

BULETINUL ȘTIINȚIFIC

AL

**UNIVERSITĂȚII TEHNICE
DE CONSTRUCȚII
BUCUREȘTI**

SERIE NOUĂ

Nr.3-4/2017

Disclaimer

With respect to documents available from this journal neither U.T.C.B. nor any of its employees make any warranty, express or implied, or assume any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed.

Reference herein to any specific commercial products, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the U.T.C.B.

The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of U.T.C.B., and shall not be used for advertising or product endorsement purposes

.....

Cu privire la documentele prezente în acest buletin, nici U.T.C.B. și niciunul din angajații săi nu garantează, explicit sau implicit, și nici nu își asumă vreo obligație legală sau responsabilitate pentru corectitudinea, caracterul complet sau utilitatea oricăror informații, aparate, produse sau procese prezentate.

Orice referință care se face în documentul de față la produse comerciale, procese sau servicii, folosindu-se numele de marcă, numele producătorului sau altele de același tip nu constituie în mod necesar o susținere, recomandare sau favorizare a acestora de către U.T.C.B.

Părerile și opiniile autorilor, exprimate în documentul de față, nu reflectă în mod necesar părerile și opiniile U.T.C.B. și ele nu vor fi folosite pentru a face reclamă sau pentru a susține vreun produs

CUPRINS

**MODELAREA NUMERICĂ A UNUI CONTROLER DE CONFORT AL
OCUPANȚILOR DIN CLĂDIRI UTILIZÂND CONCEPTELE LOGICII FUZZY 5**

Florin-Adrian Hebean, Sorin Caluianu

**DEFORMAȚIILE PERMANENTE LA MIXTURI ASFALTICE, DATORATE
TEMPERATURILOR SEZONIERE RIDICATE 16**

Mirza Isam, Mihai Dicu

MODELAREA NUMERICĂ A UNUI CONTROLER DE CONFORT AL OCUPANȚILOR DIN CLĂDIRI UTILIZÂND CONCEPTELE LOGICII FUZZY

THE NUMERICAL MODELLING OF A BUILDINGS OCUPANTS COMFORT CONTROLLER USING THE FUZZY LOGIC CONCEPTS

FLORIN-ADRIAN HEBEAN¹ SORIN CALUIANU²

Rezumat: *Lucrarea își propune modelarea numerică a unui controler care să asigure confortul ocupanților din clădiri prin menținerea parametrilor de temperatură și umiditate relativă, folosind principiile și noțiunile logicii fuzzy. Ca și valori de intrare, controlerul va prelua informații de la senzorii de temperatură și umiditate relativă aferenți spațiului deservit și va comanda sistemele de climatizare astfel încât temperatura definită de ocupanți să fie menținută iar umiditatea relativă din încăperea să fie în parametrii de confort. Nivelul de confort pentru parametrul umiditate relativă va fi predefinit în controler și va fi gestionat automat de către acesta, pentru temperaturi cuprinse în plaja de funcționare de 15°C - 29°C. Controlerul are două componente de bază și anume, componenta software și componenta hardware. Componenta software este reprezentată de controlerul fuzzy logic ce are ca și elemente principale baza de cunoștințe formată din "baza de reguli", "ieșire funcții de apartenență" și "intrare funcții de apartenență", modulul de fuzificare, motorul de inferență (raționament fuzzy) și modulul de defuzificare. Componenta hardware a controlerului este formată din interfețele de intrări ce preiau semnalele analogice furnizate de senzorii de temperatură și umiditate relativă și le transmit modulului de fuzificare și interfețele de ieșiri ce transmit valorile rezultate în urma procesului de defuzificare către echipamentele de acționare.*

Cuvinte cheie: confort termic, logică fuzzy, controler inteligent, inteligență artificială

Abstract: *The article proposes the numerical modelling of a controller which need to assure the buildings occupants comfort, by maintaining the temperature and relative humidity parameters, using the principles and concepts of fuzzy logic. As input values, the controller will receive information from deserved space's temperature and relative humidity sensor and will command the climatisation systems for riching the temperature Setpoint and maintaining the relative humidity value into comfort parameters. The confort level for relative humidity parameter will be predefined into the controller and will be managed automatically for the values of temperature between 15°C and 29°C. The controller has two basic components, namely the software component and the hardware component. The software component is represented by the fuzzy logic controller that has as main elements the knowledge base consisting of the "rule base", „membership function output" and „membership function output", the fuzzification module, the inference engine and the defuzzification module. The hardware component of the controller consists in input interfaces that receive the analog signals provided by the temperature and relative humidity sensors and transmit them to the fuzzyfication module and the output interfaces that transmit the values resulting from the defuzzification process to the actioning equipment.*

Keywords: thermal comfort, fuzzy logic, intelligent controller, artificial intelligence

1 Drd. ing. Universitatea Tehnică de Construcții București (PhD Student, Eng., Technical University of Civil Engineering Bucharest), Facultatea de Inginerie a Instalațiilor (Faculty of Building Services), e-mail: hebeanflorin@gmail.com

2 Prof. univ. dr. ing. Universitatea Tehnică de Construcții București (Professor PhD, Technical University of Civil Engineering Bucharest), Facultatea de Inginerie a Instalațiilor (Faculty of Building Services), e-mail: s_caluianu@yahoo.com

Referent de specialitate: Conf. univ. dr. ing. Daniel POPESCU, Universitatea Tehnică de Construcții București (Conf. PhD, Technical University of Civil Engineering Bucharest)

1. Introducere

Conducerea automată a proceselor a apărut odată cu folosirea computerelor în cadrul acestor procese, conducerea unui process constând în reglare, comandă asupra procesului în monitorizarea acestuia[1]. Inteligența artificială a apărut și s-a conturat și odată cu apariția calculatoarelor, ca un subdomeniu specific al informaticii. O definiție comună a inteligenței artificiale ce a fost adoptată de cercetatori este cea a lui John McCarthy din anul 1955: “o mașină care se comportă într-un mod care ar putea fi considerat inteligent, dacă ar fi vorba de un om”. Dezvoltând acest subiect, inteligența artificială vizează studiul și designul agenților inteligenți, sisteme care percep mediul înconjurător și maximizează șansele propriului succes prin comportament[2].

Cea mai des întâlnită caracteristică a inteligenței artificiale constă în faptul că sistemul în cauză are capacitatea de a învăța, atât cu ajutor cât și fără, scopul fiind îmbunătățirea permanentă. Una dintre principalele ramuri ale inteligenței artificiale este logica fuzzy. Ca și diferență de logica tradițională booleană (binară) care funcționează după două valori 0 sau 1, “adevărat” sau “fals”, logica fuzzy ia în considerare o plajă de situații infinită, cuprinsă între 0 și 1. Logica fuzzy copiază logica umană și introduce conceptul de parțialitate, noțiunea de adevăr putând varia de la “complet adevărat” până la “complet fals”, diferind de principiile logicii binare, unde noțiunile de “adevărat” și “fals” sunt fixe. Principalul obiectiv al utilizării sistemelor și logicii fuzzy este de a implementa gândirea și logica umană computerelor, de a face calculatorul să gândească ca și oamenii. În ziua de azi, o serie de tehnologii din domeniul controlului diferitelor procese sunt mai benefice și mai performante, ca urmare a folosirii logicii fuzzy. Utilizând sistemele și logica fuzzy, pot fi gestionate și controlate diferite concepte subiective ce țin de confortul fiecărui individ în parte ca și rece/cald sau mic/mare.

Un domeniu de interes în care inteligența artificială este aplicată în ultimii ani este cel al clădirilor. Motivele ce au stat la baza folosirii tehnicilor inteligenței artificiale în acest domeniu sunt legate în primul rând de confortul ocupanților și de reducerea consumurilor de energie.

În ce privește controlul aerului condiționat (AC), prima companie care a introdus controlul fuzzy a fost Mitsubishi, în anul 1992. Astfel, s-a făcut trecerea de la controlul on-off, în care, pornirea și oprirea unității se făcea la atingerea sau depășirea anumitor praguri fixe de temperatură, definite de utilizatori cu ajutorul termostatelor, la un control de tip “mai puțin – mai mult”. Spre exemplu primul controler fuzzy dezvoltat de Mitsubishi pentru aparatele de aer condiționat folosea principiul: dacă aerul se încălzește, crește puțin puterea de răcire; dacă aerul se răcește, oprește moderat puterea de răcire. Acest mod de control duce la o uzură mai redusă a echipamentului de aer condiționat, un confort îmbunătățit de temperatură în spațiul deservit și creșterea eficienței energetice (economii de energie).

Odată cu apariția sistemelor de aer condiționat de tip inverter, controlerile fuzzy au fost aplicate și pentru acest timp de aparate de climatizare. Compania Daikin folosește controlul fuzzy pentru a calcula variația diferenței dintre temperatura aerului de retur și temperatura setată, pentru controlul capacității aerului și a frecvenței inverterului. Astfel, controlerul fuzzy menține temperatura definită de utilizator, prin modificarea vitezei compresorului, asigurând un mediu confortabil.

