

Utilizarea logicii fuzzy în modelarea numerică a unui controler inteligent de menținere a nivelului de CO₂ în clădiri

The numerical modelling of a intelligent controller for maintaining the level of CO₂ into the buildings, using fuzzy logic

Florin-Adrian Hebean¹, Sorin Caluianu²

¹Universitatea Tehnică de Construcții București
B-dul Lacul Tei, Nr. 124, sector 2, București, cod 020396, Romania
E-mail: hebeanflorin@gmail.com

²Universitatea Tehnică de Construcții București
B-dul Lacul Tei, Nr. 124, sector 2, București, cod 020396, Romania
E-mail: s_caluianu@yahoo.com

Rezumat. *Lucrarea își propune modelarea numerică a unui controler inteligent care să gestioneze și să mențină calitatea aerului în clădiri, prin menținerea parametrului nivel CO₂, utilizand conceptele logicii fuzzy. Controlerul va prelua informații de la senzorii de dioxid de carbon și de la senzorii de umiditate relativă aferenți spațiului deservit și va comanda sistemele de ventilație astfel încât nivelul de CO₂ să fie menținut în parametrii de confort. Controlerul are două componente principale și anume partea soft reprezentată de modulul fuzzy și partea hard ce preia informațiile de la senzori și transmite ieșirile controlerului echipamentelor de ventilație.*

Cuvinte cheie: controler inteligent, calitate aer, logica fuzzy, nivel CO₂

Abstract. *This paper propose the numerical modelling of a intelligent controller which will manage the air quality into the buildings, by maintaining the CO₂ level, using the fuzzy logic concepts. The controller will retrieve information from carbon dioxide and relative humidity sensors related to deserved space and will command the ventilation system so as to maintain the CO₂ level into the confort parameters. The intelligent controler consists of two components namely the software component represented by fuzzy logic module and the harware component which get information from the sensors and transmit the controller outputs to the ventilation equipments.*

The abstract will be written in italics (11 pts), with a space of 1cm left-right.

Key words: intelligent controller, air quality, fuzzy logic, CO₂ level

1. Introducere

Conform anumitor standarde europene și internaționale referitoare la calitatea aerului în clădiri, concentrația admisă de CO₂ la interior este de 5% în cazul în care umiditatea relativă nu depășește valoarea de 65%, deși și la concentrații mai mici sunt cazuri de dureri de cap și de disconfort [1,2]. Pragurile concentrației de dioxid de carbon precum și efectele asupra ocupanților pentru fiecare prag în parte sunt prezentate pe larg în Tabelul 1.

Tabelul 1

Pragurile de CO₂ și efectele asupra ocupanților

Concentrație CO ₂	Efecte
350 ppm-1000 ppm	Mediu propice – concentrație în parametrii
1000 ppm-2000 ppm	Posibile stări de somnolență – aer viciat
2000 ppm-5000 ppm	Dureri de cap, stări de somnolență și oboseală, pierderea concentrației, creșterea pulsului și stări de greață – aer viciat
5000 ppm	Limita maximă a nivelului de CO ₂ acceptată pentru o zi de lucru normală de 8 ore, conform normelor europene

Menținerea calității aerului din încăperi reprezintă un factor major în proiectarea instalațiilor pentru clădiri. Ventilația naturală este și ea o soluție atunci când vorbim despre un climat confortabil din punct de vedere al calității aerului dar nu funcționează tot timpul anului, în special în perioadele foarte reci sau foarte calde. Din acest motiv, dotarea clădirilor cu sisteme de evacuarea a aerului viciat precum și cu sisteme de introducere aer proaspăt este absolut necesară.

Cele mai multe cercetări în ce privește menținerea calității aerului în clădiri vizează sistemele complexe de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC) aplicabile, în general complexelor comerciale, clădirilor de birouri sau alte clădiri relativ mari și neîntâlnite în cazul clădirilor mici cum sunt locuințele individuale, magazine mici sau școli [3,4].

