

Raport de Cercetare

Grant: REABILITAREA STRUCTURILOR DE BETON ARMAT PRIN FOLOSIREA COMPOZITELOR PE BAZĂ DE FIBRE DE CARBON

**Autor: Șef lucrări dr. ing. DAN Sorin
Universitatea Politehnica din Timișoara**

1. INTRODUCERE

Structurile de beton armat existente în număr mare sunt, multe dintre ele, proiectate corespunzător la acțiuni gravitaționale dar având o capacitate portantă insuficientă la acțiuni orizontale de tip seism. Aceste structuri au fost proiectate conform standardelor în vigoare la data execuției lor, standarde care s-au modificat și îmbunătățit de-a lungul anilor. Multe construcții existente au depășit durata de exploatare proiectată fiind încă în exploatare datorită costurilor mari de înlocuire. Normele de proiectare mai vechi nu au inclus măsuri antiseismice sau au specificat nivele reduse ale acțiunii seismice. Comportarea structurilor proiectate la acțiuni gravitaționale este neductilă și implicit prezintă moduri de distrugere inacceptabile. Proiectarea s-a făcut în scopul realizării unei rezistențe adecvate la acțiuni orizontale. Normele recente, pe plan național și internațional, au început să pună accentul pe detaliile de alcătuire și armare ale elementelor structurale în scopul comportării ductile generale în paralel cu asigurarea cerințelor de rezistență.

De asemenea structurile ductile existente, având o alcătuire și armare bună, se pot comporta deficitar la încărcări orizontale datorită acțiunilor seismice reale mai mari decât cele de proiectare, modificărilor destinației clădirilor, factorului de importanță, deteriorărilor de durabilitate în timp. S-a observat recent, la cutremurele din Hanshin-Awaji (Kobe, Japonia - 1995) și Kocaeli (Turcia - 1999), că structurile de beton armat existente, proiectate conform normelor mai vechi la încărcări gravitaționale sau forțe seismice reduse, s-au comportat nesatisfăcător.

În prezent, proiectarea antiseismică structurală a atins un nivel ridicat, oferind o imagine reală asupra performanțelor de comportare structurală. Pe de altă parte, simularea și evaluarea comportării structurilor existente este în stadiul de dezvoltare prezentând limitări de siguranța în folosirea și aplicarea la un număr larg de tipuri de structuri.

Evaluarea comportării structurilor existente la acțiuni seismice a fost recent luată în considerare. La ora actuală, cu excepția Normelor japoneze pentru evaluarea capacității seismice a clădirilor existente de beton armat și a unor îndrumătoare de proiectare, există puține specificații în normative cu privire la determinarea rezistenței la acțiuni seismice a construcțiilor existente. Câteva normative, cum ar fi EUROCODE 8, au început să cuprindă indicații pentru reabilitarea și consolidarea structurilor existente.

2. PREZENTAREA PROGRAMULUI EXPERIMENTAL

2.1. Realizarea elementelor experimentale

Unele construcții existente cu structura în cadre din beton armat sau cu parter flexibil necesită consolidarea zonelor flexibile și/sau sensibile structural, fapt care prezintă o importanță structurală capitală pentru comportarea întregii clădiri la acțiuni seismice.

Programul experimental se concentrează pe posibilitatea aplicării compozitelor pe bază de fibre de carbon la cadre de beton armat.

În acest scop s-au proiectat și executat cadre portal dublu încastrate din beton armat având caracteristicile din Figura 1. Aceste elemente experimentale s-au alcătuit conform normelor de proiectare din anii 1970 pentru a se modela comportarea unei structuri presupuse existentă.