Lucrarea este structurată în cinci capitole și își propune proiectarea și modelarea unui controler care să asigure confortul ocupanților din clădiri prin menținerea parametrilor de temperatură și umiditate relativă, folosind conceptele inteligenței artificiale, mai precis noțiunile logicii 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 confort, lucrarea încheindu-se cu capitolul 5 ce cuprinde concluziile și direcțiile viitoare de cercetare în domeniu.

2. Caracteristicile controlerului fuzzy de confort

2.1. Procesul condus de către controler

Modelul de bază al structurii propuse constă într-un controler de confort ce urmează să controleze parametrii de temperatură și umiditate relativă aferenți spațiului deservit, folosind principiile și noțiunile logicii fuzzy. Ca și valori de intrare, controlerul va prelua informații de la senzorii de temperatură și umiditate relativă instalați în spațiul deservit iar instalația ce urmează a fi condusă pentru a îndeplini parametrii de confort va realiza funcția de încălzire, funcția de răcire, funcția de umidificare respectiv funcția de dezumidificare. Pentru controlul temperaturii din încăpere, controlerul fuzzy va comanda actuatorii de răcire și actuatorii de încălzire, în funcție de setpointul definit de utilizator. Controlul umidității se va face în mod automat în funcție de pragurile predefinite, folosindu-se un umidificator pentru umidificarea aerului și un ventilator de evacuare pentru dezumidificare.

2.2. Structura controlerului

Controlerul folosit pentru conducerea sistemului descris anterior are două componente de bază și anume, componenta software și componenta hardware. Componenta software este reprezentată de controlerul fuzzy logic ce are ca și elemente principale baza de cunoștințe formată din “baza de reguli”, “iesire funcții de apartenență” și “intrare funcții de apartenență”, modulul de fuzificare, motorul de inferență (raționament fuzzy) și modulul de defuzificare. Baza de cunoștințe servește pentru a stoca elementele faptice pe care, în mod normal le folosesc experții umani. Modulul de fuzificare transformă valorile clare în valori lingvistice, valori ce vor fi folosite de modulul de inferență. Aplicarea variabilelor de intrare la funcțiile de apartenență se face în procesul de fuzificare, astfel încât se va stabili gradul de adevăr. Motorul de inferență are rolul de a calcula valorile de adevăr, acestea stând la baza regulilor ce vor fi activate din baza de cunoștințe. Modulul de defuzificare 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 temperatură și umiditate relativă și transmite aceste valori modului de fuzificare. Interfața de ieșiri transmite valorile rezultate în urma procesului de defuzificare, către actuatorii de încălzire și răcire (pentru realizarea confortului termic) și către umidificator și către ventilatorul evacuare aer. Structura controlerului de confort este prezentată în Fig. 1.

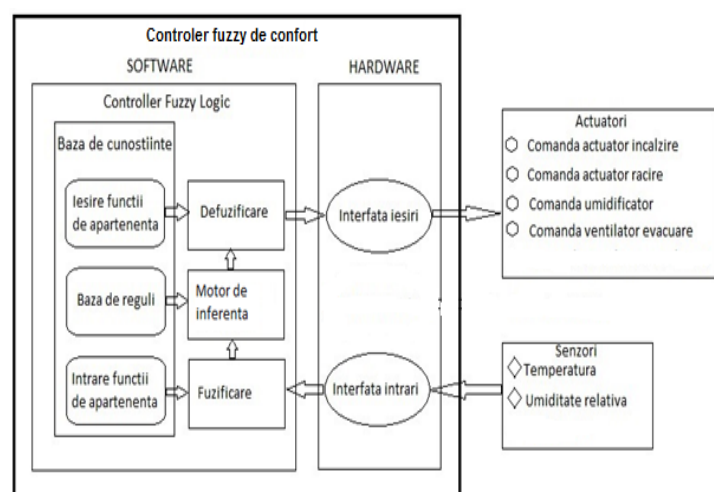


Fig. 1. Structura controlerului de confort

2.3. Modelul desfășurat și plajele de funcționare ale controlerului de confort

Controlerul va fi proiectat pentru a opera în intervalul de temperatură 5°C-42°C iar ca temperatură definită de utilizator, va funcționa pentru valori cuprinse între 15°C și 29°C. Nivelul de confort pentru parametrul umiditate relativă va fi predefinit în controler și vor fi gestionate automat de către acesta, pentru temperaturi cuprinse în plaja de funcționare de 15°C - 29°C. Controlerul va avea ca scop totodată menținerea indicelui de temperatură și umiditate (ITU) în pragurile de confort, valori ce trebuie să fie mai mici de 65. Ecuația indicelui ITU, unul dintre cele mai utilizate modele matematice în definirea conceptului de confort este prezentată în ecuația (1).

$$ITU = (T \times 1,8 + 32) - (0,55 - 0,0055 \times U) \times (T \times 1,8 + 32) - 58$$

unde:

T – temperatura în grade Celsius;

U – umiditatea relativă în procente.

(1)

Modelul desfășurat al controlerului fuzzy de confort este prezentat în Fig.2. Modelul a fost realizat în Matlab, cu ajutorul toolbox-ului fuzzy.

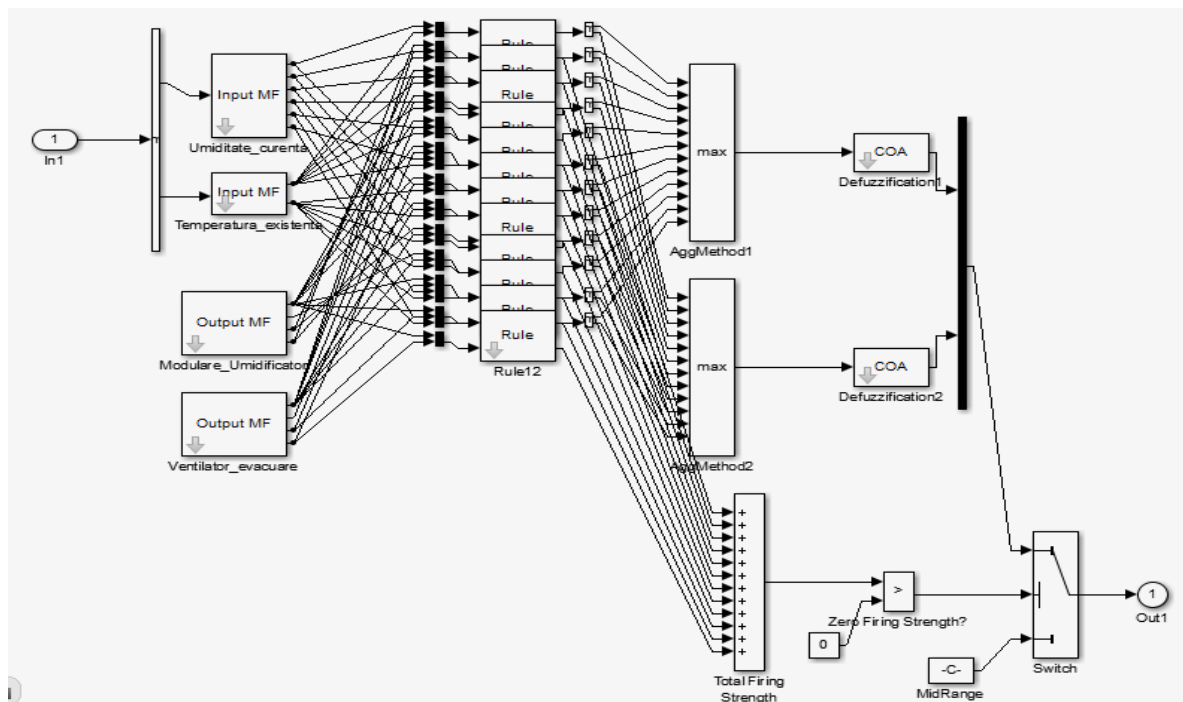


Fig. 2. Modelul desfășurat al controlerului fuzzy de confort

3. Modelarea controlerului fuzzy de confort

3.1. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru controlul temperaturii

Variabilele de intrare sunt reprezentate de valorile transmise interfeței de intrări a controlerului, de către senzorul de temperatură montat în spațiul deservit și de către valorile cerute de utilizator. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare: Temperatură curentă, sunt prezentate în Tabelul 1.

**Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare
Temperatură curentă**

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Foarte rece	5°C-14°C
Rece	13°C-18°C
Normal	17°C-23°C
Călduț	22°C-27°C
Cald	26°C-32°C
Foarte cald	31°C-38°C
Fierbinte	37°C-42°C

A doua variabila de intrare pentru controlerul fuzzy de temperatură este reprezentată de abaterea de la temperatura definită de utilizator. Mai precis, abaterea de la temperatura definită este rezultatul diferenței dintre temperatura definită de utilizator și temperatura reală măsurată de senzorul montat în încăpere. Pentru controlerul proiectat, valoarea acestei variabile de intrare va avea ca și limita inferioară -27°C (15°C, valoarea minimă pentru setpoint pentru care funcționează controlerul minus 42°C, valoarea maximă pentru temperatura curentă, pe care o poate înregistra senzorul de temperatură), iar ca și limită superioară, abaterea de la temperatura definită va lua valoarea de 24°C (29°C, valoarea maximă pentru setpoint pentru care funcționează controlerul minus 5°C, valoarea minimă pentru temperatura curentă, pe care o poate înregistra senzorul de temperatură).

