Revista Română de Inginerie Civilă, Volumul 7 (2016), Numărul 2 © Matrix Rom

Cercetări experimentale privind analiza răspunsului la acțiunea focului a sistemelor de reabilitare termică, cu termoizolație din polistiren

Experimental research on fire behavior analysis for polystyrene insulation thermal rehabilitations systems

Octavian Lalu[1], Ion Anghel[2], Silviu Codescu[3], Bogdan Brănișteanu[4]

[1]INCD „URBAN-INCERC"
Şos. Pantelimon nr. 266, sector 2, Bucureşti, Romania
E-mail: octavian.lalu@gmail.com

[2] Academia de Poliţie „Alexandru Ioan Cuza" - Facultatea de Pompieri
Şos. Morarilor nr. 3, sector 2, Bucureşti, Romania
E-mail: ion_anghel2003@yahoo.com

[3]Inspectoratul pentru Situații de Urgență al județului Giurgiu
Str. Dorobanți, nr. 19, municipiul Giurgiu, județul Giurgiu, Romania
E-mail: silviu_codescu@yahoo.com

[4] Inspectoratul General pentru Situaţii de Urgenţă
Str. Dumitrache Banul nr. 46 Sector 2, Bucureşti, Romania
E-mail: albulescugrig@gmail.com

Rezumat. *Reglementările tehnice în domeniul securității la incendiu precum și tendința continuă de eficientizare a consumului energetic și de minimizare a pierderilor de căldură fac obiectul comparației diferitelor soluții constructive ale termoizolațiilor utilizate în construcții. Atunci când sistemul termoizolant este implicat într-un incendiu de fațadă apare riscul propagării incendiului la etajele învecinate. Modalitatea punerii în operă și discontinuitățile placărilor exterioare reprezintă parametri care influențează semnificativ propagarea incendiilor pe verticală. Articolul prezintă cercetări experimentale efectuate de autori, cu privire la comportamentul termoizolației din polistiren supusă acțiunii focului, în scopul întarzierii propagării verticale a flăcărilor.*

Cuvinte cheie: evoluție termică, sisteme de bariere, stand experimental, incendiu de compartiment, propagarea flăcărilor pe verticală

Abstract. *The technical regulations regarding fire safety and the ongoing trend of energy efficiency and minimizing heat losses, all will lead to a comparison of different constructive solutions for the thermal insulation used in construction. When the thermal insulation system is involved in a façade fire, the risk of fire spread to adjoining floors will occur. The way the insulation work is done and the external claddings discontinuities are parameters that significantly influence the spread of fire on the vertical façade of the building. The article presents an experimental research done by the authors, to study the*

behavior of burning polystyrene insulation and its influence on the spread of fire (with the intention to delay the spread).

Key words: thermal evolution, fire barriers systems, experimental stand, compartment fire, vertically fire spread

1. Introducere

Legislaţia Europeană impune, printr-o serie de reglementări tehnice, diferite măsuri pentru reducerea consumului de energie din sectorul construcţiilor, clădirile fiind responsabile pentru 40 % din consumul total de energie din Uniunea Europeană. Conform directivei 2010/31/UE [1] statele membre vor impune cerinţe privind îmbunătăţirea performanţei energetice a clădirilor noi şi existente. În România s-a adoptat o metodologie de calcul MC 001/1 [2] prin intermediul căreia se evaluează şi se certifică performanţa energetică atât pentru clădirile noi, cât şi pentru cele existente. Conform unui studiu realizat de Ministerul Dezvoltării Regionale şi Locuinţei [3], până la începutul anului 2013, s-au reabilitat termic aproximativ 2000 de blocuri de locuit, urmând să se demareze acţiuni de reabilitare termică pentru alte 3000 de blocuri. Amploarea lucrărilor de reabilitare termică este foarte mare şi implică costuri deosebit de ridicate. Ţinând cont de costurile ridicate ale investiţiilor trebuie să se asigure durabilitatea lucrărilor executate. Până în prezent, În România, nu existau studii şi teste privind răspunsul la acţiunea focului, pe care îl au elementele de placări exterioare utilizate la reabilitarea termică a construcţiilor. Un studiu recent de cercetare aplicativă prezintă pe larg problematica propagării focului pe verticală la construcţiile multietajate şi oferă o serie de soluţii constructive pentru îmbunătăţirea performanţei faţadelor combustibile la acţiunea focului [4].

