

## INFLUENȚA ORIENTĂRII FIBRELOR ASUPRA EFICIENȚEI LA RUPERE A SISTEMELOR COMPOZITE

*Cătălina IANĂȘI, "Constantin  
Brâncuși" University, TG-JIU,  
ROMÂNIA*

**REZUMAT:** Una dintre caracteristicile definitorii ale unui material nou este de a fi rezistent, ușor de procesat, capabil de a combina calitățile materialelor de bază, dar nu și de a împrumuta proprietățile lor negative.

Materialele compozite sunt matrice metalice sau nemetalice întărite de dispersia de particule, fibre sau gaz. Fibrele sunt capabile să reziste nu numai la cerințele de elasticitate dar și la toate solicitările făcute asupra lor. Matricea servește doar pentru a asigura un suport pentru fibre, stabilizând fibrele împotriva forțelor de rupere.

**CUVINTE CHEIE:** :material nou, matrice armate, fibre de carbon.

### 1. INTRODUCERE

Prin folosirea materialelor compozite în construcții este de așteptat o creștere a rezistenței la încovoiere și forfecare a elementelor de construcții [1]. De asemenea, are loc o creștere a ductilității îndeplinindu-se, astfel, cerințele de exploatare (scad săgețile și efortul la rupere). În construcțiile civile și industriale, care lucrează cu elemente de rezistență ca grinzi, stâlpi, zidărie portantă, este necesară creșterea rezistenței atunci când acestea prezintă fenomene de uzură și oboseală. Consolidarea se face cu elemente ca pânză și plăci din fibre de carbon [2,3]. Printre compozitele folosite în construcție se includ: fibra de sticlă, fibre de celuloză, fibra KEVLAR, fibra de carbon și grafit, etc.

## THE FIBER ORIENTATION INFLUENCE ON THE FLEXURAL EFFICIENCY OF COMPOSITES SYSTEMS

*Cătălina IANĂȘI, „Constantin  
Brâncuși” University, TG-JIU,  
ROMANIA*

**ABSTRACT:** One of the defining features of a new material is to be resistant, easy to process, to combine the qualities of basic materials, in the current technique, but not to borrow from them their negative properties. Composite materials are metallic or nonmetallic matrix reinforced by the dispersion of particles, fiber or gas. Fibers are able to withstand elastic applications but to resist for all requests. Matrix serves only for ensuring a support for fiber, stabilizing the fibers against the forces of disruption.

**KEY WORDS:** new material, matrix reinforced, carbon fibers

### 1. INTRODUCTION

By using composite materials in constructions is expected growth flexural strength and shearing, and confinement elements tablets (increased concrete resistance) [1]. Also, is done raising ductility areas of plastic joint and meet the requirements of exploitation (decrease arrows and status cracking). In civil and industrial constructions, working with elements of resistance as beams, pillars, floor, masonry portal, is necessary strength when they present phenomena of wear and fatigue. Consolidation and reinforcement is done with items as sheets and carbon fiber plates [2,3]. Among the composites used in construction include: glass fiber, cellulose fiber, KEVLAR fiber, carbon fiber and graphite, etc.

## 2. CONSOLIDAREA EXTERNĂ A GRINZILOR CU FIBRE DE CARBON

Consolidarea cu fibre din carbon a fost cea mai utilizată în construcții. Elementele din lemn au fost consolidate folosind tehnici diferite. Introducerea de materiale compozite ca întăriri pentru elementele din lemn supuse la solicitări de îndoire sau a unor sarcini de forfecare este de mare interes. Concret, utilizarea materialelor compozite, ca armare pentru elementele din lemn în conformitate cu încărcătura de flexiune necesită acordarea unei atenții deosebite la mai multe aspecte ale problemei. De fapt, există mai multe tehnici de consolidare a unui element de lemn cu ajutorul aspectelor diferite ale elementelor FRP și fiecare alegere ar putea conduce la rezultate diferite. Gama largă de produse și proprietățile mecanice ale elementelor de CFRP, disponibile în prezent, pot duce la dificultăți în alegerea designer-ului, care utilizează această tehnică de armare. Metoda de consolidare cu materiale compozite oferă avantaje față de metodele convenționale, deoarece materialele compozite au următoarele proprietăți[4,5]:

- Rezistență foarte mare la tracțiune, de câteva ori mai mare decât oțelul;
- Greutate mică ( $\frac{1}{4}$  din greutatea de oțel), flexibilitate și disponibilitate în diferite lungimi, adecvate pentru aplicarea rapidă și ușoară;
- Rezistență sporită și ductilitate fără a schimba geometria ei sau rigiditatea;
- Rezistență la mediu coroziv și viață lungă;
- Consolidare și armare pentru diferite materiale, cum ar fi: beton, lemn, oțel;
- Costurile de intervenție extrem de competitive.
- Proprietatea lubrifiantă a fibrelor de carbon se poate aplica atunci când este solicitat un coeficient mai mic de frecare reducând astfel rata de uzură.

## 2. EXTERNAL BEAMS REINFORCEMENT USING CFRP

Composite fibers reinforced plastic has been increasingly used in different ways in constructions. Wood elements have been reinforced using various techniques. Introduction of composite materials as reinforcements for wood elements subjected to bending loads or shear loads is of great interest. Specifically, the use of composite materials as a reinforcement for wood elements under bending loads requires paying particular attention to several aspects of the problem. It is very important to carefully plan the kind of intervention to be realized. In fact, there are many techniques of reinforcing a wood element using different layouts of the FRP elements and each choice could potentially lead to different results. The wide range of products and the mechanical properties of CFRP elements currently available can lead to difficulty in choosing for the designer who approaches this reinforcement technique.

The method of consolidation with composite materials offers advantages over conventional methods, because the composite materials show [4,5]:

- very high resistance to traction, several times greater than steel;
- weight small ( $\frac{1}{4}$  of the weight of steel), flexibility and availability in various lengths, suitable for quick and easy application;
- increased resistance and ductility construction without changing the geometry or stiffness;
- resistance to the corrosive environment and long life;
- consolidation and reinforcement for different materials such as: concrete, wood, steel;
- costs of intervention extremely competitive.
- lubricating property of carbon fibers make them applicable when a lower coefficient of friction is requested and thus reducing the

În tabelul numărul 1 sunt prezentate proprietățile fibrelor, care sunt utilizate pentru a face materiale compozite, împreună cu rășini epoxidice.

wear rate.

In the table number 1 are shown the properties of the carbon fibers which are used to make the composite materials together with the epoxy resin.

Tabelul 1. Proprietățile fibrelor  
Table 1. Properties of the reinforcement fibers

Tipul fibrelor	Densitate (kg/m <sup>3</sup> )	E –modulul lui Young (GPa)	Rezistența la încovoiere (GPa)	Elongația (%)
Fibers type	Density (kg/m <sup>3</sup> )	E modulus (GPa)	Bending strength (GPa)	Elongation (%)
E-Sticlă	2.54	72.5	1.72-3.45	2.5
S-Sticlă	2.49	87	2.53-4.48	2.9
Kevlar 29	1.45	85	2.27-3.80	2.8
Kevlar 49	1.45	117	2.27-3.80	1.8
Carbon (HS)	1.80	227	2.80-5.10	1.0
Carbon (HM)	1.80-1.86	370	1.80	0.5
Carbon (UHM)	1.86-2.10	350-520	1.00-1.75	0.2

Consolidările cu elemente compozite pot fi aplicate la elementele din beton armat, cum ar fi grinzi, podele, coloane, diafragme, noduri, zidărie portantă, etc [7,9,10]. În tabelul 2 sunt prezentate proprietățile mecanice ale fibrelor de carbon.

Strengthening the composite elements can be applied to the elements of reinforced concrete, such as beams, floors, columns, diaphragms, knots, parts of masonry portal, as well as parts of the wood [7,9,10]. In the table number 2 are shown the mechanical properties of the carbon fibers.

