Modelare fizico-matematică a încercării la foc a elementelor de construcție

Physical and mathematical modeling for the fire testing of construction elements.

Nicolae Antonescu¹, Niculae Antonescu¹, Dan-Paul Stănescu¹

¹UTC București – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor București, sector2, blv. Pache Protopopescu 66, Romania

> **Rezumat.** Testele de rezistență la foc ale elementelor de construcție sunt prin natura lor distructive și deci nerepetabile. Este util ca în anumite cazuri să se realizeze o modelare prealabilă predictivă cu scopul de a oferi o imagine asupra probabilității de reușită a testului și eventual pentru a preciza momentele cheie, fie pentru concentrarea observațiilor, fie pentru luarea unor măsuri de siguranță. Modelul prezentat reprezintă îmbinarea dintre experiența de modelare fizică și matematică a autorilor și experiența practică de testare la foc și proiectare de standuri de încercare a acestora. Este prezentat un instrument de modelare care stă la baza unui program de calcul specializat și condițiile de rulare ale acestuia.

Cuvinte cheie: încercări la foc, modelare fizică, modelare numerică, transfer de căldură.

Abstract. Tests of fire resistance for the construction elements are destructive by nature and therefore not repeatable. It is useful in certain cases to achieve a predictive modeling in order to offer an image of the chances of success for the test and possibly to clarify key moments, either for concentrating observations or for taking some special safety measures. The model represents the sum between author's physical and mathematical modeling experience in the field of heat and mass transfer and their practical experience in the field of fire testing installations design and operation. The paper presents a modeling instrument which generated a specialized computer programme and describes it's running conditions.

Key words: fire testing, physical modeling, numerical modeling, heat transfer.

1. Cadru general

Recent a fost dat în folosință « *Cuptorul de Încercat la Foc a Elementelor de Construcție* », în cadrul Laboratorului de Termotehnică al Facultății de Inginerie a Instalațiilor - București, singura instalație de încercare la foc din țara noastră certificată RENAR, pe care se pot efectua probe de rezistență la foc a elementelor de construcție, conform normelor SR-EN.

Nicolae Antonescu, Niculae Antonescu, Dan-Paul Stănescu

Una din problemele pivot ale unei asemenea instalații este conceperea unui model termic, cu transferul caracteristic în regim nestaționar "cu alură impusă" astfel încât să se poată efectua un calcul de predicție a evoluției probei. Nu trebuie pierdut din vedere că încercările la foc sunt distructive și deci nerepetabile, ceea ce impune ca înaintea probei de foc să existe o simulare fizico-matematică a desfășurării probei.

Deoarece este un număr mare de structuri și dimensiuni ale elementelor supuse la foc, pentru exemplificarea modelării se prezintă o schiță de modelare a încercării la foc a unui element cu complexitate mai ridicată, o ușă antifoc. Pe o astfel de ușă au fost efectuate probele oficiale ale instalației și astfel dispunem de date experimentale pentru validarea modelului fizico-matematic elaborat în prezenta lucrare.

Elementul de construcție încercat la foc este denumit în continuare "probă". În cuptorul standardizat pentru încercări la foc se execută supunerea la fluxul termic de radiație al incintei cuptorului a elementului respectiv de construcție, până la distrugerea lui sau pierderea funcționalității.

Trei particularități caracterizează sistemul cuptor-probă:

1. Există o radiație uniform izotermă a pereților incintei cuptorului, deoarece este o incintă de dimensiuni mari, cu pereți de structură identică, la care existența unei flăcări de combustibil gazos, neluminoasă și cu debit mic de combustibil, nu aduce perturbări izotermicității cuptorului. În sprijinul acestei ipoteze este faptul că un debit mediu de combustibil gazos al arzătoarelor este de $B = 400 \text{ m}^3/\text{h}$, ceea ce la o putere calorică de Hi = =35500 kJ/Nmc reprezintă, la un volum de cuptor de V = 27 m³, o încărcare termică volumetrică Qv = B*Hi/3600/V = 14,81 kW/m³, ceea ce este o încărcare termică scăzută față de încărcarea uzuală de 300 kW/m³ a unui cuptor de încălzire. Concluzia este că un astfel de proces redus de ardere nu va crea neuniformități termice sesizabile în interiorul cuptorului, ceea ce s-a constatat și experimental.