Lucrarea este structurată în cinci capitole și își propune proiectarea și modelarea unui controler care să mențină nivelul de dioxid de carbon din clădiri în parametrii de confort, folosind logica fuzzy. Prima parte a lucrării este cea introductivă, reprezentată de capitolul 1. În capitolul 2 sunt descrise caracteristicile proceselor ce urmează a fi controlate și totodată este prezentată structura controlerului urmând ca modelarea controlerului și procesul de fuzificare să fie prezentate detaliat în capitolul 3. În penultimul capitol și anume capitolul 4 sunt realizate simularea și validarea controlerului de calitate aer, lucrarea încheindu-se cu capitolul 5 ce cuprinde concluziile și direcțiile viitoare de cercetare în domeniu.

2. Caracteristicile controlerului fuzzy de calitate aer

2.1. Procesul condus de către controler

Modelul de bază al structurii propuse constă într-un controler de calitate aer ce urmează să controleze nivelul de CO₂ aferent spațiului deservit, folosind principiile și noțiunile logicii fuzzy. Ca și valori de intrare, controlerul va prelua informații de la senzorii de CO₂ și umiditate relativă instalați în spațiul deservit. Pragurile de referință a calității aerului vor fi definite în controler iar ajustarea nivelului de CO₂ va fi realizată prin intermediul ventilatorului de evacuare aer viciat și a ventilatorului de introducere aer proaspăt.

Schema bloc a controlerului de calitate aer propus și a procesului condus sunt prezentate în Fig.1. După cum se poate observa, controlerul va prelua prin modulul de fuzificare informațiile de la senzorii de CO₂ și umiditate relativă iar comenzile vor fi trimise de către modulul de defuzificare către ventilatoarele de introducere și evacuare aer.

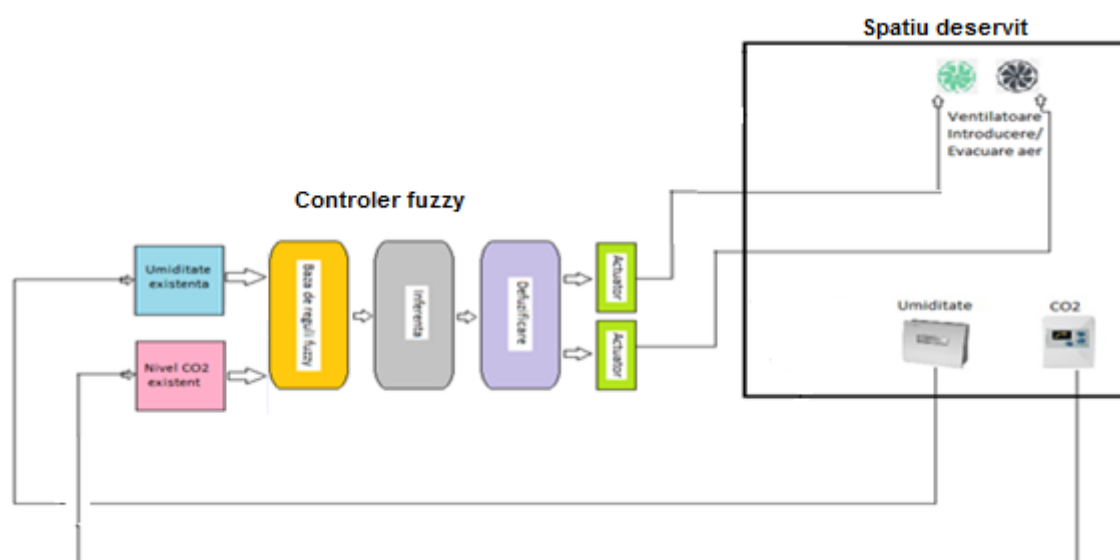


Fig. 1. Schema bloc a controlerului fuzzy și a procesului condus

2.2. Structura controlerului

Controlerul folosit pentru conducerea sistemului descris anterior are două componente de bază și anume, componenta soft și componenta hard.

Componenta soft a controlerului reprezentată de controlerul fuzzy logic este compusă din modulul de fuzificare unde valorile clare primite de la senzori sunt transformate în valori lingvistice, motorul de inferență ce calculează valorile de adevăr, baza de cunoștințe unde sunt stocate elementele factice și modulul de defuzificare ce transformă un subset fuzzy într-o singură valoare, ce corespunde unei ieșiri.