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare: Abaterea de la temperatura definită de utilizator, sunt prezentate în Tabelul2.

Tabelul 2

**Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare
Abatere de la temperatura curentă**

Funcții de apartenență	Plaje de valori
MMR – mai mult rece	-27°C până la -18°C
MR – mai rece	-19°C până la -11°C
PR – puțin mai rece	-12°C până la -7°C
P - plăcut	-8°C până la 0°C
PC – prea cald	-2°C până la 3°C
FC – foarte cald	2°C până la 11°C
MMC – mult prea cald	10°C până la 24°C

Variabilele de ieșire sunt reprezentate de valorile transmise de către controler interfeței de ieșiri, iar mai departe actuatorilor de încălzire și răcire, pentru îndeplinirea funcției de confort termic.

Pentru controlerul fuzzy de temperatură sunt definite două variabile de ieșire și anume: Trepte de funcționare ventilator încălzire și trepte de funcționare ventilator răcire. Statusul actuatorului de încălzire poate fi oprit, atunci când valoarea temperaturii definite de utilizator este egală cu valoarea temperaturii măsurate de senzorul de temperatură sau pornit, atunci când temperatura din încăpere, înregistrată de senzor este mai mică decât temperatura definită de utilizator. Atunci când există diferențe între temperatura setată și cea măsurată, actuatorul va funcționa conform celor trei trepte definite în concordanță cu diferența de temperatură dintre setpoint și valoarea măsurată.

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare Trepte de funcționare Actuator încălzire, sunt prezentate în Fig.3.

În ce privește actuatorul de răcire, statusul acestuia va fi oprit atunci când temperatura măsurată este egală cu temperatura definită de utilizator și pornit atunci când temperatura măsurată de senzorul de temperatură este mai mare decât temperatura definită. Atunci când există diferențe între temperatura setată și cea măsurată, actuatorul va funcționa conform celor patru trepte trepte definite în concordanță cu diferența de temperatură dintre setpoint și valoarea măsurată.

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire Trepte de funcționare Actuator răcire sunt prezentate în Fig.3.

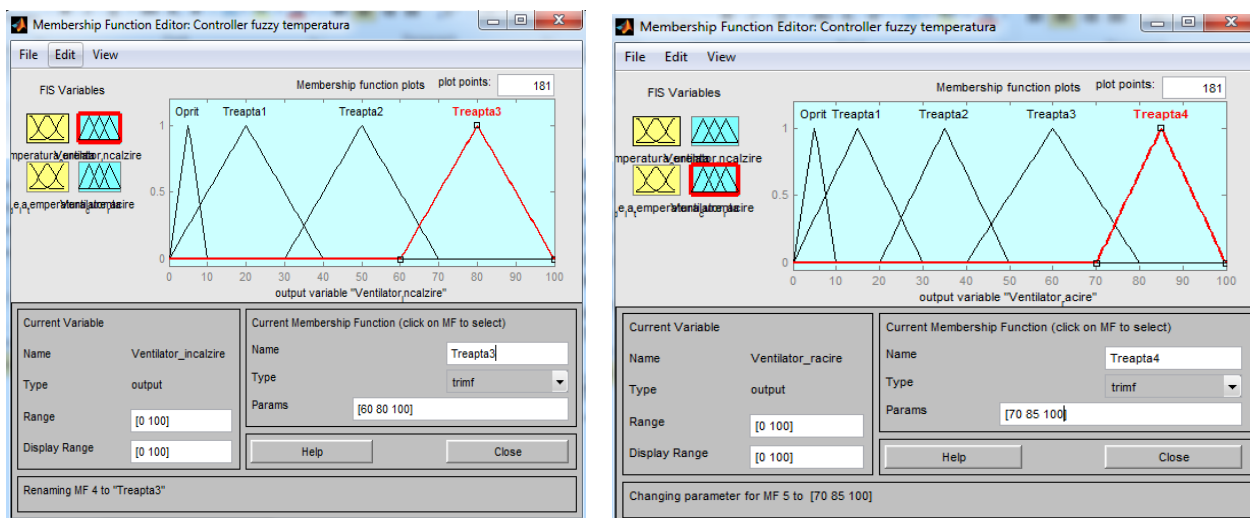


Fig.3. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire Trepte de funcționare Actuator încălzire și Actuator răcire

3.2. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru controlul umidității relative

În ceea ce privește controlul umidității relative, ca și variabile de intrare, se definesc umiditatea curentă și temperatura curentă măsurată.

Umiditatea relativă înseamnă raportul dintre cantitatea de vapori existentă supra cantitatea de vapori care ar exista la saturație. Mai precis, umiditatea relativă indică viteza de evaporare a apei de pe un corp. Într-o încăpere, apa se va evapora mai repede cu cât umiditatea relativă este mai mică. Pentru zona în care ne aflăm, umiditatea relativă pentru senzația de confort se situează în plaja de valori 35%-60%. Relația dintre temperatura exterioară și umiditatea relativă care trebuie să existe într-o încăpere, pentru ca senzația de confort să persiste, este prezentată în Tabelul 3.

Tabelul 3

Umiditatea relativă de confort

Temperatura exterioară	Umiditate relativă
15°C	35%
17°C	40%
20°C	43%
22°C	45%
25°C	50%
27°C	54%
30°C	56%

O primă valoare de intrare pentru controlerul fuzzy de umiditate este reprezentată de umiditatea relativă măsurată, de senzorul de umiditate aferent spațiului deservit. Pentru ca senzația de confort, în ce privește parametrul de umiditate relativă să nu fie perturbată de către utilizator, se va folosi un umidificator cu plaje predefinite de umiditate în funcție de temperatura setată, nefiind necesară setarea umidității prin setpoint direct de la ocupanți.

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare: Umiditate curentă, sunt prezentate în Tabelul 4.

Tabelul 4

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare Umiditate curentă

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Uscat	0%-20%
Aproape uscat	20%-40%
Acceptabil – nivel 1	35%-50%
Acceptabil – nivel 2	45%-56%
Aproape umed	55%-75%
Umed	70%-100%

A doua variabilă de intrare a controlerului de umiditate relativă este Temperatura existentă în încăpere. În funcție de temperatura măsurată de senzorul de temperatură. Setpointul de temperatură a fost definit în pașii anteriori ca luând valori între 15°C și 29°C. Pentru valoarea de intrare Temperatura existentă în încăpere, a controlerului de umiditate vom împărți această plajă de valori a setpointului în două clase.

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare: Temperatura existentă în încăpere, sunt prezentate în Tabelul 5.

Tabelul 5

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de intrare Temperatura existentă în încăpere

Funcții de apartenență	Plaje de valori
Clasa 1 de temperatură	14°C-22°C
Clasa 2 de temperatură	21°C-30°C

Variabilele de ieșire sunt reprezentate de valorile transmise de către controler interfeței de ieșiri, iar mai departe actuatorilor ce vor acționa umidificatorul și ventilatorul de evacuare aer pentru menținerea umidității relative de confort.

Pentru controlerul fuzzy de umiditate sunt definite două variabile de ieșire și anume: Nivel de modulare umidificator și trepte de funcționare ventilator evacuare aer. Statusul umidificatorului poate fi oprit, atunci când valoarea umidității relative măsurate de senzorul de umiditate se încadrează în plajele definite în controler și corelate cu temperatura interioară, sau pornit, atunci când umiditatea relativă din încăpere, înregistrată de senzor este mai mică decât umiditatea relativă definită în controler. Atunci când există diferențe între umiditatea relativă predefinită și cea măsurată, umidificatorul va avea trei nivele de modulare, pentru a atinge umiditatea predefinită în controler.

În ceea ce privește variabila de ieșire Trepte de funcționare ventilator evacuare aer, starea ventilatorului de evacuare poate fi oprit, atunci când valoarea umidității relative măsurate de senzorul de umiditate se încadrează în plajele definite în controler și corelate cu temperatura

interioară, sau pornit, atunci când umiditatea relativă din încăperea, înregistrată de senzor este mai mare decât umiditatea relativă definită în controler. Atunci când există diferențe între umiditatea relativă predefinită și cea măsurată, ventilatorul de evacuare aer va funcționa în trei trepte de operare, pentru a atinge umiditatea predefinită în controler.

Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire Nivel modulare umidificator și pentru variabila de ieșire Trepte de funcționare ventilator evacuare aer sunt prezentate în Fig.4.