2. Sursa de încălzire a cuptorului este radiația gazelor de ardere din volumul cuptorului, debitul de combustibil fiind variat automat pentru respectarea curbei standard de ridicare a temperaturii în cuptor.

3. Suprafața receptoare de căldură utilă a cuptorului este peretele din față al cuptorului (peretele de probă) compus dintr-un perete cadru de construcție în care este încastrat elementul de construcție încercat (proba). Atât cadrul de construcție cât și proba au constante termice diferite de ale pereților cuptorului: coeficient de emisie, conductibilitate termică, căldură specifică, deci aceste suprafețe se constituie în suprafețe diferite termic de incinta de pereți ai cuptorului.

4. Întregul sistem funcționează în regim nestaționar, *existând o curbă temperatură-timp care trebuie respectată în timpul probei*. Cuptorul pornește de la rece și se încălzește apoi într-un timp dat până la temperatura maximă de încercare a probei.

În fig.1 se prezintă schema cuptorului de încercare la foc.

Scopul încercării la foc a elementelor de construcție este determinarea timpului de încălzire a materialului până când acesta se degradează fizic, în condițiile unei incinte de probă în care temperatura este progresiv ridicată conform *curbei standard*.

În mod analog, modelarea trebuie să determine timpul, respectiv temperatura, la care se ating condițiile convenite de declarare a distrugerii.

Rezultă că modelarea are ca scop final *determinarea temperaturii suprafeței interioare și exterioare a probei, funcție de timp*.

În această lucrare termenul "*interior*" se referă la suprafața expusă spre interiorul cuptorului.



Fig.1. Schema cuptorului de încercare la foc

Deoarece există un transfer complex de căldură între toate elementele constructive ale cuptorului și probă, temperaturile de suprafețe nu se pot determina izolat pentru probă ci numai în cotextul de ansamblu al întregului sistem, deci al tuturor suprafețelor, pe fețele interioare și exterioare.

Modelarea prezentă utilizează concluzia teoriei lui *Poleak* : factorul de radiație reciprocă într-o incintă închisă depinde numai de mărimea suprafeței și nu depinde de poziția sau forma ei.

Deci, orice suprafață poate fi deplasată sau schimbată ca formă geometrică fără a afecta rezultatele de modelare sau de calcul.

2. Modelul fizic de calcul al cuptorului de testare la foc

Pentru efectuarea modelării este necesar, ca prim pas, trecerea de la forma fizică reală la o *formă echivalent funcțională*, pe care se poate studia transferul de căldură.

Cuptorul de încercare la foc are ca particularitate că este o incintă închisă, de formă cubică, cu 3 suprafețe radiante:

- Suprafața probei *S1*;
- Suprafața panoului frontal de suport al probei *S2* ;

• Totalitatea suprafețelor interne de izolație (izoterme) a pereților cuptorului S3: lateral dreapte *LD*, lateral stânga *LS*, spate *S*, tavan *T*, pardoseală *P*.

Pentru model, pentru a putea calcula fluxurile de căldură, incinta va fi adusă la forma a două incinte adiacente despărțite de un perete D fictiv. Peretele fictiv D are schimb de căldură cu volumul 1 și cu volumul 2 și este în echilibru termic, deci nu constituie o sursă sau un receptor de căldură. Din punct de vedere termic, peretele D nu există. Schema sistemului radiant al modelului de calcul este dată în fig. 2.



