

CARACTERISTICILE BARELOR DIN POLIMERI ARMAȚI CU FIBRE DE STICLĂ SOLICITATE LA TRACȚIUNE TENSILE CHARACTERISTICS OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYMERIC BARS

NICOLAE ȚĂRANU*, CĂTĂLIN BANU, GABRIEL OPRÎȘAN, MIHAI BUDESCU,
VLAD MUNTEANU, OANA IONIȚĂ

¹ Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, Facultatea de Construcții, Bdul. Mangeron nr. 43, cod 700050, Iași, România

Compozitele polimerice armate cu fibre din sticlă (CPAFS) sunt utilizate la fabricarea barelor pentru armarea elementelor din beton sau a structurilor hibride. Caracterizarea comportării la tracțiune a barelor din CPAFS este obligatorie pentru proiectanți înaintea utilizării acestora la armarea elementelor portante. În acest sens, s-a realizat un program experimental privind comportarea la tracțiune a barelor compozite din CPAFS cu matrice vinil-esterică, iar rezultatele obținute sunt prezentate în această lucrare. Încercările experimentale au fost completate de modelări numerice efectuate în scopul determinării câmpurilor de tensiuni în zonele extremităților barelor și în zona mediană de testare.

Au fost testate la întindere trei seturi a câte 10 bare din CPAFS având diametrele de 8, 12 și 16 mm în vederea determinării rezistenței ultime la întindere, modulului de elasticitate longitudinal și a deformației specifice ultime la întindere.

Rezultatele experimentale se înscriu în limitele valorilor înregistrate la teste similare de către alte echipe de cercetare. În urma încercărilor experimentale și a modelării numerice s-a constatat că aceste metode pot asigura caracterizarea adecvată a barelor compozite solicitate la tracțiune oferind proprietățile mecanice principale necesare în procesul de proiectare.

Glass fibre reinforced polymer (GFRP) composites are currently being used as reinforcing bars in concrete and hybrid structures. An appropriate characterization of GFRP bars for concrete reinforcement is required by the structural designers prior to their use in structural applications. An extensive experimental program has been carried-out and the test results obtained from tensile tests on samples made of glass fibres and vinyl ester resins are presented and analysed in the paper.

The experimental tests have been accompanied by a numerical modelling performed to characterize the stress field in the bar ends and along the test portion of the specimens.

Three sets of 10 bars with diameters 8, 12 and 16 mm have been tested in tension, determining the ultimate tensile strength, the elastic longitudinal modulus and the ultimate tensile strain.

The experimental results are in line with similar work carried out by other research teams. It has been found out that the experimental procedure and the accompanying numerical modelling provide an adequate characterization of the GFRP bars giving the main properties needed for design.

Keywords: glass fibre, end anchorages, tensile modulus, tensile strength, numerical modelling

1. Introducere

Barele din compozite polimerice armate cu fibre de sticlă au început să fie produse la scară industrială cu douăzeci de ani în urmă și au fost utilizate ca armături pentru elemente portante și structuri din beton armat datorită rezistenței la coroziune, raportului favorabil rezistență/greutate și a neutralității electromagnetice [1]. Aceste bare compozite sunt folosite în mod frecvent ca armături interioare pentru grinzi și plăci din beton [2, 3], precum și ca produse de armare pentru lucrări de reabilitare și consolidare a pereților din zidărie de cărămidă înglobate în slițuri superficiale [4]. Barele din CPAFS pot fi folosite și ca armături longitudinale pentru stâlpii cu secțiune inelară [5], circulară sau rectangulară din beton armat [6], tuneluri [7-8] și grinzi din lemn [9].

1. Introduction

Glass fibre reinforced polymer bars have been industrially produced over the last twenty years and utilised as reinforcement for concrete load bearing elements and concrete structures due to their corrosion resistance, high strength to weight ratio and electromagnetic neutrality [1]. These composite bars are frequently used as internal reinforcing bars for concrete beams and plates [2, 3] and as reinforcing products to structurally rehabilitate and strengthen masonry walls using near surface mounting (NSM) solution [4]. They can be also utilised as longitudinal reinforcement for tubular, concrete columns [5], circular or rectangular concrete columns [6], tunnelling projects [7-8] and timber beams [9].