Tabelul 2. Proprietățile mecanice ale fibrelor de carbon  
Table 2. Mechanical properties of the carbon fibers

Material	Eficiența axială		Eficiența la rupere	
	Axial efficiency		Flexural efficiency	
	$E/\rho$	Poziția	$E^{1/2}/\rho$	Poziția
	$E/\rho$	Rank	$E^{1/2}/\rho$	Rank
Carbon/Epoxy	113,1	1	8,4	1
Kevlar/Epoxy	52,1	2	6,0	2
E-Sticlă/Epoxy	21,4	3	3,5	3
Oțel	25,6	4	1,8	4

Multe produse de construcție folosesc lemnul ca materie primă și au fost introduse pe piața construcțiilor abia în ultimii 20 de ani. Ca și

Although many construction products using wood as the raw material have been introduced into the construction market in the

în cazul altor materiale de construcții, produsele din lemn sunt disponibile într-o gamă de calități (clase) și într-o serie de dimensiuni standardizate. Studiile pilot efectuate în ultimii ani au demonstrat că se poate combina lemnul și materialul compozit CFRP, pe bază de fibre de carbon.

Ranforsările cu compozite sunt tehnici eficiente care pot fi aplicate pe o scară largă structurilor făcute din diferite materiale [8,9,10]. Pentru că executarea proiectelor în construcții implică aspecte variate, proiectantul trebuie să aibă o experiență vastă în consolidări. Consolidarea este executată sub formă de înfășurare a elementului de lemn cu un strat sau mai multe de țesătură din fibră de carbon, lipită cu rășini epoxidice, sau prin pretensionare, folosind dispozitive speciale. Această consolidare a elementelor din lemn prezintă un mare interes în rândul specialiștilor și se aplică deja la scară destul de mare, în special clădirilor vechi cu valoare istorică, pentru a le consolida și conserva.

last 20 or more years and are presently being used extensively the dominant use of wood is still in the form of lumber which are pieces of wood cut from tree trunks. Mature trees, primarily those having evergreen needlelike leaves, are the sources of structural timber. As is true of other construction materials, wood products, including lumber, are available in a range of qualities (grades) and in a series of standardized sizes. Pilot studies in recent years have shown the significant promise of combining wood and CFRP.

Composite reinforcements are effective techniques that can be applied to large-scale structures made of different materials [8,9,10]. Because the execution of a construction project involves various aspects of different structures and because different systems are available as consolidated, the designer must have experience in designing structural consolidations. Consolidation is executed in the form of winding wood element with a layer or more of carbon fiber fabric, bonded with epoxy resins. Carbon fiber blades apply on the wood element glued with epoxy resin or pretensioning, using special devices. This reinforcement of the wood elements shows a great interest among specialists and is already applied fairly large scale, especially in old buildings with historical value, where is used to strength and to preserve them as true architectural monuments.

Tabelul 3. Materiale utilizate pentru consolidare (10)

Sisteme de consolidare	Caracteristici	Utilizare
SikaWrap 200C	Modul de elasticitate = $230\,000\text{ N/mm}^2$ , Rezistența la rupere = $3900\text{ N/mm}^2$	Fibre de carbon utilizate la ranforsarea elementelor din beton, lemn, zidărie. Consolidarea este realizată prin aplicarea unui strat (lipit cu Sikadur-330) o pe elementul deteriorat.

