

**Academia
Oamenilor de Știință
din România**



**Academy
of Romanian
Scientists**

Add: Splaiul Independenței nr. 54 sector 5, 050094, București, ROMANIA, Cod Fiscal: 5091859
Tel. 00-4021/314.74.91; Fax. 00-4021/314.75.39, Web-site: www.aos.ro, E-mail: aosromania@yahoo.com

**METODOLOGIA CERCETĂRII PENTRU PREDICȚIA DATELOR
INCOMPLETE DIN SISTEMELE AUTOMATIZATE INDUSTRIALE
UTILIZÂND REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE**

Autor:

CS III dr. ing. Daniel-Petru **GHENCEA**

Profesor coordonator:

Prof. univ. dr. ing. Miron **ZAPCIU**

CUPRINS

CAPITOLUL 3 PREDICȚIA PRIN UTILIZAREA METODEI HIBRIDE: REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE – FUZZY LOGIC (ANFIS).....	2
3.1 Analiza și interpretarea rezultatelor	5
CONCLUZII.....	8
BIBLIOGRAFIE	9

CAPITOLUL 3 PREDICȚIA PRIN UTILIZAREA METODEI HIBRIDE: REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE – FUZZY LOGIC (ANFIS)

Metoda hibridă analizată în continuare (ANFIS) este destinată predicției de valori în interiorul domeniului pentru perechi de valori care prezintă interes dar nu au fost măsurate. Metoda nu poate face predicție pentru valori în afara domeniului așa cum a fost prezentat în cazul utilizării numai a RNA-BP.

Realizăm o analiză comparativă-paralelă pentru cele 3 greutateți ale mesei rotative. Parametrii utilizați sunt: tensiune și cuplu ca și set de date de intrare și instruire și puterea consumată ca și set de date de ieșire/predicție.

Pentru cele 3 cazuri avem următoarele configurații ale setului de date de intrare:

- pentru 0 [gr] matrice de [34 x 3];
- pentru 500 [gr] matrice de [34 x 3];
- pentru 4500 [gr] matrice de [33 x 3];

În Matlab R2011b se creează în spațiul *Workspace* 3 fișiere în care se încarcă seturile de date pentru cele 3 cazuri.

Din *Command Window* se lansează aplicația *anfisedit*.

Se încarcă un fișier din cele 3. Configurația setului de date obținută pentru fiecare caz este prezentată în (Figura 3.1).

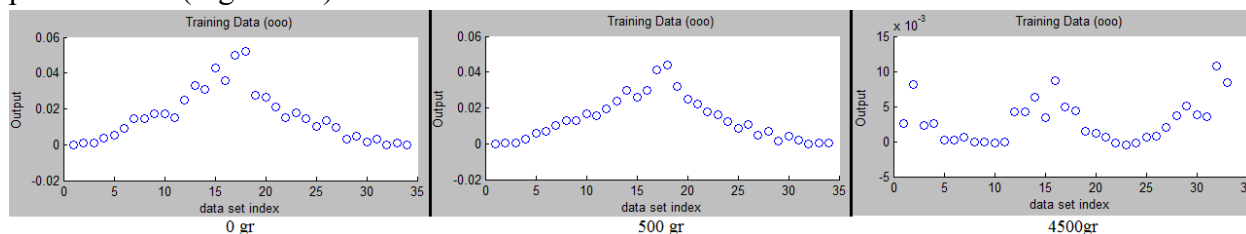


Figura 3 1 Configurația setului de date obținută pentru cele 3 cazuri

Pentru toate cele 3 cazuri configurația FIS setată este aceeași (Figura 3.2).