S1 - suprafața probei; S2 - suprafața suportului; S3 - suprafața pereților; SD - suprafața peretelui fictiv despărțitor; S3V1 - totalitatea pereților limitatori ai cuptorului (tip S3) care delimitează volumul V1; S3V2 - totalitatea pereților limitatori ai cuptorului (tip S3) care delimitează volumul V2

Fig.2 Schema sistemului radiant

În fig.2 sunt marcate cele două volume realizate prin separarea volumului cuptorului de către peretele fictiv D. După deplasarea suprafețelor se obțin următoarele:

• suprafața probei *S1* capătă înălțimea *L* și lungimea *LS*;

Modelare fizico-matematică a încercării la foc a elementelor de construcție

• suprafața probei *S1* se scoate din cadrul suprafeței *S2* și se amplasează alipit la marginea suprafeței *S2*;

• pereții S3 se grupează pe fiecare incintă primind notațiile :

S3V1 pentru toți pereții de tip S3 din incinta V1;

S3V2 pentru toți pereții de tip S3 din incinta V2.

Se pot acum calcula fluxurile de căldură din cele două incinte cu ajutorul relațiilor analitice de calcul pentru factorul de formă \emptyset care există pentru două cazuri care rezolvă problema:

- 1. două suprafețe dreptunghiulare egale paralele ;
- 2. două suprafețe dreptunghiulare adiacente perpendiculare .

În prezentare, cele patru suprafețe vor fi notate cu *1, 2, 3 și D*, conform figurii 2. Se face ipoteza că temperatura peretelui *D* este mai joasă decât temperatura pereților *S3*.

Pentru inicinta *V1* se constată că fluxul de radiație primit de peretele 1 (proba) constă din 4 pereți adiacenți perpendiculari și un perete paralel.

Pentru inicinta V2 se constată de asemenea că fluxul de radiație primit de peretele 2 (peretele de suport al probei) constă din 4 pereți adiacenți perpendiculari și un perete paralel. Toate dimensiunile sunt cunoscute.

Pentru inicinta VI ușa și peretele paralel opus au dimensiunea probei: $LSI \times L$, doi pereți adiacenți perpendiculari pe ușă au dimensiunea probei: $LSI \times L$ și alți doi pereți adiacenți au dimensiunea peretelui $3 : L \times L$

Pentru inicinta V2 peretele de suport al probei și peretele paralel opus au dimensiunea: $(L-LS1) \ge L$, doi pereți adiacenți perpendiculari pe pertele suport au dimensiunea peretelui suport : $(L-LS1) \ge L \ge L$, și alți doi pereți adiacenți au dimensiunea peretelui 3 : $L \ge L$.

Coeficienții de formă \emptyset se calculează după formulele date în literatură. Deoarece calculele se fac cu ajutorul unui program de calcul, formulele se prezintă sub forma în care se introduc în program. În continuare în figurile 3 și 4 sunt reproduse relațiile din literatura de specialitate.

O problemă mai deosebită o ridică fluxul de căldură acumulat în materialele pereților și probei. Acest flux de căldură trebuie cuprins în bilanțul momentan al cuptorului ca fiind fluxul de căldură de încălzire a materialului *i* integrat pe intervalul de timp în care s-a discretizat calculul:

$$Q_{ac} = \frac{V_{i} \cdot \rho_{i} \cdot cp_{i} \cdot \int_{\tau^{1}}^{\tau^{2}} \left(\frac{dT}{d\tau}\right) d\tau}{\Delta \tau}$$

 $d\tau$ fiind intervale infinitezimal mici, Q_{ac} se poate aproxima cu relația:

Nicolae Antonescu, Niculae Antonescu, Dan-Paul Stănescu

 $Q_{ac} = V_i \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot (T_2 - T_1)$

unde T2 și T1 reprezintă limitele intervalului de temperatură între două bilanțuri consecutive.

Aceste fluxuri de căldură acumulate în material pe perioada încălzirii se adaugă la bilanțul termic al fiecărui element, cu excepția peretelui fictiv care nu are masă și căldură specifică.



Figura 3 : Relația de calcul pentru factorul de formã la radiație reciprocã pentru doi pereți perpendiculari



Figura 4 : Relația de calcul pentru factorul de formă la radiație reciprocă pentru doi pereți egali paraleli

58

SCHEMELE ELEMENTELOR CUPTORULUI DE FOC

Partea interioară suprafeței, notată cu indice i se referă la interiorul cuptorului și, analog, e se referă la o față expusă spre exteriorul cuptorului. Cele trei suprafețe vor fi notate cu 1, 2 și 3, respectiv 3V1 și 3V2, iar peretele fictiv D.