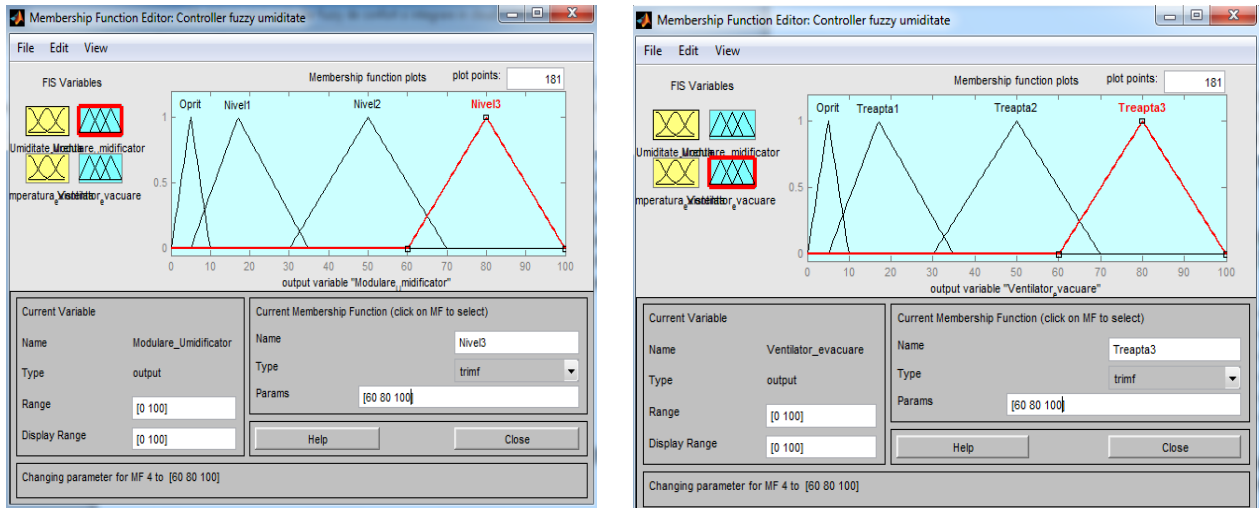


Fig.4. Funcțiile de apartenență și plajele de valori pentru variabila de ieșire Nivel modulare umidificator și pentru variabila de ieșire Trepte de funcționare ventilator evacuare aer

3.3. Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de confort

Baza de reguli este o componentă a bazei de cunoștințe și reprezintă legătura dintre mărimile de intrare și mărimile de ieșire. Regulile de control lingvistice sunt de tipul “DACĂ-ATUNCI” și la fiecare asociere a mărimilor de intrare se va asocia câte o valoare pentru fiecare mărime de ieșire.

3.3.1 Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de temperatură

Pentru controlerul fuzzy de temperatură s-au definit 22 de reguli de tipul “DACĂ-ATUNCI” iar afișarea schematică a acestora este prezentată în Fig.4

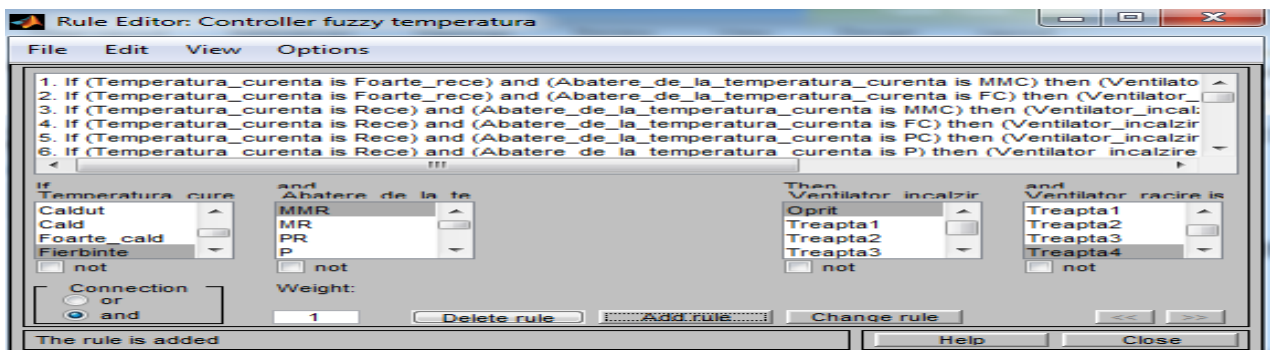


Fig.5 Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de temperatură

3.3.2 Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de umiditate

Pentru controlerul fuzzy de umiditate s-au definit 12 reguli de tipul “DACĂ-ATUNCI” iar afișarea schematică a acestora este prezentată în Fig.6.

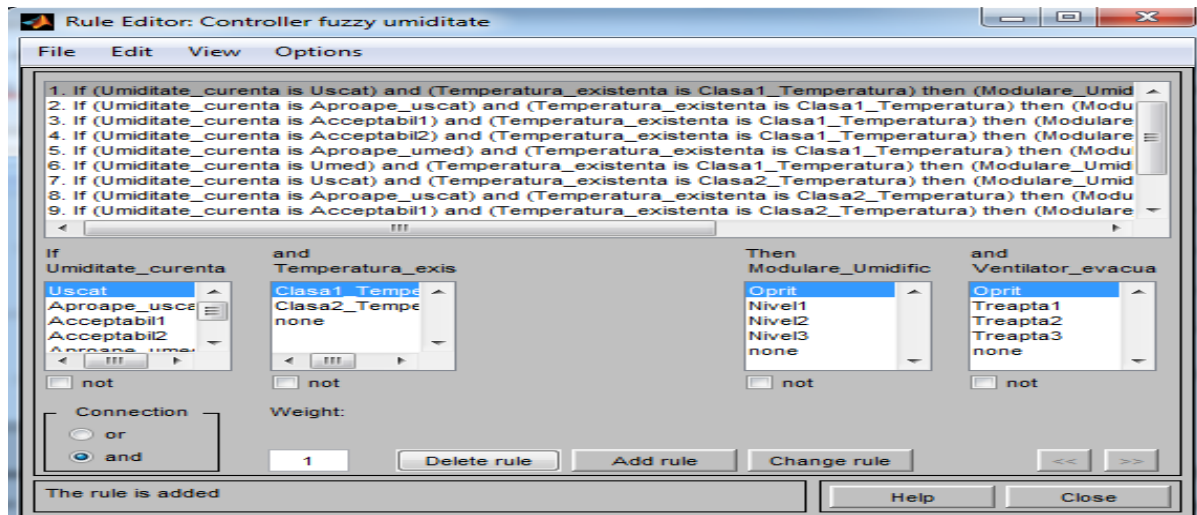


Fig.6 Baza de reguli pentru controlerul fuzzy de umiditate

3.4. Procesul de defuzificare pentru controlerul fuzzy de confort

Ultimul pas în controlul fuzzy logic îl reprezintă procesul de defuzificare, caracterizat ca fiind inversul fuzificării și anume transformarea unei cantități fuzzy într-o cantitate precisă. Ieșirea unui controler fuzzy poate fi reuniunea logică a două sau mai multe funcții de apartenență, ce sunt definite pe universul de discuție al variabilei de ieșire.

Cea mai rapidă metodă de defuzificare, care este folosită și în cazul controlerului de confort este metoda centrului sumelor. Acest procedeu implică suma algebrică a ieșirilor individuale Out0, Out1, Out2 și Out3 respectiv S0, S1, S2 și S3. Expresia matematică a acestei reguli de defuzificare este descrisă în ecuația (2). Avantajul acestei metode este acela că suprafețele de intersecție se adună de două ori.

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

unde:

CoZ – centrul zonei funcției de apartenență;

zona – zona funcției de apartenență.

(2)

În cazul controlerului de confort fuzzy vor rezulta patru variabile de ieșire în urma procesului de defuzificare ce vor controla actuatorul de încălzire, actuatorul de răcire, umidificatorul respectiv ventilatorul de evacuare aer viciat.

4. Simularea și validarea controlerului de confort

Simularea modelului proiectat s-a făcut pentru întreaga plajă a variabilelor de intrare: Temperatura măsurată (5°C- 42°C), Abatere de la temperatura măsurată (-27°C la 24 °C),

umiditate relativă curentă (0 – 100%), și clasa de temperatură (14°C-22°C și 21°C-30°C). În cazul modelului proiectat, pentru controlul temperaturii, treptele actuatorilor de încălzire, respectiv răcire depind de temperatura măsurată iar nivelul de modulare al umidificatorului depinde de umiditatea relativă măsurată și temperatura măsurată.

În Fig.6. sunt prezentate rezultatele simulării, în format 3D pentru controlerul fuzzy de temperatură.

