

# Comportamentul termic neliniar, in regim nestationar, al peretilor din blocuri de material poros

Non-linear non-linear thermal behavior of porous block walls

prof. Florin Iordache

Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti  
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor  
Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania  
*fliord@yahoo.com*

## Rezumat

Lucrarea contine o analiza a comportarii in regim termic dinamic al peretilor alcatuiti din blocuri de tip BCA. Peretii despart o incinta in care are loc un incendiu care evolueaza dupa curba standard de temperatura de mediul de mediul exterior caracterizat de o temperatura de aproximativ 20° C. Peretele este alcatuit din 2 zone diferite din punct de vedere al proprietatilor si anume zona de camp (zona centrala a blocurilor de tip BCA) si zona de rost dintre blocurile de BCA, unde materialul este mortar adeziv pentru zidirea blocurilor. In lucrare se prezinta mai intai, la modul general, bazele teoretice care guverneaza procesul neliniar de transfer termic in regim nestationar in peretele din blocuri de tip BCA si se descrie pe scurt tehnica de simulare automata de urmarire a dezvoltarii procesului de transfer termic in masa peretelui. Rezultatele obtinute sunt prezentate defalcate atat tabelar cat si grafic pentru a putea avea o imagine sintetica asupra acestora.

**Cuvinte cheie:** pereti blocuri BCA, transfer termic

## Abstract

The paper contains an analysis of the dynamic thermal behavior of the walls made of BCA type blocks. The walls separate a room where a fire occurs that evolves after the standard ambient temperature curve of the outdoor environment characterized by a temperature of about 20° C. The wall is made up of two different areas in terms of properties, namely the field area (the central area of the blocks) and the area between the blocks, where the material is adhesive mortar for building blocks. The paper presents the theoretical bases that govern the non-linear thermal transfer non-stationary process in the wall of BCA blocks and briefly describes the automatic simulation technique for monitoring the development of the heat transfer process in the mass of the wall. The results obtained are presented tabularly and graphically so that you can have a synthetic image on them.

**Key words:** BCA block walls, thermal transfer

## 1. Introducere

In lucrarea de fata se urmareste comportamentul termic dinamic in regim nestationar (problema neliniara) a unui perete de tip BCA care desparte spatiul interior de mediul exterior. Se considera ca peretele desparte un mediu in care s-a declansat un incendiu de un mediu exterior, obisnuit, fara incendiu. Incendiul declansat in primul mediu adiacent peretelui de BCA se dezvolta din punct de vedere al temperaturii

conform curbei standard temperatura-timp, curba descrisa in SR EN 1991-1-2:2004.

Conform curbei standard temperatura-timp, temperatura mediului in care se produce incendiul creste progresiv ajungand in cateva ore (dupa cum se va prezenta in continuare) la valori peste 1200-1300<sup>0</sup> C. Ca urmare, un flux termic variabil ca intensitate se propaga in perete conducand la cresterea temperaturilor in straturile acestuia de la fata expusa incendiului catre fata neexpusa.

In mod concret se defineste rezistenta la foc (aptitudinea unei structuri sau a unei parti a acesteia sa pastreze functile cerute portanta si separare pe timpul expunerii la caldura conform curbei de temperatura-timp standardizate pentru o durata de timp determinate). Concret rezistenta la foc EI (etanseitate si izolare termica) a peretelui este timpul (in minute) dupa care temperatura pe fata neexpusa a peretelui creste cu valoarea data de 140<sup>0</sup> C in campul blocurilor de material poros al peretelui exterior, etanseitatea E fiind asigurata. Se defineste si o rezistenta la foc EI pe conturul blocurilor de material (rosturile intre blocuri) ca fiind timpul (in minute) dupa care temperatura pe fata neexpusa a peretelui creste cu valoarea data de 180<sup>0</sup> C pe conturul blocurilor (rostul intre blocuri), etanseitatea E fiind asigurata.

Regimul termic analizat este eminent nestationar, regim caracterizat de acumulari termice variabile in straturile peretelui si de variatii pronuntate de temperatura. Problema neliniara studiata se refera la considerarea dependentei de temperatura a conductivitatii termice a materialului de constructie, ceea ce conduce la o ecuatie cu derivate partiale neliniara din punct de vedere matematic care caracterizeaza procesele de transfer termic in peretele plan.

## **2. Modelarea matematica a proceselor de transfer termic in regim nestationar in peretele plan; considerarea problemei neliniare**

Bilantul termic diferential pentru un strat cu grosime infinit mica conduce la cunoscuta ecuatie cu derivate partiale Fourier :

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (1)$$

Asa cum se prezinta problema, de o parte a peretelui este mediu interior caracterizat de incendiu, iar de cealalta parte mediu exterior, conditiile la limite care trebuie puse in aceasta situatie sunt conditii de speta 3-a adica care reflecta egalitatea dintre fluxul termic transmis convectiv-radiant la fetele peretelui si fluxul termic conductiv in vecinatatea fetelor spre interiorul peretelui, conditii care se scriu:

Comportamentul termic neliniar, in regim nestationar, al peretilor din blocuri de material poros

$$\begin{aligned} \alpha_g \cdot (t_g - \theta|_{x=0}) &= -\lambda \cdot \left. \frac{\partial \theta}{\partial x} \right|_{x=0} \\ \alpha_e \cdot (t_e - \theta|_{x=\delta}) &= +\lambda \cdot \left. \frac{\partial \theta}{\partial x} \right|_{x=\delta} \end{aligned} \quad (2)$$

Pentru rezolvarea acestei probleme s-a adoptat o tehnica numerica pentru un numar finit de straturi in care a fost impartita grosimea peretelui. Sistemul de ecuatii cu derivate partiale descris de relatiile (1) si (2) este valabil pentru fiecare din straturi, conditiile la limita pentru fetele intermediare dintre straturi transformandu-se in conditii la limita de speta a 4-a, conditii care descriu egalitatea dintre fluxurile termice conductive la dreapta si la stanga interfetei dintre 2 straturi, iar pentru fetele laterale ale peretelui raman valabile conditiile la limita de speta 3-a prezentate in relatia 2. In acest fel s-a reusit transformarea ecuatiei cu derivate partiale (1) intr-un sistem de ecuatii diferentiale liniare de ordinul 1. Sistemul este linear atat timp cat se considera ca parametrii fizici implicati in descrierea bilanturilor termice diferentiale sunt constanti. Insa de indata ce conductivitatea termica a materialului peretelui este variabila, liniaritatea dispare si problema devine neliniara.

Interesul practic privind rezultatele obtinute asupra simularii comportamentului termic dinamic al peretelui se refera indeosebi la evolutia temperaturii pe fata neexpusa a peretelui cu identificarea momentului in care temperatura pe fata neexpusa creste cu valoarea baremului mentionat in reglementarile in domeniu si anume 140<sup>0</sup> C in camp si 180<sup>0</sup> C la rosturi in conditiile in care bineinteles criteriul de etanseitate E, este asigurat.

Evolutia temperaturii mediului din zona de incendiu s-a considerat ca se realizeaza dupa curba standard temperatura-timp, care are expresia :

$$t_g = 20 + 345 \cdot \log_{10} \left( \frac{8 \cdot \tau}{60} + 1 \right) \quad (3)$$

O imagine mai concreta a curbei standardizate temperatura-timp a gazelor din compartimentul de incendiu o avem in graficul din fig. 1.

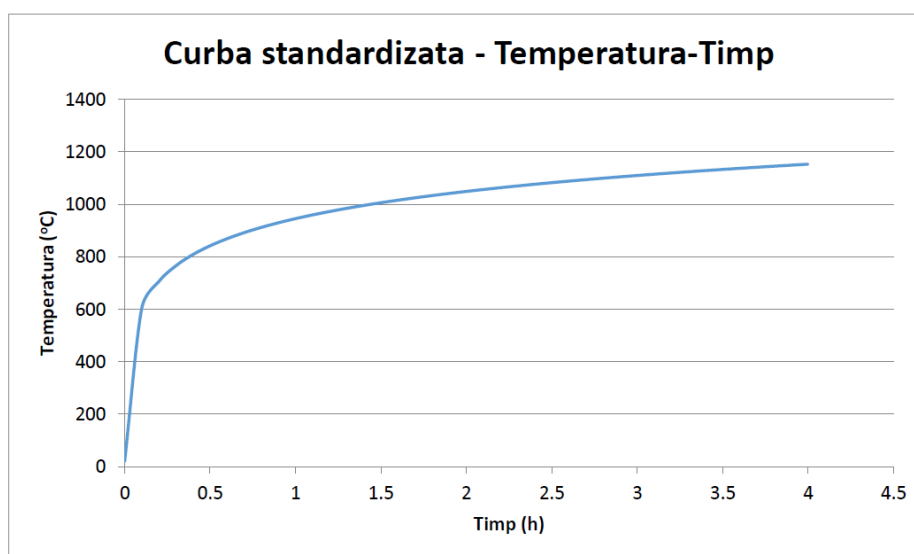


Fig. 1

Pentru conductivitatea termica a materialului peretelui s-a considerat ca ea este functie de temperatura conform expresiei:

$$\lambda = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \theta^2 + 6 \cdot 10^{-5} \cdot \theta + 0,0968 \quad (4)$$

Au rezultat pentru conductivitatea termica a materialului peretelui valori intre 0,1 si 0,4 W/m.K in intervalul de temperaturi 0...1200<sup>0</sup> C.

Densitatea materialului peretelui este de cca.  $\rho = 400 \dots 500 \text{ kg/m}^3$ , iar caldura specifica  $c_p = 1170 \text{ J/kg.K}$ .

In fig. 2 se prezinta evolutia in timp, pentru un perete cu grosimea  $\delta = 0,10 \text{ m}$ , pe un interval de 6h, a temperaturilor in 13 noduri reprezentative. Prima curba atestand valorile cele mai mari de temperatura corespunde mediului din compartimentul de incendiu, apoi urmeaza curba asociata fetei expuse a peretelui s.a.m.d. pana cand penultima curba corespunde fetei neexpuse a peretelui si ultima curba este dreapta orizontala corespunzatoare mediului adiacent fetei neexpuse a peretelui. In diagrama din fig.2, in abscisa este indicele de timp, indice care insemna in cazul de fata minutul la care s-a ajuns de la inceputul declansarii incendiului in compartiment. In ordonata sunt prezentate valorile de temperaturi in <sup>0</sup>C.

