
COMPORTAREA ELEMENTELOR STRUCTURALE DE ANVELOPĂ DIN ZIDĂRIE LA ACȚIUNI EXTREME

Claudiu Sorin DRAGOMIR, Claudiu MATEI, Daniela DOBRE, Emil Sever GEORGESCU

REZUMAT

Sunt prezentate aspecte privind comportarea elementelor structurale de anvelopă din zidărie la acțiuni produse de seisme și explozii de gaze. Încercările au fost realizate, conform standardului SR EN 1052-2, pentru patru module din zidărie executate din blocuri ceramice cu dimensiuni diferite. Valorile maxime ale forțelor aplicate pe cele patru module din zidărie, determinate prin încercări statice, au fost utilizate pentru calculul presiunii produse pe pereții din zidărie în cele două variante de încercare: zidărie simplă și zidărie consolidată cu țesătură din fibră de carbon. Rezultatele obținute confirmă eficiența aplicării unor straturi din țesătură de fibre din carbon la fibra întinsă a panoului din zidărie.

Cuvinte cheie: anvelopă, zidărie din cărămidă, acțiuni extreme

ABSTRACT

The aspects of the behavior of masonry structural envelope elements under seismic actions and gas explosions are presented. The tests of four models of ceramic blocks with different dimensions were performed according to SR EN 1052-2. The maximum value of the force applied on the panels of masonry, determined by static tests, was used to calculate the pressure produced on the four masonry panels for two types of tests: plain masonry and masonry strengthened with carbon fibers. The results confirm the effectiveness of the application of carbon fiber layers on the tensioned fiber of masonry panels.

Keywords: envelope, ceramic brick masonry, extreme actions

1. INTRODUCERE

Anvelopa clădirilor reprezintă un element esențial în securitatea față de acțiuni extreme. Alcătuirea elementelor de anvelopă este determinată de cerințele clientului, tradiții, materiale disponibile și idei arhitecturale, fiind puse în practică prin tehnici ingineresti și soluții existente în epocă.

După semnalul dat de efectele uraganelor și tornadelor din anii 1970 în SUA, impactul dat de exploziile de gaze și ulterior de exploziile teroriste asupra clădirilor reprezintă o preocupare relativ recentă, puțin studiată, pusă în evidență mai întâi în SUA în anii 1990 și apoi în Europa, fiind aproape absentă în România, atât în reglementări cât și în practică.

Accentuarea importanței acestui domeniu s-a produs după evenimentele tragice de la World Trade Center din 11 septembrie 2001, urmate de atentatele

de la Madrid (2004) și Londra (2005). Problema este încă în plină actualitate în Europa și în SUA. Datele Departamentului de Stat al SUA indicau că pe glob s-au produs la nivel 2005 peste 11.000 de atacuri teroriste cu peste 14.600 victime.

În acest context, în martie 2008 Guvernul Marii Britanii, prin Ministerul de Interne, a solicitat imperativ arhitecților să proiecteze noile clădiri în concepte modificate, rezistente la terorism, incluzând spații de adăpostire în siguranță, bariere contra automobilelor cu explozivi și sisteme vitrate care să facă față atacurilor teroriste, mai ales în locuri aglomerate și centre comerciale.

Aceste cerințe reprezintă în fapt directive naționale de proiectare, nemaîntâlnite până acum în acest mod, care au fost privite reticent și chiar cu opoziție din partea arhitecților, o branșă profesională liberală în concepții și practici. Implicațiile îi privesc însă și pe ingineri, arhitecți urbaniști, proprietari și

Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Construcții și Economia Construcțiilor – INCERC București

Claudiu Sorin DRAGOMIR, CSIII, e-mail: dragomircs@incerc2004.ro;

Claudiu MATEI, CS II, e-mail: matei.claudiu@incerc2004.ro;

Daniela DOBRE, CSIII, e-mail: danielad@incerc2004.ro;

Emil Sever GEORGESCU, Director științific, e-mail: ssever@incerc2004.ro

dezvoltatorii imobiliari. Reacția arhitecților britanici urmează la un anumit interval reacțiile similare din SUA imediat după 2001. Aceștia consideră că mediul construit nu trebuie dezumanizat, militarizat sau urât, și ar fi necesară atât o legislație adecvată pentru a obliga proiectanții să aplice astfel de cerințe, ca în SUA, cât și soluții tehnice și materiale avansate, performante, care permit să se evite ideea de “bunker” sau “fortăreață”.

