

ASPECTE PRIVIND CONSOLIDAREA STĂLPILOR DIN ZIDĂRIE CU MATERIALE COMPOZITE CPAF

Mihai PURCARU ¹

ABSTRACT

HISTORICAL MASONRY CONSTRUCTIONS HAVE STRUCTURAL DEFICIENCIES AND ARE PRONE TO BRITTLE FAILURES UNDER SEISMIC AND STATIC OVERLOADS. THUS, RETROFIT AND STRENGTHENING OF THIS CATEGORY OF CONSTRUCTION IN ORDER TO FURNISH STRUCTURAL DUCTILITY AND ADDITIONAL STRENGTH IS OF PRIMARY IMPORTANCE. THE RECENT RESEARCH CONCLUDED THAT FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES IS AN EFFECTIVE SOLUTION AT BOTH STRUCTURAL AND AESTHETIC LEVEL. THE CURRENT PAPER PRESENTS A SUMMARY OF PROBLEMS THAT OCCUR WHEN USING THESE MATERIALS TO THE STRENGTHENING OF MASONRY STRUCTURAL ELEMENTS, EMPHASIZING THE FACTORS THAT INFLUENCE THE EFFICIENCY OF THESE SYSTEMS. IN THE ABSENCE OF TECHNICAL REGULATIONS ON THE USE OF THESE MATERIALS IN ROMANIA (COMPUTING ELEMENTS AND DETAILS OF INSTALLATION), WILL BE PRESENT THE MAIN STEPS OF AN ALGORITHM FOR MASONRY COLUMNS CONFINED WITH COMPOSITES MEMBRANES, THAT EXIST IN ITALIAN STANDARD CNR-DT 200/2004. IN THE END, THE PURPOSE OF NUMERICAL APPLICATION IS TO DETERMINE THE AXIAL CAPACITY OF A MASONRY CIRCULAR COLUMN WRAPPED WITH A SIKA WRAP 230C CARBON SHEET.

KEYWORDS: *HISTORICAL MONUMENT, COMPOSITE, MASONRY, RETROFIT, EARTHQUAKE*

1. Introducere

Clădirile din zidărie, majoritatea monumente istorice, reprezintă partea cea mai vulnerabilă a fondului construit existent în România. De-a lungul timpului, acestea au avut de „suferit” datorită acumulării unor efecte multiple, cauzate de: utilizarea inadecvata a materialelor și a tehnicilor de construcție, acțiunea seismică, acțiunea vântului și a

¹ Doctorand, Universitatea Tehnică de Construcții București (PhD Student, Technical University of Civil Engineering), Facultatea de Constructii Civile, Industriale si Agricole (Faculty of Civil, Industrial and Agricultural Constructions, e-mail: mihai.purcaru@gmail.com)

mediului înconjurător. În plus, schimbarea funcționalității și apariția unor norme de proiectare mai stricte în ceea ce privește respectarea exigențelor, fac necesară găsirea unor metode și tehnici noi de remediere a deficiențelor structurale.

Printre metodele tradiționale utilizate la reabilitarea structurală, folosirea elementelor masive din metal și a cămășuielilor armate din beton sunt tehnicile cele mai des întâlnite, destul de eficiente în creșterea rezistenței, rigidității și a ductilității clădirilor din zidărie, însă prezentând unele dezavantaje:

- cămășuielile grele sporesc mult greutatea proprie adăugând încărcări permanente destul de mari, uneori imposibil de transmise la terenul de fundare, mai ales când la parter sunt bolți sau arce;
- încărcările suplimentare din greutatea proprie modifică răspunsul dinamic al structurii fiind posibilă suplimentarea încărcării seismice;
- grosimile cămășuielilor pot altera aspectul estetic și reduc spațiul util din clădiri;
- soluția este mare consumatoare de manoperă și pe durata realizării lucrărilor este obstrucționată utilizarea normală a clădirii.