În figura 1 este prezentat un ansamblu de locuinţe multifamiliale, reabilitat termic cu sistemul compozit de izolare termică ETICS (External Thermal Insulation Composite System). Reabilitarea termică presupune următoarele etape de realizare [5]:
- izolarea termică a pereţilor exteriori clădirii de locuit;
- înlocuirea ferestrelor şi a uşilor exterioare pentru întregul ansamblu de locuinţe, în vederea reducerii pierderii de energie prin elementele vitrate;
- termo-hidroizolarea acoperişurilor sau a terasei, termoizolarea planşeului situat deasupra ultimului nivel;
- izolarea termică a planşeului peste subsol (pentru apartamentele de la parter);
- demontarea instalaţiilor şi echipamentelor aflate pe faţade şi pe terasa blocului de locuinţe şi remontarea acestora după finalizarea lucrărilor de reabilitare termică;
- reparaţii finale ale finisajelor anvelopei.

Fig. 1. Reabilitarea termică cu sistem de izolare compozit ETICS – Bd. Banu Manta, București, prelucrat după [4]

Punerea în operă a sistemelor compacte de termoizolații necesită o atenție sporită și trebuie executată cu personal calificat. Pentru o executare corectă a sistemelor compozite de termoizolații, în România, s-a adoptat *„Ghidul privind proiectarea și executarea lucrărilor de reabilitare termică a blocurilor de locuințe”* – indicativ GP 123-2013 [6], iar detaliile de principiu pentru intervenția la pereții exteriori sunt prezentate în reglementarea tehnică *„Soluții cadru pentru reabilitarea termo-higro-energetică a anvelopei clădirilor de locuit existente”* – indicativ SC 007-2013 [7].

Pentru asigurarea durabilității lucrărilor de reabilitare a anvelopei este necesară verificarea și pregătirea suprafeței suport, deoarece integritatea sistemului depinde de stabilitatea acestuia. Suprafața exterioară suport pentru aplicarea termosistemului, a clădirilor existente, este din beton armat, zidărie din blocuri de BCA (Beton Celular Autoclavizat) sau cărămizi ceramice. Aceste tipuri de pereți fac parte din categoria suporturi tencuite care impun, suplimentar, față de operațiunea de lipire, fixarea mecanică cu dibluri a plăcilor termoizolante.

2. Analiza experimentală a răspunsului la acțiunea focului

La nivel internațional cerințele de proiectare pentru fațadele clădirilor iau în calcul performanța energetică în vederea reducerii consumului de energie, reducerea infiltrațiilor de apă și de aer dar totodată încearcă să ofere un design estetic și flexibil [8]. Prin prisma acestor cerințe au apărut mai multe tipuri de materiale și sisteme de placări exterioare combustibile, care sunt utilizate la realizarea și reabilitarea fațadelor clădirilor noi sau existente.

2.1. Exemplificări privind propagarea incendiilor pe verticală

Atunci când din interiorul compartimentelor, flăcările acționează pe fațadele placate cu materialele combustibile, propagarea incendiului pe verticală se produce într-un timp scurt, uneori pe toată înălțimea construcțiilor. Statisticile arată că la nivel internațional, incendiile care implică aprinderea fațadelor și propagarea incendiului pe

verticală sunt destul de rare, în raport cu incendiile produse în compartimente, dar pagubele materiale rezultate în urma acestora sunt ridicate [9].