Ideea alternativă agreată de arhitecții din Marea Britanie este de a promova o “securitate transparentă”, invizibilă ochiului public, obținută prin educarea celor implicați în procesul de investiții și proiectare asupra unui echilibru între securitate și umanitatea spațiilor.

Specialiștii de la cunoscuta companie ARUP din Marea Britanie consideră că: fațada clădirii are un rol vital în protecția ocupanților față de efectele încărcărilor extreme; prin selectarea unor materiale adecvate, atât pentru partea vitrată cât și pentru partea opacă se pot reduce potențialele de afectare a ocupanților și dereglarea activității, la un cost

rezonabil; relația anvelopei cu structura trebuie să fie de așa natură încât transmiterea încărcărilor accidentale să se facă mai degrabă la diafragmele de planșeu decât la structura verticală. Deoarece durata unei explozii este foarte scurtă, inerția clădirii va suplini lipsa de rezistență și va reduce riscul de colaps.

2. VULNERABILITATEA SEISMICĂ A CONSTRUCȚIILOR DIN ZIDĂRIE

Problema stabilității în afara planului a pereților supuși excitației seismice nu este, în mod neobișnuit, bine pusă în evidență în Eurocodul 8, și anume la punctul la care încărcarea (acțiunea) seismică nu este clar definită și inginerul va trebui să găsească propria cale de a verifica siguranța, recurgând spre exemplu la acțiunea seismică definită pentru elementele nestructurale (așa cum este propus de Tomazevic, 1999).

Tabelul 1.

Factorii care influențează vulnerabilitatea seismică a clădirilor din zidărie [1]

Nr. crt.	Vulnerabilitate ridicată	Vulnerabilitate scăzută
1	Calitate slabă a materialelor (mortar slab, cărămizi slabe/fragile), „conexiuni interne” slabe ale zidăriei (zidărie multi-strat fără conexiuni transversale)	Unități regulate și robuste, legătură strânsă și închisă a unităților, zidăria se comportă ca un monolit prin pe întreaga grosime a zidului.
2	Pereți foarte fragili, zvelți (instabilitate în afara planului)	Limitarea zvelteții pereților, împiedicarea (restricții) la cedarea în afara planului
3	Lipsa conexiunilor eficiente dintre pereți și între pereți și structurile orizontale, lipsa redundanței structurale	Legături bune la îmbinarea pereților, prezența tiranților și centurilor (șaipe rigide) la fiecare etaj (și acoperiș) pentru a favoriza „efectul de cutie rigidă”, conexiuni planșeu-perete eficiente care reduc concentrările de eforturi
4	Planșeele nu pot asigura o comportare de tip diafragmă	Diafragme cu suficientă rigiditate și rezistență care să împiedice vibrațiile pereților în afara planului, să crească redundanța structurală și să favorizeze redistribuirea forței interne.
5	Prezența împingerilor orizontale echilibrate de rezistența în afara planului a pereților structurali (de ex. din acoperiș, din arce sau structuri boltite)	Împingerile orizontale sunt contracarate de pereți groși/contraforți sau prin elemente structurale adecvate (tirani, planșee diafragme) pentru a forma un sistem echilibrat și “închis”.
6	Deschideri excesive fără reazeme intermediare între planșee, pereți aflați la distanțe mari și neregulate	Deschiderile planșeeilor limitate, pereții rezistenți la forfecare dispuși regulat în cel puțin două direcții ortogonale
7	Mase structurale și nestructurale mari și rezistența materialelor mică	Masele și greutatea produc un raport mic efort/rezistență
8	Iregularitate structurală în plan (efecte de torsiune) și în elevație (direcție de încărcare ineficientă, concentrări de eforturi)	Structură regulată, rezistență la torsiune suficientă cu direcție regulată a forțelor de la vârf până la fundație

Poate fi spus că limitările precise ale zvelteții, cerințele grosimii minime și concepția structurală corespunzătoare și detaliile (diafragme rigide, conexiune eficientă planșeu - perete) pot garanta în cele mai multe cazuri prevenirea cedărilor conduse în afara planului; totuși pe de o parte asemenea limitări ale grosimii și zvelteții sunt parametri stabiliți la nivel

național care pot varia semnificativ de la o țară la alta, iar pe de altă parte stabilitatea în afara planului este de asemenea o problemă pentru elementele seismice „secundare” și compartimentărilor nestructurale care nu pot corespunde cu asemenea limitări. În figura 1 sunt prezentate câteva exemple ale mecanismelor de avariere locală.