Componenta hardware a controlerului este reprezentată de interfețele de intrări-iesiri. Interfața de intrări preia semnalele analogice furnizate de senzorii de CO₂ și umiditate relativă și transmite aceste valori modulului de fuzificare. Interfața de ieșiri transmite valorile rezultate în

urma procesului de defuzificare, către ventilatorul de introducere aer proaspăt și ventilatorul de evacuare aer viciat. Structura controlerului de confort este prezentată în Fig.2.

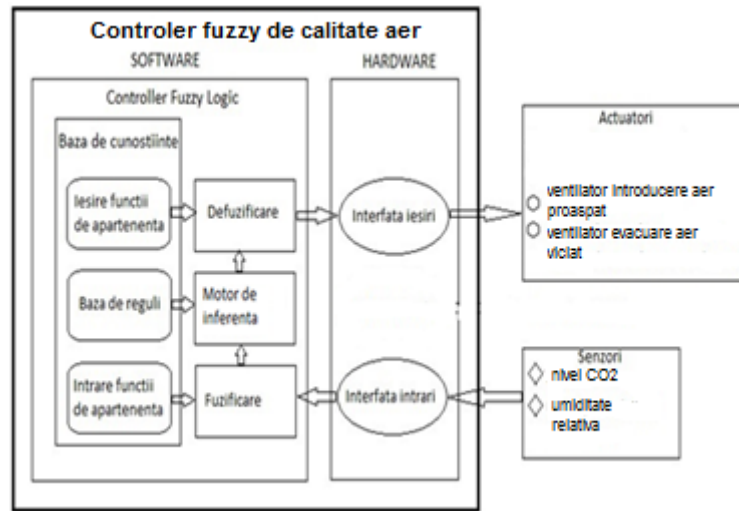


Fig. 2. Schema bloc a controlerului de calitate aer

2.3. Modelul desfășurat și plajele de funcționare ale controlerului de calitate aer

Controlerul este proiectat pentru a opera în intervalul de concentrație de dioxid de carbon de 350ppm-8000ppm iar plaja umidității relative este de la 0% la 100%. Controlerul va avea ca scop totodată menținerea nivelului de CO2 în pragurile de confort, valori ce trebuie să fie cuprinse între 350ppm și 1000ppm.

Modelul desfășurat al controlerului fuzzy de calitate aer este prezentat în Fig.3. Modelul a fost realizat în Matlab, cu ajutorul toolbox-ului fuzzy.

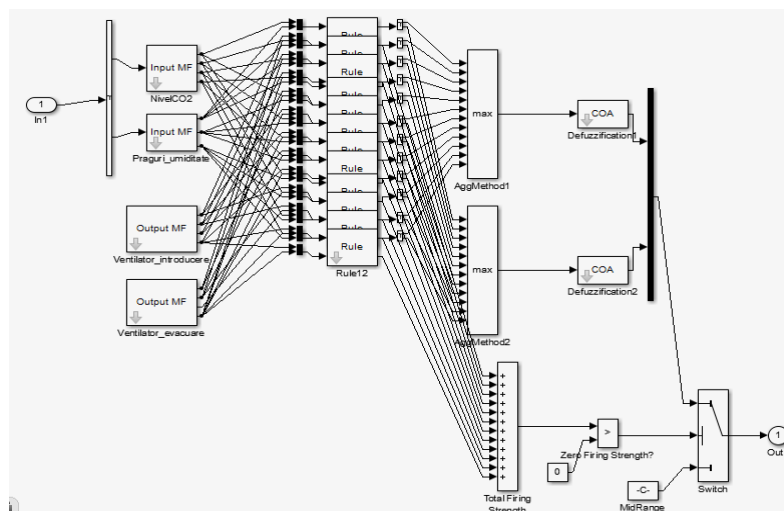


Fig. 3. Modelul desfășurat al controlerului fuzzy de CO2

3. Modelarea numerică a controlerului

3.1. Funcțiile de apartenență și plajele de valori

Valorile de intrare pentru controlerul fuzzy de calitate aer sunt reprezentate de nivelul de CO2 măsurat de senzorul de CO2 aferent spațiului deservit și pragurile de umiditate relativă, valori ce provin de la senzorul de umiditate relativă instalat în încăpere.

