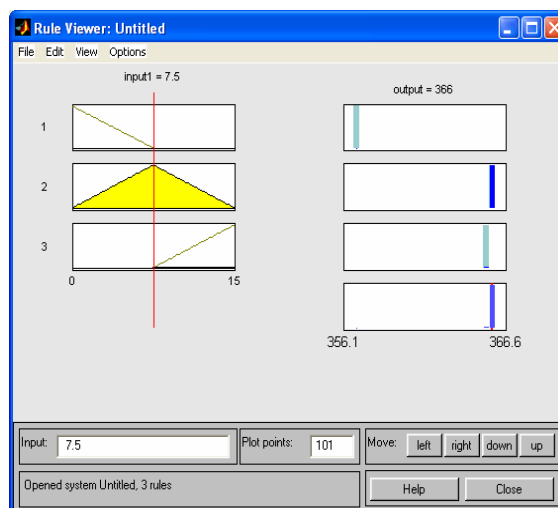
Obrázok 17: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi



Obrázok 18: Trojuholníkové funkcie príslušnosti

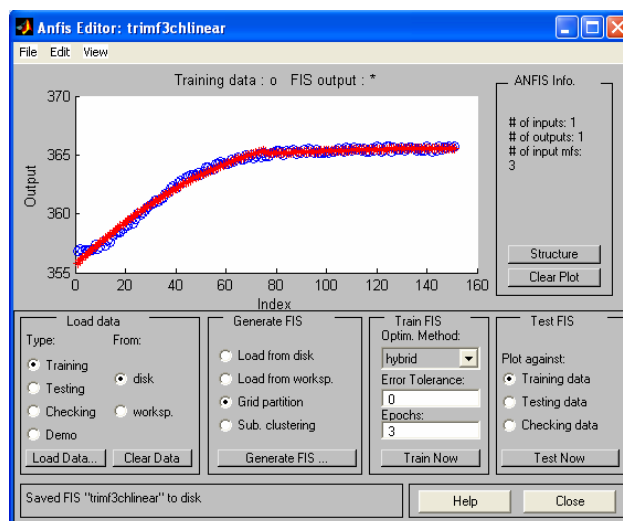


Obrázok 19: Štruktúra Anfis



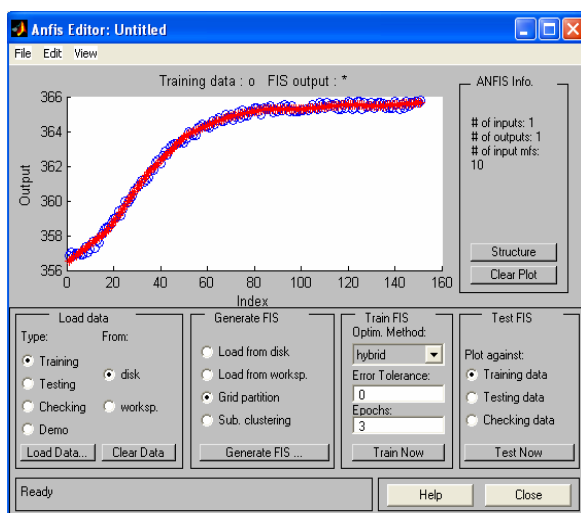
Obrázok 20: Pravidlá

Na obrázku 21 sú zobrazené výsledky identifikácie pre rovnaké 3 trojuholníkové funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, ale výstupná premenná je lineárna. Je vidieť, že identifikácia je presnejšia.

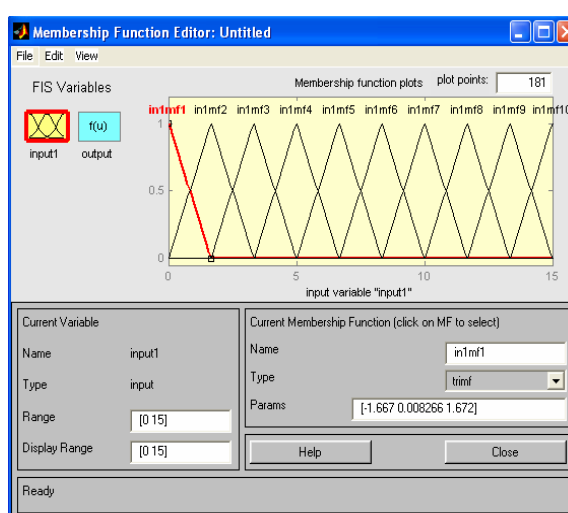


Obrázok 21: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

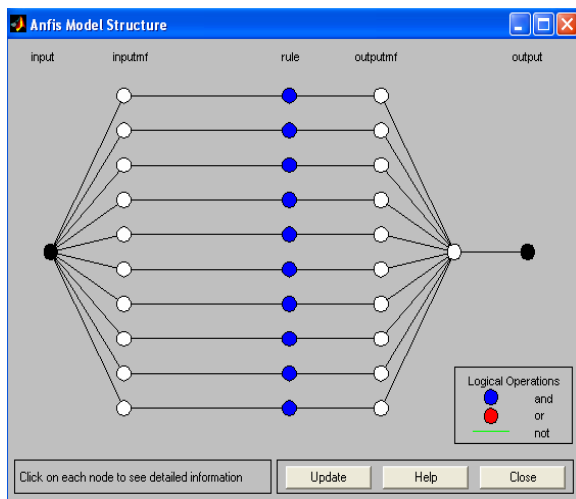
Obrázky 22. - 25. zobrazujú výsledok identifikácie pre 10 trojuholníkových funkcií príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola počítaná ako konštanta. Opäť sú na obrázku uvedené aj pôvodné údaje a na ďalších obrázkoch sú uvedené funkcie príslušnosti vstupnej premennej, štruktúra Anfis a pravidlá.



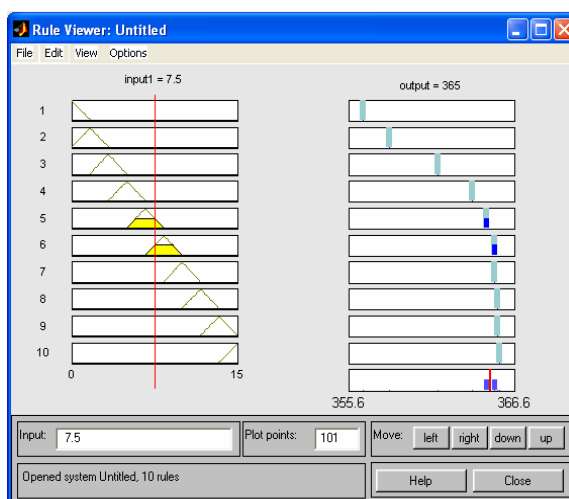
Obrázok 22: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi



Obrázok 23: Trojuholníkové funkcie príslušnosti

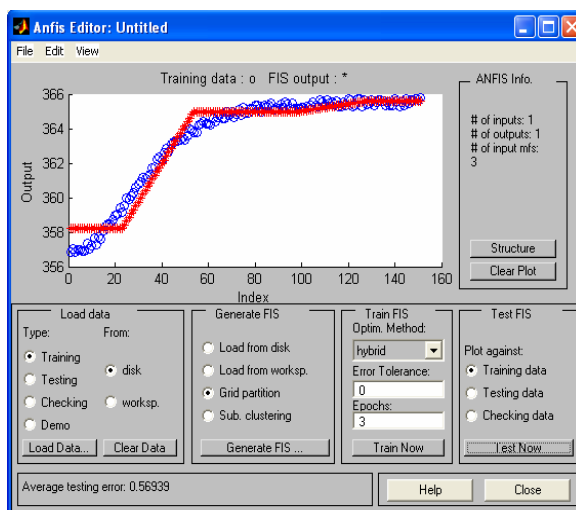


Obrázok 24: Štruktúra Anfis

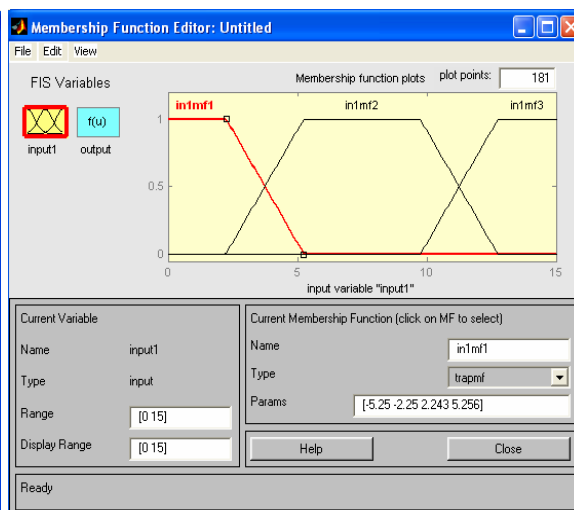


Obrázok 25: Pravidlá

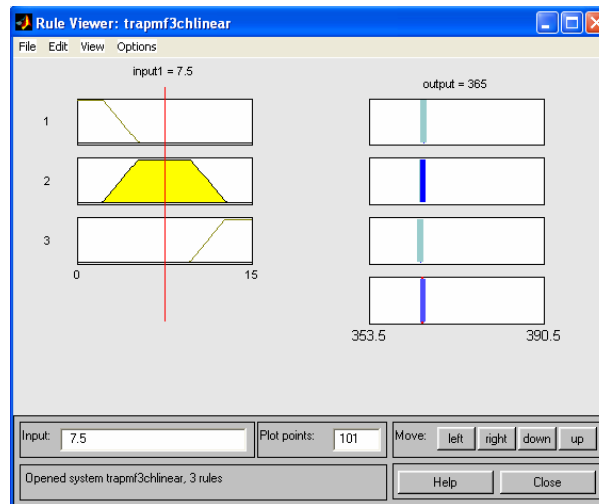
Obrázky 26. -28. zobrazujú výsledok identifikácie, ak boli použité 3 lichobežníkové funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola po defuzzifikácii počítaná ako konštanta. Na obrázku 26 sú uvedené aj pôvodné údaje. Na ostatných obrázkoch sú zobrazené funkcie príslušnosti vstupnej premennej a pravidlá.



Obrázok 26: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

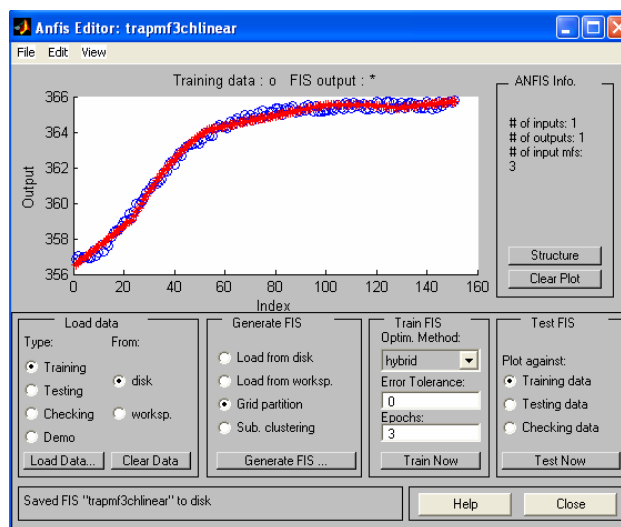


Obrázok 27: Lichobežníkové funkcie príslušnosti



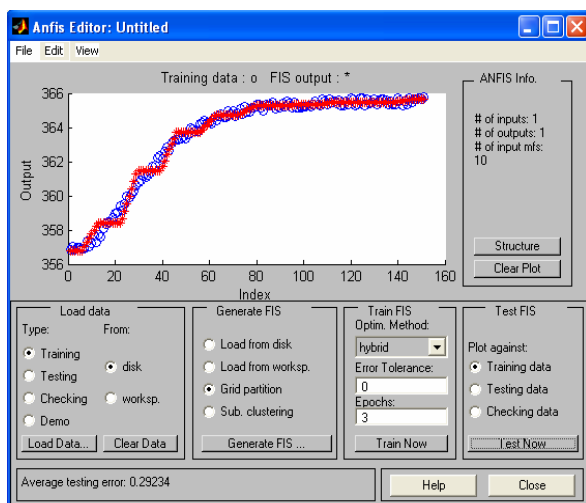
Obrázok 28: Pravidlá

Na obrázku 29 sú zobrazené výsledky identifikácie pre rovnaké 3 lichobežníkové funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, ale výstupná premenná je lineárna. Je vidieť, že identifikácia je presnejšia.