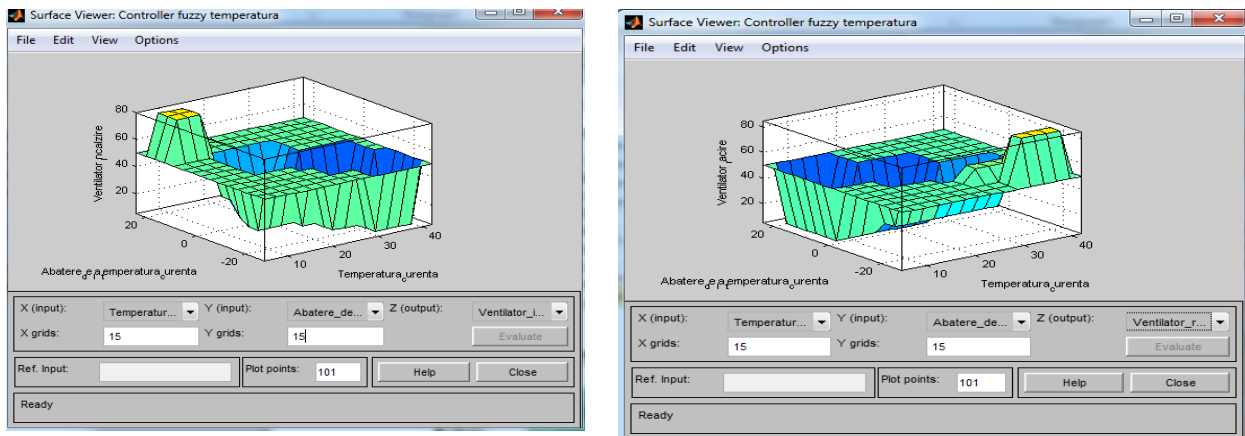


Fig.6 Stânga - Reprezentare 3D a valorilor de intrare temperatura măsurată și abatere de la temperatura măsurată și a actuatorului de incalzire; Dreapta - Reprezentare 3D a valorilor de intrare temperatura măsurată și abatere de la temperatura măsurată și a actuatorului de racire

În Fig.7. sunt prezentate rezultatele simulării, în format 3D pentru controlerul fuzzy de umiditate relativă.

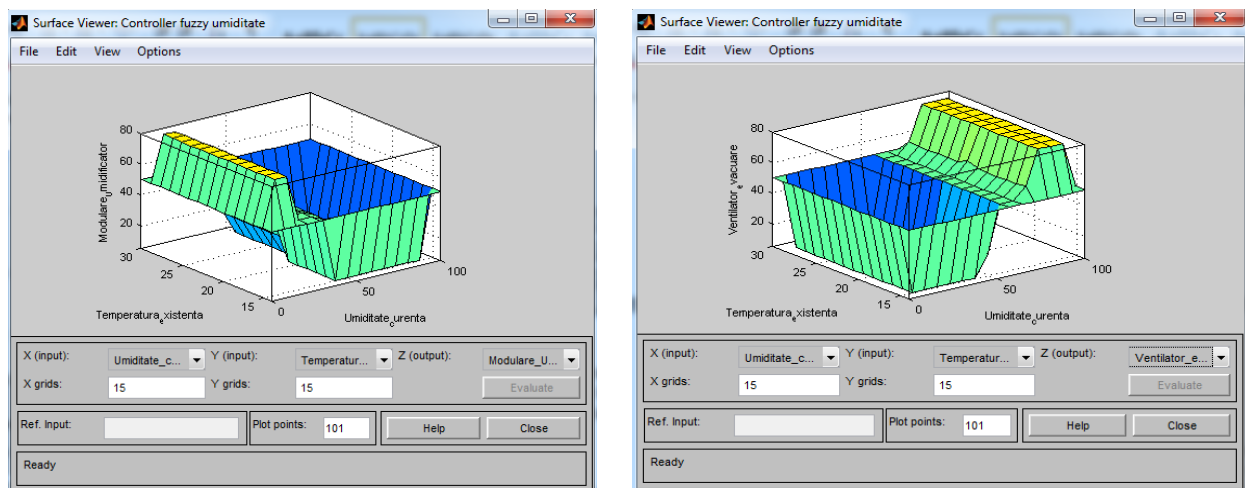


Fig.7 Stânga - Reprezentare 3D a valorilor de intrare umiditatea relativă măsurată și temperatura măsurată și a umidificatorului (funcția de umidificare); Dreapta - Reprezentare 3D a valorilor de intrare umiditatea relativă măsurată și temperatura măsurată și a ventilatorului de evacuare (funcția de dezumidificare)

5. Concluzii

Proiectarea și modelarea controlerului de temperatură și umiditate relativă, denumit și controler fuzzy de confort, folosind conceptele inteligenței artificiale, mai precis noțiunile logicii fuzzy, face sistemul controlat mai eficient.

Analiza scoate în evidență folosirea logicii fuzzy în abordarea cazurilor dificil de studiat analitic, dar ușor de rezolvat intuitiv cu ajutorul variabilelor lingvistice. În cazul sistemelor ce asigură menținerea parametrilor de confort și anume temperatura și umiditatea relativă a aerului dintr-o încăpere, conceptele logicii fuzzy au ajutat la rezolvarea unor probleme complexe, fără a fi nevoie ca variabilele fizice a fi discutate și modelate din punct de vedere analitic. Cunoștințele de bază despre variabilele de intrare și variabilele de ieșire au fost suficiente pentru a proiecta un controler cu performanțe optime.

Cercetările viitoare în ce privește controlerele ce au la bază logica fuzzy, în special controlerele dedicate aplicațiilor de confort, se referă la extinderea și adăugarea mai multor variabile de intrare cum ar fi ocuparea spațiului deservit, senzori de prezență care să facă posibilă indentificarea automată a factorului uman sau ajustarea automată în funcție de temperatura și umiditatea exterioară, pentru diferite momente din zi.

O alta direcție de cercetare o reprezintă implementarea controlerelor de confort pe sisteme ce funcționează în timp real, astfel, o serie de controlere de confort ce au la bază conceptele inteligenței artificiale putând fii implementate încă din fabricație diferitelor tipuri de instalații de climatizare, pentru creșterea performanțelor energetice și creșterea confortului ocupanților clădirilor.

Bibliografie

- [1] C. Ionescu, V. Vladeanu, S. Larionescu, D. Ionescu – Automatizarea instalațiilor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [2] Russell, Stuart J.; Norvig, Peter, *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.)*, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, ISBN 0-13-790395-2, chpt. 2, 2003
- [3] Caluianu Sorin, *Inteligența artificială în instalații*, Editura Matrix ROM, București, 2000
- [4] David P. Shelton, *Air properties: temperature and relative humidity*, University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, 2008
- [5] Shabiul Islam, Shakawat, "Development of a Fuzzy Logic Controller Algorithm for Air-conditioning System", ICSE2006Proc2006 IEEE
- [6] Wafa Batayneh¹, Omar Al-Araidah², Khaled Bataineh¹, *Fuzzy logic approach to provide safe and comfortable indoor environment*, International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 2, No. 7, 2010, pp. 65-72

DEFORMAȚIILE PERMANENTE LA MIXTURI ASFALTICE, DATORATE TEMPERATURILOR SEZONIERE RIDICATE

PERMANENT DEFORMATIONS IN ASPHALTIC MIXTURES, DUE TO HIGH SEASONAL TEMPERATURES

MIRZA ISAM¹, MIHAI DICU²

Rezumat: În cadrul acestui articol va fi prezentată influența temperaturilor ridicate asupra îmbrăcăminților rutiere asfaltice, asupra deformațiilor permanente, ce se dezvoltă în structuri rutiere cu îmbrăcăminți asfaltice.

Fenomenul de deformații permanente este un fenomen important în cazul mixturilor asfaltice. Deformațiile permanente apar datorită încărcărilor repetate din trafic suprapuse cu temperatura ridicată.

În cadrul prezentei lucrări se prezintă o procedură de determinare a rezistenței la deformații permanente (fluaj dinamic) la îmbrăcăminți bituminoase, procedura care s-a efectuat în funcție de variația consistenței bitumului, pentru două tipuri de bitum studiate respectiv 35/50 și 50/70.

Cuvinte cheie: *Mixtură asfaltică, Temperaturi ridicate, Fluaj dinamic, Deformații permanente.*

Abstract: *This paper will present the influence of high temperatures on asphalt pavement, in terms of the influence of these temperatures on permanent deformations, which develops in road structures with asphalt pavement*

The phenomenon of permanent deformations is an important phenomenon in the case of asphalt mixtures. Permanent deformations occur due to repeated loads from overlapping high temperature traffic.

In the present paper there is presented a procedure for determination of the resistance to permanent deformations (dynamic creep) in asphalt pavement, the procedure which was performed according to the bitumen consistency change, for two types of studied bitumen respectively 35/50 and 50/70

Keywords: *Asphalt mixture, High temperatures, Creep dynamic, Permanent deformations.*

1. Introducere

În prezent, datorită climei aflată în continuă încălzire, cea mai importantă problemă care trebuie avută în vedere în analiza comportării mixturilor asfaltice o reprezintă influența temperaturilor ridicate asupra acestora, în condițiile creșterii continue a intensității.

Deoarece la temperaturi ridicate întâlnim fenomenul de producere a deformațiilor permanente manifestate prin apariția degradărilor de tip făgășuire sau fluaj, testele de laborator complexe, destinate simulării fenomenologice prin modelare experimentală, reprezintă un mod de anticipare a comportării straturilor asfaltice de uzură în exploatare, la solicitări de temperatură ridicată din timpul verii.