SikaWrap 230C	Modul de elasticitate = 230 000 N/mm <sup>2</sup> , Rezistența la rupere = 4100 N/mm <sup>2</sup>	Fibre de carbon utilizate la ranforsarea elementelor din beton, lemn, zidărie. Consolidarea este realizată prin aplicarea unui strat (lipit cu Sikadur-330) o pe elementul deteriorat.
Sikadur 330	Adeziv epoxidic Densitate = 1,31 kg/dmc Substanță de bază: epoxidică Consum: 0,7-1,2 kg/m <sup>2</sup>	Rășină epoxidică, fără solvent, cu proprietăți tixotropice, folosite pentru a realiza legături foarte bune între plăcile de carbon și substratul de sprijin.
Sika CarboDur Lamelele	Carbon plates (black), Density: 1,6 kg/dm <sup>3</sup>	E=165.000 N/mmp Type S 512: 50 mm x 1,2 mm Tip S 612: 60;80;100 mm x 1,2 mm Type S 1014: 90;100;120;150 mm x 1,4 mm E > 300.000 N/mmp Type M: 614: 60;90;120 mm x 1,4 mm
Sikadur 30	Mortar epoxidic Densitate: 1,65 kg/dm <sup>3</sup> Substanță de bază: epoxidică (A+B) Consumul depinde de strat	Două componente, adeziv epoxidic, fără solvent, cu proprietăți tixotropice, folosite pentru a realiza legături foarte bune între plăcile de carbon și substratul de sprijin

Table 3. Materials used for consolidation (10)

Strengthening systems	Characteristics	Use
SikaWrap 200C	Modulus of elasticity = 230 000 N/mm <sup>2</sup> , Tensile strength = 3900 N/mm <sup>2</sup>	Carbon fiber fabric used to reinforce concrete elements, wood, masonry. Strengthening is achieved by applying the film (sticking with Sikadur-330) on the damaged element.
SikaWrap 230C	Modulus of elasticity = 230 000 N/mm <sup>2</sup> , Tensile strength = 4100 N/mm <sup>2</sup>	Carbon fiber fabric used to reinforce concrete elements, wood, masonry. Strengthening is achieved by applying the film (sticking with Sikadur-330) on the damaged item.
Sikadur 330	Epoxy adhesive, Density: 1,31 kg/dmc Basic substance: epoxy Consumption: 0,7-1,2 kg/mp	Epoxy resin, without solvent, with thixotropic properties, used for application SikaWrap blade on the consolidated elements.

Sika CarboDur Plates	Carbon plates (black), Density: 1,6 kg/dmc	E=165.000 N/mmp Type S 512: 50 mm x 1,2 mm Tip S 612: 60;80;100 mm x 1,2 mm Type S 1014: 90;100;120;150 mm x 1,4 mm E > 300.000 N/mmp Type M: 614: 60;90;120 mm x 1,4 mm
Sikadur 30	Epoxy grout Density: 1,65 kg/dmc Basic substance-epoxide (A+B) Consumption depends on substrate	Two components epoxy adhesive, solvent free, thixotropic properties, used to achieve very good links between carbon plates and support substrate.

O bună înțelegere a sistemelor de consolidare, bazate pe elemente din fibră de carbon, precum și modelarea comportamentului acestora pe termen lung sunt probleme fundamentale de inginerie care trebuie să fie abordate cu mare atenție. Un exemplu de consolidare a structurilor din lemn (grinzi, stâlpi, panouri, plăci, zidărie portantă) cu elemente compozite de tipul CFRP este dat și în figurile 1 și 2

A basic understanding of FRP–wood bond issues, optimum CFRP composition for compatibility with wood, optimum CFRP–wood structural member’s geometries and material properties, and modeling of long-term behavior are all fundamental science and engineering issues that still must be addressed. As in the development of reinforced and pre-stressed concrete, basic engineering and material science research are needed to unlock the full potential of a wide variety of FRP reinforced wood structural members, e.g., beams, columns, panels and connections (fig.1 and fig.2).



Figura 1. Grinzi ranforsate cu CFRP [6]  
Figure 1. CFRP sheet reinforced wood beams (6)

Numărul total de exemplare fabricate din lemn este de nouă, dintre care opt sunt consolidate, și unul este nearmat. Partea de lemn din toate grinzile a fost formată din lemn de fag uscat, care are dimensiunea egală cu 25×50×500 mm [3]. Patru grinzi au fost consolidate cu o singură fâșie din fibră de carbon cu o grosime

