

ZILELE ACADEMICE TIMISORENE
EDITIA 2001

**VERIFICAREA UNEI STRUCTURI METALICE PENTRU DEPOZITARE
PALETIZATA SOLICITATA LA ACȚIUNEA FOCULUI**

S. I. Dr. ing. Raul ZAHARIA^{*}, Prof. Dr. ing. Jean-Marc FRANSEN^{**}

^{*}Universitatea `Politehnica` Timișoara, ^{**} Universite de Liege

Abstract

The paper presents a fire design study case for a high-rise storage rack supporting building [1]. Standardised ISO and natural fire models were considered for the fire action. The advanced numerical analysis was carried out by means of SAFIR program, a FEM software specialised for the mechanical analysis of structures under elevated temperatures.

1. Introducere

Prezenta in clădiri a unei anumite cantitati de materiale combustibile constituie cauza principala a declansarii incendiilor. In caz de incendiu, temperaturile înalte care apar in interiorul clădirilor conduc la reducerea rigiditatii si rezistentei elementelor pina la momentul colapsului. Principala cerința in caz de incendiu este ca toate persoanele existente in clădire sa fie evacuate fara pierdere de vieți omenești. O alta cerința importanta este ca brigada de pompieri care sosește la locul sinistrului sa poată intra in clădire, fara riscul de a fi surprinsa de un colaps structural.

Din punct de vedere al calculului la acțiunea focului pentru structurile de depozitare paletizata, trebuie menționat ca acestea pot fi realizate legând învelitoarea clădirii de rack-urile pe care sunt depozitate paletele, sau cu structura de rezistenta independenta. In prima situație, rack-urile reprezintă structura de rezistenta a clădirii si trebuie sa satisfacă un anumit timp de rezistenta la foc. Rack-urile sistemelor de depozitare clasice, in care clădirea are structura de rezistenta independenta, prezintă interes doar din punct de vedere al calculului sarcinii termice, funcție de configurația acestora.

Pentru verificarea la foc a elementelor structurale din otel, pe plan european exista norma unificata EUROCODE 3 Partea 1.3 [2], tradusa si in tara noastră [3]. Aceasta norma pune la dispoziția proiectantului o metodologie de evaluare a rezistentei la foc a elementelor structurale, aflate intr-o anumita stare de solicitare, definita prin combinații de incarcari pentru `SLU la acțiunea focului` si pentru curba normalizata de evoluție in timp a temperaturii (ISO). In cazul unor structuri complexe, analiza simplificata a elementelor, cu ajutorul formulelor prezentate in normativ nu este satisfăcătoare. In aceste situații, sunt utilizate metodele generale de calcul, care presupun utilizarea unor programe de calcul specializate cu elemente finite, dedicate analizei termice si mecanice a structurilor supuse la acțiunea temperaturilor înalte. Aceste programe trebuiesc validate si verificate prin comparația cu rezultate experimentale.

Un astfel de program specializat este programul SAFIR, elaborat la Universitatea din Liege [4], program utilizat la efectuarea prezentului studiu [1].

2. Descrierea structurii studiate

Structura studiată [1] este un depozit paletizat automatizat, construit în Franța pentru societatea Procter & Gamble. Figura 1 prezintă o imagine din timpul construcției.



Fig. 1. Structura studiată în timpul construcției

Clădirea cu o suprafață totală de 9168 m² este alcătuită din rackuri de depozitare ale paletelor de 30 m înălțime, care în acest caz au și rol de susținere al învelitorii. Există 36 asemenea rack-uri, pe o lungime de 160m, între care sunt prevăzute elemente de legătură cu rolul de menține distanța între șinele pe care se deplasează cărucioarele sistemului de transport automatizat al paletelor. Figura 2 prezintă un detaliu al secțiunii transversale a clădirii.