Din fig.2 se poate vedea că S3V1 = S3+3*S1 și S3V2 = S3+3*S2

Pentru a introduce în calcule parametrii peretelui fictiv despărțitor se va alege o repartiție a temperaturilor astfel: T1 < T2 < TD < T3.

SCHEMA ELEMENTULUI 1

Schema elementului l, "proba", a fost aleasă după o schemă clasică de ușă rezistentă la foc.

Partea de rezistență a ușii este constituită din două tăblii de oțel cu grosime δ_{ol} și conductibilitate λ_{ol} . Între cele două tăblii de oțel este un strat izolator cu caracteristicile grosine δ_{iz} și conductibilitate λ_{iz} . Ușa este placată pe ambele fețe cu un material celulozic, denumit placaj, cu rol estetic; poate fi de exemplu folie de parchet laminat cu caracteristicile grosime δ_{pl} și conductibilitate λ_{pl} .

În fig. 5 se prezintă schematic elementul 1, "proba".



Fig. 5 Schema elementului 1, "proba"

Nicolae Antonescu, Niculae Antonescu, Dan-Paul Stănescu

Folia de placaj are o temperatură de aprindere de 600 ⁰C și o compoziție de lemn uscat Pentru proba respectivă *se consideră pentru această aplicație că distrugerea prin foc se înregistrează la timpul după care folia de placaj exterioară ia foc*. Diagrama standard *timp - temperatură* a cuptorului de încercare la foc este prezentată în figura 6 și reprezintă încărcarea termică *impusă* a cuptorului.



Figura 6 – Curba temperatură-timp a gazelor de ardere din cuptor

Elementul de suprafață *1*, așa cum se arată în fig.3, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

• $Q_{3VI,1}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1, emis de suprafețele interioare S3V1 ale pereților de construcție ai cuptorului.

• Q_{DI} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 1, emis de suprafața fictivă D.

• $Q_{gVI,I}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața I, de către gazele de ardere din incinta cuptorului.

• Q_{le} - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafaței l, emis către mediul ambiant.

• Q_{acl} - echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

Bilanțul termic este valabil în orice moment al stării de funcționare.

SCHEMA ELEMENTULUI 2

Schema elementului 2, "suprafața de încastrare a probei în pereții cuptorului", este un perete dintr-un material de construcție ușor, de obicei BCA, care are numai rolul de închidere a feței cuptorului și de suport mecanic al "probei".

În fig. 7 se prezintă schematic elementul 2, "suprafața de încastrare a probei în pereții cuptorului".



Fig. 7 Schema elementului 2, "suprafața de încastrare a probei în pereții cuptorului"

Peretele este un strat omogen izolator cu caracteristicile grosime δ_{iz} și conductibilitate λ_{iz} .

Elementul de suprafață 2, așa cum se arată în fig.7, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

• $Q_{3V2,2}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție *S3V1*.

• Q_{D2} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, emis de suprafața fictivă D.

• $Q_{gV2,2}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, de către gazele de ardere din incinta cuptorului.

• Q_{2e} - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafaței 2, emis către mediul ambiant.

• Q_{ac2} -echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

Bilanțul termic este valabil în orice moment al stării de funcționare.

SCHEMA ELEMENTULUI 3

Elementul 3, "suprafața de construcție a corpului cuptorului" este totalitatea suprafețelor interne de izolație (izoterme) ale pereților incintei cuptorului : lateral dreapte LD, lateral stânga LS, spate S, tavan T, pardoseală P.

Din punctul de vedere al transferului de căldură, așa cum s-a arătat, făcând parte dintr-o incintă închisă, forma de configurare a suprafeței 3 nu are nici-o importanță, ea putând fi asimilată cu un perete continuu cu suprafața totală S_3 .

Peretele fictiv D, fiind luată în considerare întreaga incintă, schimbă căldură cu cele două volume, dar este în echilibru termic.