Funcția de apartenență care definește mulțimea fuzzy în cazul controlerului de calitate aer este funcția triunghiulară având expresia matematică definită de ecuațiile (1) și (2).

$$triunghi(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

$$triunghi(x; a, b, c) = \max\{\min\left\{\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right\}, 0\} \quad (2)$$

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare: nivel CO2, sunt prezentate în Tabelul2 și în Fig.4.

Tabelul 2

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare Nivel CO2

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Calitate aer în parametrii	350 ppm-1000 ppm
Aer aproape viciat	1000 ppm-2000 ppm
Aer viciat	2000 ppm-5000 ppm
Aer foarte viciat	5000 ppm-8000 ppm

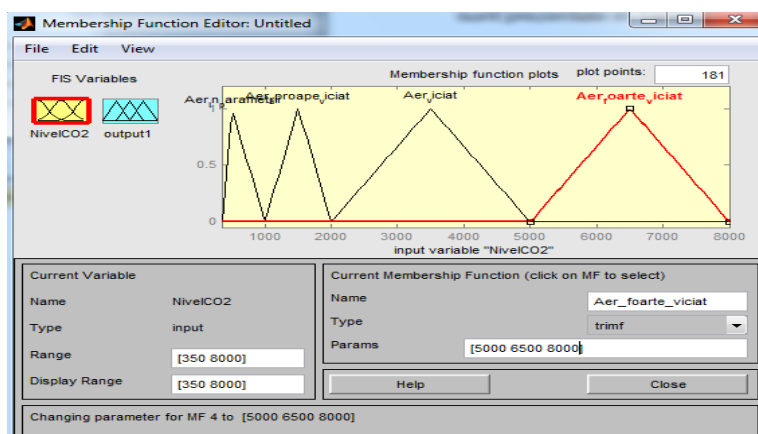


Fig. 4. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare Nivel CO2

Cea de a doua intrare a controlerului de confort este reprezentată de valoarea umidității relative din spațiul deservit. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare: praguri umiditate, sunt prezentate în Tabelul 3 și în Fig.5.

Tabelul 3

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare praguri umiditate

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Uscat	0%-35%
În parametri	30%-65%
Umed	60%-100%

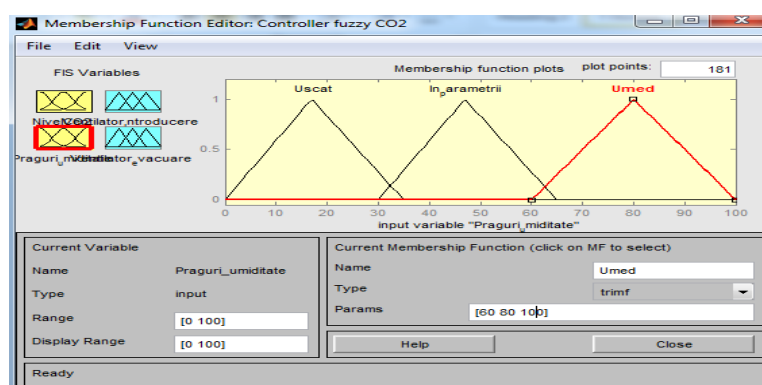


Fig. 5. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare praguri umiditate

Variabilele de ieșire sunt reprezentate de valorile transmise de către controler interfeței de ieșiri, iar mai departe actuatorilor ce vor acționa ventilatorul de introducere aer proaspăt și ventilatorul de evacuare aer pentru menținerea nivelului de CO2 în pragul de confort.

Pentru controlerul fuzzy de calitate aer sunt definite două variabile de ieșire și anume: Trepte de funcționare ventilator introducere aer proaspăt și trepte de funcționare ventilator evacuare aer. Statusul ventilatorului de introducere aer proaspăt poate fi oprit, atunci când valoarea nivelului de CO2 măsurată de senzorul de CO2 se încadrează în plaja 350 ppm-1000 ppm definită în controller sau pornit, atunci când nivelul de CO2 din încăpere, înregistrat de senzor este mai mare decât nivelul de CO2 definit în controler. Atunci când există diferențe între nivelul de CO2 predefinit și cel măsurat, ventilatorul de introducere va avea trei trepte de funcționare, pentru a atinge parametrul de calitate aer predefinit în controler.