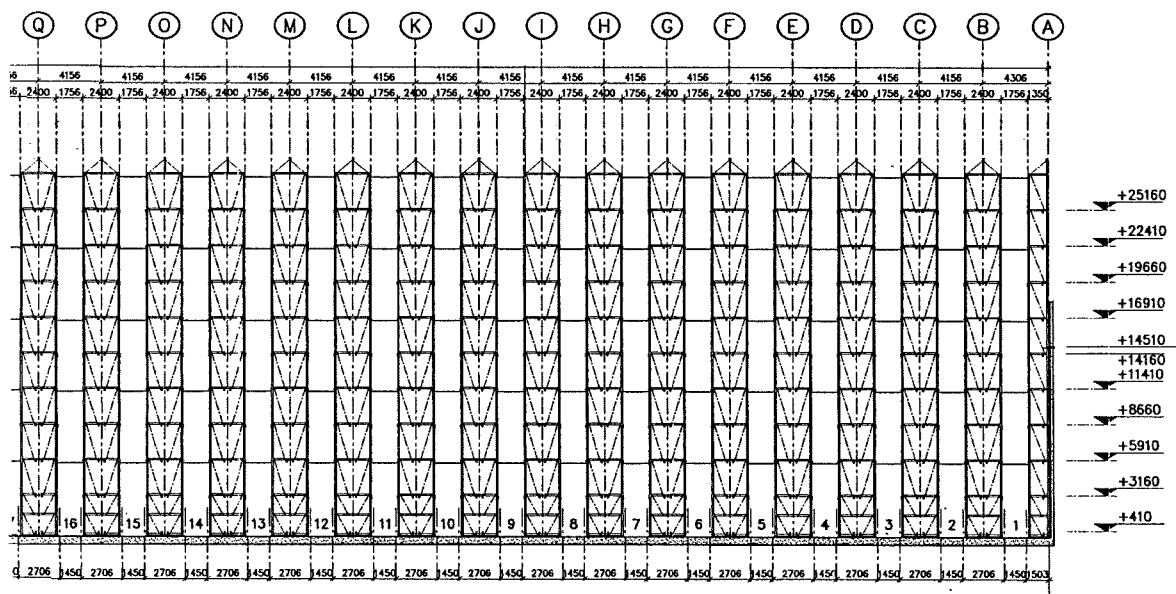


Fig. 2. Secțiune transversală

In secțiune longitudinală, un astfel de rack are o lungime de 160m și este prevăzut cu 10 nivele pentru depozitarea paletelor, așa cum se prezintă în Figura 3.