¹Drd. ing. Universitatea Tehnică de Construcții București (PhD Student, Technical University of Civil Engineering), Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, (Faculty of railways, roads and bridges)
e-mail: isammirza.civil@hotmail.com

²Profesor. dr. ing. Universitatea Tehnică de Construcții București (Professor. dr. eng., Technical University of Civil Engineering), Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri, (Faculty of railways, roads and bridges Faculty of Railways, Roads and Bridges, Romania, e-mail: mdicu5@yahoo.com

Referent de specialitate: Universitatea Tehnică de Construcții București (Conf. PhD, Technical University of Civil Engineering Bucharest)

Condițiile de temperatură la nivel ridicat ale mediului înconjurător din ultima perioadă, la care sunt supuse structurile rutiere cât și fluctuațiile de temperaturi sezoniere cât și zilnice precum și intensitatea radiațiilor solare, condițiile de conductivitate ale suprafețelor carosabile cât și precipitațiile semnificative, dezvoltă un impact asupra stabilității structurale a stratului asfaltic de uzură și influențează negativ durata de viață a structurilor rutiere cu îmbrăcămînți asfaltice aflate în exploatare.[1]

În condițiile analizate, stratul asfaltic de uzură, supus la temperaturi ridicate, suportă frecvent degradări specifice, datorită solicitărilor provenite din traficul rutier. Acestea se manifestă sub formă de fâgășuiri pe urma roților vehiculelor dar și scăderi ale rugozității suprafețelor rutiere prin apariția fenomenului de exudație, care conduc implicit și la scăderea gradului de siguranță rutieră [2].

Fenomenul de fâgășuire (deformații permanente) este un fenomen important prin efectele induse asupra îmbrăcămînților rutiere, în cazul mixturilor asfaltice. Deformațiile permanente apar datorită încărcărilor repetate din trafic suprapuse cu temperatură ridicată, conform figurii 1 [3].

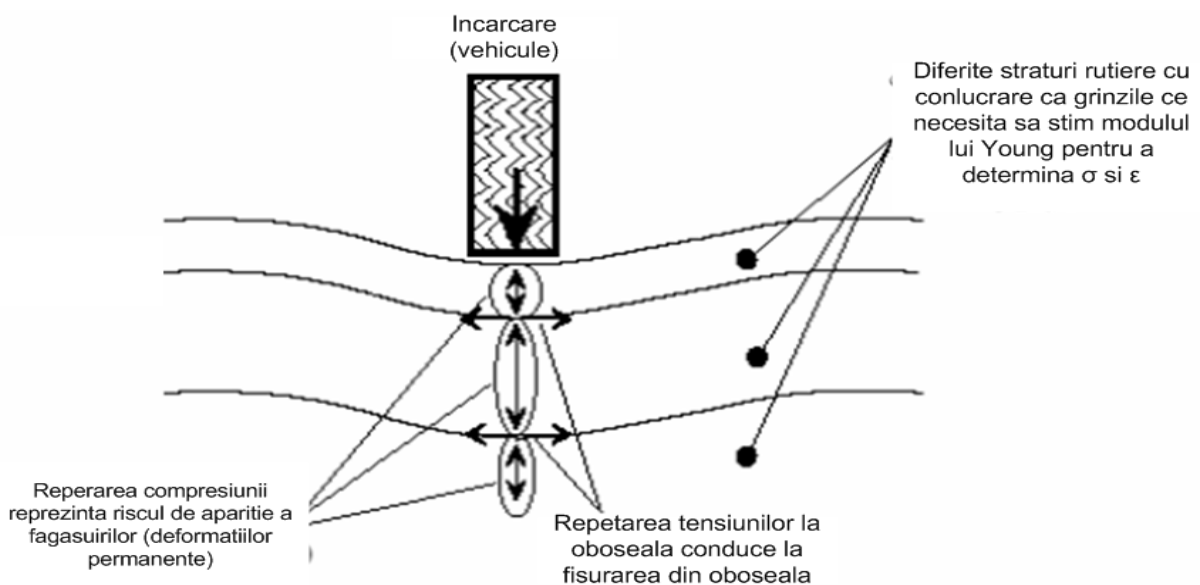


Fig. 1 Stadii de solicitare și deformații într-o structură rutieră flexibilă [3]
(Di Benedetto și alții, 2005)

2. Studiu la nivel internațional

Fenomenul de fluaj poate fi atât static, cât și fluaj ciclic. Sousa și Weissman, în anul 1994, au observat că fluajul static are tendința de a genera blocaje intergranulare în scheletul mixturii asfaltice față de fluajul ciclic care nu permite apariția acestor tipuri de blocaje [4].

În urma trecerii unei încărcări date de un autovehicul, deformația verticală ar trebui să fie recuperată ca în cazul comportării strict elastice a materialului bituminos, dar rămâne o mică deformație permanentă. Creșterea numărului de încărcări din traficul rutier, va produce o creștere a deformației permanente și se vor dezvolta fâgășe.

Linden și Van der Heide (1987) au determinat pe cale experimentală o creștere semnificativă în fenomenul de fâgășuire în Europa în timpul verilor extrem de călduroase din anii 1975 și 1976 [5] și în condițiile creșterii progresive a intensității traficului rutier.

Având în vedere studiile internaționale efectuate în domeniul influenței temperaturii asupra structurilor rutiere și în China, Cao Liping, Sun Lijun, Dong Zejiao (2009) au efectuat un studiu de laborator asupra amestecurilor de agregate pentru a determina deformările permanente prin supunerea rezultatelor epruvetelor încercate la fluaj dinamic la diverse temperaturi (200C, 300C, 400C, 500C, 600C). Observațiile publicate în acest sens, prezintă clar că temperatura este cauza principală care produce cele mai nefavorabile condiții de rezistență ale structurilor rutiere la solicitări ciclice asimilate intensității traficului auto greu. În acest caz, deformările permanente cresc cu aproximativ 170% pentru o creștere a temperaturii de 400C [6].

3. Studiu de laborator

În acest studiu s-au evaluat caracteristicile aferente deformărilor permanente a amestecurilor de agregate (MAS16) prin încercarea la fluaj dinamic efectuată în Laboratorul de Drumuri din cadrul Facultății de Căi Ferate Drumuri și Poduri a Universității Tehnice de Construcții București.

Materialele prezente în compoziția acestor amestecuri de agregate sunt după cum urmează: criblura sort 8-16 provine din cariera Taul Roșu, din Baia Mare, filerul de calcar utilizat este un filer Holcim, de la fabrica Alsed, bitumul utilizat este un bitum rutier de tip D50/70 Italia, un aditiv pentru sporirea adizivității INTERLENE IN 400-S, precum și fibra Viatop 66 de la Ichi Impex SRL.

Rețeta MAS16 este prezentată în tabelul numărul 1, după cum urmează:

Tabelul 1

Rețeta MAS 16 [7] , [9]

Material	Rețeta		Condiții tehnice conform AND 605/2013	Condiții tehnice conform AND 605/2014	Categorie conform SR EN 13108-5
	(%) în mixtura	(%) din agregate			
Criblura 8-16	45.96	49.00	63 ... 75 % (A)	63 ... 75 % (A)	-
Criblura 4-8	22.51	24.00			-
Nisip concasare 0-4	15.01	16.00	Diferența până la 100% (A)	Diferența până la 100% (A)	-
Filer	10.32	11.00	10 ...14 % (A)	10 ...14 % (A)	
Bitum + aditiv	5.90	6.289	min 5.9 % (M)	min 5.9 % (M)	TL _{min5.8}
Fibra	0.30	0.32	-	-	-
Total	100	106.61	-	-	-

Rețeta amestecului de agregate este prezentată în figura de încadrare a curbei amestecului de agregate în domeniul fusului granulometric extrem de restrictiv în cazul amestecurilor de agregate stabilizate MAS 16 (fig. 2).