Statusul ventilatorului de evacuare aer poate fi oprit, atunci când valoarea nivelului de CO2 măsurată de senzorul de CO2 se încadrează în plaja 350 ppm-1000 ppm definită în controler sau pornit, atunci când nivelul de CO2 din încăpere, înregistrat de senzor este mai mare decât nivelul de CO2 definit în controler. Atunci când există diferențe între nivelul de CO2 predefinit și cel măsurat, ventilatorul de evacuare va avea trei trepte de funcționare, pentru a atinge parametrul de calitate aer predefinit în controler. Ventilatorul de evacuare aer va funcționa în stransă legătură cu ventilatorul de introducere aer proaspăt. Astfel, atunci când se va înregistra depășirea nivelului de CO2 admis, va porni ventilatorul de evacuare aer urmând ca mai apoi să pornească ventilatorul de introducere, pentru aportul de aer proaspăt.

Utilizarea logicii fuzzy în modelarea numerică a unui controler inteligent de menținere a nivelului de CO2 în clădiri

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire: trepte de funcționare ventilator introducere sunt prezentate în Tabelul4 și în Fig.6 iar funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire: trepte de funcționare ventilator evacuare sunt prezentate în Tabelul5 și în Fig.6.

Tabelul 4

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire trepte funcționare ventilator introducere

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Oprit	0%-10%
Treapta 1 de funcționare	5%-35%
Treapta 2 de funcționare	30%-70%
Treapta 3 de funcționare	60%-100%

Tabelul 5

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire trepte funcționare ventilator evacuare

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Oprit	0%-10%
Treapta 1 de funcționare	5%-35%
Treapta 2 de funcționare	30%-70%
Treapta 3 de funcționare	60%-100%

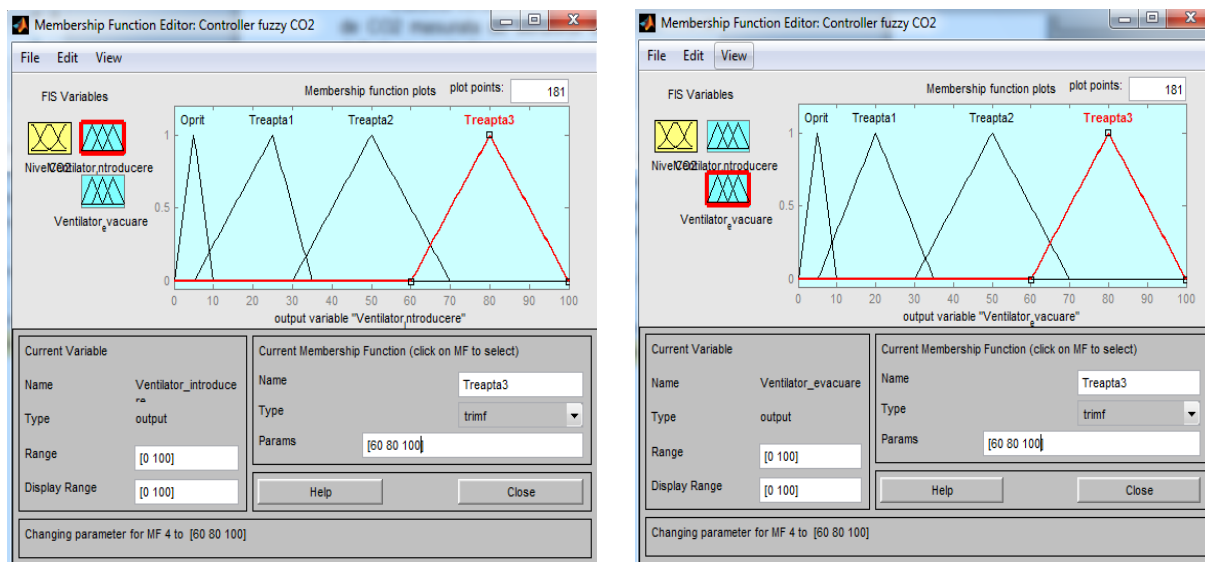


Fig. 6. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire trepte funcționare ventilator introducere și evacuare aer

3.2. Baza de reguli a controlerului fuzzy de calitate aer

Comportamentul dinamic al controlerului fuzzy este caracterizat de o serie de reguli lingvistice de tipul “DACĂ-ATUNCI”. Aceste reguli descriu relația dintre mărimile de intrare și ieșirile controlerului fuzzy, cu ajutorul bazei de cunoștințe. Aceste reguli lingvistice funcționează după principiul DACĂ o serie de condiții sunt satisfăcute, ATUNCI se va deduce un set de consecințe.