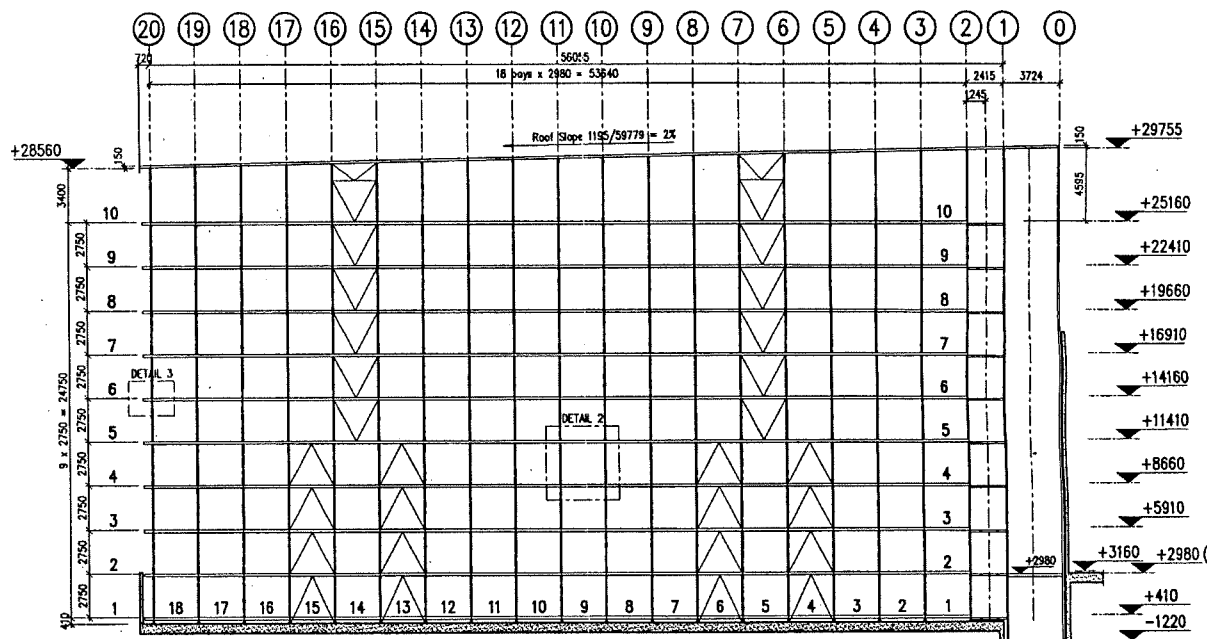


Fig. 3 Secțiune longitudinală

Cerința de rezistență la foc în conformitate cu normele europene pentru acest tip de structură industrială este de 15 minute, luând în considerare existența sistemului de detecție și stingere automată a incendiului. Pentru această clădire, însă, s-a cerut și un studiu suplimentar, în ipoteza unei disfuncționalități a sistemului de sprinklere. Pentru această situație, cerința expresă a fost ca la sosirea pompierilor, aceștia să poată pătrunde în clădire fără riscul de a fi surprinși de un colaps general al structurii. Altfel spus, se accepta ca o parte a structurii să colapseze, însă aceasta nu trebuie să antreneze o ruină în lanț a tuturor rack-urilor.

3. Analiza numerică a structurii

3.1 Analiza termică a secțiunilor transversale

Într-o primă etapă de calcul al studiului numeric, se determină evoluția temperaturii pe secțiunea transversală a elementelor, funcție de aceasta ținând cont de pierderea caracteristicilor mecanice și de efectul dilatării. Figura 4 prezintă distribuția temperaturii în secțiunea transversală a stîlpilor. Etapa a doua se referă la analiza structurală propriu-zisă, stabilind răspunsul structurii sub acțiunea forțelor statice și a încălzirii termice.

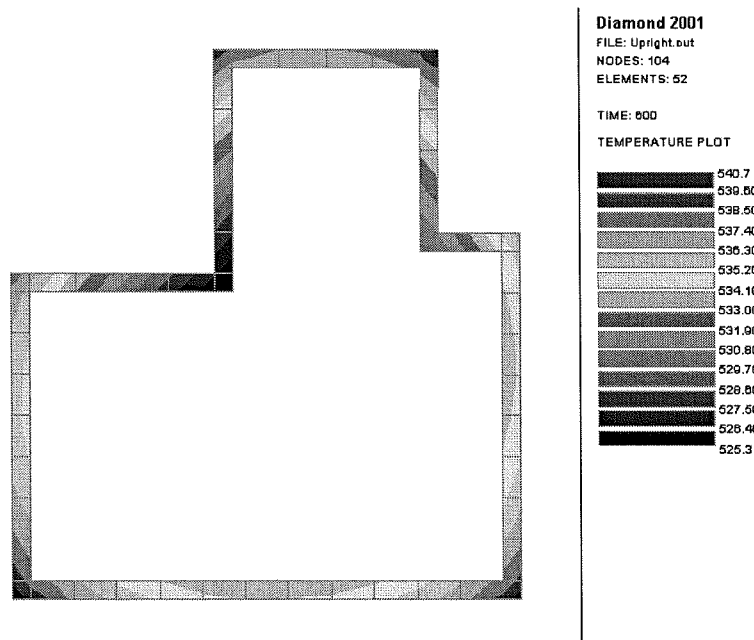


Fig. 4. Distribuția temperaturii pe secțiunea transversala a stlpului

3.2. Analiza structurala sub acțiunea focului normalizat ISO

Intr-o prima faza a studiului, s-a considerat curba normalizata ISO de evoluție in timp a temperaturii, care presupune o temperatura uniforma in întreaga clădire. Aceasta încărcare termica duce la un timp de rezistenta la foc deosebit de redus, de mai puțin de 2'30'' minute. Figura 5 prezintă modul de cedare al direcției longitudinale a structurii. Ce e important de subliniat este ca ruina nu se produce ca urmare a pierderii de stabilitate a stlpilor sub acțiunea forțelor verticale si a pierderii caracteristicilor mecanice sub acțiunea temperaturii, ci ca o consecința a pierderii de stabilitate a diagonalelor sistemului de contravintuire, sub efectul dilatării grinzilor continue pe lungimea de 60m.