Cercetările existente scot în evidență faptul că, pentru elementele de placări exterioare, expunerea la un incendiu de compartiment (post-flashover), în urma căruia flăcările acționează direct pe fațadă, reprezintă o situație mai severă de expunere la foc decât expunerea la un foc de la o sursă exterioară [10], [11], [12].

Fig. 2. Reabilitarea termică cu sistem de izolare compozit ETICS – Bd. Banu Manta, București, prelucrat după [4]

Sistemul de placări exterioare ETICS utilizat la reabilitarea termică blocului de locuințe prezentat în figura 2, a fost realizat cu termoizolație din polistiren. Din investigările post-incendiu s-a constatat că nerespectarea specificațiilor producătorului la punerea în operă a sistemului și lipirea necorespunzătoare a plăcilor de polistiren au contribuit la propagarea incendiului pe verticală [13].

2.2. Realizarea unui stand experimental pentru testare

Studiul experimental efectuat a urmărit modelarea unui incendiu de compartiment, în care evoluția temperaturii va urmări curba standardizată de temperatură - timp ISO 834, descrisă de ecuația (1).

$$\theta_g = 345 \cdot \log_{10}(8t+1) + \theta_0 \quad (1)$$

Standul utilizat pentru testare, prezentat în figura 4 (stânga), este alcătuit dintr-o structură suport realizată din zidărie BCA, cu o înălțime totală de 340 cm. Golul de fereastră, prin care acționează focul pe fațadă, are dimensiunile de 50 × 90 cm (H × L). Înălțimea standului de testare, considerată de la partea superioară a golului de fereastră (h = 0 cm), este de 210 cm. Pe structura suport realizată s-au montat elementele componente ale sistemului de placări exterioare, în conformitate cu reglementările tehnice în vigoare.

2.2.1. Parametri urmăriți

Pentru sistemul testat s-a urmărit atât evoluția temperaturilor în compartimentul de incendiu, cât și distribuția temperaturilor pe suprafața exterioară a fațadei. Termocuplurile pentru măsurarea temperaturilor de pe suprafața exterioară a fațadei s-au montat în special pe direcția axei verticale de simetrie a sistemelor, la diferite înălțimi. Pe baza testului efectuat s-a urmărit realizarea unei reprezentări grafice a temperaturilor maxime, de pe suprafața exterioară a fațadei în raport cu înălțimea (figura 8 - dreapta), pentru situația de expunere la incendiu din interior.

2.2.2 Detalii de alcătuire și materiale utilizate

Sistemul testat reprezintă sistemele de placări exterioare ETICS, cu termoizolație din polistiren grafitat ignifugat, utilizate în practica curentă [14], [15].

Materialele utilizate pentru realizarea sistemului de reabilitare termică, cu termoizolație din polistiren, sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Descrierea materialelor utilizate la sistemul de reabilitare termică propus pentru testare

Nr. Crt.	**Materiale folosite pentru realizarea sistemului**	**Caracteristici**
	Sistem ETICS	
1.	Adeziv pentru plăci termoizolante	λ=0,80 W/mK
2.	Plăci termoizolante din polistiren expandat grafitat	λ=0,032 W/mK Clasă de reacţie la foc: B-s2,d0 (E) ρ=15 Kg/m^3
3.	Adeziv şpăcluire	λ=0,80 W/mK
4.	Dibluri de plastic	L=175 mm
5.	Plasă fibră de sticlă pentru sistem termoizolant	165 g
6.	Colţare metalice	cu plasă
7.	Grund	densitate 1,65 Kg/m^3
8.	Tencuială decorativă	λ=0,70 W/mK