Toți acești factori au condus cercetările recente la ideea utilizării în consolidări a materialelor compozite polimerice armate cu fibre (CPAF). Prin definiție (Fig.1), un material compozit este alcătuit din mai multe componente cu proprietăți fizice și chimice diferite, materialul astfel obținut având proprietăți superioare și îmbunătățite față de cele ale materialelor individuale din componenta sa. Materialele compozite polimerice conțin cel puțin o fază discontinuă denumită ranforsant sau armătură (fibre de carbon, sticla, aramida) înglobată într-o fază continuă, cunoscută sub numele de matrice (rășini epoxidice, vinilesterice, poliesterice) având următoarele proprietăți:

- rezistența și rigiditate ridicată în direcția fibrelor;
- rezistența la coroziune;
- greutate redusă.

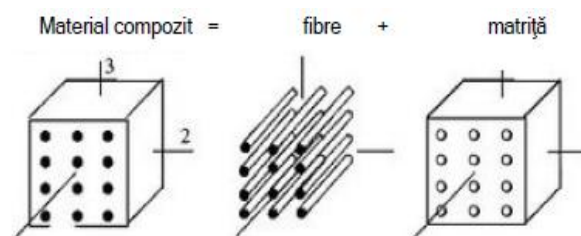


Figura 1. Materiale compozite armate cu fibre

Scopul consolidării stâlpilor din zidărie cu materiale compozite este de a crește capacitatea portantă la încărcări axiale a acestora, precum și a deformațiilor specifice la

rupere. Materialele compozite se pot aplica pe suprafața exterioară a elementului sub forma unor țesături sau plase sau pot fi sub forma de bare introduse în găuri special practicate.

Este de menționat faptul că materialele compozite utilizate trebuie să aibă proprietăți mecanice compatibile cu cele ale sistemului suport.

3. Comportarea mecanică și la deformații a zidăriei

Zidăria poate fi asimilată cu un material anizotrop cu o comportare neliniară. În zidăria comprimată (Fig.2) se dezvoltă o stare triaxială de tensiuni care este influențată de proprietățile blocurilor de zidărie și ale mortarului: compresiune verticală, întinderi transversale la care se adaugă tensiunile suplimentare cauzate de variația dimensiunilor cărămizilor, a tehnologiei de preparare a mortarului și a execuției rosturilor de mortar². Ruperea zidăriei se înregistrează ulterior depășirii rezistenței cărămizilor. Ruperea cărămizilor se face după direcția forțelor de compresiune (perpendicular pe direcția tensiunilor transversale de întindere)³.

Zidăria lucrează defavorabil la solicitările de întindere, încovoiere și forfecare, având o comportare casantă, ceea ce duce la evitarea utilizării acestui material în astfel de cazuri. Întinderea la zidărie poate avea loc în secțiuni nelegate (continue), când efortul de întindere acționează perpendicular pe asize, respectiv în secțiuni legate (țesute), când forța de întindere

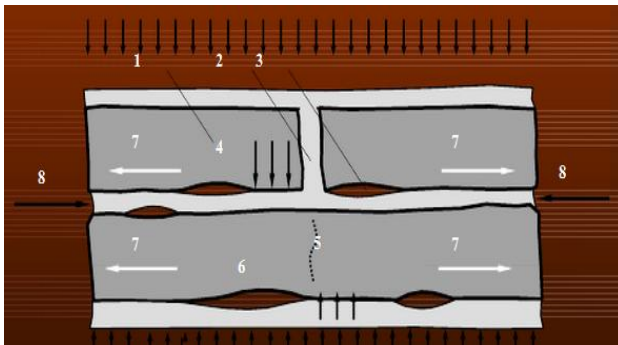


Figura 2. Starea complexă de eforturi în blocuri (cărămizi) și mortar la întindere:
1. cărămizi; 2. mortar; 3. goluri de aer; 4. zona de compresiune locală; 5. secțiune de forfecare; 6. zona încovoiată; 7. tensiuni de întindere în cărămizi; 8. tensiuni de compresiune în mortar