The total number of wood specimens manufactured is nine, eight of which are reinforced, and one is unreinforced. The wood part of all beams was formed by beech dry wood which size is equal to 25 by 50 by 500 mm [3]. Four beams were reinforced using one carbon fiber sheet of thickness equal to 1.5 mm, width equal to

egală cu 1,5 mm, lățime egală cu 25 mm, iar lungimea este egală cu 500 cm. Dimensiunea finală a acestor fascicule este egală cu 25×101.5×500 mm. Cele două grinzi se lipește între ele cu rășină epoxidică EPOMAX-PL (fig.1) [1,2,4,6]. În plus, fâșia din fibră de carbon are o rezistență la întindere foarte mare (raportat la greutatea sa), aceasta este disponibilă în orice lungime, are o grosime redusă, este ușor de transportat, are diferite module de elasticitate, rezistența la oboseală crescută, și poate fi pusă în fără pregătire. Mai mult decât atât, CFRP sunt compatibile cu lemnul, în ceea ce privește proprietățile sale mecanice. Rezultatele testelor la încovoiere pentru o grindă de lemn întărită cu o fâșie de CFRP sunt prezentate în tabelul 4.

25 mm and the length is equal to 500 cm. The finished dimension of these beams is equal to 25 by 101.5 by 500 mm because they are two beams stick together with one carbon fiber sheet and EPOMAX-PL epoxy resin (fig.1). For carbon fiber sheet, once it is placed on the wood beam, with the epoxy resin, all what is required is to press the carbon fiber sheet with a simple roller and pull out the air [1,2,4,6]. In addition, the carbon fiber sheet has a very high tensile strength (with respect to its weight), it is available in any length, no joints are required, low thickness, easy to transport, laminate intersections are simple, economical application no heavy handling and installation equipment, available in various modules of elasticity, outstanding fatigue resistance, and it can be coated without preparation. Moreover, the CFRP are compatible with wood with respect to its mechanical properties. The bending test results for a reinforced wood beam with one CFRP sheet are shown in table 4.

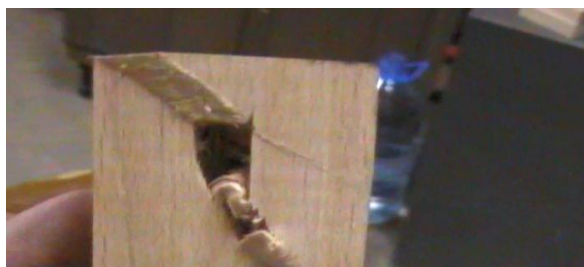


Figura 2 a). Stâlp neranforsat [6]  
Figure 2 a). Un-reinforced wood column [6]



Figura 2 b). Ranforsaarea stâlpilor cu pânză din fibre de carbon [6]  
Figure 2 b). CFRP sheet reinforced wood column [6]



Tabelul 4. . Grindă ranforsată cu fâșii de CFRP

Forța (daN)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
Săgeata f (mm)	1	1,5	1,9	2,1	2,3	2,6	3	4

Table 4. Results for a reinforced wood beam with CFRP sheet

Force (daN)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
Deflection f (mm)	1	1,5	1,9	2,1	2,3	2,6	3	4

Alte patru grinzi au fost consolidate folosind două fâșii din fibră de carbon de grosime egală cu 3 mm, lățime egală cu 25 mm, iar lungimea este egală cu 300 mm. Fâșiile din fibră de carbon au fost lipite cu EPOMAX-PL (o rășină epoxidică) ca în fig.2a și 2b. Rezultatele încercării la încovoiere pentru un stâlp de lemn întărit cu două fâșii de CFRP sunt prezentate în tabelul 5.

Other four beams were reinforced using two carbon fiber sheets of thickness equal to 3 mm, width equal to 25 mm and the length is equal to 300 mm. The carbon fiber sheets were fixed with EPOMAX-PL epoxy resin (fig.2a and 2b). The bending test results for a reinforced wood column with two CFRP sheets are shown in table 5.