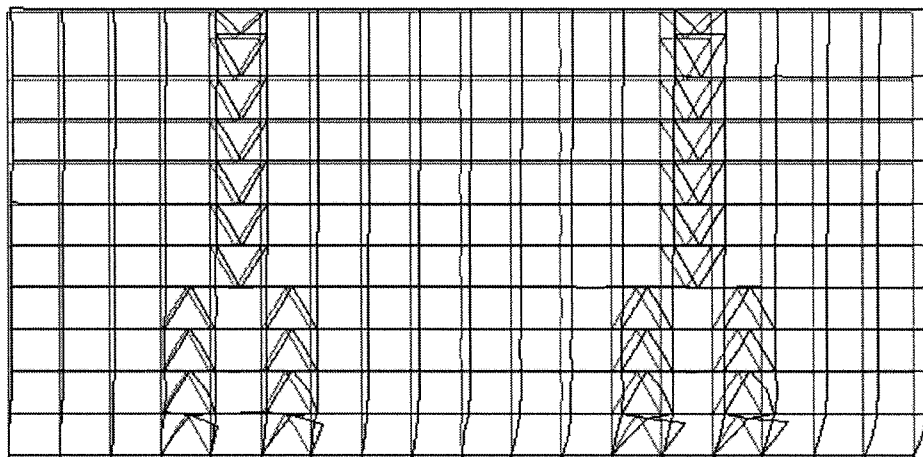


Fig. 5. Structura inițiala – ruina sub foc normalizat ISO

Pentru imbunatatirea comportamentului structural s-a propus modificarea sistemului de contravintuire, precum si modificarea unor detalii structurale, care sa permită dilatarea libera a anumitor elemente. Astfel, s-a propus întreruperea continuitatii grinzilor pe direcție longitudinala, la mijlocul rack-ului si consolidarea sistemului de contravintuire. Pentru direcția transversala, s-a propus întreruperea continuitatii dintre elementele orizontale de legătura si traversele rack-urilor. S-

a reușit astfel obținerea unui timp de rezistență la foc ISO de aproximativ 8 minute. Figura 6 arată modul de cedare al direcției longitudinale pentru structura modificată.

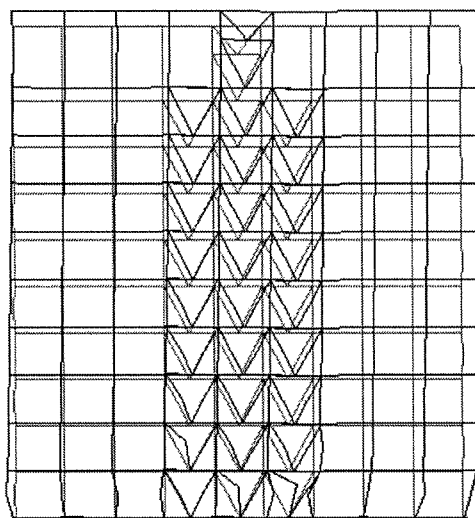


Fig. 6. Structura modificată – ruina sub foc normalizat ISO

Se observă că prin modificarea unor detalii structurale, s-a reușit triplarea timpului de rezistență la foc normalizat ISO, fără creșteri semnificative ale consumului de oțel. Chiar în aceste condiții, însă, criteriul de rezistență la foc ISO de 15 minute este dificil de realizat.