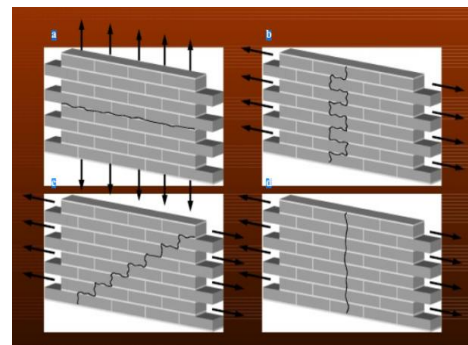


Figura 3. Ruperea zidăriei la

- a). după secțiuni nelegate;
- b). c). d). după secțiuni legate

² Mihai Niculiță, „Consolidarea clădirilor din patrimoniu”, (Iasi: Ed. Mateiu-Teiu Botez, 2007), 242

³ Idem

este paralelă cu rosturile orizontale. În mod obișnuit ruperea zidăriei în secțiuni nelegate are loc prin stratul de mortar sau prin desprinderea blocurilor. Valoarea rezistenței la întindere este net inferioară celei de compresiune fiind determinată în mare măsură de aderența dintre blocuri și mortar, care depinde la rândul ei de marca, compoziția, lucrabilitatea și vârsta mortarului.

3. Considerații generale și moduri de cedare a materialelor compozite

Materialul compozit are o comportare liniară până când se atinge valoarea caracteristică a rezistenței la rupere⁴. Un sistem compozit se impune a fi proiectat astfel încât să preia întotdeauna eforturi de întindere. Supuse la compresiune, materialele compozite sunt incapabile să îmbunătățească comportamentul elementului de zidărie pe care se aplică. Mai mult, apariția unor eforturi de compresiune pot cauza desprinderi și deteriorări locale care pun în pericol eficiența ulterioară a sistemului.

Legat de modul de cedare a materialelor compozite, cercetările experimentale au arătat că principala cauză o constituie fenomenul de delaminare (pierderea aderenței la interfața compozit-zidărie) care se manifestă prin:

- desprinderea zonelor de capăt a membranelor sau fașiiilor compozite;
- desprinderea în zone intermediare datorită apariției și dezvoltării fisurilor la suprafața zidăriei;

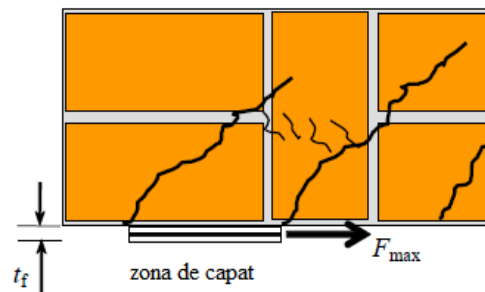


Figura4. Desprinderea în zona de capăt cu smulgerea zidăriei

- exfolierea compozitelor cu rigiditate ridicată la încovoierie aplicate în special pe suprafețele curbe;
- desprinderea prin forfecare cu smulgerea (antrenarea) unor bucăți de zidărie în zonele de capăt.⁵ (Fig.4)

⁴ Vlad Munteanu, Gabriel Opreșan, Nicolae Țăranu, Ioana Entuc, „Efectul confinării stâlpilor din zidărie cu membrane compozite”, în „Consolidarea clădirilor din patrimoniu”, (Iași: Ed. Mateiu-Teiu Botez, 2007), 119

⁵ National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 84

Pentru a se realiza un transfer convenabil de tensiuni între componentele sistemului de consolidare și elementul de zidărie pe care se aplică, lungimea optimă de ancorare (l_e) pe zona de capăt se impune a fi egală cu:

$$l_e = \sqrt{\frac{E_f x t_f}{2 x f_{mm}}} \quad (1)$$

în care:

E_f – modulul de elasticitate al materialului compozit;

t_f – grosimea sistemului de consolidare;

f_{mm} – rezistența medie la întindere a zidăriei.

4. Algoritm de calcul

În prezent, în România nu există reglementări tehnice cu privire la utilizarea materialelor compozite pentru repararea/consolidarea clădirilor din zidărie. În aceste condiții, majoritatea informațiilor privind utilizarea CPAF (detalii de montare și elemente de calcul) provin de la furnizori.