When loaded in tension, GFRP bars do not

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel.: +40 232 23.22.19, e-mail: taranu@ce.tuiasi.ro

Barele din CPAFS solicitate la întindere nu se plasticizează înainte de rupere [10]. Comportarea la întindere a acestor bare este caracterizată printr-o relație cvasi-liniară elastică între tensiuni și deformații specifice până la cedare. Rezistența la întindere și modulul de elasticitate al barelor din CPAFS depind de o serie de factori care includ: tipul fazelor constituente (fibre și matrice), fracțiunea volumetrică de fibre (având în vedere faptul că fibrele participă în principal în preluarea eforturilor) precum și tehnologia de fabricație utilizată.

Determinarea rezistenței la întindere a barelor din CPAFS nu poate fi realizată în conformitate cu prevederile normelor ASTM [11], redactate pentru epruvete plate subțiri, întrucât comportarea epruvetelor este complexă datorită concentrărilor de tensiuni în zonele de ancorare. De aceea, pentru a evita cedarea prematură a capetelor probelor și pentru a dirija ruperea în zona mediană este necesară utilizarea unor dispozitive speciale la fixarea probelor solicitate la tracțiune. În cadrul normelor AIC [10] s-a propus o metodă de testare specială, cu tratarea adecvată a capetelor epruvetei care se înscrie în linia metodologiei de testare în cazul altor elemente de armare și care asigură rezultate experimentale compatibile cu alte reglementări referitoare la calculul elementelor din beton armat. La prelucrarea statistică a rezultatelor experimentale se admite o distribuție normală care să reprezinte caracteristicile mecanice determinate pe un set reprezentativ de epruvete [12, 13]. Programul experimental s-a desfășurat în condiții normale de temperatură din laborator, deși astfel de teste pot fi efectuate și în condiții severe de temperaturi scăzute sau ridicate [14]. Acest program experimental face parte din obiectivele și activitățile incluse în proiectul de cercetare cu tema *Structuri hibride realizate din materiale compozite și tradiționale*, Program PN II-Idei-Cod 369, 2008-2011 [15].

2. Programul experimental

2.1 Materiale

Epruvetele au fost decupate din bare cilindrice produse de către Schöck Bauteile GmbH din Baden-Baden, Germania [16]. Barele CPAFS au fost produse prin pultrudere, în matrice preîncălzite unde procesul de impregnare și saturare a fibrelor cu matrice s-a desfășurat în condiții de presiune atent controlate, obținându-se valori ale fracțiunii volumetrică de fibră de peste 70%.

La fabricarea barelor au fost folosite fibre de sticlă rezistente la alcalii, cu rezistența la întindere $R_{ft}=3600$ MPa și modulul de elasticitate $E_f=80,5$ GPa, ca material de armare [17]; matricea utilizată este o rășină vinil-esterică de uz general, cu rezistența la întindere $R_{mt}=85$ MPa și modul de elasticitate $E_m=3.5$ GPa [18].

2.2 Epruvete

Pentru realizarea programului experimental

exhibit plastic behaviour before rupture [10]. The tensile behaviour of these bars is characterised by a quasilinearly elastic stress-strain relationship until failure. The tensile strength and elastic modulus of GFRP bars are dependent on several factors including: the nature of the composite constituents (fibres and matrices), the fibre volume fraction (since the fibres are the main load-carrying constituents) and the manufacturing process.

Determination of GFRP bar strength loaded in tension by testing can not be performed by ASTM norms [11] written for thin plate-like samples, since the sample behaviour is complicated due to stress concentrations in the anchorage regions. Therefore, a suitable testing grip should be utilized to avoid premature failure at the specimen ends and enable failure to occur in the middle of the test specimens. A special ACI test method has been developed [10] to be inline with the test methodology for other types of reinforcing bars and to provide calculated test results that are compatible with other design norms for reinforced concrete. Usually a normal distribution can be assumed to represent the mechanical characteristics of the population of specimens [12, 13]. The experimental program has been carried out at normal laboratory temperature, although the tensile tests can be performed under low or high temperature [14]. The testing program is part of the objectives and activities included in the research project on *Hybrid structures made of polymeric composites and traditional building materials*, Program PN II-Idei-Cod 369, 2008-2011 [15].

2. Experimental program

2.1 Materials

The test specimens have been cut from cylindrical bars produced by Schöck Bauteile GmbH from Baden-Baden, Germany [16]. GFRP bars have been manufactured by pultrusion in heated dies where impregnation and saturation of glass fibres by resin has been performed under pressure and tightly controlled conditions enabling fibre volume fractions over 70% to be achieved.