In diagrama din fig. 3 in abscisa este grosimea peretelui intre indicii 2 si 12 care reprezinta fata expusa si respectiv fata neexpusa a peretelui. Se observa distributia temperaturilor in grosimea peretelui la diverse momente de timp.

Comportamentul termic neliniar, in regim nestationar, al peretilor din blocuri de material poros

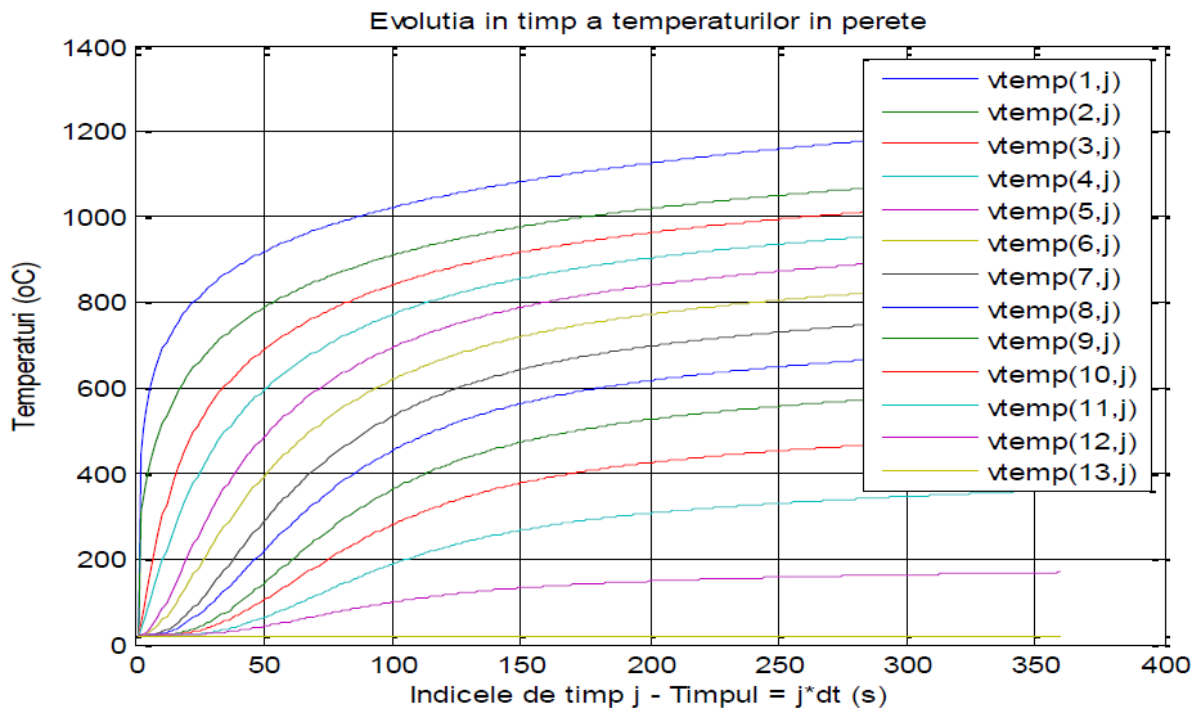


Fig. 2

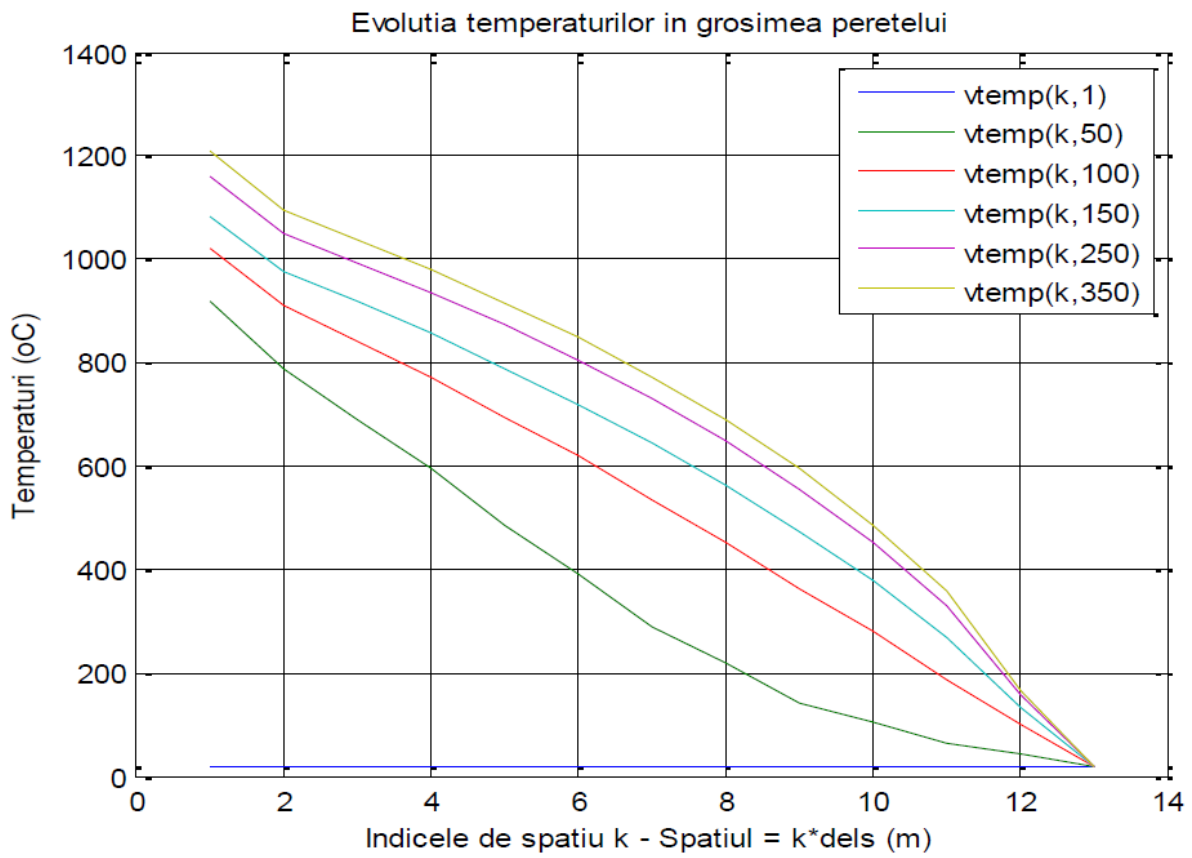


Fig. 3

S-a urmarit si evolutia in timp si spatiu a conductivitaterilor termice a materialului peretelui, si rezultatul grafic este asemanator cu cel al temperaturilor, insa in domeniul mentionat mai inainte.

In paralel cu simularea teoretica a prezentata, INCD-URBAN-INCERC a efectuat cercetari experimentale pe pereti de tip BCA de 10 cm, 25 cm si 40 cm grosime. Rezultatele obtinute atesta asigurarea etanseitatii, iar in ceea ce priveste curbele de temperatura in interiorul peretelui si pe fata neexpusa, acestea se plaseaza sub curbele teoretice prezentate ca alura generala mai inainte. Ceea ce este inasa mai important este faptul ca toate curbele de variatie a temperaturilor in interiorul peretelui prezinta un palier la 100<sup>0</sup> C. Duratele acestor paliere sunt mai mici pentru sectiunile apropiate de fata expusa a peretelui si din ce in ce mai mari cu cat sectiunea este mai aproape de fata neexpusa a peretelui. Mai mult, in timpul experimentului s-au observat degajari de vapori de apa din perete prin fata neexpusa a acestuia. Toate acestea atesta faptul ca peretele care a fost testat a fost realizat din blocuri umede avand un continut de apa apreciabil. In cadrul INCD- URBAN-INCERC a fost determinat experimental continutul de apa din caramizi si s-a stabilit ca acesta este cuprins intre 17% si 23%, in medie putandu-se considera o valoare de cca. 20%.