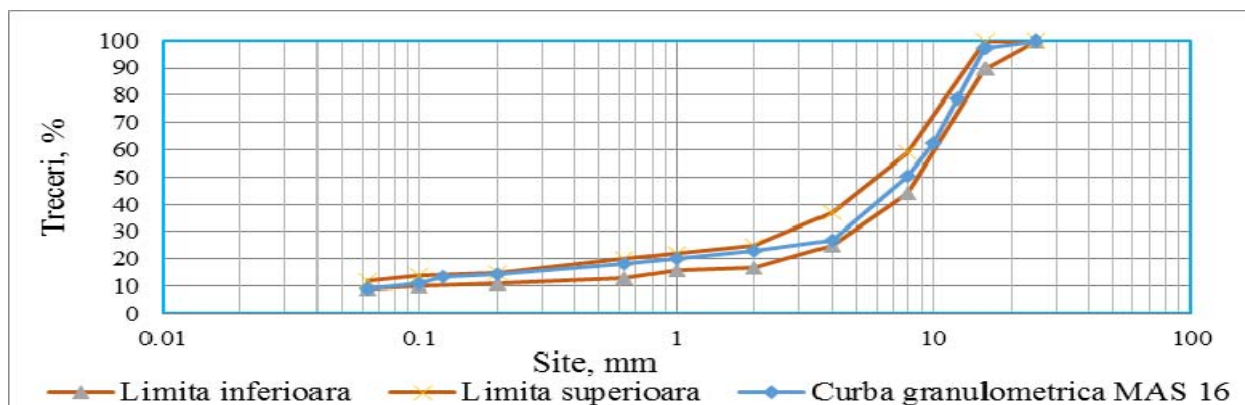


Fig. 2 Încadrarea curbei amestecului de agregate în domeniul granulometric

2.1 Evaluarea fluajului dinamic

Determinarea rezistenței la deformații permanente (fluaj dinamic) s-a efectuat în funcție de variația consistenței bitumului, pentru cele două tipuri de bitum studiate respectiv, unul mai dur de consistență ridicată 35/50 și unul mai moale de consistență medie 50/70

Determinarea variației fenomenului de fluaj dinamic s-a făcut ținând cont de următoarele condiții, asimilate solicitărilor din traficul rutier și variația temperaturilor pozitive sezoniere în creștere:

- temperatura de încercare: 50⁰C, 60⁰C, 70⁰C, asimilată creșterilor de temperatură din timpul verilor călduroase;
- tensiunea verticală aplicată: 250kpa, 300 kPa, asimilată creșterii greutateii pe osia autovehiculului ;
- numărul de pulsuri aplicate: 10000 asimilată intensității traficului rutier;
- presiunea de fretare: 0.8 bar, aferentă rezistenței structurale în stratul de uzură asfaltic;
- perioada de condiționare: 120 sec, asimilată timpului de solicitare a încărcării autovehiculului;
- frecvența încărcării aplicate: 1 sec. încărcare, 1 sec. Descărcare, asimilat traficului rutier

Aceste încercări s-au efectuat la temperaturi diferite, asimilate temperaturii din sezonul călduros al anului, pentru fluajul dinamic, indus în stratul de uzură asfaltic ca parametru al deformației, plecând de la 50⁰C, 60⁰C și ajungând la 70⁰C . Aceleași condiții au fost urmărite și pentru evaluarea modului de fluaj, ca parametru al rezistenței structurale a stratului asfaltic de uzură, apoi s-au determinat efectul parametrilor la fluaj și astfel s-a stabilit variația deformației permanente în funcție de temperatură, ca și variație comportamentală.

Încercarea de fluaj (fig. 3) s-a realizat conform normelor românești în vigoare (SR 12697-25/2008) pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale mixturilor asfaltice [8].



Fig. 3 Echipament de încercare fluaj dinamic

Rezultatele obținute sunt prezentate în figurile 4, 5 și 6.

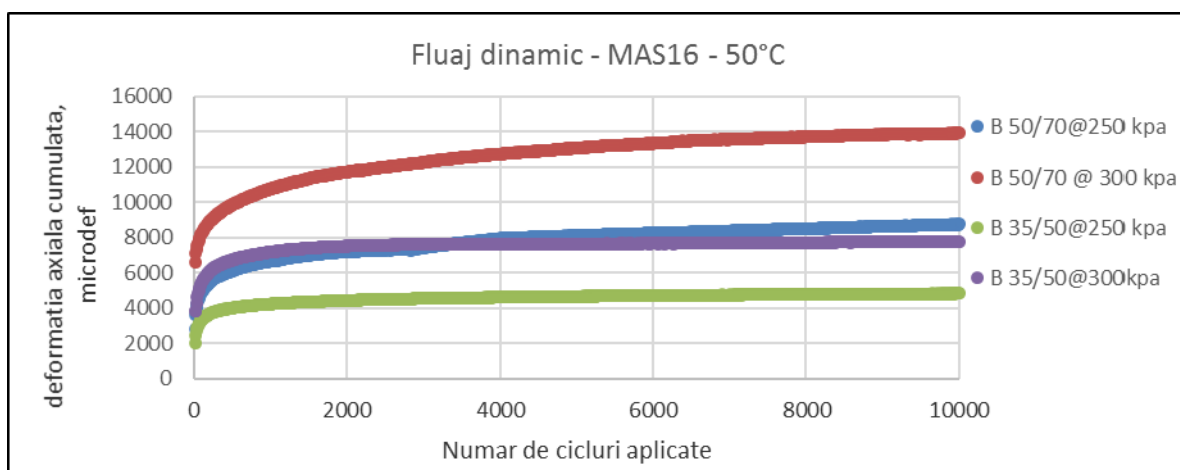


Fig. 4 Curba de fluaj dinamic a mixturii bituminoase MAS16 în funcție de tipul bitumului și încărcare, la temperatura 50°C

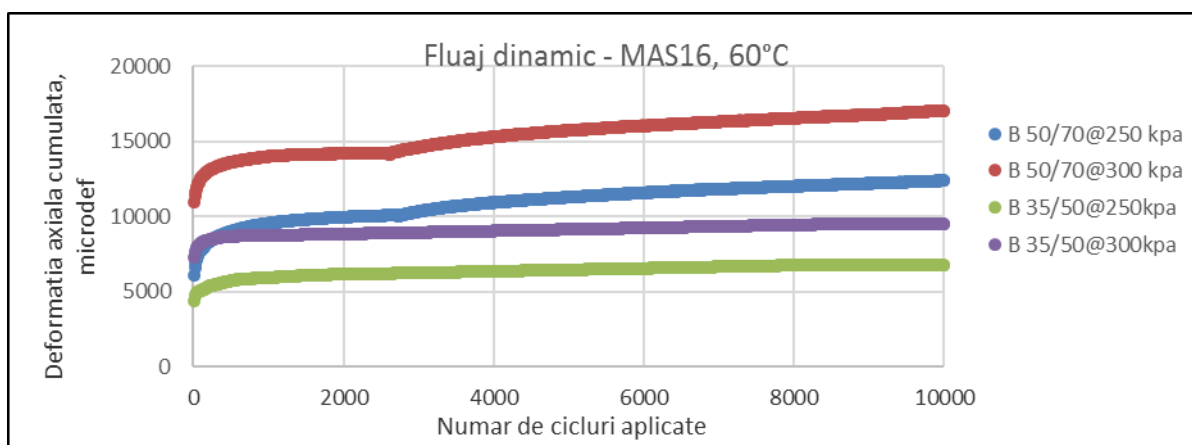


Fig. 5 Curba de fluaj dinamic a mixturii bituminoase MAS16 în funcție de tipul bitumului și încărcare, la temperatura 60°C

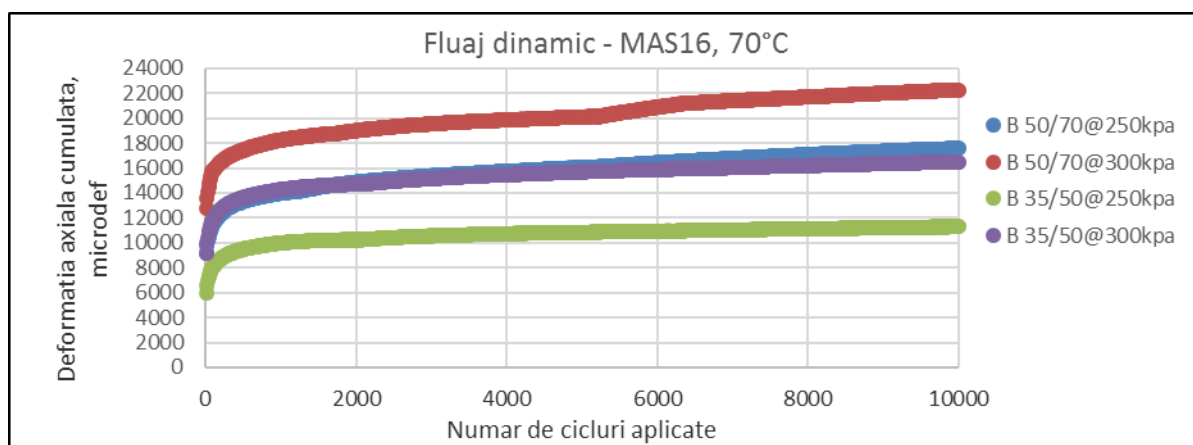


Fig. 6 Curba de fluaj dinamic a mixturii bituminoase MAS16 în funcție de tipul bitumului și încărcare, la temperatura 70°C

Se poate constata, faptul că la creșteri de temperatură și la creșterea intensității solicitărilor ciclice din încărcări asimilate traficului rutier, deformația aferentă materialului din stratul rutier de uzură crește odată cu creșterea temperaturii ambientale.