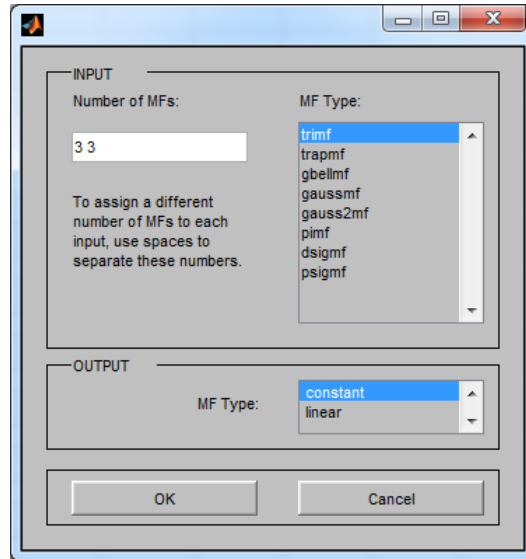


Figura 3 2 Modul de configurare a FIS

Pentru Train Fis se aleg următoarele obțiuni: metoda optimă – hibrid, toleranța de eroare – 0 și numărul de epoci. Numărul de epoci pentru care s-a obținut performanța maximă pentru cele 3 cazuri sunt: 0 [gr] - 45 epoci, 500 [gr] - 20 epoci, 4500 [gr] - 13 epoci. În urma instruirii s-au obținut următoarele configurații ale curbei erorilor (Figura 3.3).

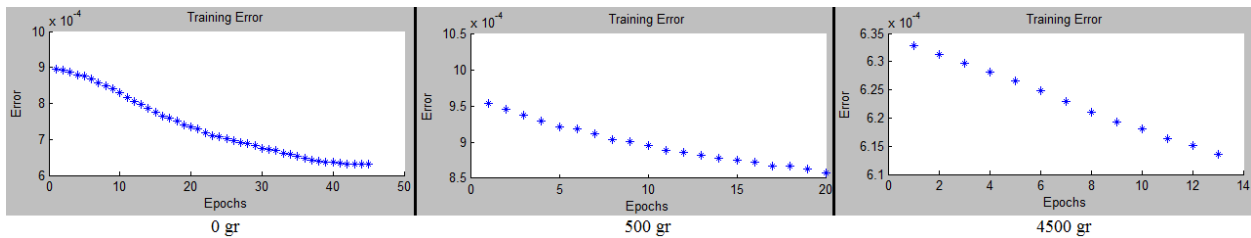


Figura 3 3 Curba erorii de instruire în cele 3 cazuri

Pentru cele 3 cazuri s-au obținut următoarele erori de instruire de către RNA-BP:

- a) pentru 0 [gr] – 0,00063028;
- b) pentru 500 [gr] – 0,00085753;
- c) pentru 4500 [gr] – 0,00061361;

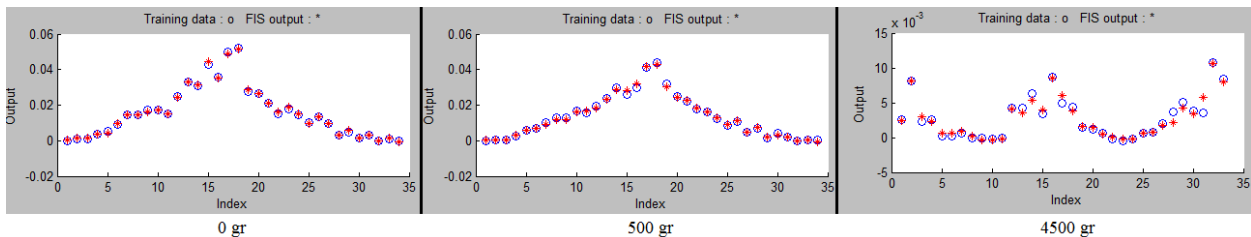


Figura 3 4 Comparație între setul de date de intrare și valorile obținute în urma instruirii pentru cele 3 cazuri