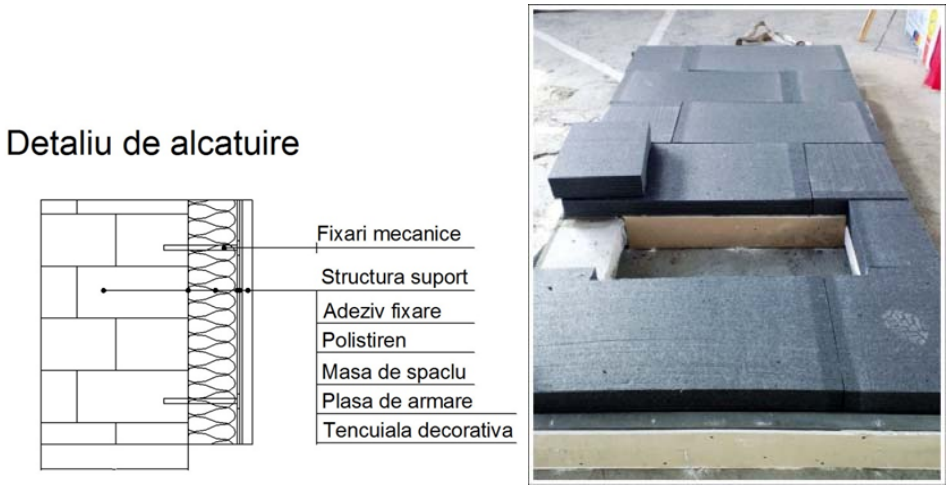

Fig. 3. Detaliu de alcătuire pentru sistemul compozit de izolare termică (stânga). Realizarea sistemului compozit de izolare termică - în curs de execuție (dreapta)

Sistemul testat la acţiunea focului a fost realizat respectându-se tehnologia curentă de execuţie a sistemelor de placări exterioare, conform prevederilor din GP 123-2013 [6]. În figura 3 (stânga) este prezentat un detaliu de alcătuire utilizat în practica curentă la realizarea sistemelor de termoizolaţii. În figura 3 (dreapta) este prezentat sistemul de placări exterioare cu termoizolaţie din polistiren grafitat, pe durata procesului de execuţie.

2.2.2 Poziţionarea termocuplurilor pentru sistemul propus

În figura 4 este prezentată amplasarea termocuplurilor pe suprafaţa sistemului pregătit pentru testare, în scopul măsurării valorilor de temperatură.