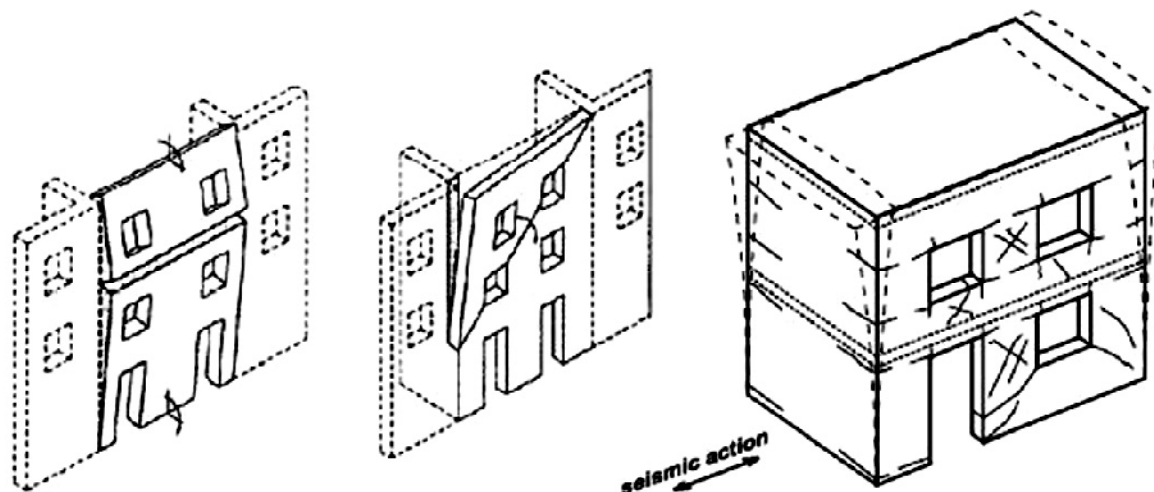


Fig. 1. Exemple ale primelor mecanisme de avariere „locală” (stânga, din D’Ayala & Speranza, 2003) și mecanismul răspunsului global (dreapta)

Recent cercetările practice și teoretice au confirmat că răspunsul în afara planului și stabilitatea pereților supuși excitației seismice, când condițiile ultime sunt luate în considerare, este mai mult o problemă de efect al deplasării asupra capacității de deplasare decât o problemă de rezistență.

Problema este foarte complexă, fiind necesară evaluarea:

- cerinței seismice privind pereții considerând efectele filtrării dinamice ale clădirii și diafragmelor și răspunsul dinamic al peretelui;
- rezistenței pereților comparativ cu forțele în afara planului și mecanismele relevante de rezistență;
- capacității de deplasare în afara planului a pereților; în figura 2 este reprezentat simplificat răspunsul seismic în afara planului.

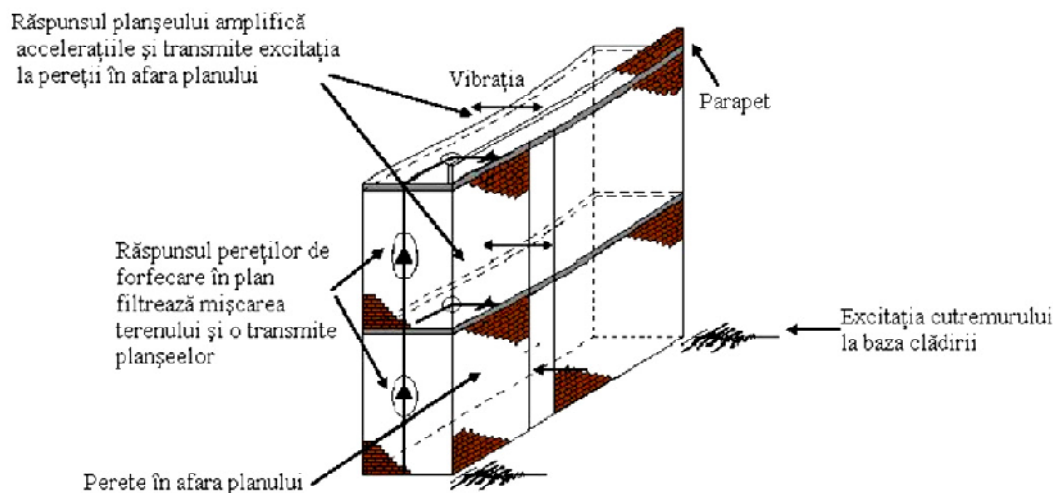


Fig. 2. Reprezentarea conceptuală simplificată a răspunsului seismic în afara planului (Doherty 2000, potrivit Priestley, 1985)