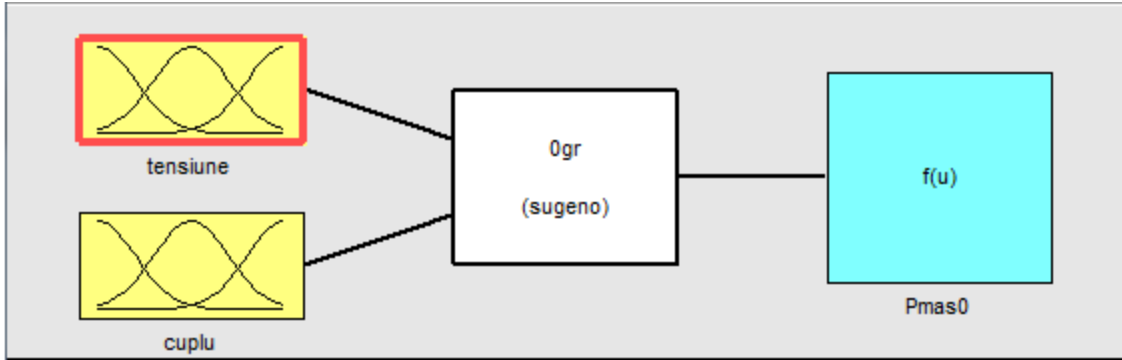


Figura 3 5 Modelul FIS Sugeno utilizat în cele 3 cazuri

Funcțiile de apartenență triunghiulare realizate de către FIS pentru cele 9 reguli sunt prezentate în Figura 3.6.

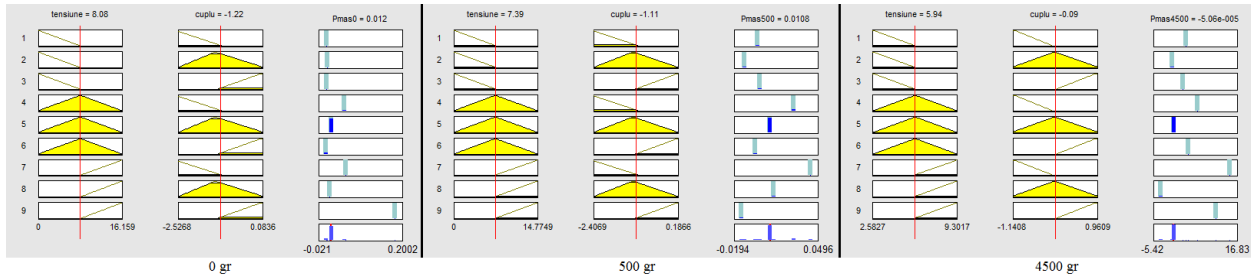


Figura 3 6 Funcțiile de apartenență triunghiulare realizate de către FIS pentru cele 9 reguli

În figura 3.7 sunt prezentate suprafețele 3 D rezultate din cei doi parametri de intrare și parametrul predicționat.