Glass fibres with a tensile strength $R_{ft}=3600$ MPa and an elastic modulus $E_f=80.5$ GPa have been utilised as reinforcing material [17] of the composite bars. General purpose vinyl esters with a tensile strength $R_{mt}=85$ MPa and an elastic modulus $E_m=3.5$ GPa have been used as matrix material [18].

2.2 Specimens

Three sets of 10 cylindrical test samples with diameters 8, 12 and 16mm have been prepared. Tubular steel coupons have been attached at the ends of the test samples to provide an appropriate load transfer from the testing machine to the test specimen. The length of the

s-au confecționat trei seturi a câte 10 epruvete cilindrice cu diametrele 8, 12 și 16mm. În zonele de capăt au fost atașate cupoane din profil cilindric tubular din oțel, pentru a asigura transferul încărcării de la mașina de încercat la epruveta testată. Lungimile epruvetelor cuprind sectorul de testare și lungimile capetelor înglobate în cupoanele tubulare, depinzând de mărimea diametrului barei de armare. Ambele lungimi sunt specificate în ACI 440.3R-04 [10], împreună cu diametrele ancorelor. Lungimea de calcul (L_0) a fost stabilită astfel încât să satisfacă cerințele impuse de norma ACI 440.3R-04 prezentată anterior. În tabelul 1 sunt prezentate caracteristicile geometrice ale epruvetelor testate, în timp ce în figura 1 este ilustrată epruveta din CPAFS având specificate caracteristicile geometrice și cele două ancore metalice.

specimen includes the testing length, depending on the diameter, and the anchor or steel cylinder length. Both these lengths are specified by ACI 440.3R-04 [10] as well as the diameter of the anchors. The gage length (L_0) was selected so that the requirements of the above norm were fulfilled. Table 1 presents the geometrical details of the test specimens, while Figure 1 illustrates the sample features.

The anchor length, L_a , has been determined so that the tensile capacity of the test sample should not exceed the anchorage force provided by the shear resistance of the adhesive filling the space between the GFRP sample and the anchor wall. The utilised adhesive is based on epoxy components that are currently used in externally bonded composite strips to concrete elements.

Tabelul 1

Detalii geometrice ale epruvetelor din CPAFS (compozitelor polimerice armate cu fibre de sticlă) testate
Geometrical details of the GFRP test specimens

Diametrul probei <i>Specimen diameter</i>	Diametrul exterior al ancorei tubulare <i>Outside diameter of the tubular anchor</i>	Grosimea peretelui ancorei tubulare <i>Wall thickness of the tubular anchor</i>	Lungimea ancorei tubulare / <i>Length of the tubular anchor, L_a</i>	Lungimea bazei de măsurare, / <i>Gage length, L_0</i>
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
8	35	4.8	300	80
12	42	4.8	380	96
16	48	4.8	460	128

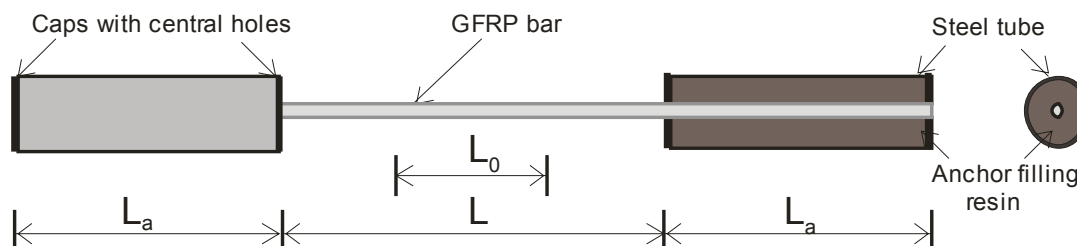


Fig. 1 - Caracteristicile epruvetelor din compozite polimerice armate cu fibre de sticlă (CPAFS)
Characteristics of the GFRP test specimen and the anchors.

Lungimea de ancorare, L_a a fost determinată astfel încât forța de tracțiune capabilă a barei să nu depășească forța capabilă de ancorare, asigurată prin rezistența la forfecare a adezivului de umplere a spațiului dintre bara din CPAFS și peretele ancorei tubulare. Adezivul folosit are la bază componenți epoxidici care sunt utilizați frecvent la placarea exterioră a elementelor din beton cu fâșii compozite. După amestecul adezivului, acesta a fost introdus în spațiul dintre probă și peretele ancorei tubulare, capetele barelor din CPAFS au fost fixate în ancore; excesul de adeziv fiind îndepărtat după care centrarea barelor s-a realizat cu ajutorul unor capace de ghidare.