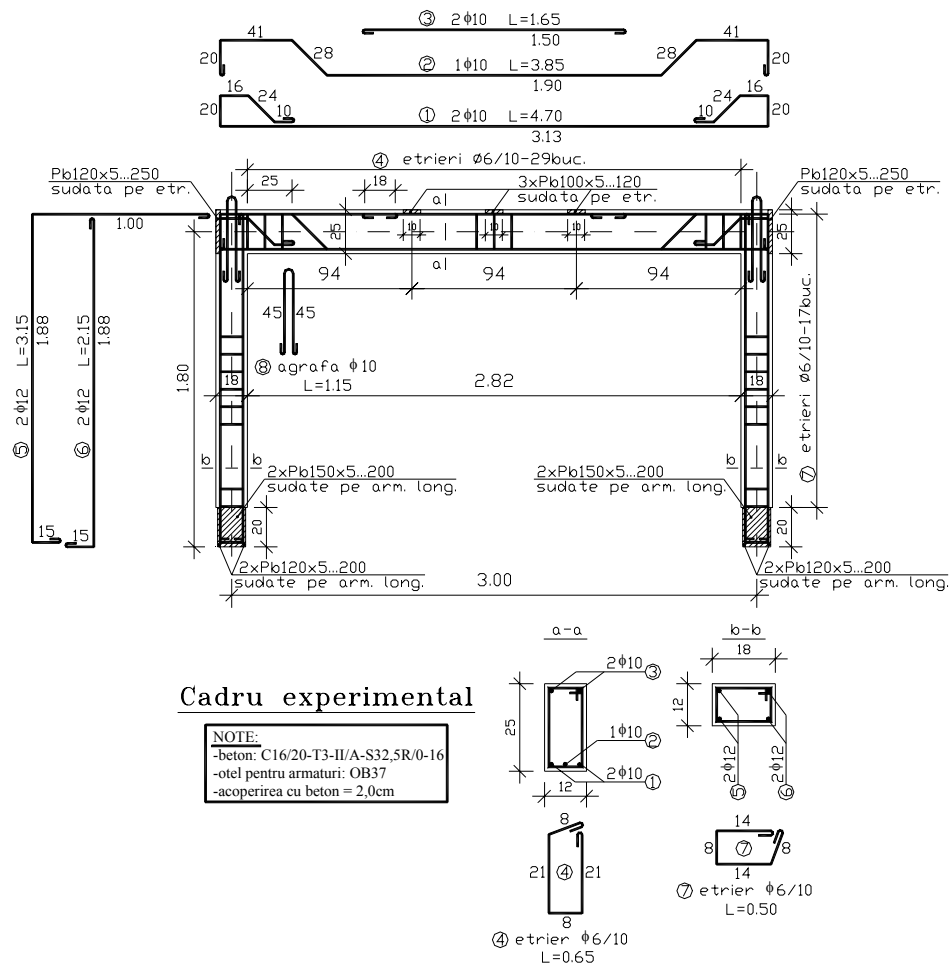


Figura 1. Detalii de alcătuire a cadrelor din beton armat.

Din motive de siguranță la transport și montaj, cadrele din beton armat au fost realizate prefabricat în cofraj orizontal. Cadrele (Figura 2) au fost montate în poziția pentru încercarea experimentală iar în final au fost realizate fundațiile stâlpilor.

S-a realizat consolidarea stâlpilor (Figura 3) din beton armat cu materiale compozite pe bază de fibre de carbon (CFRP) Sika:

- lamele longitudinale Sika Carbodur ancorate în fundații și nodurile superioare;
- țesături Sika wrap pentru confinarea transversală la ambele capete ale stâlpilor.

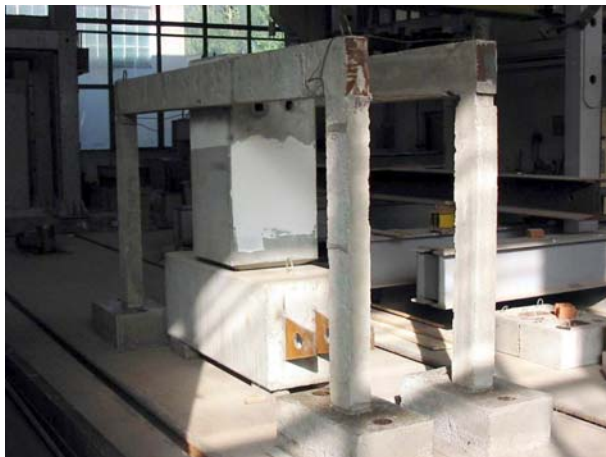


Figura 2. Cadre experimentale din beton armat.



Figura 3. Cadru consolidat cu CFRP.

Încercarea cadrelor s-a făcut conform Figurii 4. Pe rigla cadrului s-a simulat o încărcare gravitațională uniform distribuită. Forța orizontală aplicată a simulat acțiunea seismică.

Pe timpul încercării s-au măsurat (stație de achiziție a datelor) treptele de încărcare (captoare de forță) și deformațiile: săgeți (captoare de deplasări); deformații specifice în armături și beton (timbre tensometrice).

Calculul, proiectarea și alcătuirea cadrelor s-a realizat astfel încât să apară articulații plastice în rigle și în special în stâlpi.

Raportul între încărcarea verticală V și orizontală H s-a ales pentru a se obține lanțul cinematic de rupere de cadru prin apariția articulațiilor plastice la capete de stâlpi.

În acest scop încărcarea verticală V a fost menținută constantă iar încărcarea orizontală H a crescut până la rupere (formarea articulațiilor plastice).