Cele mai multe din cercetările din trecut au fost canalizate în principal pe rezistența la forfecare care poate proveni de la trei surse posibile: compresiune verticală, rezistență la încovoiere aparentă în una sau două direcții de încovoiere, împingere (sau arcuire). Considerând calea cea mai simplă, condiția de încovoiere verticală este aceea că într-un perete de zidărie nearmată (URM) rezistența la încovoiere aparentă este dată de cea mai mică valoare dintre rezistența de întindere pe verticală a rosturilor orizontale și cea a cărămizilor.

Realizarea fisurării, care deja s-a dezvoltat sub incidența încărcării de serviciu, dată de exemplu de excentricitatea încărcărilor verticale, nu implică neapărat colapsul, și poate fi privită ca un stadiu limită de avariere. În regimul postfisurare rezistența laterală este dată de prezența compresiunii verticale și a putut fi sensibilă la efectele geometrice de ordinul doi.

Comportamentul subsistemului este apropiat de cel elastic nelinear, cu disiparea moderată a energiei.

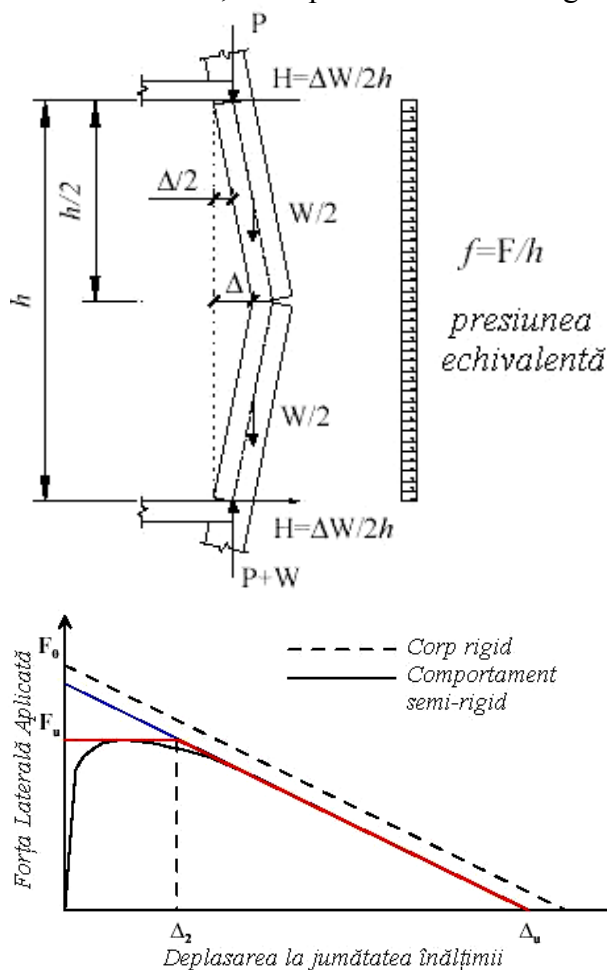


Fig. 3. Diagrama forță-deplasare post-fisurare a peretelui URM la încovoiere verticală

O evaluare corespunzătoare a siguranței va fi bazată pe caracteristicile principale ale răspunsului lateral, și anume rigiditatea inițială, forța maximă, deplasarea la instabilitate statică (fig.3) [2].

3. EXPERIMENTĂRI DE LABORATOR INCERC – ÎNCERCĂRI DE LABORATOR LA SCARĂ MARE A ELEMENTELOR NESTRUCTURALE DE ANVELOPĂ – ZIDĂRIE TESTATĂ LA SOLICITĂRI NORMALE PE PLAN

Scopul încercărilor efectuate la INCERC a fost acela de a testa la încovoiere patru modele din zidărie executate din blocuri ceramice, care au aceleași dimensiuni în plan $1,50 \times 1,00$ m, în schimb grosimea diferă: 2 modele cu grosime 30 cm (M30) și 2 modele cu grosime 38 cm (M38).