2.2 Evaluarea modului de fluaj

Modulul de fluaj pentru mixtura asfaltică MAS16 determinat la temperaturile de încercare menționate și în funcție de tipul de bitum și de încărcare utilizat în compoziția mixturii este prezentat în figurile 7, 8 și 9

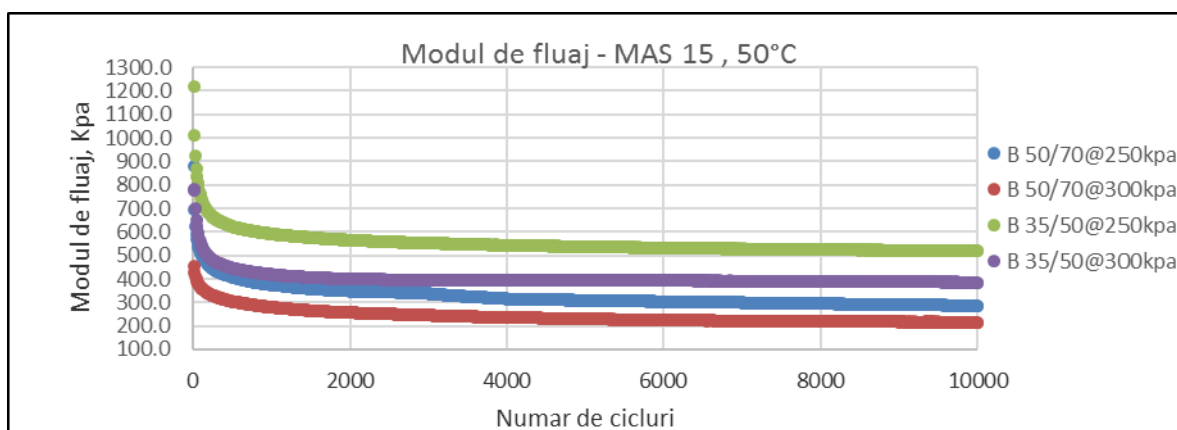


Fig. 7 Modulul de fluaj al mixturii bituminoase MAS16 în funcție de tipul bitumului și încărcare la temperatura 50°C

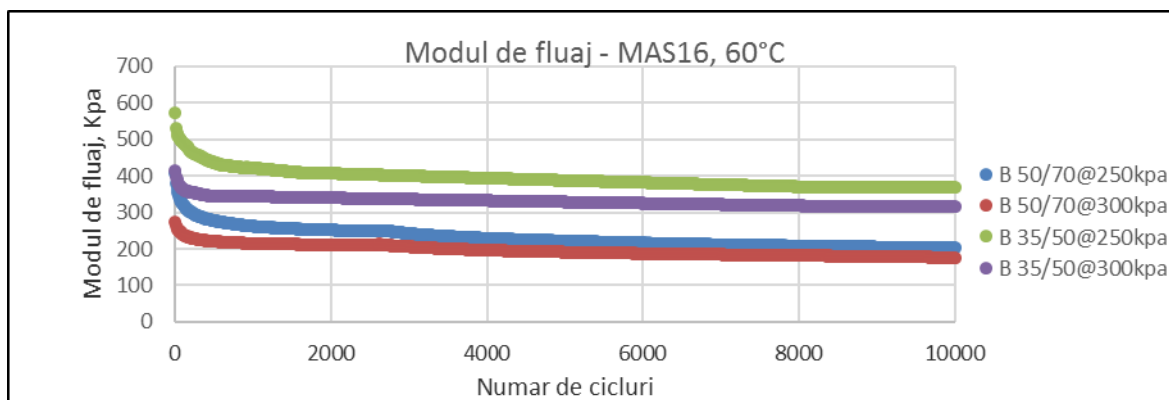


Fig. 8 Modulul de fluaj al mixturii bituminoase MAS16 în funcție de tipul bitumului și încărcare la temperatura 60°C

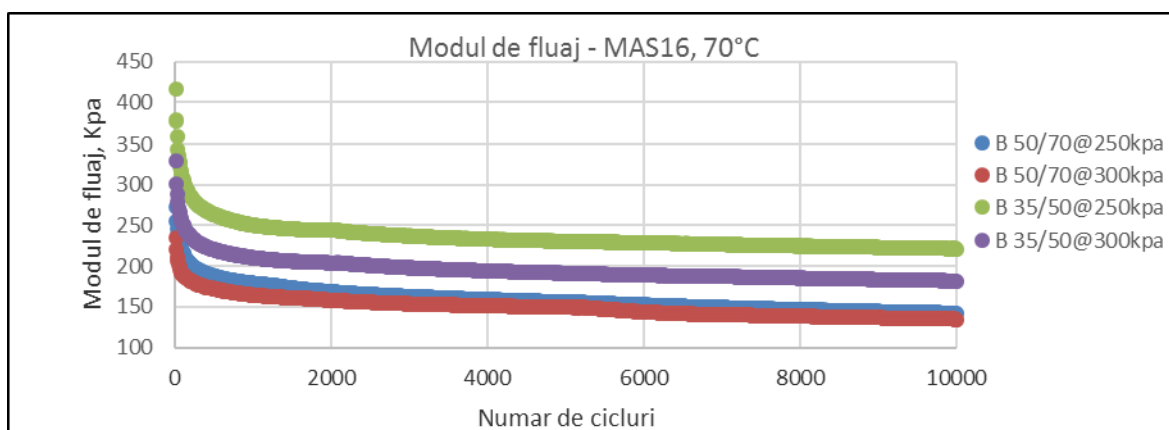


Fig. 9 Modulul de fluaj al mixturii bituminoase MAS16 în funcție de tipul bitumului și încărcare la temperatura 70°C

În acest caz, modulul de fluaj, ca un parametru al performanței structurale a stratului asfaltic de uzură, scade și el pe măsura creșterii intensității solicitării asimilate traficului rutier, în cazul temperaturilor ambientale în creștere.

3. Concluzii

Cercetarea care a stat la baza acestei lucrări, a pus în evidență elementele definitorii care se atribuie analizelor de performanță comportamentală pentru mixturile asfaltice supuse la deformații permanente, în condiții de solicitare predeterminată, după cum urmează:

- Deformația permanentă crește odată cu mărirea temperaturii precum și a solicitărilor, atât pentru mixtura asfaltică MAS16 cu bitum 50/70 cât și pentru mixtura asfaltică MAS16 cu bitum 35/50.
- se pot compara performanțele mixturii asfaltice MAS16 cu bitum 35/50 față de mixtura asfaltică MAS16 cu bitum 50/70, solicitate la 250kpa și temperaturi de încercare 50, 60, 70°C și se poate observa o reducere a deformațiilor permanente obținute pentru utilizarea mixturii asfaltice cu bitum dur 45, 44, 36%.
- La încărcarea de 300kpa, pentru MAS16 cu bitum dur se observă o reducere a deformațiilor permanente față de cea MAS16 cu bitum uzual, cu 44% (pentru 50°C), 45% (pentru 60°C), 26% (pentru 70°C).
- Valoarea modulului de fluaj crește odată cu rigiditatea lianului bituminos și descrește cu numărul de aplicări ale încărcării. Rezultatele obținute pentru încărcarea 250kpa ne

precizează că valoarea modulului de fluaj crește pentru MAS16 bitum dur comparativ cu MAS16 cu bitumul uzual cu 81% pentru temperatura de 50⁰C, cu 82% pentru 60⁰C, și cu 56% pentru 70⁰C.

- Prin creșterea încărcării la 300 kpa, se poate efectua analiza comparativă a comportării mixturii bituminoase MAS16 cu bitum 35/50 față de MAS16 cu bitum 50/70, de unde rezultă o creștere a rezistenței la deformații permanente de 78% pentru temperatura de 50⁰C, de 79% pentru 60⁰C, și de 35% pentru 70⁰C.

Bibliografie

- [1] Diefenderfer, Al-Qadi, Reubush, and Freeman: *Development And validation of model to predict Pavement Temperature Profile*, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech Transportation Institute, USA, 2002
- [2] Yavuzturk C., Ksaibati K.: *Assment of Temperature fluctuation in asphalt pavement due to thermal environmental condition using a tow-dimensional transit finite difference approach*, Department of Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming, Wyoming, United States, 2002
- [3] Di Benedetto H., Partl M. N., Francken L., De La Roche C.: Stiffness testing for bituminous mixtures. *Material and Structures*, Vol. 34, (pp 66-70) 2001
- [4] Sousa J. B., Weissman S. L., Deacon J.A., Coplantz J., și Monishmith C.L.: *Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregates Mix Design and Analysis*, Report No. SHRP-A-415 Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1994
- [5] Linden F. și J. VAN DER HEIDE "Some Aspects of the Compaction of Asphalt Mixes and its Influence on Mix Properties. *Proceedings. The Association of Asphalt Paving Technologist*", Vol. 56, 1987;
- [6] Liping C., Lijun S., Zejiao D.: *Research on Permanent Deformation Property of Asphalt Mixture with Varying Temperature*, China, 2013
- [7] Normativ AND 605: *Mixturi asfaltice executate la cald. Conditii tehnice privind proiectarea, prepararea și punerea în operă*, 2014
- [8] SR EN 12697-25: *Mixturi asfaltice. Metode de încercare pentru mixturi asfaltice preparate la cald – Partea 25: Încercarea la compresiune ciclică+*, 2006
- [9] SR EN 13108-5: *Mixturi asfaltice. Specificații pentru materiale. Partea 5: Beton asfaltic cu conținut ridicat de mastic*, 2007