Pentru controlerul fuzzy de calitate aer s-au definit 12 reguli de tipul “DACĂ-ATUNCI” iar afișarea desfășurată se găsește în Tabelul6 și cea schematică a acestora este prezentată în Fig.7.

Tabelul 6

Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de calitate aer

Nr. Crt.	Nivel CO2	Praguri umiditate	Treapta funcționare ventilator introducere	Treapta funcționare ventilator evacuare
1	Calitate aer în parametrii	Uscat	OPRIT	OPRIT
2	Aer aproape viciat	Uscat	Treapta 1	Treapta 1
3	Aer viciat	Uscat	Treapta 2	Treapta 2
4	Aer foarte viciat	Uscat	Treapta 3	Treapta 3
5	Calitate aer în parametrii	În parametrii	OPRIT	OPRIT
6	Aer aproape viciat	În parametrii	Treapta 1	Treapta 1
7	Aer viciat	În parametrii	Treapta 2	Treapta 2
8	Aer foarte viciat	În parametrii	Treapta 3	Treapta 3
9	Aer foarte viciat	Umed	OPRIT	Treapta 1
10	Calitate aer în parametrii	Umed	Treapta 1	Treapta 2
11	Aer aproape viciat	Umed	Treapta 3	Treapta 3
12	Aer viciat	Umed	Treapta 3	Treapta 3

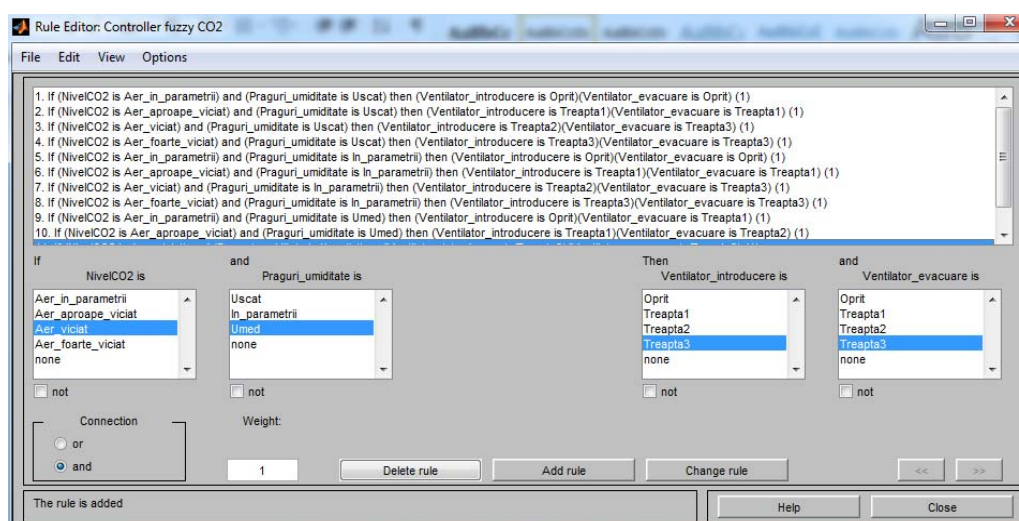


Fig. 7. Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de calitate aer

3.2. Etapa de defuzificare pentru controlerul fuzzy de calitate aer

Cea din urmă etapă în modelarea controlerului este dată de procesul de defuzificare, proces în care se realizează transformarea unei cantități fuzzy într-o cantitate precisă. Cea mai rapidă metodă de defuzificare, care este folosită și în cazul controlerului de calitate aer este metoda centrului sumelor. Expresia matematică a acestei reguli de defuzificare este descrisă în ecuația (3). Avantajul acestei metode este acela că suprafețele de intersecție se adună de două ori.

$$x_{final} = \frac{\sum C_o Z[i] \times zona[i]}{\sum zona[i]}$$

unde:

CoZ – centrul zonei funcției de apartenență;

zona – zona funcției de apartenență.