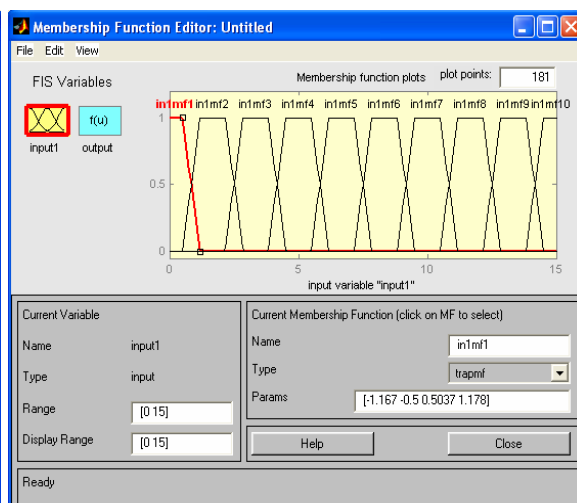


Obrázok 29: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

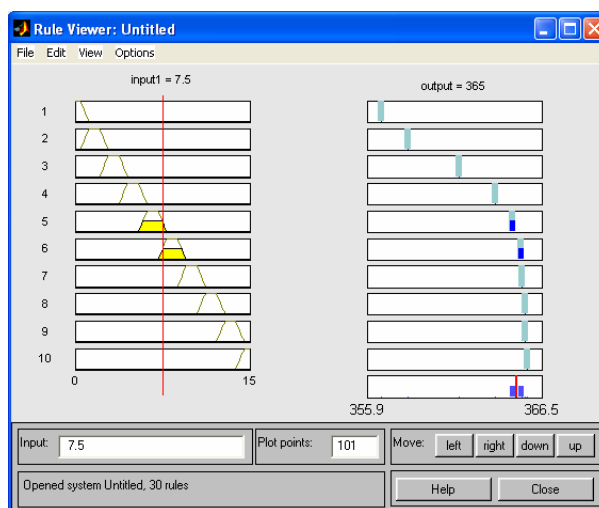
Obrázky 30. - 32. zobrazujú výsledok identifikácie pre 10 lichobežníkových funkcií príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola počítaná ako konštanta. Opäť sú na obrázku 30 uvedené aj pôvodné údaje a na ďalších obrázkoch sú uvedené funkcie príslušnosti vstupnej premennej a pravidiel.



Obrázok 30: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

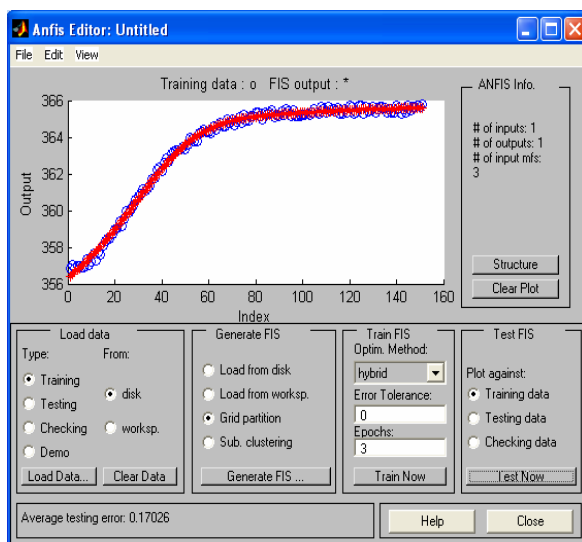


Obrázok 31: Lichobežníkové funkcie príslušnosti

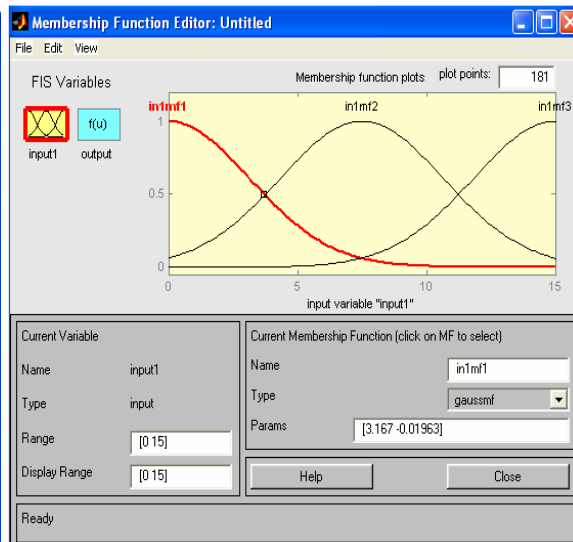


Obrázok 32: Pravidlá

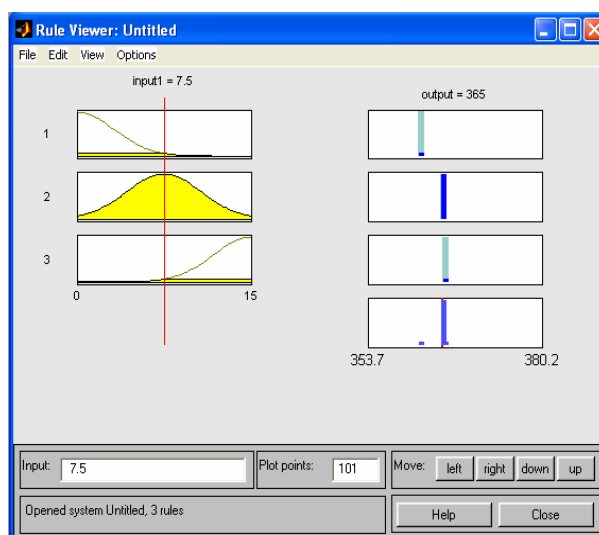
Obrázky 33. -35. zobrazujú výsledok identifikácie, ak boli použité 3 gausovské funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola po defuzzifikácii počítaná ako konštanta. Na obrázku 33 sú uvedené aj pôvodné údaje. Na ostatných obrázkoch sú zobrazené funkcie príslušnosti vstupnej premennej a pravidlá.



Obrázok 33: Identifikácia v porovnaní príslušnosti

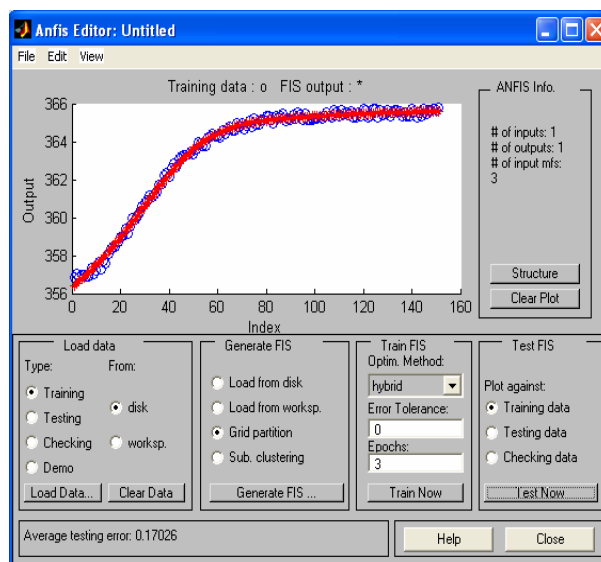


Obrázok 34: Gausovské funkcie s pôvodnými údajmi



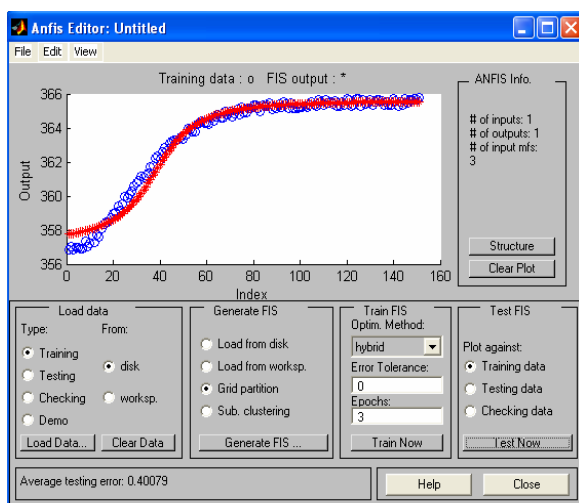
Obrázok 35: Pravidlá

Na obrázku 36. sú zobrazené výsledky identifikácie pre rovnaké 3 gausovské funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, ale výstupná premenná je lineárna. Je vidieť, že identifikácia je presnejšia.