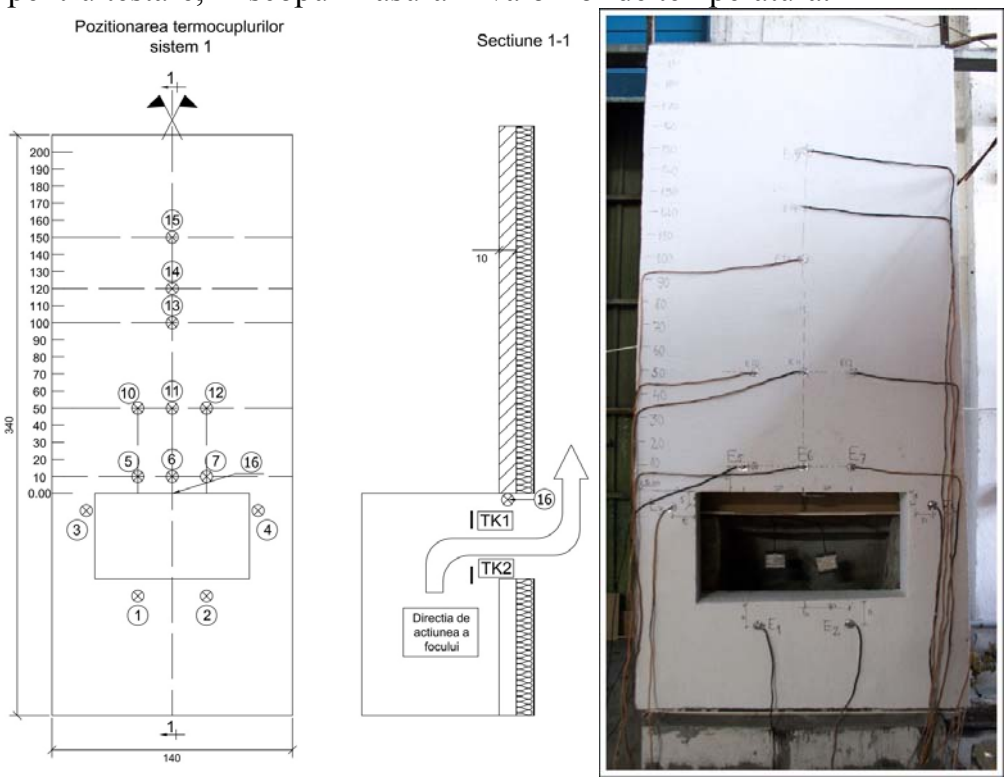

Fig. 4. Detaliu de poziţionare a termocuplurilor (stânga). Sistemul compozit de izolare termică pregătit pentru testare - înainte de începerea testului (dreapta)

După efectuarea testului s-a decopertat sistemul şi s-au evaluat avariile produse de incendiu asupra termoizolaţiei şi nivelul de propagare a focului pe verticală.

3. Expunerea la acţiunea focului

Sistemul de placări exterioare a fost expus la acţiunea focului, simulându-se o situaţie de incendiu provenit din interiorul construcţiei, aşa cum este prezentat în figurile 5, 6. Expunerea la acţiunea focului s-a efectuat în conformitate cu dezvoltarea curbei de temperatură - timp ISO 834, iar durata de expunere a fost de 50 de minute.

După minutul 5 de expunere la foc se observă o schimbare a culorii tencuielii decorative între înălţimea h = 0 … 50 cm, faţă de golul de fereastră.

Tencuiala decorativă își schimbă culoarea din albă în gri-maroniu, așa cum se observă în figura 5 (stânga).

După 20 de minute de expunere la foc se observă schimbarea culorii tencuielii decorative din maroniu în negru, pe o înălțime h = 60 cm, iar pe înălțimea h = 60 …80 cm culoarea tencuielii decorative se schimbă din alb în maroniu, așa cum se observă în figura 6 (dreapta).

În tabelul 2 sunt prezentate valorile temperaturilor măsurate la diferite momente de timp, pe durata de expunere la acțiunea focului.

Tabelul 2

Temperaturile măsurate la minutul 5 și minutul 20 de expunere la acțiunea focului

Valori ale temperaturilor înregistrate [°C]						
Timp	h = 0 cm	h = 10 cm	h = 50 cm	h = 100 cm	h = 120 cm	h = 150 cm
min 5	395	199	200	50	122	51
min 20	639	298	336	89	184	88

Fig. 5. Minutul 5 de la începerea testului (stânga). Minutul 20 de la începerea testului (dreapta)

Fig. 6. Minutul 39 de la începerea testului (stânga). Minutul 51 de la începerea testului (dreapta)

După minutul 39 de expunere la foc se observă aprinderea sistemului testat în partea din dreapta-sus a golului de fereastră (figura 6 - stânga). Se constată picături arzânde, provenite din orificiul format, care au o durată de ardere mai mare de 10 secunde.

După oprirea acțiunii termice asupra sistemului testat polistirenul arde cu flacără în spațiul format între tencuiala decorativă și structura suport (figura 6 - dreapta).

Durata de ardere, după încetarea acțiunii focului, a fost de 210 s. După primele 30 de minute de expunere la foc se observă apariția unor fisuri în stratul de tencuială decorativă.

În tabelul 3 sunt prezentate valorile temperaturilor măsurate la diferite momente de timp, pe durata de expunere la acțiunea focului.

Tabelul 3

Temperaturile măsurate la minutul 5 şi minutul 20 de expunere la acțiunea focului

Valori ale temperaturilor înregistrate [°C]						
Timp	h = 0 cm	h = 10 cm	h = 50 cm	h = 100 cm	h = 120 cm	h = 150 cm
min 39	685	416	358	127	194	82
min 50	672	395	339	229	207	98

4. Analiza, prelucrarea şi interpretarea rezultatelor

În urma testului de expunere la acțiunea focului, efectuat pe sistemul compozit de izolare termică, s-a decopertat stratul de tencuială decorativă în vederea evaluării răspunsului global la acțiunea focului. Rezultatele vizuale sunt prezentate în figura 7.