(3)

În cazul controlerului de calitate aer fuzzy vor rezulta două variabile de ieșire în urma procesului de defuzificare ce vor controla ventilatorul de introducere aer proaspăt ventilatorul și ventilatorul de evacuare aer viciat.

Conform procesului descris mai sus se determină valorile crisp pentru variabilele de ieșire. Valorile simulate în Matlab sunt prezentate în Fig.8. Se observă că valorile rezultate în procesul de defuzificare sunt corecte în raport cu modelul proiectat. Corectitudinea rezultatelor arată validarea controlerului fuzzy.

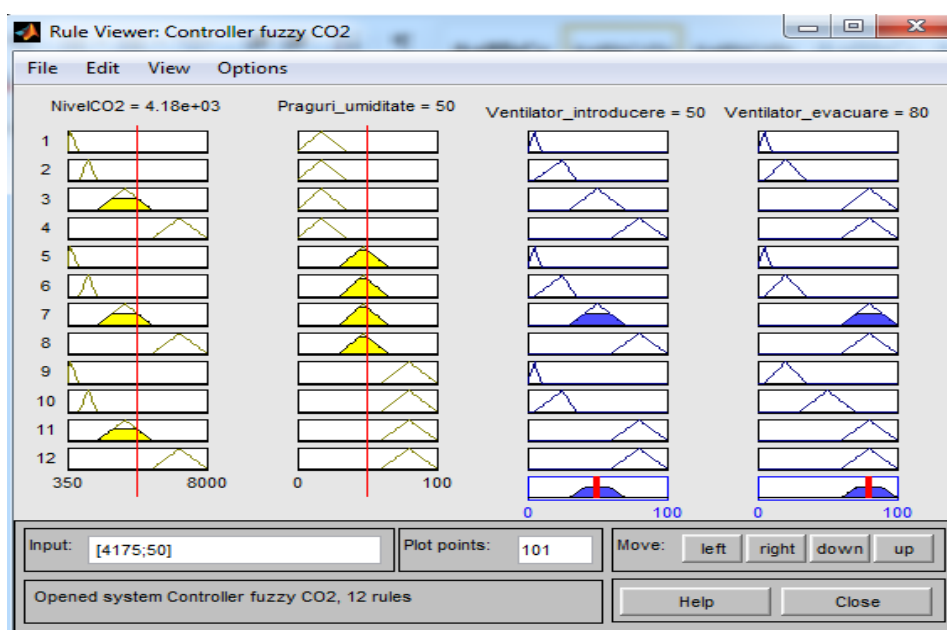


Fig. 8. Valori simulate în Matlab pentru controlerul fuzzy de calitate aer

4. Simularea și validarea controlerului de calitate aer

Simularea controlerului proiectat s-a făcut pentru întreaga plajă a variabilelor de intrare: Umiditate relativă curentă (0 – 100%) și nivel dioxid de carbon (350ppm – 8000 ppm). În cazul modelului proiectat, ieșirile pentru comanda ventilatorului de introducere aer proaspăt și ventilatorul de evacuare aer viciat depind de nivelul de CO₂ măsurat și de pragurile de umiditate relativă predefinite.

În Fig.9. și Fig.10. sunt prezentate rezultatele simulării, în format 3D pentru controlerul fuzzy de calitate aer. În Fig.9. este prezentat modul de funcționare al ventilatorului de introducere aer proaspăt în funcție de valorile de intrare nivel CO₂ și praguri de umiditate relativă iar în Fig.10. este prezentat modul de funcționare al ventilatorului de evacuare aer viciat, în funcție de aceași parametri menționați anterior.