Încercările au fost realizate în etape diferite, astfel:

- în prima etapă au fost testate două modele din zidărie simplă (grosimi diferite);
- în cea de a doua etapă au fost testate celelalte 2 modele, însă de această dată ele au fost consolidate la fața întinsă cu țesătură din fibre de carbon. Rezultatele celor două etape de încercări vor fi prezentate comparativ pentru a pune în evidență eficiența consolidării.

Cele două modele încercate în etapa a doua au fost consolidate pe fața întinsă cu țesătură din fibră de carbon de la ISOMAT, tip MEGAWRAP. Pentru a aplica această țesătură s-a utilizat o rășină epoxidică bicomponentă, tot de la aceeași firmă, tip EPOMAX-LD.

Pentru a pune în evidență necesitatea consolidării cu un număr mai mare sau mai mic de straturi de țesătură din fibră de carbon modelul cu grosime de 30 cm a fost placat cu două straturi de țesătură suprapuse pe o lățime de 20 cm în timp ce modelul de grosime 38 cm a fost placat pe fața întinsă numai cu un singur strat. În figura 4 se prezintă schema de calcul pentru determinarea ariei de armătură necesară la fibra întinsă.

Aplicând ecuațiile de echilibru (1), (2) și (3) se determină aria țesăturii din fibre de carbon necesară pentru consolidarea modelelor din zidărie (4).

Pentru a pune în evidență necesitatea consolidării cu un număr mai mare sau mai mic de straturi de țesătură din fibră de carbon modelul cu grosime de 30 cm a fost placat cu doua straturi de țesătură suprapuse pe o lățime de 20 cm în timp ce modelul de grosime 38 cm a fost placat pe fața întinsă numai cu un singur strat. În figura 4 se prezintă schema de calcul pentru determinarea ariei de armătură necesară la fibra întinsă.

Aplicând ecuațiile de echilibru (1), (2) și (3) se determină aria țesăturii din fibre de carbon necesară pentru consolidarea modelelor din zidărie (4).

$$\begin{cases} N_f = N_m \\ N_f = A_f f_f \Rightarrow x = \frac{A_f f_f}{b f_m} \\ N_m = b x f_m \end{cases} \quad (1)$$

unde x este înălțimea zonei comprimate (poziția axei neutre).

$$\begin{cases} M_z = N_m h_m \\ h_m = h_0 - \frac{x}{2} \Rightarrow M_z = b x f_m \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow M_z = b x f_m h_0 - b \frac{x^2}{2} f_m \Rightarrow \\ \Rightarrow M_z = A_f f_f h_0 - \frac{(A_f f_f)^2}{2 b f_m} \Rightarrow \end{cases} \quad (2)$$

$$(A_f f_f)^2 - 2 b f_m h_0 (A_f f_f) + 2 b f_m M_z = 0 \quad (3)$$

Soluția acceptată a ecuației de gradul 2 este:

$$\begin{aligned} A_f f_f &= b h_0 f_m \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_z}{b h_0^2 f_m}} \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow A_f &= \frac{b h_0 f_m}{f_f} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_z}{b h_0^2 f_m}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

unde: A_f – aria țesăturii de fibre de carbon; N_m – efortul de compresiune în zidărie; N_f – efortul de întindere în stratul de țesătură din fibre de carbon; M_z – momentul încovoietor la care este supus elementul din zidărie; b – înălțimea modelului din zidărie; h_0 – înălțimea de calcul; f_f – rezistența fibrei la întindere; f_m – rezistența zidăriei la compresiune.