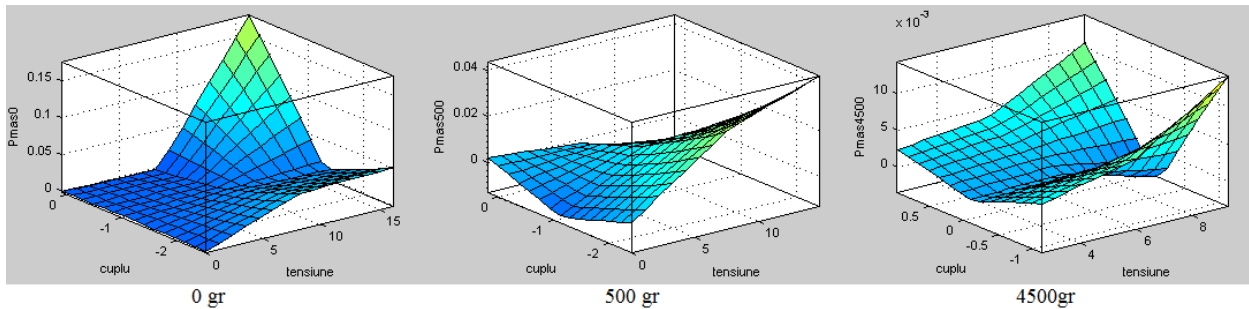


Figura 3 7 Forma suprafețelor 3D în cele 3 cazuri

În figura 3.8 se observă evoluția modului de stabilizare și simetrizare a dinamicii de variație o dată cu creșterea greutății mesei rotative. Evoluția debutează cu o concentrare a dinamicii de variație a parametrului tensiune către valoarea maximă pentru un cuplu care tinde la zero (0 [gr]). O creștere a mesei rotative cu 500 [gr] conduce la o dinamică hotică a relației tensiune-cuplu. O creștere de 9 ori a mesei rotative conduce la definirea clară a interdependenței dintre tensiune-cuplu realizată prin stabilizare și simetrizare a dinamicii de variație.

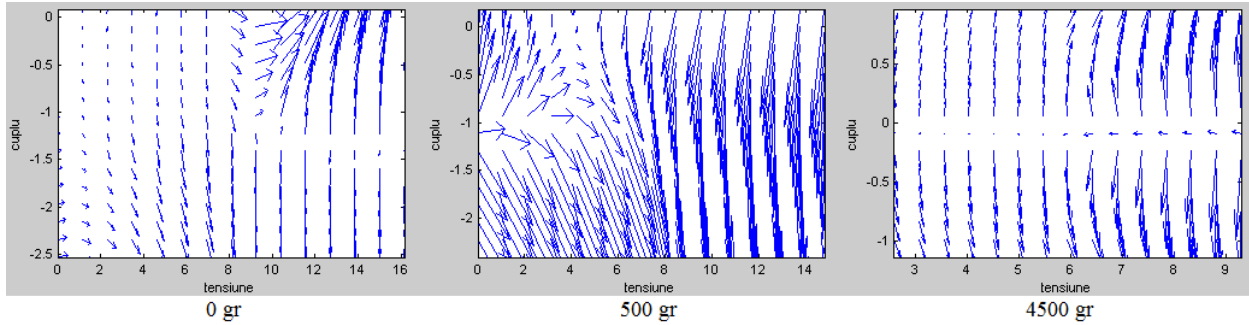


Figura 3 8 Dinamica de variație (quiver) între cuplu și tensiune în cele 3 cazuri