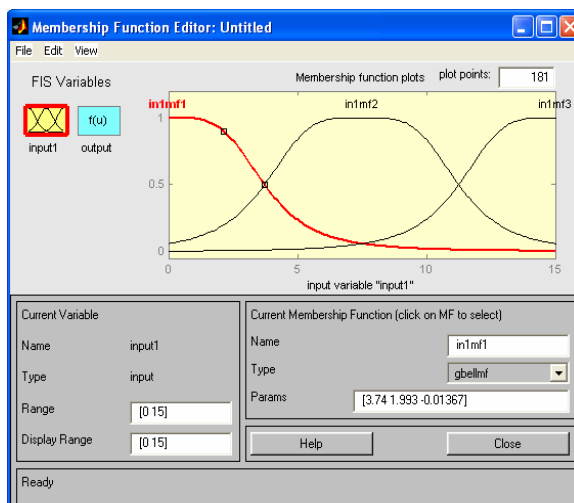


Obrázok 36: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

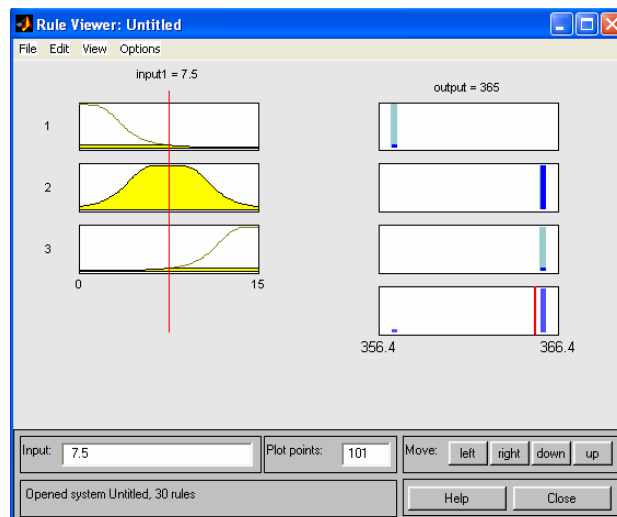
Obrázky 37. - 39. zobrazujú výsledok identifikácie, ak boli použité 3 zvonové funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola po defuzzifikácii počítaná ako konštanta. Na obrázku 37 sú uvedené aj pôvodné údaje. Na ostatných obrázkoch sú zobrazené funkcie príslušnosti vstupnej premennej a pravidiel.



Obrázok 37: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi

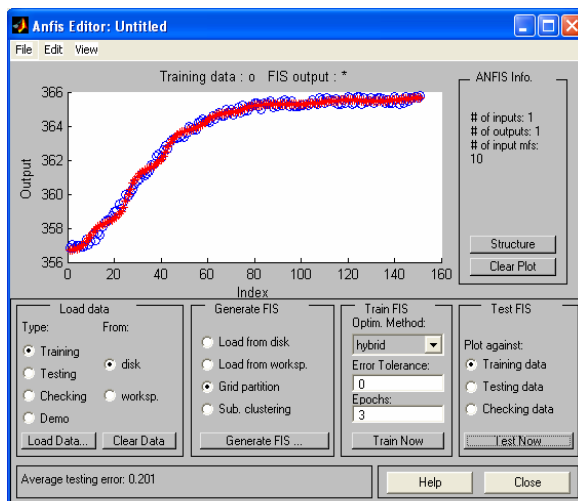


Obrázok 38: Zvonové funkcie príslušnosti

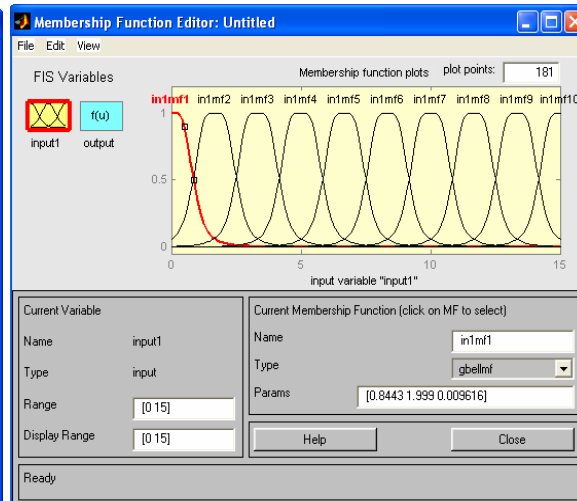


Obrázok 39: Pravidlá

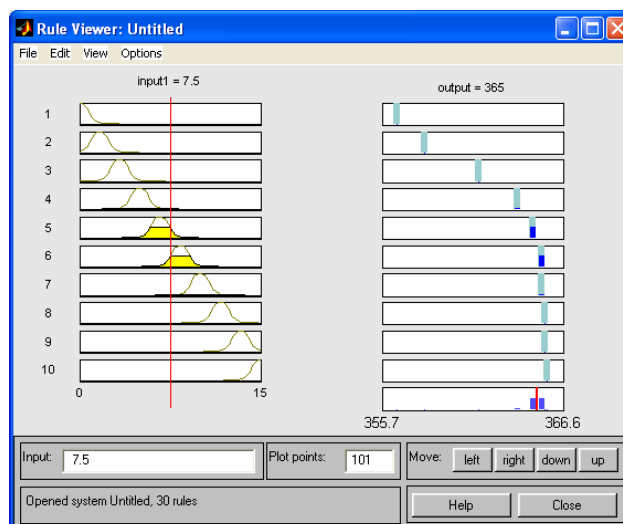
Obrázky 40. - 42. zobrazujú výsledok identifikácie pre 10 zvonových funkcií príslušnosti pre vstupnú premennú, výstupná premenná bola počítaná ako konštanta. Opäť sú na obrázku 40 uvedené aj pôvodné údaje a na ďalších obrázkoch sú uvedené funkcie príslušnosti vstupnej premennej a pravidlá.