Conform normei italiene, CNR-DT 200/2004, capacitatea la forța axială a stâlpilor din zidărie consolidați cu materiale compozite ($N_{Rmc,d}$) trebuie să depășească valoarea de calcul a forței axiale la care este supus elementul ($N_{S,d}$).

$$N_{Rmc,d} \geq N_{S,d} \quad (2)$$

Relația (1) se poate scrie sub următoarea formă:

$$N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} x A_m x f_{mcd} \geq A_m x f_{md} \quad (3)$$

⁶ National Research Council , „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 85

⁷ National Research Council , „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 98

în care:

γ_{Rd} – reprezintă coeficientul de siguranță pentru zidărie;

A_m – reprezintă aria secțiunii transversale a elementului de zidărie;

f_{md} – reprezintă valoarea de calcul a rezistenței de proiectare la compresiune a elementului de zidărie neconfinat;

f_{mcd} - reprezintă valoarea de calcul a rezistenței de proiectare la compresiune a elementului de zidărie confinat.

Pentru determinarea valorii de calcul a rezistenței la compresiune a elementului confinat trebuie să se ia în considerare valoarea rezistenței la compresiune a elementului neconfinat, precum și valoarea presiunii de confinare exercitată de membrana compozită pe suprafața stâlpului de zidărie.

$$f_{mcd} = f_{md} + k' \alpha f_{1,eff}^9 \quad (4)$$

în care:

k' – este un coeficient adimensional, exprimat în funcție de densitatea zidăriei ($k' = \frac{g_m (kg/m^3)}{1000}$);

);

$f_{1,eff}$ – reprezintă valoarea presiunii de confinare efectivă exercitată de membrana compozită;

Valoarea presiunii de confinare efectivă se afectează cu un coeficient de eficiență, k_{eff} , definit ca raport între volumul efectiv de zidărie și volumul de zidărie confinată.

$$f_{1,eff} = k_{eff} \alpha f_1 = k_h \alpha k_v \alpha f_1^{10} \quad (5)$$

k_h, k_v – coeficienți de eficiență pe direcție orizontală, respectiv verticală.

⁸ Idem

⁹ Idem

¹⁰ National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 99

În final, pentru determinarea presiunii de confinare (f_1) se va ține cont de procentul volumetric de armare cu material compozit, coeficient care depinde de forma și dimensiunile secțiunii de zidărie, grosimea și aspectul de continuitate a membranei compozite aplicat.

Exemplu numeric - *Calculul capacității la forța axială a stâlpilor din zidărie cu secțiune circulară consolidată cu materiale compozite*

Scopul aplicației numerice este de a determina capacitatea la forța axială a unui stâlp din zidărie de cărămidă cu secțiune circulară având diametrul $D=500\text{mm}$ (Fig.5). Consolidarea stâlpului constă în aplicarea prin lipire pe suprafața exterioară a unei țesături din fibră de carbon de tip Sika Wrap 230C.

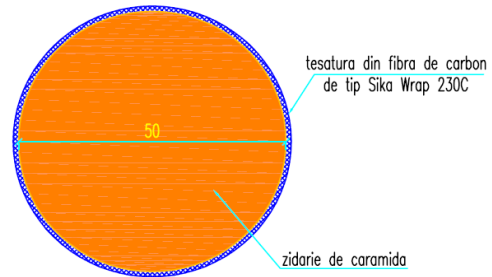


Figura 5. Secțiune transversală stâlp

Caracteristicile materialelor utilizate

- rezistența medie la compresiune a zidăriei $f_{md}=5\text{N/mm}^2$;
- modulul de elasticitate al zidăriei $E_m=29000\text{N/mm}^2$;
- densitatea zidăriei $g_m=1600\text{kg/m}^3$;
- modulul de elasticitate al țesăturii din fibră de carbon $E_f=238000\text{N/mm}^2$;
- grosimea de calcul a țesăturii $t_f=0.131\text{mm}$;
- deformația specifică ultima pentru țesătura $\varepsilon_{fk}=1.8\%$.