În fig. 8 se prezintă schematic elementul 3 cu cele două componente 3V1 și 3V2.



Fig. 8 Schema elementului 3 "suprafața de construcție a corpului cuptorului"

Peretele este un strat omogen izolator cu caracteristicile grosine δ_{iz} și conductibilitate λ_{iz} .

Elementul de suprafață *3V1*, așa cum se arată în fig.8, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

• $Q_{3vI,I}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața *1*, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție ale cuptorului *S3V1*.

• $Q_{3VI,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D.

• Q_{g3} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 3, de către gazele de ardere din incinta VI a cuptorului.

• $Q_{3VI,e}$ - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafaței 3VI, către mediul ambiant.

• $Q_{ac,3VI}$ -echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

Elementul de suprafață 3V2, așa cum se arată în fig.8, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

• $Q_{3V2,2}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2.

• $Q_{3V2,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D.

• $Q_{gV2,3}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 3, de către gazele de ardere din incinta V2 a cuptorului.

• $Q_{3V2,e}$ - flux de căldură transferat prin convecție liberă de către exteriorul suprafaței 3V2, către mediul ambiant.

• Q_{ac3V2} -echivalent flux de căldură pierdut prin cantitatea de căldură acumulată în intervalul de calcul.

SCHEMA ELEMENTULUI D

Elementul *D*, "*suprafața fictivă dintre volumele V1 și V2 ale cuptorului*", este un perete fictiv, fără acumulare de căldură, cu conductibilitate termică ∞ , cu emisivitate $\varepsilon = 1$ dintr-un material de grosime 0, care are numai rolul de închidere între cele două volume V1 și V2,

În fig. 9 se prezintă schematic elementul D, "suprafața fictivă dintre volumele VI și V2 ale cuptorului".

Elementul de suprafață D, așa cum se arată în fig.9, este supus următoarelor fluxuri de căldură:

• $Q_{3V2,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție ai cuptorului S3V2.

• $Q_{3VI,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D, emis de suprafețele interioare ale pereților de construcție ale cuptorului S3VI.

• Q_{D2} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața 2, emis de suprafața fictivă *D*.

• Q_{DI} - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața l, emis de suprafața fictivă D.

• $Q_{gV2,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D de către gazele de ardere din incinta V2 a cuptorului.

• $Q_{gVI,D}$ - flux de căldură transferat prin radiație către suprafața D de către gazele de ardere din incinta VI a cuptorului.



Fig. 9 Schema elementului D, "suprafața fictivă dintre volumeme VI și V2 ale cuptorului"

3. Metodica de calcul a modelului

Scopul final al calculului modelului este *determinarea timpului în care* suprafața exterioară a probei ajunge la valoarea declarată ca final al probei de foc.

Timpul acesta, notat τ_f , corespunde valorii temperaturii $T_{1e} = 600$ °C (în cazul prezentului exemplu modelat) sau oricărei alte temperaturi aleasă ca referință pentru determinarea duratei de rezistență la foc.

Deoarece nu există o cale directă de determinare a acestei temperaturi, respectiv a timpului aferent, calculul trebuie să parcurgă de la timpul 0 la timpul final, pe intervale succesive de timp de ordinul secundelor, calculul complet al stării termice a întregului cuptor.

Concret, se pornește calculul de la timpul $\tau_f = 0$ și corespunzător toate valorile de temperaturi sunt t = 20 ⁰C cu excepția temperaturii gazelor de ardere t_g pentru care se ia valoarea de la timpul imediat următor, conform diagramei temperatură-timp standard a cuptorului. Acest decalaj de temperatură reprezintă "motorul de pornire" al calculului și reprezintă chiar realitatea, deoarece pornirea procesului în cuptor se face prin ridicarea temperaturii gazelor de ardere. Prin această procedură nu este afectată corectitudinea fiecărui bilanț deoarece intervalele de timp cu care se lucrează sunt foarte mici, de ordinul secundelor.

În tabelul 1 se prezintă bilanțurile termice ale suprafețelor, ecuațiile de transfer de căldură și necunoscutele determinate.