Fig. 7. Sistem compozit de izolate termică, după expunerea la acțiunea focului și decopertarea stratului de tencuială decorativă

Pe durata testului se observă autoîntreținea focului în interiorul sistemului, în spatele tencuielii decorative. Propagarea focului pe verticală a avut loc prin interiorul sistemului pe toată înălțimea parapetului placat și anume h = 200 cm.

După acțiunea focului se constată că tencuiala decorativă devine casantă. Elementele de fixare mecanică (dibluri de plastic) poziționate în zona de acțiune directă a focului s-au topit.

Plasa de armare din fibra de sticlă nu este afectată de expunea la acțiunea focului. În partea de jos a ferestrei, polistirenul grafitat este afectat pe o distanță de aproximativ 35 cm (figura 7). Se constată că plasa de armare și colțarele metalice cu plasă joacă un rol important în menținerea stabilității sistemului.

Pe durata de expunere la acțiunea focului au fost înregistrate temperaturile din compartimentul considerat de incendiu (figura 8 - stânga), temperaturile în zonele de fereastră (figura 8 - dreapta). Se observă că la minutul 50 de expunere la acțiunea focului, temperaturile în compartimentul de incendiu considerat au valorile medii de 879 °C. În partea dreaptă a zonei golului de fereastră se observă că temperaturile au avut valori maxime de 238 °C.

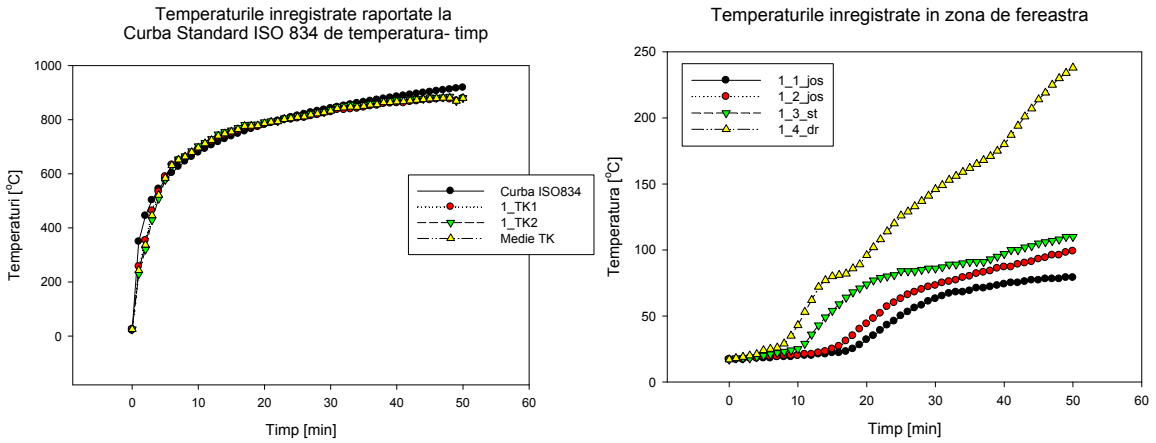

Fig. 8. Temperaturile înregistrate în compartimentul de incendiu (stânga) şi în zonele de fereastră (dreapta), pe durata de expunere la foc

Analizând rezultatele prezentate în figura 9 (stânga) se observă că temperaturile maxime în zona buiandrugului (la h = 0 cm faţă de golul de fereastră) au avut valori maxime de 685 °C. Termoizolaţia din polistiren este arsă şi topită, aşa cum se observă din figura 7. La înălţimea de 50 cm, faţă de golul de fereastră, temperaturile ating valori maxime de 373 °C.