3.3 Analiza structurală sub acțiunea unui model de foc natural

Curba de foc normalizată ISO, deși prezintă în majoritatea normativelor pentru calculul la acțiunea focului și deosebit de utilă pentru efectuarea experimentelor, este o reprezentare săracă a realității, deoarece nu ține cont de nici un parametru fizic, considerând aceeași evoluție a temperaturii în timp pentru orice clădire. În realitate, evoluția temperaturii într-un compartiment este direct legată de o serie de parametri cum sunt deschiderile, sarcina termică și viteza de propagare a focului. Un parametru deosebit de important este viteza de propagare a focului, care pentru acest studiu a fost considerată ca fiind ultrarapidă, în conformitate cu rezultatele unor experimente recente efectuate la Universitatea din Delft, Olanda, pe diverse configurații de amplasare a paletelor de depozitare.

Modelul de foc natural considerat, având în vedere dimensiunile importante ale clădirii, a fost modelul combinat 'Two Zone- One Zone', care la declanșarea incendiului presupune împărțirea înălțimii clădirii în 2 zone de temperatură, o zonă superioară de fum caldă și o zonă inferioară rece. Acest model este capabil să urmărească întreaga evoluție a incendiului într-un compartiment, din momentul declanșării până în faza de 'flashover' și terminând cu regresia temperaturii. Având în vedere complexitatea ecuațiilor de echilibru ale masei și energiei utilizate pentru a descrie mișcarea aerului cald în interacțiune cu deschiderile și pereții compartimentului, este necesară dezvoltarea de programe de calcul pentru determinarea curbelor de temperatură bazate pe acest model. Un astfel de program este programul 'OZone' realizat la Universitatea din Liege în cadrul programului de cercetare european 'Natural Fire Safety Concept' [4]. În cadrul acestui program au fost efectuate teste pentru validarea și îmbunătățirea unor modele complexe de evoluție a temperaturii într-un compartiment de incendiu, prevăzându-se și realizarea de programe de calcul în care aceste modele să fie implementate. Utilizarea conceptului de 'foc natural', care permite stabilirea evoluției temperaturii într-un compartiment de incendiu pe baza unor ecuații complexe, funcție de parametri fizici care afectează acest fenomen, este tot mai răspândită în cercurile științifice din întreaga lume. Cele mai recente propuneri ale normelor europene privind stabilirea acțiunii termice în caz de incendiu [6] implementează aceste modele avansate.

Pe baza unui scenariu de incendiu care implementează modelul 'Two Zone – One Zone', considerind rackul in care se declanșează incendiul, deci presupunind un foc localizat așa cum se arată în Figura 7, ruina acestuia se produce după aproximativ 6 minute. Structura modificată prezintă un timp de rezistență ușor superior, de peste 7 minute. Analiza numerică arată că ruina unui rack atrage ruperea elementelor de legătură cu rackurile adiacente, fără a antrena pierderea de stabilitate a acestora. Pentru un scenariu de incendiu care presupune că focul se declanșează în rack-ul din mijlocul clădirii, după acest timp se poate considera că structura este divizată, așa cum se arată în Figura 8. După ruina primului rack se poate considera că focul se întinde pe cele două rack-uri adiacente, care vor fi sub influența focului localizat. Astfel, după alte aproximativ 6 minute pentru structura inițială, respectiv 7 minute pentru structura modificată, se va produce colapsul acestor două rack-uri. Ruina locală a rack-urilor de la mijlocul clădirii poate continua în același mod, fără a se produce ruina globală a structurii.