Modul de cedare a cadrelor din beton armat a fost prin formarea articulațiilor plastice la capete de stâlpi (Figura 5).

Două tipuri de încercări experimentale au fost realizate:

- pe cadre neconsolidate testate inițial până la limita de curgere a armăturii, apoi consolidate cu CFRP și re-testate în final până la rupere;
- pe cadre neconsolidate testate inițial până în stadiul ultim, apoi consolidate cu CFRP și re-testate în final până la rupere.

Valorile teoretice pentru analiza cadrelor din beton armat neconsolidate s-au determinat conform normativului european EUROCODE 2, iar pentru cadrele consolidate cu CFRP s-au folosit prevederile *fib bulletin* "Externally bonded FRP reinforcement for RC structures".

2.2. Rezultate experimentale

Date obținute din încercările experimentale asupra cadrelor din beton armat neconsolidate și consolidate sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Rezultate experimentale

Model	Starea structurii	Încărcare orizontală "S" (daN)	Deplasare orizontală maximă (mm)	Raport consolidat / neconsolidat pentru:	
				Încărcări	Deplasări
Cadrul 1	Neconsolidat	1600 *	5.44	-	0.71* / -
	Consolidat cu CFRP	1600 *	3.87		
		4000 **	30.20		
Cadrul 2	Neconsolidat	1600 *	4.60	1.06	0.98* / 2.00**
		3600 **	15.27		
	Consolidat cu CFRP	1600 *	4.50		
		3800 **	30.70		

Note: * starea limită de curgere a armăturii
** starea limită ultimă

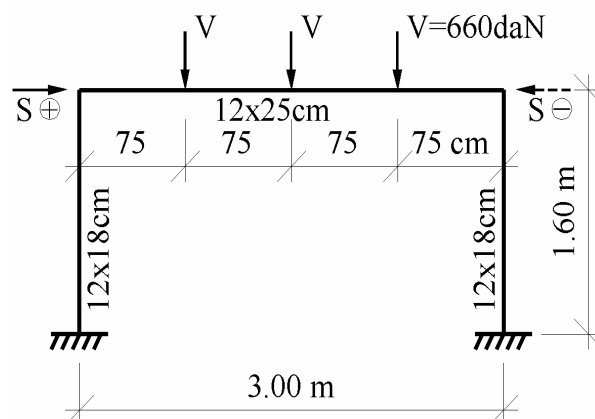


Figura 4. Schema de încărcare experimentală.



Figura 5. Modul de cedare a cadrelor din beton armat

Din datele prezentate în Tabelul 1 se poate observa:

- valorile încărcărilor orizontale maxime au fost alese diferite pentru cadrele din beton armat neconsolidate în scopul modificării stadiului de aplicare a consolidării: 1600 daN (starea limită de curgere a armăturii) pentru Cadrul 1 respectiv 3600 daN (starea limită ultimă) pentru Cadrul 2;
- creșterea forței orizontale maxime cu 6 % s-a obținut la Cadrul 2 consolidat chiar dacă inițial a fost încercat neconsolidat până la stadiul ultim;
- creșterea de rigiditate a structurii consolidate implică deplasări orizontale mai mici la starea limită de curgere a armăturii (Figura 6).

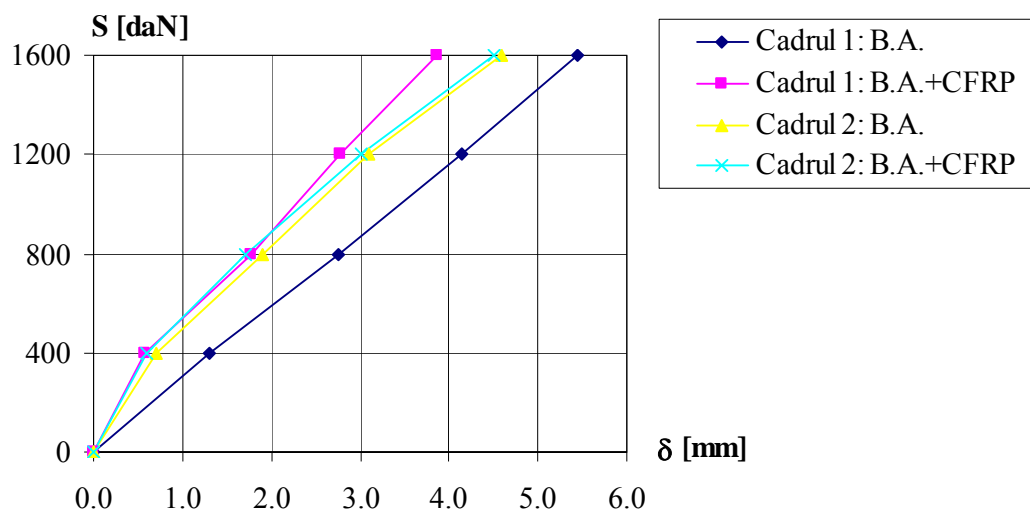


Figura 6. Deplasări orizontale ale cadrelor din beton armat neconsolidate și consolidate cu CFRP.