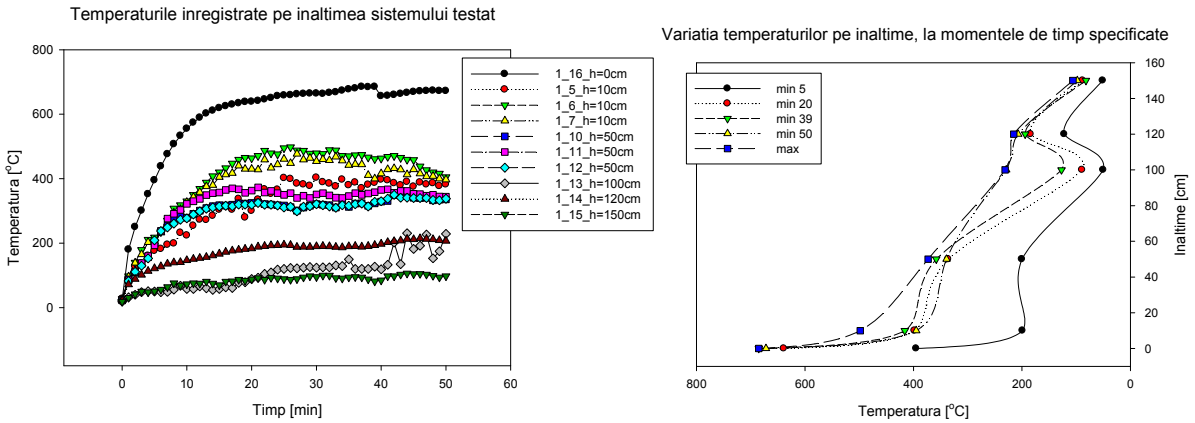

Fig. 9. Temperaturile înregistrate pe suprafaţa exterioară a sistemului testat (stânga). Variaţia temperaturilor înregistrate pe axa de simetrie a sistemului, la momentele de timp specificate, în raport cu înălţimea (dreapta)

În figura 9 (dreapta) este prezentată evoluţia temperaturilor înregistrate de termocuplurile poziţionate pe axa de simetrie a sistemului analizat, la diferite momente de timp, în raport cu înălţimea.

5. Concluzii

Analizând rezultatele obţinute în urma studiului experimental, se constată că pentru clădirile multietajate, placate cu termoizolaţie din polistiren, trebuie efectuate întreruperi ale izolaţiei combustibile, cu materiale termoizolante incombustibile (ex: vată minerală bazaltică, plăci termoizolante multipor, etc.).

De asemenea, se observă că după 20 de minute de expunere la foc, temperaturile înregistrate pe fațadă, la înălțimea h = 50 cm, ating valori de 336 °C. Temperaturile de aprindere pentru polistirenul expandat, aflat în contact cu aerul, sunt cuprinse între valorile 340 °C … 370 °C, iar temperaturile de autoaprindere, fără o sursă de flacără, sunt cuprinse între valorile 400 °C … 420 °C [16]. De aici, rezultă necesitatea întreruperii stratului de termoizolație de la înălțimea h = 50 cm, față de golul de fereastră.

În zona golurilor de fereastră trebuie montate colțare metalice cu plasă de armare în vederea asigurării stabilității sistemului de placări exterioare la acțiunea unui foc din interior.

Respectarea tehnologiei de execuție a sistemelor de placări exterioare termoizolante, cu termoizolație din polistiren, este decisivă în comportarea la acțiunea focului a sistemului aflat în exploatare.

Studiul de cercetare privind analiza și testarea sistemelor termoizolante de reabilitare termică, la acțiunea focului, este cu caracter unicat în România, iar în continuarea studiului se propune analizarea și testarea metodelor de întrerupere a termoizolației, cu materiale incombustibile, în vederea reducerii riscului de propagarea a incendiilor pe verticală, la construcțiile multietajate.