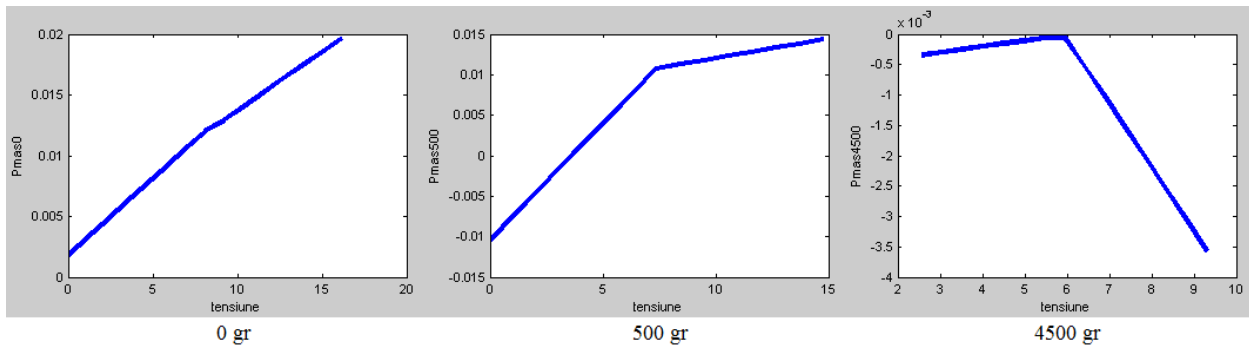


Figura 3 9 Diagrama tensiune și predicția Putere în cele 3 cazuri

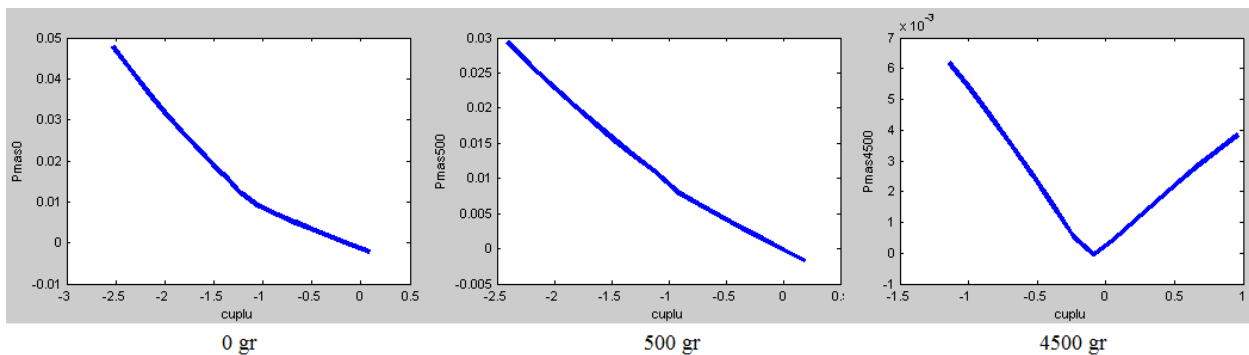


Figura 3 10 Diagrama cuplu și predicția Putere în cele 3 cazuri

Din analiza comparativă a Figurii 3.9 cu Figura 3.10 se observă evoluția contrară a tensiunii și cuplului față de predicția putere. În cazul tensiunii avem o scădere a pantei puterii pentru o tensiune mai mare de 6 [V] iar în cazul cuplului o creștere a puterii pentru un cuplu mai mare de 0 [Nm].

3.1 Analiza și interpretarea rezultatelor

În urma testării ANFIS pentru funcțiile de apartenență triunghiulare realizate de către FIS stabilind 9 reguli (vezi Figura 3.6) în cele trei cazuri se obțin rezultatele prezentate în continuare.

Modul de testare este următorul:

Din setul de date de intrare inițial au fost extrase aleator următoarele grupuri:

↪ pentru 0 [gr] – 4 din 34 măsurători;

↳ pentru 500 [gr] – 5 din 34 măsurători;

↳ pentru 4500 [gr] – 5 din 33 măsurători.

Seturile extrase nu au participat la instruirea RNA-BP, ele fiind utilizate pentru testare arhitecturii ANFIS.

A. Analiza și interpretarea rezultatelor pentru 0 gr a mesei rotative

1a) Cazul predicției setului măsurat.

Din Tabelul 3.1 se observă că ANFIS a obținut rezultate foarte bune pentru subevaluare, de două ori mai bune decât în cazul supraevaluării în condițiile în care avem o distribuție omogenă supraevaluare/subevaluare (15/17). În cazul supraevaluării au fost două rezultate cu erori cu mult de peste 50%. Acestea au fost eliminate deoarece se consideră erori grosolane. Predicția prin subevaluare este de 2.68 ori mai bună decât cea prin supraevaluare. În ansamblu pentru această analiză se obține o eroare de 5.8%.

Tabelul 3 1 Rezultatele obținute pentru 0 gr a mesei rotative – set măsurat

	Supraevaluare		Subevaluare	
	nr.	% eroare	nr.	% eroare
0 - 5%	7	2.25%	14	1.78%
5.1-10%	3	5.81%	2	6.66%
10.1-15%	2	10.84%		
15.1-20%	1	16.40%	1	16.77%
20-50%	2	29.60%		
peste 50%	2			
media	15	8.70%	17	3.24%
media totală	32	5.80%		

2a) Cazul predicției setului de test.