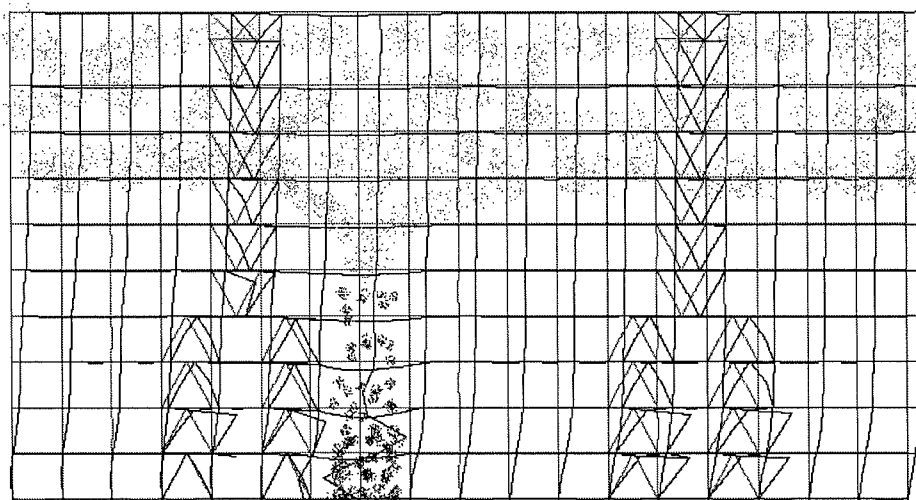


Fig. 7. Ruina rack sub acțiunea focului localizat

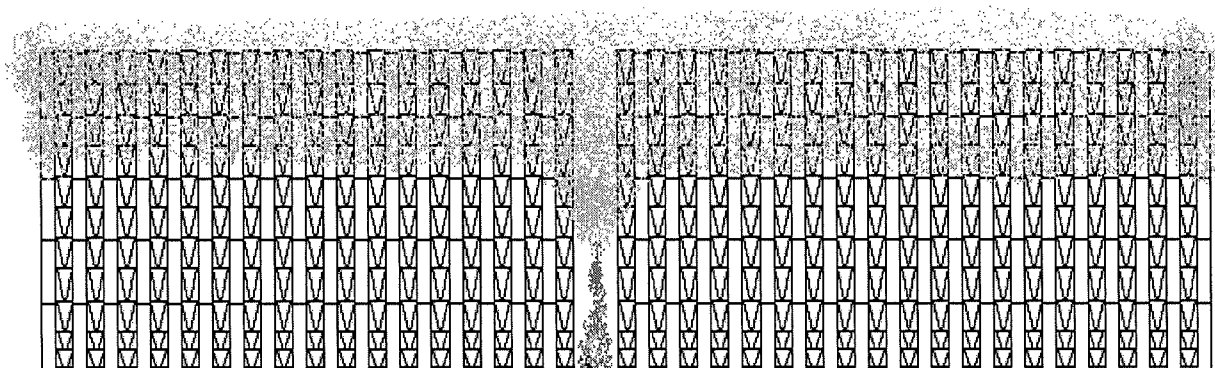


Fig. 8. Configurația cadrelor transversale după ruina primului rack

Ruina globală a structurii va corespunde astfel momentului ruinei celorlalte rackuri sub acțiunea celor 2 zone de temperatură, care se produce după mai puțin de 21 minute pentru structura inițială și peste 24 minute pentru structura modificată. Este de remarcat că acest din urmă timp corespunde momentului de 'flashover', adică momentului în care incendiul este generalizat în întreaga clădire. Din acest moment, având în vedere temperaturile ridicate ale compartimentului, este dificil de obținut sporuri importante de rezistență ale structurii.

Considerind deci un scenariu de foc realist, bazat pe un model de 'foc natural', analiza numerică arată că ruina rack-ului aflat sub acțiunea focului localizat nu poate fi evitată; aceasta nu prezintă însă un pericol semnificativ pentru evacuarea personalului existent în clădire și nu

antrenează ruina globală a întregii structuri. Doar două persoane sunt autorizate să intre în clădire, câte două ore pe săptămână, pentru verificări de rutină. Aceste persoane sunt instruite pentru situații de incendiu și pot evacua clădirea în mai puțin de 10 minute. Având în vedere că, în conformitate cu rezultatele modelului combinat 'Two Zone – One Zone', după 10 minute stratul de fum se află la 20 metri și că temperatura în zona inferioară este de 30°C, evacuarea persoanelor nu este pusă în pericol.