Obrázok 40: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi



Obrázok 41: Zvonové funkcie príslušnosti



Obrázok 42: Pravidlá

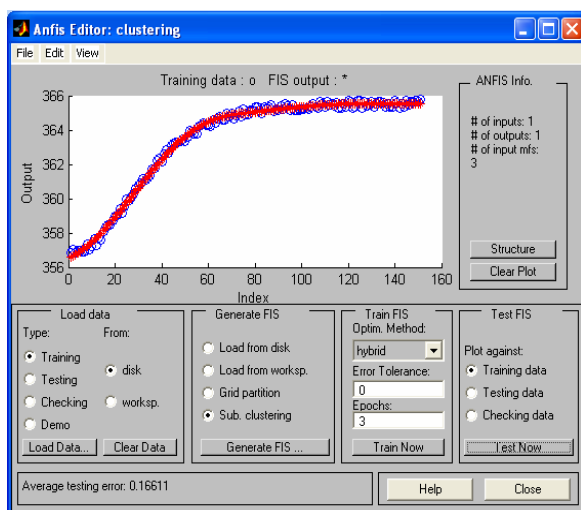
4.2.2 Generovanie FIS modelu pomocou subtraktívneho zhľukovania vstupných údajov

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 hľadájú zhľuky navzájom podobných údajov. Okolo každého bodu sa kvantitatívne vyjadri 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. Hľadanie centier zhľukov sa dá ovplyvniť zadáním 4 parametrov, ktoré majú štandardne hodnoty [0,5; 1,25; 0,5; 0,15]. Pri tejto metóde sa predpokladá, že všetky údaje patria do jednotkovej kocky. Prvé číslo je miera vplyvu na údaje v uvedenom priestore, 2. číslo ovplyvňuje voľbu, či sú zhľuky pri sebe blízko alebo ďaleko, 3. číslo je polomer oblasti, v ktorej sa má počítať miera hustoty okolo daného bodu, 4. číslo je polomer oblasti, v ktorej má dôjsť k redukcii miery hustoty v okolí zhľuku daného

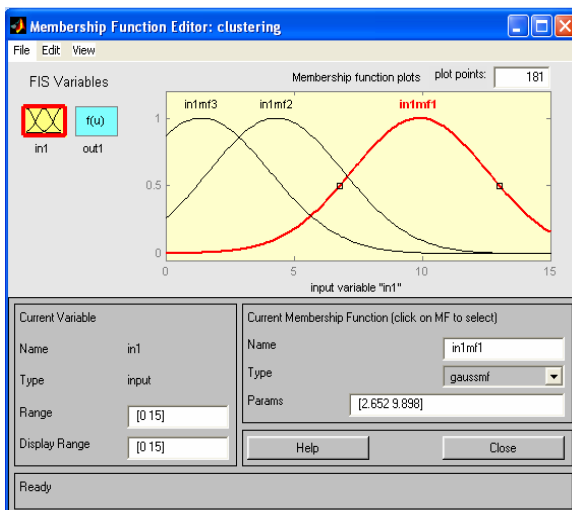
bodú. Obyčajne stačí meniť posledný údaj. Jeho hodnota je od 0 po 1. Čím je hodnota menšia, tým väčší je počet zhlukov.

Pri použití tejto metódy sa funkcie príslušnosti nedajú zmeniť, štandardne sú použité Gaussovske.

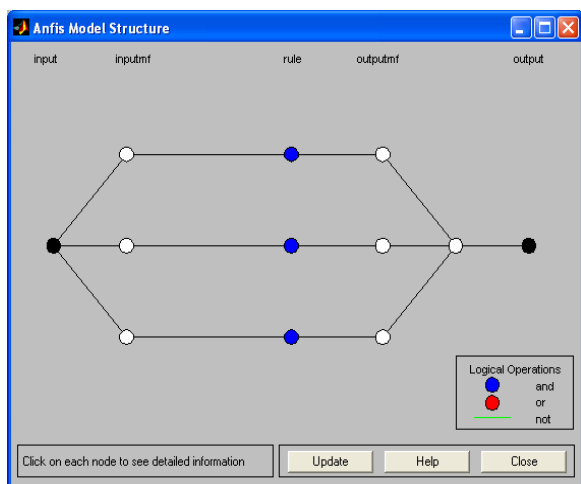
Obrázky 43. - 46. zobrazujú výsledok identifikácie pomocou subtraktívneho zhlučovania pre prvé 3 štandardne nastavené parametre a štvrtý s hodnotou 0,2. Na obrázku 43. sú uvedené aj pôvodné údaje a na ďalších obrázkoch sú uvedené funkcie príslušnosti vstupnej premennej, štruktúra Anfis a pravidlá.



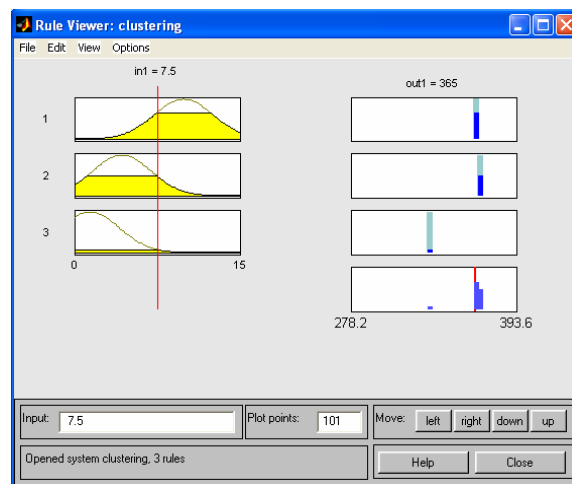
Obrázok 43: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi



Obrázok 44: Funkcie príslušnosti

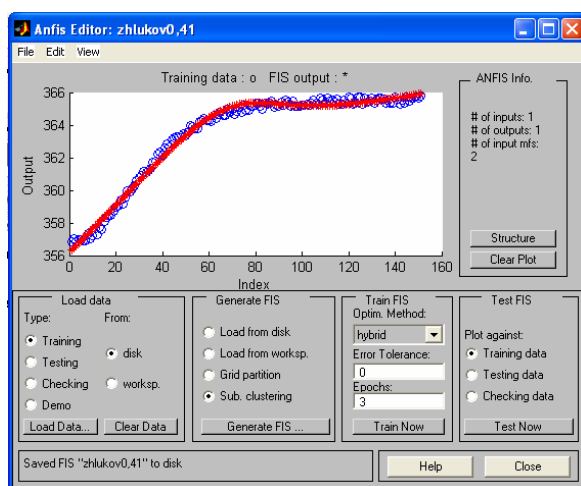


Obrázok 45: Štruktúra Anfis

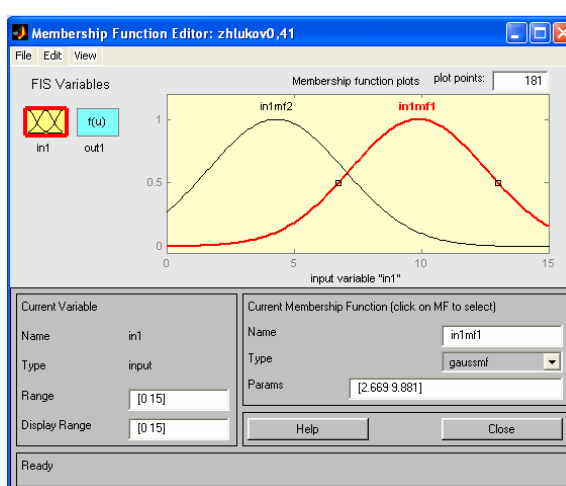


Obrázok 46: Pravidlá

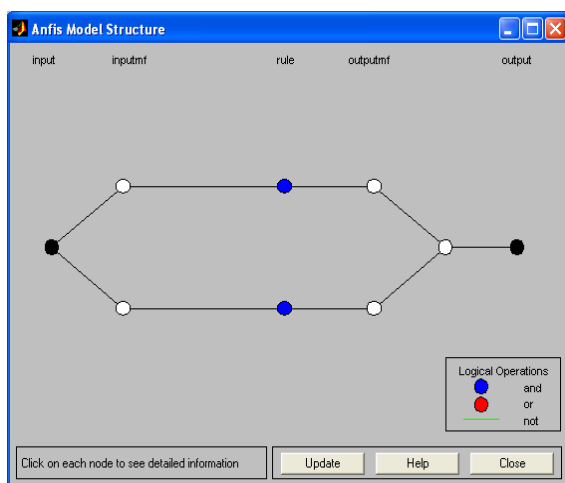
Obrázky 47. - 50. zobrazujú výsledok identifikácie pomocou subtraktívneho zhukovania pre prvé 3 štandardne nastavené parametre a štvrtý s hodnotou 0,41. Na obrázku 47. sú uvedené aj pôvodné údaje a na ďalších obrázkoch sú uvedené funkcie príslušnosti vstupnej premennej, štruktúra Anfisa a pravidiel.



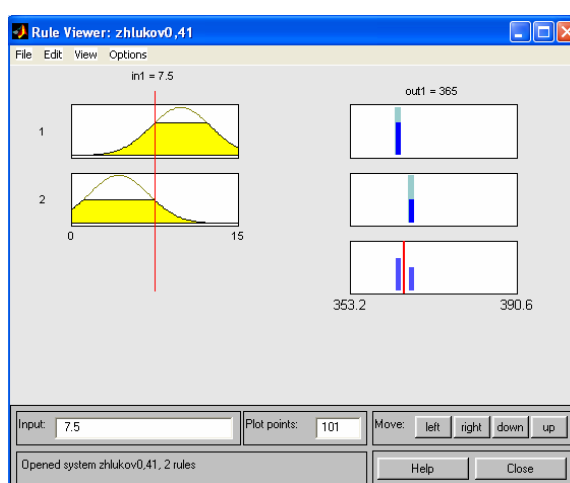
Obrázok 47: Identifikácia v porovnaní s pôvodnými údajmi



Obrázok 48: Funkcie príslušnosti



Obrázok 49: Štruktúra Anfisa



Obrázok 50: Pravidlá

5. ZÁVER

Cieľom práce bola identifikácia troch výmenníkov tepla zapojených v sérii. Vstupné údaje boli získané pomocou s-funkcie, ktorá opisovala identifikovaný systém. Meranou veličinou bola teplota na výstupe z výmenníkov. Pri tvorbe modelu v tvare fis funkcie boli použité rôzne typy funkcií príslušnosti, ich rôzny počet, mriežkové rozdelenie a subtraktívne zhľukovanie vstupných údajov, konsekventy pravidiel boli počítané ako lineárne funkcie vstupných premenných alebo ako konštanty.

Z výsledkov riešenia zadanej problematiky vyššie uvedenými metódami vyplývajú nasledujúce poznatky:

Pri porovnaní typu funkcií príslušnosti je vhodnejšie použiť funkcie príslušnosti zvonové a Gaussovské ako trojuholníkové a lichobežníkové, pretože presnejšia identifikácia je potom s menším počtom funkcií príslušnosti.

So zvyšovaním počtu funkcií príslušnosti je identifikácia presnejšia, ale aj počet pravidiel je samozrejme vyšší.

Presnosť identifikácie je tiež lepšia pri výpočte parametrov konsekventov pravidiel ako koeficientov lineárnej funkcie, nie konštant.

Je vhodné používať metódu subtraktívneho zhľukovania pri inicializácii systému, výrazne sa znižuje počet pravidiel.

6. LITERATÚRA

- [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 neurónové systémy.
- [4] M. Fikar a kol.: Identifikácia systémov. Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1999.
- [5] J. Mikleš a kol.: Riadenie technologických procesov - Modelovanie procesov a základy riadenia. Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1994.
- [6] O. Modrlák.: Fuzzy řízení a regulace. 2004, Studijní materiály
- [7] Dokumentácia k programu Matlab 6.5,
- [8] A. Vasičkaninová, M. Bakošová, J. Dvoran: Tvorba neuro - fuzzy modelov metódou Anfis, AT&P journal 11/2006
- [9] E. Lazarová, Ľ. Ušalová, V. Krúpa: Fuzzy logika v Inverznej kontinuálnej metóde, Acta Montanistica Slovaca, 4/2004

Prílohy

Príloha č.1

S-Function: Model 3 výmeníkov tepla zapojených v serii

```
function [sys,x0,str,ts] = jozef(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 = [];
otherwise
    error(['unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end;
```

```
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes % inicializacia: do tejto funkcie vkladame
vlastne udaje
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 3; % pocet spojitych stavov
sizes.NumDiscStates = 0; % pocet diskretnych stavov
sizes.NumOutputs = 1; % pocet vystupov
sizes.NumInputs = 2; % pocet vstupov
sizes.DirFeedthrough = 0; % = 0 v pripade, ze v rovniciach vystupu nevystupuje u alebo
nevystupuje matica D. Inak =1.
sizes.NumSampleTimes = 1; % 1 pre spojite systemy
sys = simsizes(sizes);
Jv=300;
Jp=400;
q=1.4;
V1=1.4;
V2=2.3;
V3=3.2;
F1=120;
F2=210;
F3=300;
a=9.3;
ro=1000;
cp=4.2;
T1=V1*ro*cp/(a*F1+q*ro*cp);
Z11=a*F1/(a*F1+q*ro*cp);
Z12=q*ro*cp/(a*F1+q*ro*cp);
T2=V2*ro*cp/(a*F2+q*ro*cp);
Z21=a*F2/(a*F2+q*ro*cp);
Z22=q*ro*cp/(a*F2+q*ro*cp);
```

```

T3=V3*ro*cp/(a*F3+q*ro*cp);
Z31=a*F3/(a*F3+q*ro*cp);
Z32=q*ro*cp/(a*F3+q*ro*cp);
th1=Z11*Jp+Z12*Jv;
th2=Z21*Jp+Z22*315.952;
th3=Z31*Jp+Z32*336.91;
x0=[th1 th2 th3]; %
str = []; % str je prazdna matica
ts = [0 0]; %%

function sys = mdlDerivatives(t,x,u) % Jv=300;
Jp=400;
q=1.4;
V1=1.4;
V2=2.3;
V3=3.2;
F1=120;
F2=210;
F3=300;
a=9.3;
ro=1000;
cp=4.2;
T1=V1*ro*cp/(a*F1+q*ro*cp);
Z11=a*F1/(a*F1+q*ro*cp);
Z12=q*ro*cp/(a*F1+q*ro*cp);
T2=V2*ro*cp/(a*F2+q*ro*cp);
Z21=a*F2/(a*F2+q*ro*cp);
Z22=q*ro*cp/(a*F2+q*ro*cp);
T3=V3*ro*cp/(a*F3+q*ro*cp);
Z31=a*F3/(a*F3+q*ro*cp);
Z32=q*ro*cp/(a*F3+q*ro*cp);
sys(1) = -x(1)/T1+Z11*u(2)/T1+Z12*u(1)/T1;
sys(2) = -x(2)/T2+Z21*u(2)/T2+Z22*x(1)/T2;
sys(3) = -x(3)/T3+Z31*u(2)/T3+Z32*x(2)/T3;

function sys = mdlOutputs(t,x,u) %
sys(1) = x(3)+0.5*(rand-1);