Regula semnelor este: căldura primită este (+), căldura cedată este (-).

Tabel 1

Suprafața	Bilanțul termic	Rezultatul de calcul
1	$\begin{split} &Q_{3V1,1} + Q_{D1} + Q_{gV1,1} - Q_{1e} - Q_{ac,1} = 0 \\ &1/k_1 = 1/(\alpha_{g1} + \alpha_{31} + \alpha_{D1}) + [1/\alpha_{ac,1} + \sum_1 (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e1} \\ &k_1 \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g1} + \alpha_{31} + \alpha_{D1}) \cdot (T_g - T_{1i}) \\ &k_1 \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{1e} \cdot (T_{1e} - T_e) \end{split}$	${f T}_{1i} \ {f T}_{1e}$
2	$\begin{split} &Q_{3V2,2} + Q_{D2} + Q_{gV2,2} - Q_{2e} - Q_{ac,2} = 0 \\ &1/k_1 = 1/(\alpha_{g2} + \alpha_{32} + \alpha_{D2}) + [1/\alpha_{ac,2} + \sum_2 (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e2} \\ &k_2 \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g2} + \alpha_{32} + \alpha_{D2}) \cdot (T_g - T_{2i}) \\ &k_2 \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{2e} \cdot (T_{2e} - T_e) \end{split}$	$\begin{array}{c} T_{2i} \\ T_{2e} \end{array}$
3V1	$\begin{aligned} -Q_{3v1,1} - Q_{3V1,D} + Q_{g,3V1} - Q_{3V1,e} - Q_{ac,3V1} &= 0 \\ 1/k_{31} &= 1/(\alpha_{g3V1} - \alpha_{3V1D} - \alpha_{31}) + [1/\alpha_{ac,3V1} + \sum_{3} (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e3V1} \\ k_{31} \cdot (T_g - T_e) &= (\alpha_{g3V1} - \alpha_{3V1D} - \alpha_{31}) \cdot (T_g - T_{i3V1}) \\ k_{31} \cdot (T_g - T_e) &= \alpha_{e3V1} \cdot (T_{e3V1} - T_e) \end{aligned}$	T _{i3V1} T _{e3V1}
3V2	$ \begin{array}{l} -Q_{3V2,2} - Q_{3V2,D} + Q_{g,3V2} - Q_{3V2,e} - Q_{ac,3V2} = 0 \\ 1/k_{32} = 1/(\alpha_{g3V2} - \alpha_{3V2D} - \alpha_{32}) + [1/\alpha_{ac,3V2} + \sum_{3} (\delta/\lambda)] + 1/\alpha_{e3V2} \\ k_{32} \cdot (T_g - T_e) = (\alpha_{g3V2} - \alpha_{3V1D} - \alpha_{32}) \cdot (T_g - T_{i3V2}) \\ k_{32} \cdot (T_g - T_e) = \alpha_{e3V2} \cdot (T_{e3V2} - T_e) \end{array} $	T _{i3V2} T _{e3V2}
D	$+Q_{3V1,D} + Q_{3V2,D} - Q_{D1} - Q_{D2} + Q_{gV1,D} + Q_{gV2,D} = 0$	verificare

Bilanțurile termice ale suprafețelor, ecuațiile de transfer de căldură și necunoscutele determinate

Calculul se oprește automat când temperatura exterioară a probei T_{le} a ajuns la valoarea declarată ca final al probei de foc.

O atenție deosebită în conceperea programului trebuie să se acorde modificărilor de structură a probei la diferite temperaturi de încălzire. În exemplul

tratat, folia de placaj are o temperatură de aprindere de 600 ⁰C și o compoziție de lemn uscat. Pentru proba respectivă se consideră distrugerea prin foc timpul după care folia de placaj exterioară ia foc. Folia interioară de placaj se distruge după un timp mult mai scurt, după care dispare din structură. Variația structurii este exemplificată în fig. 10.



O mare atenție în scrierea subrutinelor programului trebuie acordată și introducerii variațiilor caracteristicilor fizice ale materialelor. Aproape toate caracteristicile fizice ale materialelor: λ, ε , au valori foarte diferite la diferite temperaturi.