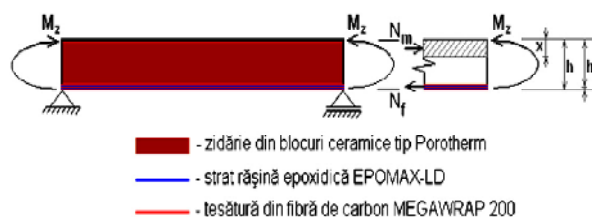


Fig. 4. Schema de calcul a secțiunilor dreptunghiulare la încovoiere

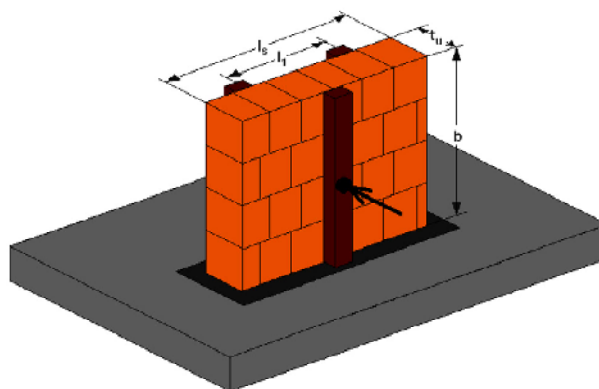


Fig. 5. Schematizarea încercării modulului din zidărie

Conform SR EN 1052-2 rezistența la încovoiere a zidăriei se deduce din rezistența modulelor mici de zidărie încercată la rupere sub o sarcină. În cazul încercării pe cele două modele de zidărie din cărămidă cu goluri verticale, sarcina a fost aplicată în trei puncte, așa cum este prezentat în fig. 5.

Modelul 1

În cazul primului model încercat au fost aplicate două straturi de țesătură din fibre de carbon montate cu fibrele în lungul panoului astfel încât să poată prelua eforturile de întindere din încovoiere. Panoul fiind de 1,00 m înălțime iar lățimea țesăturii de 60 cm, cele două fâșii care au realizat fiecare din straturi au fost suprapuse la jumătatea înălțimii panoului pe o lățime de 20 cm.

Pentru modelul M30 consolidat s-a obținut o forță de rupere de 8000 daN. Încercarea anterioară pentru modelul M30 neconsolidat a condus la o forță de rupere de 1800 daN. Ca urmare a acestor rezultate obținute în urma încercărilor în variantele zidărie simplă și consolidată se poate spune că prin aplicarea țesăturii din fibră de carbon pe fața întinsă a modelului, rezistența zidăriei a crescut cu aproximativ 344 %.

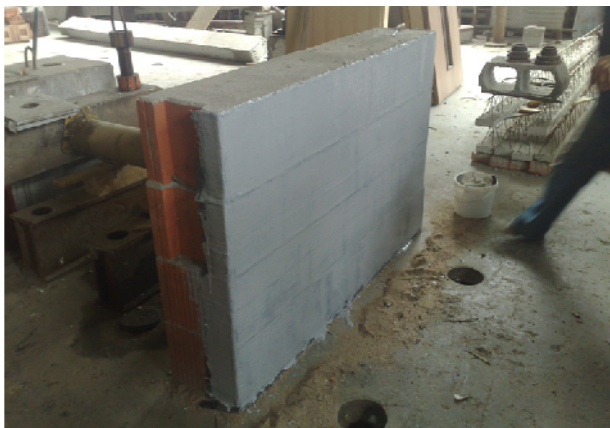


Fig. 6. Modelul M30 în timpul încercării (stânga) și după cedare (dreapta)

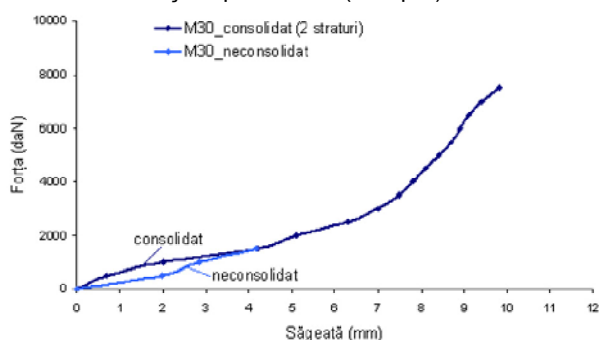


Fig. 7. Diagrama forță-săgeată pentru modelul din zidărie M30 (grosime de 30 cm) în cele două variante de încercare: zidărie simplă și zidărie consolidată cu două straturi de țesătură din fibre de carbon



Fig. 8. Modelul M38 după consolidare

În figura 7 sunt prezentate comparativ diagramele forță-săgeată în cele două variante ale modelului M30: neconsolidat și consolidat.

Modelul 2

Pentru cel de al doilea model s-a aplicat aceeași tehnologie de execuție a consolidării panoului cu țesătură din fibre de carbon, numai că de această dată țesătura a fost aplicată într-un singur strat. În figura 8 este prezentat modelul M38 după consolidare. Încercarea modelului s-a realizat la zece zile de la data consolidării.