```

Príloha č.2

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - TRIMF s 3 FP a VP je konštantná

```

[System]
Name='trimf1'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=3

```

```
AndMethod='prod'  
OrMethod='probor'  
ImpMethod='min'  
AggMethod='max'  
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]  
Name='input1'  
Range=[0 15]  
NumMFs=3  
MF1='in1mf1':'trimf',[-7.5 -0.01 7.47]  
MF2='in1mf2':'trimf',[0.01 7.48 15.00]  
MF3='in1mf3':'trimf',[7.49 14.99 22.50]
```

```
[Output1]  
Name='output'  
Range=[356.83 365.76]  
NumMFs=3  
MF1='out1mf1':'constant',[356.99]  
MF2='out1mf2':'constant',[365.72]  
MF3='out1mf3':'constant',[365.37]
```

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

Príloha č.3

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - TRIMF s 3 FP a VP je lineárna

```
[System]  
Name='trimf3chlinear'  
Type='sugeno'  
Version=2.0  
NumInputs=1  
NumOutputs=1  
NumRules=3  
AndMethod='prod'  
OrMethod='probor'  
ImpMethod='min'  
AggMethod='max'  
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]  
Name='input1'  
Range=[0 15]  
NumMFs=3  
MF1='in1mf1':'trimf',[-7.5 8.52e-005 7.51]  
MF2='in1mf2':'trimf',[-8.28e-005 7.5 15]
```

MF3='in1mf3': 'trimf',[7.49 14.99 22.5]

[Output1]

Name='output'

Range=[356.84 365.76]

NumMFs=3

MF1='out1mf1': 'linear',[22.23 355.84]

MF2='out1mf2': 'linear',[21.49 204.03]

MF3='out1mf3': 'linear',[21.47 43.41]

[Rules]

1, 1 (1) : 1

2, 2 (1) : 1

3, 3 (1) : 1

Príloha č.4

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - TRIMF s 10 FP a VP je konštantná

[System]

Name='trimf 10 const'

Type='sugeno'

Version=2.0

NumInputs=1

NumOutputs=1

NumRules=10

AndMethod='prod'

OrMethod='probor'

ImpMethod='min'

AggMethod='max'

DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='input1'

Range=[0 15]

NumMFs=10

MF1='in1mf1': 'trimf',[-1.66 0.008 1.67]

MF2='in1mf2': 'trimf',[-0.008 1.67 3.34]

MF3='in1mf3': 'trimf',[1.64 3.32 5.006]

MF4='in1mf4': 'trimf',[3.33 4.99 6.66]

MF5='in1mf5': 'trimf',[5.00 6.66 8.33]

MF6='in1mf6': 'trimf',[6.66 8.33 9.99]

MF7='in1mf7': 'trimf',[8.33 9.99 11.66]

MF8='in1mf8': 'trimf',[9.99 11.66 13.33]

MF9='in1mf9': 'trimf',[11.66 13.33 14.99]

MF10='in1mf10': 'trimf',[13.33 15.07 16.66]

[Output1]

Name='output'

Range=[356.83 365.76]

```

NumMFs=10
MF1='out1mf1':constant',[356.55]
MF2='out1mf2':constant',[358.314]
MF3='out1mf3':constant',[361.55]
MF4='out1mf4':constant',[363.79]
MF5='out1mf5':constant',[364.78]
MF6='out1mf6':constant',[365.28]
MF7='out1mf7':constant',[365.28]
MF8='out1mf8':constant',[365.52]
MF9='out1mf9':constant',[365.48]
MF10='out1mf10':constant',[365.65]

```

```

[Rules]
1, 1 (1) : 1
2, 2 (1) : 1
3, 3 (1) : 1
4, 4 (1) : 1
5, 5 (1) : 1
6, 6 (1) : 1
7, 7 (1) : 1
8, 8 (1) : 1
9, 9 (1) : 1
10, 10 (1) : 1

```

Príloha č.5

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - TRAPMF s 3 FP a VP je konštantná

```

[System]
Name='trapmf1'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=3
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'

```

```

[Input1]
Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=3
MF1='in1mf1':trapmf',[-5.25 -2.25 2.24 5.25]
MF2='in1mf2':trapmf',[2.22 5.24 9.74 12.74]
MF3='in1mf3':trapmf',[9.74 12.74 17.25 20.25]

```



```
[Output1]
Name='output'
Range=[356.83 365.76]
NumMFs=3
MF1='out1mf1': 'constant',[358.24]
MF2='out1mf2': 'constant',[364.97]
MF3='out1mf3': 'constant',[365.60]
```

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

Príloha č.6

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - TRAPMF s 3 FP a VP je lineárna

```
[System]
Name='trapmf3chlinear'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=3
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'trapmf',[-5.25 -2.25 2.25 5.26]
MF2='in1mf2': 'trapmf',[2.22 5.25 9.74 12.75]
MF3='in1mf3': 'trapmf',[9.74 12.74 17.25 20.25]
```

```
[Output1]
Name='output'
Range=[356.83 365.76]
NumMFs=3
MF1='out1mf1': 'linear',[1.14 356.54]
MF2='out1mf2': 'linear',[0.30 362.53]
MF3='out1mf3': 'linear',[0.16 363.28]
```

```
[Rules]
```