Comportamentul termic dinamic rezultat experimental isi gaseste explicatia in faptul ca in procesul de incalzire al peretelui participa si umiditatea continuta in perete. Astfel la atingerea temperaturii de 100<sup>0</sup>C, umiditatea din perete incepe sa se vaporizeze absorbind o mare parte din fluxul termic furnizat dinspre fata expusa a peretelui si o utilizeza ca si caldura latentă de vaporizare a apei din sectiunea respectiva. In continuare sectiunea respectiva este uscata si fluxul termic retinut este utilizat exclusiv ca si caldura sensibilă pentru ridicarea temperaturii in sectiunea respectiva. Fluxul de vapori eliminat din sectiunea respectiva migreaza catre fata neexpusa a peretelui trecand de mai multe ori prin procese succesive de condensare si vaporizare (cu cedare si respectiv preluare de caldura latentă) pana cand este eliminat sub forma de vapori de apa prin fata neexpusa a peretelui in mediul exterior de temperatura constanta.

Intelegand in acest fel desfasurarea fizica a procesului de transfer de caldura si masa (de acesta data) s-a elaborat un al doilea model de simulare a transferului de caldura si masa prin peretele umed. Testand acest model de simulare pe peretele de 10 cm grosime, avand inasa un procent de 20% umiditate si s-au obtinut rezultatele corespunzatoare.

In fig. 4 se prezinta evolutia temperaturilor in perete. Se observa evident o valoare sensibil mai scazuta a temperaturilor diferitelor sectiuni din perete fata de cazul peretelui uscat.

In diagrama din fig. 5 se observa frangeri ale liniilor temperaturilor la 100<sup>0</sup>C, dupa cum este si normal datorita ritmului diferit de incalzire in sensibil al blocurilor

Comportamentul termic neliniar, in regim nestationar, al peretilor din blocuri de material poros umede si al blocurilor uscate din care este confectionat peretele.