Programul experimental a scos în evidență câteva aspecte foarte importante:

- desprinderea lamelelor verticale CFRP de pe plăcile metalice la nod (Cadrul 1) datorită eforturilor de întindere (Figura 7);

- desprinderea lamelelor verticale CFRP de pe fața interioară a stâlpilor (Cadrul 2) datorită eforturilor de compresiune (Figura 8) ceea ce indică necesitatea prevederii unor etrieri suplimentari pentru împiedicarea flambajului;

- tendința de smulgere a betonului din jurul mortarului epoxidic folosit pentru ancorarea lamelelor verticale CFRP în fundații (Figura 9).



Figura 7. Desprinderea lamelelor verticale CFRP datorită eforturilor de întindere



Figura 8. Desprinderea lamelelor verticale CFRP datorită eforturilor de compresiune

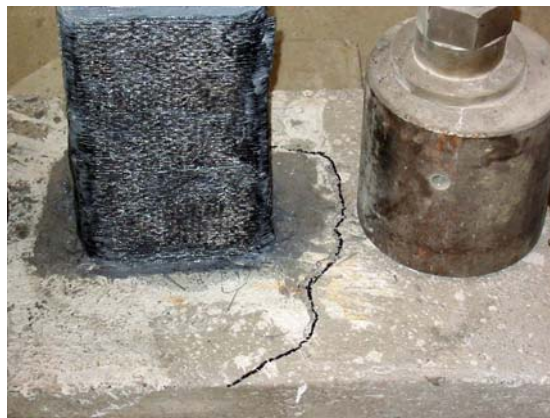


Figura 9. Smulgerea betonului și lamelelor verticale CFRP din fundații

3. SOLUȚII MODERNE DE REABILITARE A CONSTRUCȚIILOR EXISTENTE DIN BETON ARMAT. APLICAREA CONSOLIDĂRILOR CU COMPOZITE PE BAZĂ DE FIBRE DE CARBON (CFRP)

3.1. Fabrica de bere "Timișoreana"

La Fabrica de Bere "Timișoreana", colectivul de cercetare a efectuat expertizarea și reabilitarea structurii de rezistență de la hala de fierbere (Figura 10).

Construcția este realizată din beton armat turnat monolit, cu structura din cadre verticale și planșee orizontale cu grinzi secundare și principale.

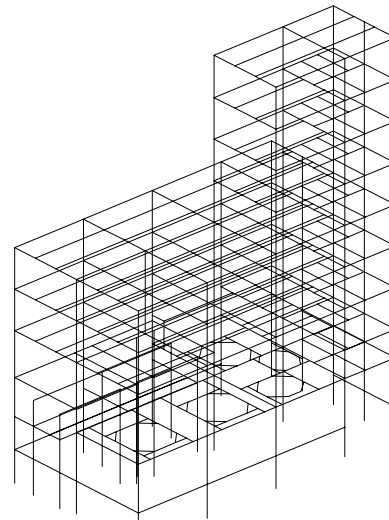


Figura 10. Hala de fierbere. Cadrul spațial.

Studiul stării de eforturi pentru structura de rezistență a halei de fierbere s-a făcut spațial pe schema statică a cadrului spațial analizat este cea prezentată în Figura 10.

Folosind rezultatele analizei statice s-au calculat valorile gradului nominal de asigurare la acțiuni seismice R conform Normativului P100-92. Valorile lui $R \leq R_{\min}$ au scos în evidență necesitatea reabilitării construcției prin consolidarea unui stâlp și a unor grinzi principale transversale și longitudinale.

Reabilitarea structurii s-a făcut prin alegerea de către beneficiar a soluției de consolidare / remediere cu compozite pe bază de fibre de carbon astfel care a urmărit:

- nemodificarea sau afectarea într-o mică măsură a rigidității elementelor consolidate în scopul păstrării distribuției și raportului dintre eforturile care caracterizează structura inițială;

- realizarea unor lucrări care să se caracterizeze prin rapiditate în execuție, costuri reduse și nederanjarea, pe cât posibil, a procesului tehnologic specific halei;

- obținerea unei siguranțe în exploatare și reducerea gradului de risc seismic a construcției expertizate.