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

Príloha č.7

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - TRAPMF s 10 FP a VP je konštantná

```
[System]
Name='trapmf 10 const'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=10
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=10
MF1='in1mf1': 'trapmf', [-1.16 -0.5 0.50 1.17]
MF2='in1mf2': 'trapmf', [0.50 1.17 2.16 2.85]
MF3='in1mf3': 'trapmf', [2.152.83 3.83 4.50]
MF4='in1mf4': 'trapmf', [3.82 4.49 5.49 6.16]
MF5='in1mf5': 'trapmf', [5.49 6.16 7.16 7.83]
MF6='in1mf6': 'trapmf', [7.16 7.83 8.83 9.49]
MF7='in1mf7': 'trapmf', [8.83 9.49 10.49 11.16]
MF8='in1mf8': 'trapmf', [10.49 11.16 12.16 12.83]
MF9='in1mf9': 'trapmf', [12.16 12.83 13.83 14.50]
MF10='in1mf10': 'trapmf', [13.83 14.50 15.5 16.16]
```

```
[Output1]
Name='output'
Range=[356.83 365.76]
NumMFs=10
MF1='out1mf1': 'constant', [356.79]
MF2='out1mf2': 'constant', [358.41]
MF3='out1mf3': 'constant', [361.47]
MF4='out1mf4': 'constant', [363.70]
MF5='out1mf5': 'constant', [364.74]
MF6='out1mf6': 'constant', [365.25]
MF7='out1mf7': 'constant', [365.31]
MF8='out1mf8': 'constant', [365.49]
MF9='out1mf9': 'constant', [365.49]
```

MF10='out1mf10': 'constant', [365.63]

[Rules]

1, 1 (1) : 1
2, 2 (1) : 1
3, 3 (1) : 1
4, 4 (1) : 1
5, 5 (1) : 1
6, 6 (1) : 1
7, 7 (1) : 1
8, 8 (1) : 1
9, 9 (1) : 1
10, 10 (1) : 1

Príloha č.8

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - GAUSSMF s 3 FP a VP je konštantná

[System]

Name='gaussmf1'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=3
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'gaussmf', [3.18 0]
MF2='in1mf2': 'gaussmf', [3.18 7.5]
MF3='in1mf3': 'gaussmf', [3.18 15]

[Output1]

Name='output'
Range=[356.83 365.76]
NumMFs=3
MF1='out1mf1': 'constant', [0]
MF2='out1mf2': 'constant', [0]
MF3='out1mf3': 'constant', [0]

[Rules]

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

Príloha č.9

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - GAUSSMF s 3 FP a VP je lineárna

```
[System]
Name='gaus3chlinear'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=3
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]
Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'gaussmf',[3.16 -0.01]
MF2='in1mf2': 'gaussmf',[3.17 7.49]
MF3='in1mf3': 'gaussmf',[3.18 14.99]
```

```
[Output1]
Name='output'
Range=[356.83929 365.76034]
NumMFs=3
MF1='out1mf1': 'linear',[0.80 355.87]
MF2='out1mf2': 'linear',[0.02 365.04]
MF3='out1mf3': 'linear',[0.005 365.51]
```

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

Príloha č.10

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - GBELLMF s 3 FP a VP je konštantná

```
[System]
Name='gbellmf1'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=3
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'gbellmf',[3.73 1.99 -0.01]
MF2='in1mf2': 'gbellmf',[3.76 2.00 7.48]
MF3='in1mf3': 'gbellmf',[3.75 1.99 14.99]

[Output1]
Name='output'
Range=[356.83 365.76]
NumMFs=3
MF1='out1mf1': 'constant',[357.26]
MF2='out1mf2': 'constant',[365.55]
MF3='out1mf3': 'constant',[365.57]

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

Príloha č.11

Fis funkcia: Pravidlá pre Typ FP - GBELLMF s 10 FP a VP je konštantná

```
[System]
Name='gbellmf 10 const'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=1
NumOutputs=1
NumRules=10
AndMethod='prod'
```

OrMethod='probor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='input1'
Range=[0 15]
NumMFs=10
MF1='in1mf1': 'gbellmf',[0.84 1.99 0.009]
MF2='in1mf2': 'gbellmf',[0.84 1.99 1.67]
MF3='in1mf3': 'gbellmf',[0.84 1.99 3.32]
MF4='in1mf4': 'gbellmf',[0.84 1.99 4.99]
MF5='in1mf5': 'gbellmf',[0.83 1.99 6.66]
MF6='in1mf6': 'gbellmf',[0.83 1.99 8.33]
MF7='in1mf7': 'gbellmf',[0.83 1.99 9.99]
MF8='in1mf8': 'gbellmf',[0.83 1.99 11.66]
MF9='in1mf9': 'gbellmf',[0.83 2.00 13.33]
MF10='in1mf10': 'gbellmf',[0.83 1.99 15.00]

[Output1]

Name='output'
Range=[356.83 365.76]
NumMFs=10
MF1='out1mf1': 'constant',[356.57]
MF2='out1mf2': 'constant',[358.28]
MF3='out1mf3': 'constant',[361.53]
MF4='out1mf4': 'constant',[363.81]
MF5='out1mf5': 'constant',[364.79]
MF6='out1mf6': 'constant',[365.29]
MF7='out1mf7': 'constant',[365.29]
MF8='out1mf8': 'constant',[365.51]
MF9='out1mf9': 'constant',[365.48]
MF10='out1mf10': 'constant',[365.64]

[Rules]

1, 1 (1) : 1
2, 2 (1) : 1
3, 3 (1) : 1
4, 4 (1) : 1
5, 5 (1) : 1
6, 6 (1) : 1
7, 7 (1) : 1
8, 8 (1) : 1
9, 9 (1) : 1
10, 10 (1) : 1

Príloha č.12

Fis funkcia: Pravidlá pre zhlukovanie [0,5; 1,25; 0,5; 0,2]

[System]

Name='clustering 0,2'

Type='sugeno'

Version=2.0

NumInputs=1

NumOutputs=1

NumRules=3

AndMethod='prod'

OrMethod='probor'

ImpMethod='min'

AggMethod='max'

DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='in1'

Range=[0 15]

NumMFs=3

MF1='in1mf1': 'gaussmf', [2.65 9.89]

MF2='in1mf2': 'gaussmf', [2.62 4.30]

MF3='in1mf3': 'gaussmf', [2.66 1.39]

[Output1]

Name='out1'

Range=[356.83929 365.76034]

NumMFs=3

MF1='out1mf1': 'linear', [-0.04 366.14]

MF2='out1mf2': 'linear', [-2.05 383.97]

MF3='out1mf3': 'linear', [-1.94 348.33]

[Rules]

1, 1 (1) : 1

2, 2 (1) : 1

3, 3 (1) : 1

Príloha č.13

Fis funkcia: Pravidlá pre zhlukovanie [0,5; 1,25; 0,5; 0,41]

[System]

Name='zhlukov0,41'

Type='sugeno'

Version=2.0

NumInputs=1

NumOutputs=1

NumRules=2

AndMethod='prod'

OrMethod='probor'

```
ImpMethod='min'  
AggMethod='max'  
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
[Input1]  
Name='in1'  
Range=[0 15]  
NumMFs=2  
MF1='in1mf1': 'gaussmf',[2.66 9.88]  
MF2='in1mf2': 'gaussmf',[2.66 4.29]
```

```
[Output1]  
Name='out1'  
Range=[356.83 365.76]  
NumMFs=2  
MF1='out1mf1': 'linear',[0.24 362.19]  
MF2='out1mf2': 'linear',[1.43 356.30]
```

```
[Rules]  
1, 1 (1) : 1  
2, 2 (1) : 1
```