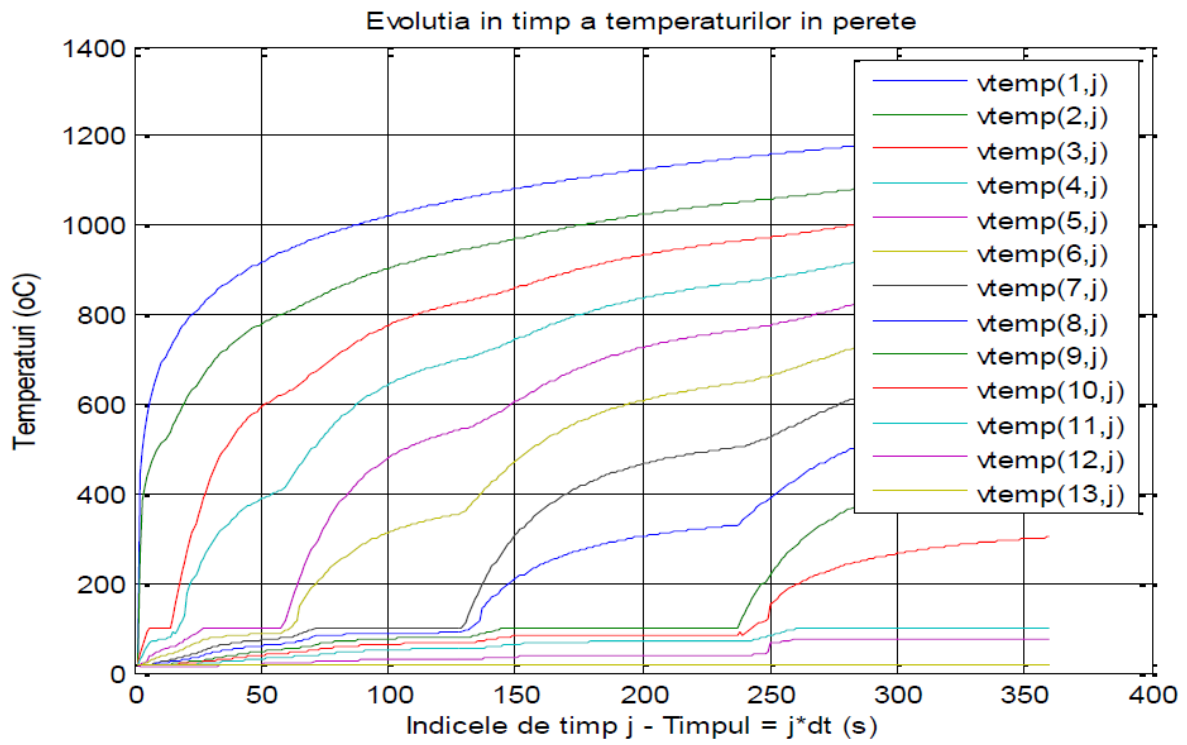


Fig. 4

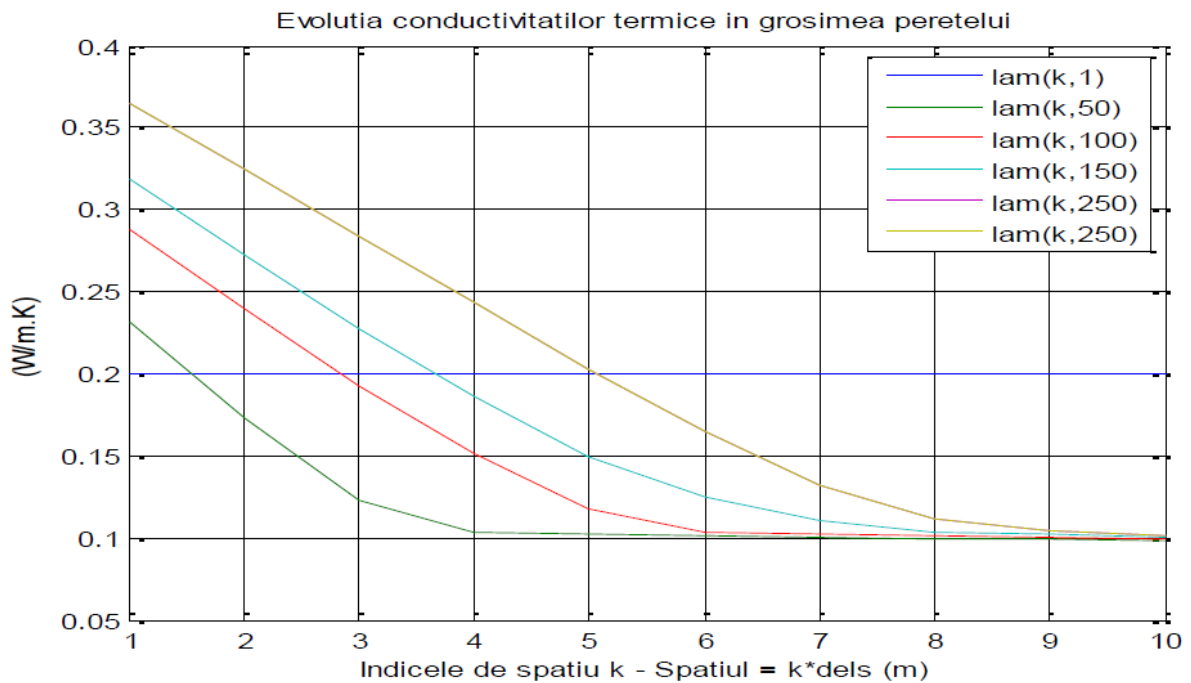


Fig. 5

Alura graficelor de temperatura din interiorul peretelui este sensibil mai

apropiata de alura graficelor de temperaturi rezultate experimental fiind totusi deasupra acestora dupa cum se observa si in fig. 6

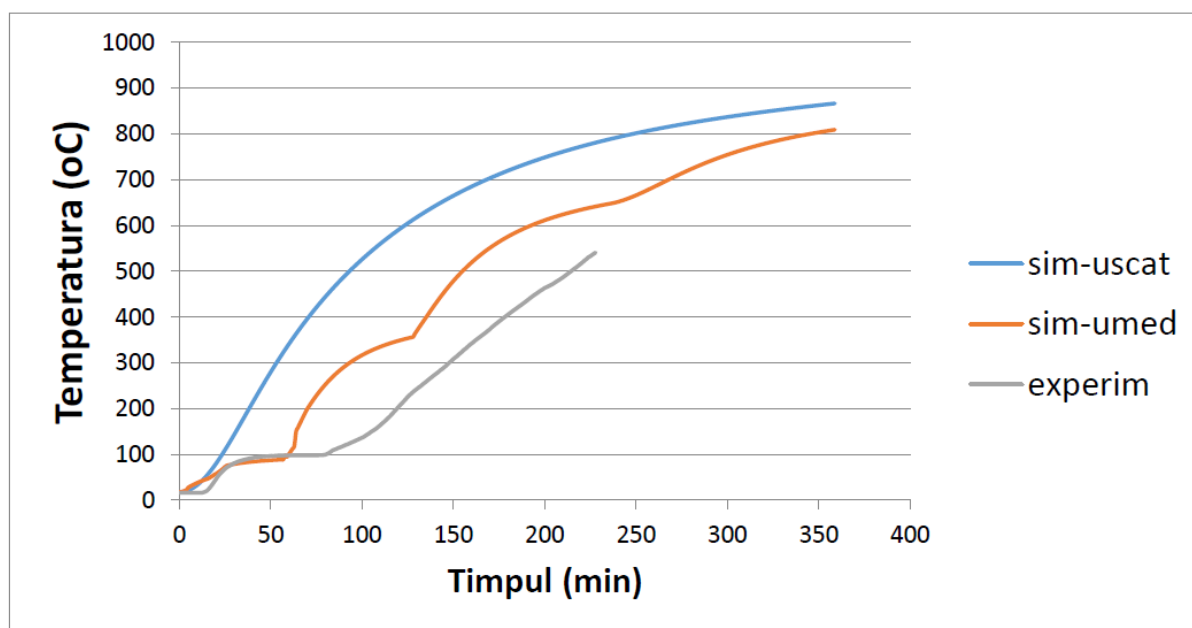


Fig. 6 – Curbele de temperatura la 6 cm de fata neexpusa in peretele de 10 cm

Se considera in consecinta ca modelul teoretic abordat si tehnica numerica de rezolvare a fost calibrata si validata experimental si poate fi utilizata in continuare pentru aprecierea criteriului de izolare termica – I, al peretilor fabricate din blocuri de tip BCA.

### 3. Rezultate obtinute si prelucrate

In fig. 7 si tabelul 1 care urmeaza se prezinta timpii reprezentativi pentru aprecierea criteriului de izolare termica al peretelui (I).



Comportamentul termic neliniar, in regim nestationar, al peretilor din blocuri de material poros