S-au utilizat aceleași dispozitive de încărcare și măsurare ca în cazul modelului M30, însă de această dată forța care a dus la cedarea modelului a fost mai mare – 10.000N. În figura 9 este prezentat modelul M38 consolidat în timpul încercării și după cedare.

Comparativ cu varianta neconsolidată a modelului M38, încercată într-o etapă anterioară, care a fost de 2700 N, rezistența la încovoiere în cazul modelului M38 consolidat a crescut cu aproximativ cu 270 %.



Fig. 9. Modelul M38 în timpul încercării (stânga) și după cedare (dreapta)

În figura 10 sunt prezentate comparativ diagramele forță-săgeată obținute în cele două variante ale modelului M38: neconsolidat și consolidat.

În figurile 11 și 12 sunt prezentate comparativ curbele forță-săgeată pentru cele două panouri din zidărie încercate (grosimi ale panourilor de 30 și 38 cm) în cele două variante: zidărie simplă și zidărie consolidată. De remarcat a fost faptul că efectul forței tăietoare a fost resimțit în cazul modelelor din zidărie consolidată.

Acest fenomen se datorează raportului mare dintre grosimea modelelor și deschiderea măsurată între cele două reazeme (1 : 3.3 pentru M30 și 1 : 2.63 pentru M38).

Se observă că în ambele cazuri, zidărie simplă și consolidată, rigiditatea modelelor a jucat un rol hotărâtor în comportarea acestora la încovoiere. Astfel, modelul cu rigiditate mai mare, a cedat la o încărcare mai mare în ambele cazuri de încercare. Pentru zidăria simplă forța de rupere pentru modelul M38 a fost cu 50% mai mare decât în cazul modelului M30.

Pentru zidăria consolidată forța de rupere a fost pentru modelul M38 cu 25 % mai mare decât în cazul modelului M30, în condițiile în care modelul M38 a fost armat cu un singur strat de țesătură din fibre de carbon spre deosebire de modelul M30 care a fost consolidat cu două straturi de țesătură.

Comentarii:

- rezultatele obținute confirmă eficiența obținută în cazul aplicării unor straturi din țesătura de fibre din carbon la fibra întinsă a modelului;
- în urma cedării celor două module s-a constatat că zidăria a cedat, așa cum era normal, datorita faptului ca a depășit rezistența la compresiune pe fața comprimată;
- în condițiile acestor teste, aportul rigidității conferite de dimensiunile blocurilor a fost mai mare decât aportul conferit de aplicarea unui număr dublu de straturi de țesătură de fibre de carbon;
- datorită faptului că locul de cedare nu apare la fibra întinsă, acolo unde este aplicată țesătura, ci la partea comprimată unde este numai zidărie simplă, apare ca suficient un singur

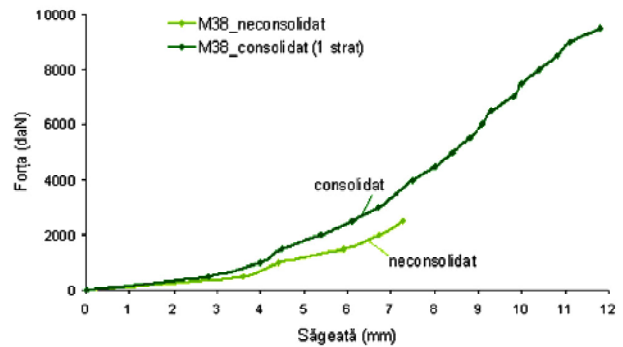


Fig. 10. Diagrama forță-săgeată pentru modelul din zidărie M38 (grosime de 38 cm) în cele două variante de încercare: zidărie simplă și zidărie consolidată cu un singur strat de țesătură din fibre de carbon