Cele 4 măsurători, care au fost păstrate pentru testarea ANFIS, au obținut un scor pentru o precizie a eroarii de sub 10% atât la subevaluare/supraevaluare cât și ca medie totală.

Tabelul 3 2 Rezultatele obținute pentru 0 gr a mesei rotative – set test

	nr.	medie
Subevaluare (0-18%)	3	9.76%
Supraevaluare (0-5%)	1	3.96%
media totală		8.52%

B. Analiza și interpretarea rezultatelor pentru 500 gr a mesei rotative

1b) Cazul predicției setului măsurat

Pentru acest caz se observă o echilibrare a rezultatelor obținute pentru toate clasele de erori. Se evidențiază creșterea cu o unitate a erorilor grosolane care nu au fost luate în considerare la stabilirea mediei erorilor. Se observă o creștere mică a erorii supraevaluate de la 8.7% (0 gr) la 9.67% (500 gr), deci aproximativ un punct procentual. În cazul mediei erorii prin subevaluare se constată o creștere de peste două ori a acesteia, de la 3.24% (0 gr) la 7.04% (500 gr). De asemenea o creștere semnificativă se observă și în cazul mediei totale, care crește de la 5.8% (0 gr) la 8.39% (500 gr), deci o creștere de 44.65%.

Tabelul 3 3 Rezultatele obținute pentru 500 gr a mesei rotative – set măsurat

	Supraevaluare		Subevaluare	
	nr.	% eroare	nr.	% eroare
0 - 5%	7	2.88%	9	2.54%
5.1-10%	4	7.15%	4	7.13%
10.1-15%	2	10.22%		
15.1-20%	1	15.51%	1	19.69%
20-50%	2	34.98%	1	34.46%
peste 50%	3			
media	16	9.67%	15	7.04%
media totala	31	8.39%		

2b) Cazul predicției setului de test

Tabelul 3 4 Rezultatele obținute pentru 0 gr a mesei rotative – set test

	nr.	medie
Subevaluare (0-23%)	4	9.40%
Supraevaluare (0-5%)	1	3.95%
media totală		8.31%

Cele 4 măsurători care au păstrate pentru testarea ANFIS au obținut un scor pentru eroare de sub 10% atât la subevaluare/supraevaluare cât și ca medie totală. Din punct de vedere al erorii medii totale se observă o mică îmbunătățire, de la 3.52% (0 gr) la 8.31% (500 gr), deci de 0.21 puncte procentuale sau 3.47%. Per ansamblu se menține precizia erorii la sub 10%.

C. Analiza și interpretarea rezultatelor pentru 4500 gr a mesei rotative

1c) Cazul predicției setului măsurat

În Tabelul 3.5 se observă următoarele concentrări ale mărimilor erorilor:

- ↳ prin supraevaluare (7) pentru erorile cuprinse în intervalul 15-50%, conducând la o medie a preciziei erorii de 24.38%;
- ↳ prin subevaluare (13) pentru erorile cuprinse în intervalul 0-15%, conducând la o medie a preciziei erorii de 10.92%, apropiată de 10%;
- ↳ prin supraevaluare/subevaluare (9) pentru erorile de peste 50%.

În aceste condiții se obține o precizie a medie totale a erorii de 19.57%, sub 20%.

Tabelul 3 5 Rezultatele obținute pentru 4500 gr a mesei rotative – set măsurat

	Supraevaluare		Subevaluare	
	nr.	% eroare	nr.	% eroare
0 - 5%	0		7	1.98%
5.1-10%	1	8.00%	2	9.17%
10.1-15%	0		4	12.87%
15.1-20%	3	17.13%	1	16.40%
20-50%	4	33.91%	2	37.36%
peste 50%	6		3	
media	8	24.38%	16	10.92%
media totala	26	19.57%		

2c) Cazul predicției setului de test

Tabelul 3 6 Rezultatele obținute pentru 4500 gr a mesei rotative – set test

	nr.	medie
Subevaluare (0-24%)	2	15.20%
Supraevaluare (0-11%)	3	5.80%
media totală		9.53%

Din punct de vedere al erorii medii totale se observă o creștere față de primele două, cu menținerea precizia erorii sub 10%.