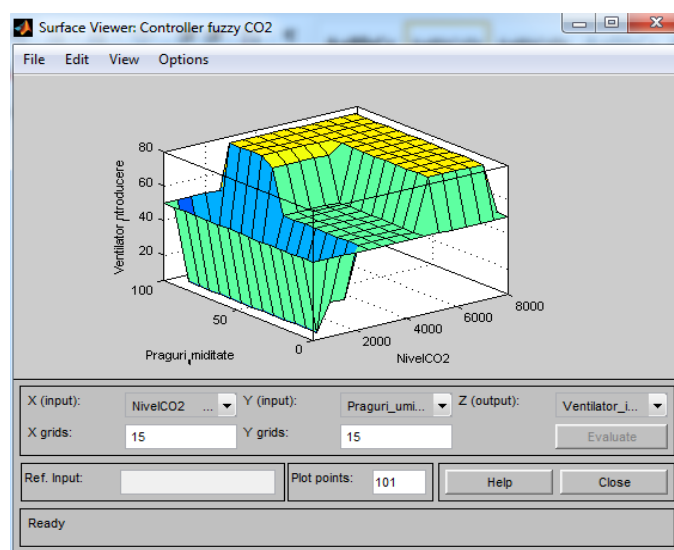


Fig. 9. Reprezentare 3D a nivel CO₂ și a ventilatorului de introducere

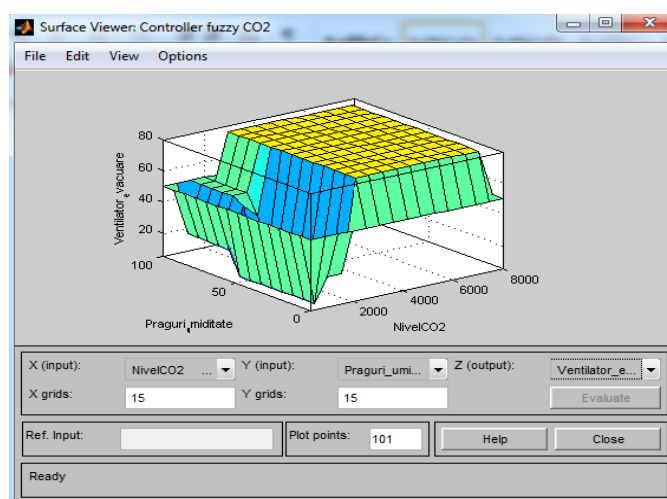


Fig. 10. Reprezentare 3D a nivel CO₂ și a ventilatorului de evacuare

6. Concluzii

În cazul sistemelor de ventilație a aerului dintr-o încăpere, cu ajutorul logicii fuzzy s-au rezolvat probleme complexe, nefiind nevoie ca variabilele fizice a fi discutate și modelate din punct de vedere analitic. Cunoștințe minime despre variabilele de intrare și variabilele de ieșire au fost suficiente pentru a proiecta un controler cu performanțe optime.

Pe cuprinsul acestei lucrări, a fost prezentat un nou tip de control în ce privește gestionarea calității aerului din clădiri, mai exact menținerea nivelului de dioxid de carbon în parametrii de confort, control bazat pe concepte ale inteligenței artificiale, mai exact noțiuni de logică fuzzy.

Rezultatele simulate prezentate au confirmat capacitatea noului tip de control în a gestiona problema ventilației pentru orice tip de spațiu deservit. În urma folosirii controlului fuzzy, rezultă economii de energie și durată de viață mai lungă a echipamentelor acționate.

Cercetările viitoare în ce privește controlerele ce au la bază logica fuzzy, în special controlerele dedicate aplicațiilor de calitate aer, se referă la extinderea și adăugarea mai multor variabile de intrare cum ar fi gradul de ocuparea a spațiului deservit, senzori care să detecteze prezența anumitor mirosuri sau senzori pentru detectarea altor tipuri de gaze.

Referințe

- [1] ASHRAE Standard 62.1, SI edition, GA, 2016.
- [2] *B. Baiche, B. Walliman*, Architect's Data, Blackwell science, UK, 2000.
- [3] *A. Rafeal, C. Jorge, C. Oscar*, Fuzzy Control of HVAC Systems Optimized by Genetic Algorithms, Applied Intelligence Journal 18 No. 2, 155-177, 2003.
- [4] *Z. Huagung, L. Cai*, Decentralized Nonlinear Adaptive Control of an HVAC System, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C 32 No. 4, 493 – 498, 2002.
- [5] *S. Caluianu*, Inteligența artificială în instalații, Editura Matrix ROM, București, 2000.