Din relația (3) rezultă capacitatea la forța axială a stâlpului înainte de consolidare:

$$N_{S,d} = A_m \cdot x f_{md} = \frac{\pi \times 500^2}{4} \times 5 = 981.25 \text{ KN}$$

Valoarea coeficientului k' este: $k' = \frac{g_m}{1000} = \frac{1600}{1000} = 1.6$

În cazul stâlpilor circulari consolidați cu fășii continue de material compozit, presiunea de confinare este:

$$f_1 = \frac{1}{2} \times (\rho_f \times E_f) \times \varepsilon_{fd,rid} = \frac{1}{2} \times (1.05 \times 10^3 \times 238000) \times 0.014 = 1.75 \text{ N/mm}^2 \quad 11$$

În care:

ρ_f - este procentul volumetric de armare cu material compozit și are valoarea:

$$\rho_f = \frac{4 \times t_f}{D} = \frac{4 \times 0.131}{500} = 1.05 \times 10^{-3} \quad 12$$

$\varepsilon_{fd,rid}$ - reprezintă valoarea deformației reduse a materialului compozit cu următoarea valoare:

$$\varepsilon_{fd,rid} = \eta_a \times \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f} = 0.85 \times \frac{0.018}{1.10} = 0.014 \quad 13$$

η_a - este un factor de conversie¹⁴;

γ_f - coeficient parțial de siguranță al materialului compozit¹⁵;

Coeficienții de eficiență pe direcție orizontală, respectiv verticală au valoarea 1 și va rezulta o presiune efectivă de confinare cu valoarea:

$$f_{1,eff} = k_h \times k_v \times f_1 = 1 \times 1 \times 1.75 = 1.75 \text{ N/mm}^2$$

Cu aceste valori va rezulta din relația (4) valoarea de calcul a rezistenței la compresiune a elementului confinat:

¹¹ National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 100

¹² National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 99

¹³ National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, 100

¹⁴ National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, Tab.3-4, 42

¹⁵ National Research Council, „Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures”, CNR-DT200/2004, Rome-July 13, 2004, Tab.3-2, 40

$$f_{mcd} = f_{md} + k' x f_{1,eff} = 5 + 1.6 x 1.75 = 7.8 N / mm^2$$

In final, capacitatea la forța axială a stâlpului din zidărie consolidat cu țesătura din fibra de carbon va fi egală cu:

$$N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} x A_m x f_{mcd} = \frac{1}{1.1} x \frac{\pi x 500^2}{4} x 7.8 = 1391.6 KN$$

4. Concluzii

Rezultatele exemplului numeric pun în evidență o creștere semnificativă a capacității portante la forța axială a stâlpului din zidărie cu secțiune circulară prin consolidare cu țesătura din fibră de carbon, stâlpul fiind capabil să preia o forță axială de 1391.6KN.

La nivel mondial, progresul obținut în ceea ce privește fabricarea materialelor compozite, la care se adaugă multiplele dezavantaje ale metodelor tradiționale de reabilitare structurală, au ca rezultat utilizarea din ce în ce mai frecventă a materialelor CPAF atât pentru construcțiile existente, cât și pentru cele noi. In România, absența unor reglementări tehnice privind calculul și modul de instalare al acestui sistem de consolidare duce la reticență din partea specialiștilor în domeniu. Astfel, un obiectiv viitor constă în completarea legislației în vigoare (Cod de proiectare seismică – Partea a-III-a – Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente – Indicativ P100-3/2008) cu elemente specifice acestor sisteme de consolidare.

BIBLIOGRAFIE

1. **Mihail Ifrim** „Dinamica structurilor și inginerie seismică”, Editura Didactică și Pedagogică, Bucuresti, 1973;
2. **Mihai Niculiță**, „Consolidarea clădirilor din patrimoniu”, Ed. Mateiu-Teiu Botez, Iași, 2007;
3. P100-3/2008, „Cod de proiectare seismică - Partea a-III-a - Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente”, Bucuresti;
4. P100-1/2006, „Cod de proiectare seismică - Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri”, Bucuresti;
5. CR6-2006, „Cod de proiectare pentru structuri din zidărie”, Bucuresti;
6. CR0-2005, „Bazele proiectării structurilor în construcții”, Bucuresti;
7. **Dan Olaru**, „Evaluarea siguranței seismice a construcțiilor vechi din zidării masive”, revista AICPS, nr.2-3, 2010