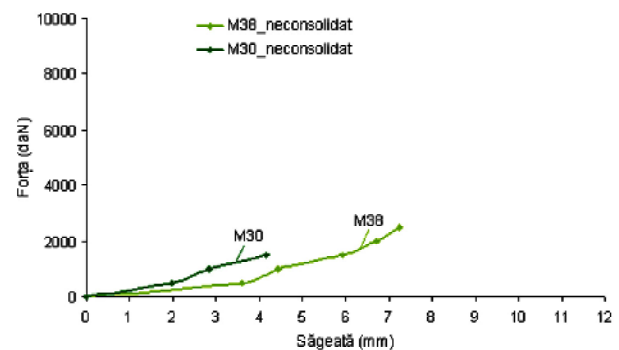


Fig. 11. Diagrama forță-săgeată pentru cele două modele din zidărie simplă

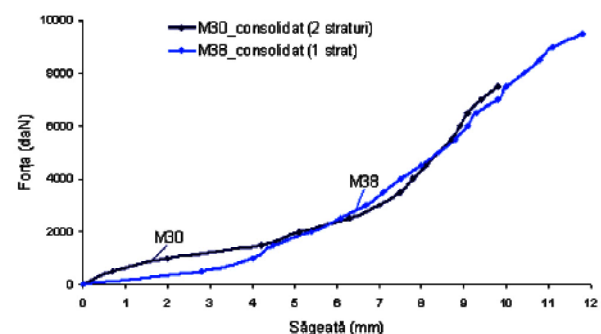


Fig. 12. Diagrama forță-săgeată pentru cele două modele din zidărie consolidată cu țesătură din fibre de carbon: M30 (2 straturi) și M38 (1 strat)

strat de țesătură, deoarece avantajul unui număr sporit de straturi nu poate fi exploatat.

În cazul încercărilor efectuate la INCERC, sarcina maximă la care au cedat cele două module din zidărie simplă: $F_{1max} = 27$ kN, respectiv $F_{2max} = 18$ kN, în timp ce pentru zidăria consolidată: $F_{3max} = 100$ kN, respectiv $F_{4max} = 80$ kN. Se poate face o aproximare a calculului și se determină presiunea dată de valorile sarcinii maxime pe suprafața panoului dintre cele două reazeme exterioare, aplicată perpendicular pe planul pereților, și astfel va rezulta:

$$P_{1max} = \frac{F_1}{A} = \frac{27}{1} = 27 \text{ kN / m}^2,$$

respectiv:

$$P_{2max} = \frac{F_2}{A} = \frac{18}{1} = 18 \text{ kN / m}^2.$$

$$P_{3max} = \frac{F_3}{A} = \frac{100}{1} = 100 \text{ kN / m}^2,$$

respectiv:

$$P_{4max} = \frac{F_4}{A} = \frac{80}{1} = 80 \text{ kN / m}^2.$$

unde A este suprafața peretelui luată în calcul – în ambele cazuri este 1 m^2 .

4. CONCLUZIE

Conceptele de realizare a siguranței a construcțiilor față de acțiunile extreme sunt interdisciplinare și integrative, fiind ordonate pe mai multe straturi. Proiectarea la acțiunea exploziilor teroriste este apreciată a fi încă la vârsta copilăriei, iar soluțiile de protecție-consolidare a anvelopei și / sau structuri

cu materiale deja uzuale nu sunt uneori nici cunoscute nici considerate în norme și caietele de sarcini ale unor mari proiecte cu expunere publică în România și chiar într-o mare parte din țările Uniunii Europene.

Experimentările de laborator INCERC privind comportarea elementelor structurale de anvelopă din zidărie la acțiuni normale pe plan au condus la determinarea rezistenței la încovoire a modulelor de zidărie din blocuri ceramice, precum și a presiunilor exercitate pe cele două module încercate în ambele variante: zidărie simplă și zidărie armată cu țesătură din fibre de carbon. Rezultatele obținute confirmă eficiența aplicării unor straturi din țesătură de fibre din carbon la fibra întinsă a panoului din zidărie.

Mulțumiri

Acest studiu este o parte a proiectului „Soluții tehnice integrate structurale și arhitecturale, tehnologii și materiale avansate pentru reducerea riscului, creșterea siguranței construcțiilor și securității vieții la acțiuni extreme (cutremur, impact - terorism, explozii, tornade etc.)” – RISKLESSCONS, Proiect finanțat de Autoritatea Națională Română pentru Cercetare Științifică, sub contractul 31031/2007 coordonat de INCERC. Director de proiect: Director Științific dr. ing. E.S. Georgescu.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Menon, A., Magenes, G.: *Out-of Plane Seismic Response of Unreinforced Masonry - Definition of Seismic Input*, University of Pavia, Italy
- [2] Magenes, G.: *Masonry building design in seismic areas: recent experiences and prospects from a European standpoint*. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (A joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006