CONCLUZII

Evoluția dinamicii de variație de la instabil la foarte instabil și în final la stabil și simetric este în contrast cu precizia erorilor obținute pentru predicția setului măsurat care evoluează de la precizie de 5.8% la 19.57%. Acest lucru nu este valabil în cazul preciziei erorilor pentru predicția setului test care are o marjă mică de fluctuație, respectiv de la 8.31% la 9.53%, deci sub 10%.

Tendința ANFIS este de realiza cu precizie foarte bună (sub 5%) mărimi a predicției erorilor prin subevaluare în toate cele trei cazuri analizate (pentru 0 gr: 14 la 1.78%, pentru 500 gr: 9 la 2.54%, pentru 4500 gr: 7 la 1.98%).

Un dezavantaj îl reprezintă faptul că pe măsură ce caracteristicile de intrare ale parametrilor analizați devin mai complexe apare o creștere accelerată a gradului de apariție al erorilor grosolane (pentru 0 gr: 2, pentru 500 gr: 3, pentru 4500 gr: 9).

Metoda hibridă de analiză abordată de tip ANFIS, este o metodă robustă caracterizată de o precizie a erorii de sub 10% pentru valori care prezintă interes în predicție.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Lotfali Askar Zadeh*, Fuzzy sets*, Information and Control, Vol. 8, Issue 3, June 1965, pp.338-353, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X?via%3Dihub>
- [2] *Francis Jeffry Peletier*, Metamathematics of Fuzzy Logic, The Bulletin of Symbolic Logic, Vol. 6, No.3, Sep. 2000, pp. 342-346, <http://www.sfu.ca/~jeffpell/papers/ReviewHajek.pdf>;
- [3] *** https://ro.wikipedia.org/wiki/Logic%C4%83_fuzzy
- [4] http://www.mpt.upt.ro/doc/curs/gp/Sisteme_inteligente_in_electrotehnica/Sisteme_Fuzzy_cap2.pdf ***
- [5] *Laura-Nicoleta Ivanciu*, Sisteme inteligente de suport decizional, 2014, http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/sln/02_MultimiFuzzy.pdf
- [6] *Chennakesava R. Alavala*, Fuzzy logic and neural networks. Basic concepts & applications, New Age International Publishers, 2008, http://www.academia.edu/1435724/Fuzzy_Logic_and_Neural_Networks_by_Chennakesava_R._Alavala
- [7] *Sorin Georgescu*, Sisteme fuzzy. Fuzzy ARTMAP, Revista Informatică Economică, Nr.4, 1997, <http://revistaie.ase.ro/content/4/5.pdf>
- [8] *Chuen Chien Lee*, Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part I, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Volume: 20, Issue: 2, Mar/Apr 1990), <http://ieeexplore.ieee.org/document/52551/>
- [9] *Răzvan Andone, Angel Cațaron*, Inteligență computațională, Universitatea "Transilvania" Brasov, 2002, http://vega.unitbv.ro/~cataron/Publications/curs_rn.pdf
- [10] *Andreea-Mihaela Roman*, Contribuții la modelarea sistemelor de conducere automată utilizând algoritmi neuro-fuzzy, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2014, http://instal.utcb.ro/Documente_Website/teze/Teza_Andreea_Iftene.pdf
- [11] *Qiu Jie*, Scheduling flexible manufacturing systems using fuzzy heuristics, Teză de doctorat, The University of Hong Kong, 2003, <http://hdl.handle.net/10722/35271>, <http://hub.hku.hk/handle/10722/35271>, http://www.researchgate.net/publication/29843232_Scheduling_flexible_manufacturing_systems_using_fuzzy_heuristics
- [12] *Florin Leon*, Inteligența artificială, http://florinleon.byethost24.com/curs_ia.htm