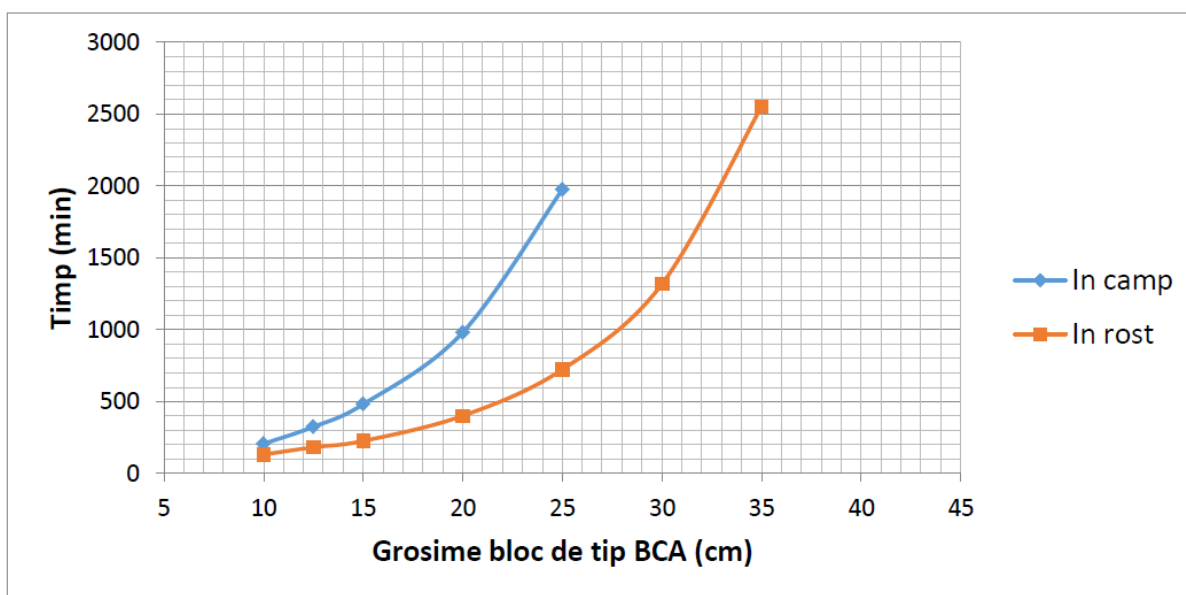


Fig. 7 – Timpi atingere ecarturi barem 140° C (in camp bloc) si 180° C (in rost bloc)

Tabel 1

Stabilirea timpilor de atingere a baremurilor de temperatura - Perete din blocuri de tip BCA

Macon	Camp		timp		Rost
Gros (cm)	°C		min		°C
10	160	>>>	205	>>>	341,4
10	73,7	<<<	131	<<<	200
12,5	160	>>>	323	>>>	350,9
12,5	68,2	<<<	177	<<<	200
15	160	>>>	480	>>>	356,9
15	65,5	<<<	225	<<<	200
20	160	>>>	980	>>>	361
20	63,3	<<<	400	<<<	200
25	160	>>>	1975	>>>	358,4
25	63,9	<<<	722	<<<	200
30	160	>>>	?	>>>	?
30	66,2	<<<	1316	<<<	200
35	160	>>>	?	>>>	?
35	69,4	<<<	2551	<<<	200
40	160	>>>	?	>>>	?
40	73,4	<<<	?	<<<	200

Se observa ca realizarea baremurilor de temperatura pentru rosturile blocurilor de tip BCA se ating mai repede decat realizarea baremurilor de temperatura pentru campul blocurilor, fapt care atesta respectarea criteriului de izolare termica pentru toata gama de blocuri de tip BCA.

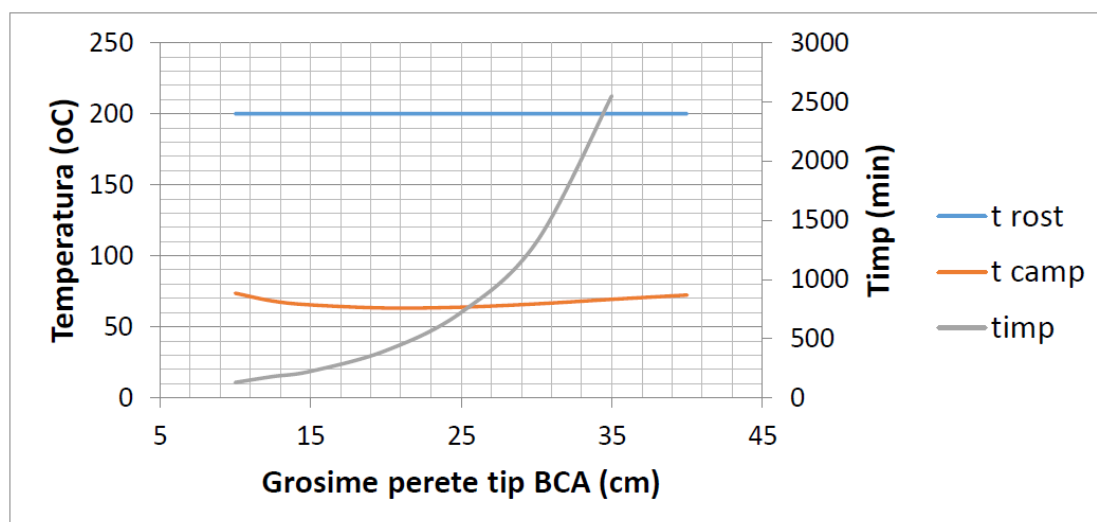


Fig. 8 – Diagrama Temperatura fata neexpusa – Timpi caracteristici

In fig. 9 se prezinta diagrama timpilor de depasire a baremurilor de temperatura si criteriul de izolare termica – I, aferenti rostului dintre blocurile de tip BCA functie de grosimea peretelui.