4. Concluzii

Lucrarea a prezentat un aspect global al modelării Cuptorului de Încercare la Foc a elementelor de construcții. Amploarea ecuațiilor necesită un calcul automat. În cadrul cercetărilor prezentate s-a elaborat un astfel de program de calcul care permite, prin datele de input, să modeleze încercarea la foc a oricărui element de construcție.

Modelarea utilizează concluzia teoriei lui *Polea* : *factorul de radiație reciprocă într-o incintă închisă depinde numai de mărimea suprafeței și nu depinde de poziția sau forma ei.* Deci, orice suprafață poate fi deplasată sau schimbată ca formă geometrică fără a afecta rezultatele de modelare sau de calcul.

Incinta a fost adusă la forma a două incinte adiacente despărțite de un perete fictiv. Pentru elementele fiecărei incinte se pot scrie ecuațiile de bilanț termic ce țin cont de transferurile de căldură radiative solid-solid și gaze de ardere – solid, de acumulările de căldură în elementele constructive și de fluxurile conductive specifice, precum și de fluxurile prin suprafețele exterioare calde.

Elementul fictiv de separație între incinte reprezintă "cheia" de verificare și închidere a bilanțurilor termice.

Modelul poate fi dezvoltat prin introducerea unor parametri suplimentari cum ar fi aporturile de căldură de tip izvoare interioare ce apar la aprinderea unor elemente din proba supusă la foc sau dispariția unor straturi prin ardere.

Scopul modelării este acela de a oferi o imagine asupra probabilității de reuşită a testului de rezistență la foc pentru elementul încercat şi eventual precizarea momentelor cheie, fie pentru concentrarea observațiilor, fie pentru luarea unor măsuri de siguranță.

Bibliografie

• *N.Benmehdi, J.M.Fransses, M.Guenfoud* - Verification de la resistance au feu des poteaux de beton arme - The intrenational Conference on suistenable built environment infrastructures. - Oran, Algerie - Oct 2009 -pg 127-129

• *B.Barthelemy, J.Kruppa* - Resistance au feu des structures de beton, acier, bois - Ed.Fyrolles - Paris, 1978 - 277 pg.

• *D.Marquis et au.* - Modellisation du comportement au feu d'un composite par calcule de pyrolise ; aproche combinee experience-simulation a l'echelle- Journal Mecanique et Industrie 10 (2009) pg. 245-253

• *B.Kirby* - Recent developments and applications in structural fire engineering design - Fire Safety Journal [11] 1986 pg 141-179

• *B.Bresler* - Analytical prediction of structural response to fire - Fire Safety Journal [9] 1985 pg 103-117

• *T.Ait-Taleba* - Numerical simulation of coupled heat transfer by conduction, natural convection and radiation in hollowstructures heated from below or above - International Journal of Thermal Scinces [47] 2008 pg.378-387.

SR EN 1363 - 1 : 1999: Încercări de rezistență la foc – Partea 1: Cerințe generale.

• *SR EN 1363 - 2 : 1999*: Încercări de rezistență la foc – Partea 2: Proceduri alternative și suplimentare.

• *SR EN 1363 - 3 : 1999*: Încercări de rezistență la foc – Partea 3: Verificarea performanței cuptorului.

SR EN 13943 : 2000, Siguranța la foc. Vocabular (ISO 13943 : 2000).

- *SR EN 1935:2003*, Accesorii pentru construcții. Balama cu ax simplu. Cerințe și metode de încercare *SR EN 12519:2004*, Ferestre și uși pentru pietoni. Terminologie.
- *SR EN 13501-1:2007*, Clasificare în funcție de comportarea la foc a produselor și elementelor de construcție. Partea 1: Clasificare folosind rezultatele încercărilor de reacție la foc

• *SR EN 14600:2006*, Seturi de uși și ferestre mobile, rezistente la foc și/sau etanșe la fum. Cerințe și clasificare.

SR EN / CEI 17025 – Cerințe Generale Pentru Competența Laboratoarelor de Încercare și Etalonare.