Modul de realizare a consolidărilor a fost concepută, proiectată (Figura 11) și realizată astfel:

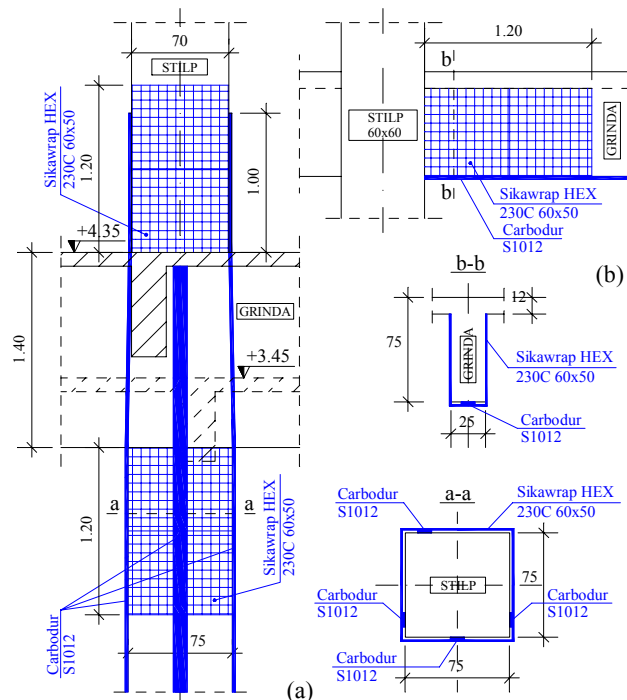


Figura 11. Consolidarea cu CFRP a stâlpilor și grinzelor

a) consolidarea stâlpului (Figura 11a și 12a): utilizarea a 8 lamele longitudinale din fibre de carbon S512 (lățime 50 mm, grosime 1,2 mm), câte două pe fiecare față, pentru a compensa insuficiența armăturilor longitudinale, situație care a condus la valoarea mică a gradului de asigurare la acțiuni seismice. Pentru confinarea zonelor plastice potențiale s-a dispus o „înfășurare” în zona nodurilor cu o țesătură din fibre de carbon de tipul Sikawrap 230C/60x50;

b) consolidarea grinzilor (Figura 11b și 12b): utilizarea unor lamele S1012 (lățime 100 mm, grosime 1,2 mm) pentru armare longitudinală, la partea inferioară; armare la forțe tăietoare prin folosirea țesăturilor Sikawrap 230C/60x50. Aceste țesături compensează armarea insuficientă prevăzută la proiectarea structurii.



Figura 12b. Consolidarea grinzilor cu lamele și țesături din fibra de carbon.

Figura 12a. Consolidarea stâlpului cu lamele și țesături din fibra de carbon.

3.2. Bloc din panouri mari prefabricate

Ca urmare a exploziei unei butelii de gaz la un bloc de garsoniere din Timișoara colectivul de cercetare a efectuat expertizarea și reabilitarea structurii de rezistență afectată (Figura 13).

Construcția este realizată din beton armat, cu structura de rezistență verticală și orizontală din panouri mari prefabricate.

Defectele și avariile clădirii constau în:

- defecte datorită execuției: fisuri și crăpături în panourile prefabricate verticale și orizontale;

- defecte datorită exploatarei necorespunzătoare infiltrații de apă prin acoperișul terasă și zona băilor; desprinderea stratului de acoperire cu beton; coroziunea armăturilor;

- avarii cauzate de explozie (Figurile 14 și 15): dislocarea pereților transversali la camera în care s-a produs explozia și camerele adiacente prin săgeți foarte mari (28 cm), beton zdrobit și puternic fisurat, armături smulse; degradări importante la panouri adiacente zonei unde s-a produs explozia prin fisuri mari și dese.



Figura 13. Bloc de garsoniere din panouri mari prefabricate.



Figura 14. Dislocarea panourilor verticale.



Figura 15. Fisurarea panourilor orizontale.

Soluții de reabilitare s-au ales de diferite tipuri funcție de gradul de avariere constatat:

- înlocuirea panourilor prefabricate dislocate cu panouri noi;
- consolidarea unor panouri puternic fisurate prin cămășuire cu beton armat;
- consolidarea unor panouri fisurate prin aplicarea compozitelor pe bază de țesături din fibre de carbon (Figurile 16 și 17).



Figura 16. Consolidarea panourilor verticale.



Figura 17. Consolidarea panourilor orizontale.