Mulțumiri

Acest program de cercetare a fost realizat în cadrul programului *„Cercetări experimentale în scopul determinării soluțiilor de conformare a elementelor de construcție cu performanțe superioare la acțiunea focului”* Cod Proiect: PN 09-14 04 01. Programul de cercetare s-a desfășurat în cadrul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare URBAN-INCERC. La realizarea programului experimental au luat parte membri din cadrul Academiei de Poliție „Alexandru Ioan Cuza” - Facultatea de Pompieri și din cadrul Universității Tehnice de Construcții București.

Referinţe

[1] *Parlamentul European și Consiliul*, Directiva 2010/ 31/ UE privind performanța energetică a clădirilor, 2010.

[2] *Monitorul Oficial, Partea I nr. 126bis*, Indicativ MC 001/1-2006 Metodologie de calcul al performanţei energetice a clădirilor, Partea I - anvelopa clădirii, 2007.

[3] *G. Petrescu, C. Stamatiade, E. Bungărdean*, Reabilitarea termică a blocurilor de locuinţe, Ministerul Dezvoltării Regionale şi Locuinţei, www.mdrl.ro.

[4] *O. Lalu*, „Cercetări privind elaborarea unor soluții durabile de reabilitare termică a anvelopei clădirilor. comportamentul la acțiunea focului, soluții de securitate la incendiu”, Teză de Doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2016.

[5] *Monitorul Oficial, Partea I nr. 155*, OUG nr.18/2009 Ordonanța de urgență privind creșterea performanței energetice la blocurile de locuințe, cu modificările și completările ulterioare, 2009.

[6] *Ordinul nr. 2211/2013*, pentru aprobarea reglementării tehnice: Ghid privind proiectarea şi executarea lucrărilor de reabilitare termică a blocurilor de locuinţe, indicativ GP 123-2013, 2013.

[7] *Ordinul nr. 2280/2013*, pentru aprobarea reglementării tehnice: Soluţii-cadru privind reabilitarea termo-higro-energetică a anvelopei clădirilor de locuit existente, indicativ SC 007-2013, 2013.
[8] *D. J. O'Connor*, Building Façade or Fire Safety Façade?, Editor: Antony Wood, CTBUH 8th World Congress, Dubai 2008.
[9] *N. White, M. Delichatsios*, Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components, Fire Protection Research Foundation, 2014.
[10] *D. Yung, I. Oleszkiewicz*, Fire Spread via Exterior Walls of Buildings, Proceedings of 4th Conference on Building Science and Technology, Toronto, Ontario, Canada, 1988, pp. 18-19.
[11] *S. Klopovic, Ö. F. Turan*, Flames Venting Externally during Full-scale Flashover Fires: Two Sample Ventilation Cases, Fire Safety Journal, **Vol. 31**, 1998, pp. 117-142.
[12] *S. Yokoi*, Study on the Prevention of Fire Spread Caused by Hot Upward Current, Building Research Institute Japan, Report 34, 1960.
[13] *M. Hajpál*, Analysis of a tragic fire case in panel building of Miskolc, EMI, Malta, 10-12 April 2012.
[14] *O. Lalu*, Faza 13: Cercetări experimentale privind îmbunătățirea din punct de vedere al rezistenței la foc a unor sisteme termoizolante folosibile la reabilitarea termică a construcțiilor utilizând tencuieli cu conţinut de perlit, Program NUCLEU, Cod proiect: PN 09-14 04 01, INCD „URBAN-INCERC", 2013.
[15] *O. Lalu*, Faza 14 - Analiza comparativa din punct de vedere al comportării la acțiunea focului a sistemelor de reabilitare termică utilizate conform normativelor în vigoare (P118/99) raportate la sistemele de reabilitare termică prevăzute cu bariere incombustibile, Program NUCLEU, Cod proiect: PN 09-14 04 01, INCD „URBAN-INCERC", 2013.
[16] *NFPA 704*, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, 2012;