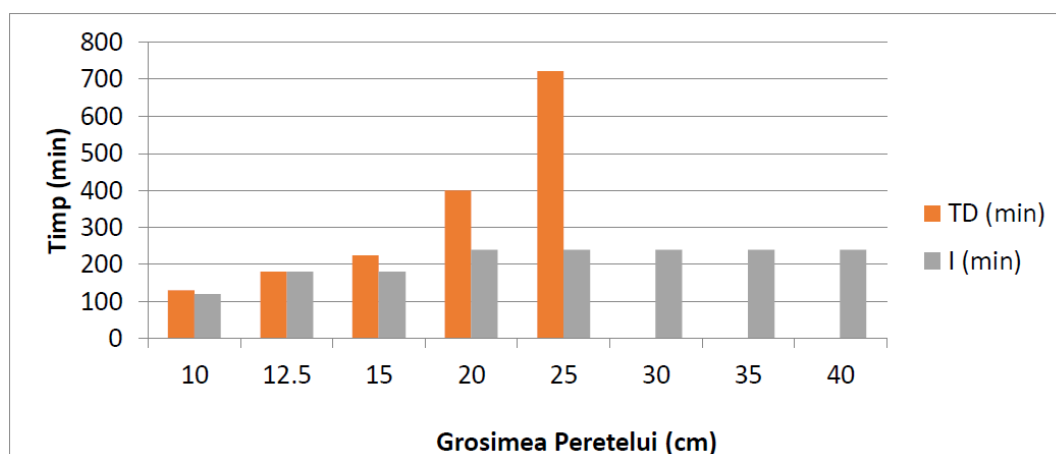


Fig. 9 - Diagrama timpilor de depasire a baremurilor de temperatura si criteriul de izolare termica – I, aferenti rostului dintre blocurile de tip BCA

Conform diagramei din fig. 9 se observa ca timpii de depasire a baremurilor de temperatura pentru rostul dintre blocurile de tip BCA sunt superiori criteriului de izolare termica – I, ceea ce inseamna ca daca ne referim la campul (mijlocul) blocului de tip BCA aceasta superioritate va fi pe deplin asigurata pentru toata gama de grosimi de perete.

#### 4. Concluzii

Lucrarea contine o analiza a comportarii in regim termic dinamic al peretilor alcatuiti din blocuri de tip BCA. Peretii despart o incinta in care are loc un incendiu care evolueaza dupa curba standard de temperatura de mediul de mediul exterior

caracterizat de o temperatura de aproximativ 20° C. Peretele este alcatuit din 2 zone diferite din punct de vedere al proprietatilor si anume zona de camp (zona centrala a blocurilor de tip BCA) si zona de rost dintre blocurile de tip BCA, unde materialul este mortar adeziv pentru zidirea blocurilor de tip BCA. Dat fiind conductivitatea termica superioara a mortarului ritmul de incalzire al zonei de rost este mai rapid, acesta atingand temperaturi sensibil mai ridicate decat zona de camp. Diferenta de temperaturi dintre zona de rost si zona de camp dintr-o aceeaasi sectiune este semnificativa astfel incat zona de rost dicteaza valorile timpilor de depasire a ecarturilor barem de temperatura pe fata neexpusa incendiului (140° C pentru zona de camp si 180° C pentru zona de rost), la nivelul intregului perete.

In lucrare se prezinta mai intai, la modul general, bazele teoretice care guverneaza procesul neliniar de transfer termic in regim nestationar in peretele din blocuri de tip BCA si se descrie pe scurt tehnica de simulare automata de urmarire a dezvoltarii procesului de transfer termic in masa peretelui. Se prezinta in continuare o analiza comparativa intre rezultatele din simulare si rezultatele experimentale obtinute de catre INCD URBAN-INCERC.

In capitolul al treilea al lucrarii se face o analiza comparativa pe valorile rezultate din simulare in ceea ce priveste timpii de depasire a ecarturilor barem stabilite (140° C pentru zona de camp si 180° C pentru zona de rost) si se atesta asigurarea gradului de izolare termica pentru toata gama de grosimi de perete.

Rezultatele obtinute sunt prezentate defalcate atat tabelar cat si grafic pentru a putea avea o imagine sintetica asupra acestora.

### **Lista de Notatii**

$\theta$  - temperatura in perete ca functie de spatiu (x) si timp ( $\tau$ ), °C;

x – spatiul, m sau cm;

$\tau$  - timpul, s sau h;

a – difuzivitatea termica, m<sup>2</sup>/s;

$t_g$  – temperatura gazelor din compartimentul de incendiu, °C;

$t_e$  – temperatura mediului adiacent fetei neexpuse a peretelui, °C;

$\delta$  - grosimea peretelui, m sau cm;

$\lambda$  - conductivitatea termica a peretelui, W/m.K;

$\alpha_g$  – coeficientul de transfer termic superficial la fata expusa a peretelui, W/m<sup>2</sup>.K;

$\alpha_e$  – coeficientul de transfer termic superficial la fata expusa a peretelui, W/m<sup>2</sup>.K;

$t_g$  – temperatura gazelor din compartimentul de incendiu, °C;

### **Bibliografie**

1. Florin Iordache, Florin Baltaretu – Modelarea si simularea proceselor termice, dinamice – Editura Conspress, 2005;
2. Florin Iordache - Termotehnica Constructiilor, ed. 3-a – Editura Matrixrom – 2010;