- [13] *Daniela Popescu*, Tehnici de inteligență artificială. Curs și aplicații. <http://elth.ucv.ro/student1/Cursuri/Popescu%20Daniela/Tehnici%20de%20inteligenta%20artificiala/Tehnici%20de%20inteligenta%20artificiala.pdf>
- [14] *Timothy J. Ross*, Fuzzy Logic with Engineering Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd ISBNs: 0-470-86074-X (HB); 0-470-86075-8 (PB), https://www.researchgate.net/publication/309967685_Fuzzy_Logic_with_Engineering_Applications_John_Wiley_Sons_Ltd_The_Atrium_Southern_Gate_Chichester_West_Sussex_PO19_8SQ
- [15] *** http://www.ai.pub.ro/resources/files/RNSF/RNSF_curs8n.pdf
- [16] *** <https://www.scribd.com/presentation/98961045/Logica-Fuzzy>
- [17] *Ramin Shamshiri, Wan Ishak Wan Ismail*, Design and Simulation of Control Systems for a Field Survey Mobile Robot Platform, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 6(13): 2307-2315, 2013, ISSN: 2040-7459; e-ISSN: 2040-7467, https://www.researchgate.net/publication/259932485_Design_and_Simulation_of_Control_Systems_for_a_Field_Survey_Mobile_Robot_Platform
- [18] *Stelian-Emilian Oltean*, Control inteligent și adaptiv, <http://docshare04.docshare.tips/files/30508/305082796.pdf>
- [19] *C.S. Krishnamoorthy, S. Rajeev*, Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers, CRC Press, CRC Press LLC, ISBN: 0849391253, 1996, https://doc.lagout.org/science/0_Computer%20Science/8_Electronics%20%26%20Robotics/Artificial%20Intelligence%20and%20Expert%20Systems%20for%20Engineers.pdf
- [20] *Mihaela Colhon*, Elemente de logică fuzzy, Craiova, 2012, <http://inf.ucv.ro/~ghindeanu/lab/sicc/carteb5.pdf>
- [21] *Chi-Yuan Yeh*, Fuzzy Inference, http://itlab.ee.nsysu.edu.tw/ch/chap/99a_AI/Fuzzy_ch9.ppt.
- [22] *** <https://myslide.es/documents/what-is-fuzzy.html>
- [23] *Ion Iancu*, A Mamdani Type Fuzzy Logic Controller, <http://cdn.intechopen.com/pdfs/34221.pdf>
- [24] *Yang Wang, Yanyan Chen*, A Comparison of Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems for Traffic Flow Prediction, Journal of Computers, Vol. 9, No. 1, January 2014, <http://ojs.academypublisher.com/index.php/jcp/article/view/jcp09011221>
- [25] *Tomohiro Takagi, Michio Sugeno*, Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Volume: SMC-15, Issue: 1, Jan.-Feb. 1985), https://www.scss.tcd.ie/khurshid.ahmad/Teaching/Lectures_on_Fuzzy_Logic/Takagi%20Sugeno%20Modelling.pdf
- [26] *Włodzisław Duch, Rafał Adamczak, Krzysztof Grabczewski*, A new methodology of extraction, optimization and application of crisp and fuzzy logical rules, IEEE Transactions on neural networks, Vol. 11, no. 2, 2000, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=624FE672C4F4DBCF77A1622F4E755CCA?doi=10.1.1.212.6305&rep=rep1&type=pdf>
- [27] *** <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/anfis.html>

[28] Daniel-Petru GHENCEA, *Modelare-simulare și predicția datelor experimentale specifice sistemelor de fabricație utilizând tehnici hibride bazate pe inteligență artificială*, Teză de doctorat, Universitatea politehnică București, Facultatea Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, aprilie 2018