Tabelul 5. Stâlp ranforsat cu fâșii de CFRP

Foța (daN)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
Săgeata f (mm)	1	2,2	3,9	4,8	6,1	7,9	8,7	10,5

Table 5. Results for a reinforced wood column with CFRP sheet

Force (daN)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
Deflection f (mm)	1	2,2	3,9	4,8	6,1	7,9	8,7	10,5

### 3. CONCLUZII

Ca o concluzie, proprietățile materialelor compozite variază în funcție de tipul de fibre și rășina selectate, conținutul de fibre, orientarea fibrelor, și procesul de fabricație. Armarea a schimbat modul de comportare a structurilor ranforsate de la fragil la ductil și a sporit capacitatea de încărcare a grinzilor. În concluzie, problema principală este determinarea rezistenței admisibile la rupere pentru utilizările comerciale ale acestor

### 3. CONCLUSIONS

To summarize, CFRP composites material properties vary depending on the type of fiber and resin selected, the fiber content, the fiber orientation, and the manufacturing process. The reinforcement has changed the mode of failure from brittle to ductile and has increased the load-carrying capacity of the beams. In conclusion, the most critical task is the determination of the allowable flexural strength for commercial uses. Only when a clear understanding of the actual flexural strength values for full-scale beams is known



elemente. Numai după o determinare clară a valorilor reale ale rezistenței la rupere pentru aceste elemente se poate înțelege comportamentul real al acestora în timp.

and the actual behavior is understood, will the refinement of the flexural safety factor be possible.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Akbiyik A, Lamanna AJ, Hale WM. Feasibility investigation of the shear repair of timber stringers with horizontal splits. *Construct Build Mater* 2007; 21:991–1000.
- [2] Borri A, Corradi M, Grazini A. A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials. *Compos: Part B – Eng* 2005; 36:143–53.
- [3] Corradi M, Borri A. Fir and chestnut timber beams reinforced with GFRP pultruded elements. *Compos: Part B – Eng* 2007; 38:172–81.
- [4] Crăciunescu M., *Materiale compozite*, Editura SEDONA, Timișoara, 1998.
- [5] Dumitraș C., Opran C., *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice și minerale*, Editura Tehnică, București, 1994.
- [6] Ianăși C., *Studii experimentale pe materiale compozite. Referat doctorat. Universitatea din Craiova*, p.93, 2008.
- [7] Radford DW, Van Goethem D, Gutkowski RM, Peterson ML. Composite repair of timber structures. *Construct Build Mater* 2002; 16:417–25.
- [8] Ștefănescu F., Neagu G., Mihai A., *Materiale compozite*, Editura didactică și pedagogică, București, 1996.
- [9] Triantafillou TC. Strengthening of structures with advanced FRPs. *Prog. Struct. Mater Eng* 1998; 1:126–34.
- [10] [www.sika.com](http://www.sika.com)

## REFERENCES

- [1] Akbiyik A, Lamanna AJ, Hale WM. Feasibility investigation of the shear repair of timber stringers with horizontal splits. *Construct Build Mater* 2007; 21:991–1000.
- [2] Borri A, Corradi M, Grazini A. A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials. *Compos: Part B – Eng* 2005; 36:143–53.
- [3] Corradi M, Borri A. Fir and chestnut timber beams reinforced with GFRP pultruded elements. *Compos: Part B – Eng* 2007; 38:172–81.
- [4] Crăciunescu M., *Materiale compozite*, Editura SEDONA, Timișoara, 1998.
- [5] Dumitraș C., Opran C., *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice și minerale*, Editura Tehnică, București, 1994.
- [6] Ianăși C., *Studii experimentale pe materiale compozite. Referat doctorat. Universitatea din Craiova*, p.93, 2008.
- [7] Radford DW, Van Goethem D, Gutkowski RM, Peterson ML. Composite repair of timber structures. *Construct Build Mater* 2002; 16:417–25.
- [8] Ștefănescu F., Neagu G., Mihai A., *Materiale compozite*, Editura didactică și pedagogică, București, 1996.
- [9] Triantafillou TC. Strengthening of structures with advanced FRPs. *Prog. Struct. Mater Eng* 1998; 1:126–34.
- [10] [www.sika.com](http://www.sika.com)