Atât varianta inițială cât și varianta îmbunătățită prezintă timpi de rezistență la foc înainte de ruina globală superiori celor 15 minute corespunzătoare sosirii pompierilor pentru cazul particular al acestei clădiri. Considerând modificările propuse, care nu aduc un spor important al cantității de oțel, structura este capabilă să reziste pînă în momentul declansării incendiului generalizat, oferind astfel brigăzii de intervenție mai mult timp pentru a acționa în siguranță.

5. Concluzii

Rezistența la foc a construcțiilor metalice poate fi determinată prin calcul utilizând metodele simplificată, pe baza de formule de calcul, prevăzute în normativ. Pentru situații deosebite, în cazul unor structuri complexe sau a unor cerințe particulare, poate fi necesară atât efectuarea unei analize numerice avansate utilizând programe de calcul specializate în analiza termică și mecanică a structurilor supuse la acțiunea temperaturilor înalte, cât și stabilirea de scenarii de foc pe baza modelelor de 'foc natural'.

Analiza numerică termică și mecanică a structurii studiate, efectuată cu programul SAFIR, arată că atingerea criteriului de 15 minute de rezistență sub foc normalizat ISO este dificil de obținut pentru structurile metalice de depozitare paletizată în care rack-urile fac parte din structura de rezistență. În primul rând, aceasta se datorează masivității termice scăzute a profilelor cu pereți subțiri formate la rece utilizate în mod obișnuit la aceste sisteme structurale. Un al doilea motiv vizează coeficienții parțiali de siguranță ai încărcărilor în situația de incendiu. Pentru sistemele de depozitare, aceștia au valori mult superioare decât pentru alte tipuri de clădiri, ceea ce conduce la un grad de încălzire ridicat, parametru important care afectează rezistența la foc a elementelor la acțiunea temperaturilor înalte. Nu în ultimul rând, există dilatări importante în aceste sisteme constructive, în majoritatea cazurilor continue pe mai mult de 100 metri și considerate a fi încălzite uniform (în conformitate cu ipotezele de bază ale modelului de foc normalizat ISO).

Stabilirea evoluției temperaturii în compartimentul de incendiu pe baza conceptului de 'foc natural', pe baza unor ecuații complexe, funcție de parametri fizici care afectează acest fenomen, reprezintă un pas deosebit de important în modernizarea calculului la foc. Modelele de calcul bazate pe conceptul de 'foc natural' constituie, în opinia specialiștilor, etapa imediat următoare în proiectarea rezistenței la foc a construcțiilor metalice.

Analiza pe baza unui scenariu de incendiu realist a structurii studiate, bazat pe modelul de foc natural 'Two Zone – One Zone', arată că aceasta îndeplinește cerințele particulare impuse.

Acest articol valorifică rezultatele cercetării efectuate de către primul autor, s.l. dr. ing. Raul Zaharia, la Universitatea din Liege, în cadrul unei burse SSTC acordată de Serviciile Primului Ministru pentru Afaceri Științifice din Belgia.

Referințe

[1] R. Zaharia: Behaviour of steel pallet rack structures under exceptional loading conditions. SSTC Final Report, Liege, Belgium, 2001.

- [2] ENV 1993-1-2: Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design, European Committee for Standardization, Brussels, 1993
- [3] Normativ pentru verificarea la foc a elementelor structurale ale construcțiilor din oțel. Universitatea `Politehnica` din Timișoara – INCERC Bucuresti. Contract MLPAT 191/20.12.1995
- [4] User Manual for SAFIR2001. A computer program for analysis of structures submitted to the fire. J. M. Franssen, V. K. R. Kodur, J. Mason, University of Liege, Department 'structures du genie civil' Service 'Ponts et charpentes', November 2000
- [5] CEC Agreement 7210-PA/PB/PC/PD/PE/PF/PR-060, Natural Fire Safety Concept – Full Scale Test, Implementation in the Eurocodes and Development of an Userfriendly Design Tool, 2001
- [6] Draft prEN1991-1-2: Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1.2: General Actions - Actions on structures exposed to fire, European Committee for Standardisation, Brussels, March 2001