2.3 Pregătirea încercării experimentale

Epruvetele din CPAFS au fost testate la întindere axială folosind o mașină universală de încercat Zwick având capacitatea de încărcare egală cu 1000 kN. În figura 2 este ilustrată pre-

After preparation of the adhesive, the sample ends have been inserted into the anchor and fitted inside it until firm fixing was achieved in the round slots in the cap.

2.3 Experimental setup

The GFRP specimens have been tested under pure tensile axial load using a universal testing machine (UTM) Zwick having a load capacity 1000kN. Figure 2 shows the experimental setup for the GFRP tensile specimens.

The composite specimens have been instrumented with an extensometer capable of recording the specimen elongation during testing with an accuracy of 0.002% of the gauge length. A data acquisition system attached to the testing machine capable of continuously reading load, strain and displacement at rates of 100 readings per second has also been utilized.

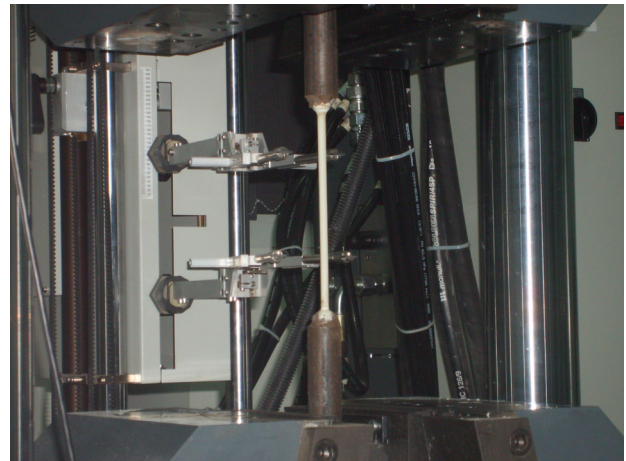


Fig.2 - Pregătirea încercării experimentale/ The experimental setup: (a) - mașina universală de încercat / universal testing machine; (b) - epruveta din CPAFS cu extensometrul montat / GFRP bar specimen with mounted extensometer.

gătirea încercării experimentale pentru solicitarea de tracțiune a epruvetelor din CPAFS.

Epruvetele compozite au fost echipate cu un extensometru capabil să înregistreze alungirea probei în timpul testării cu o acuratețe de 0,002% din lungimea de calcul, L_0 . Sistemul de achiziție cuplat la mașina de încercat înregistrează continuu forța aplicată, deformația specifică și deplasarea la o rată de 100 de citiri pe secundă.

2.4 Metoda de testare

Înainte de efectuarea încercării la solicitarea de întindere s-au avut în vedere specificațiile din ASTM D618 [19] referitoare la temperatura interioară (23°C) și umiditatea relativă din laborator (55%).

Epruvetele au fost montate în mașina de încercat astfel încât axa longitudinală a probelor să coincidă cu linia de îmbinare a ancorajelor. Sistemul de achiziție a datelor a fost pornit cu 1 minut înainte de începerea încercării. Viteza de încărcare a fost selectată la 300MPa/minut, astfel încât durata încercării să se încadreze în intervalul de 1 până la 10 minute [10].

Viteza de încărcare a fost menținută până la ruperea completă a probei. Măsurarea deformațiilor specifice a fost efectuată până la atingerea nivelului de 70% din forța capabilă la întindere a barei. După acest nivel de solicitare, brațele extensometrului au fost îndepărtate pentru a preveni deteriorarea acestora.

2.5 Calculul caracteristicilor mecanice

Cu ajutorul citirilor efectuate de extensometru au fost generate curbele caracteristice tensiuni și deformații specifice.

Rezistența la întindere a barei din CPAFS a fost determinată cu ajutorul relației:

$$R_{Lt} = \frac{F_u}{A} \quad (1)$$

unde: R_{Lt} este rezistența la întindere a barei compozite, în MPa, F_u este forța de întindere maximă, în N, iar A este aria secțiunii transversale

2.4 Test method

Prior to tensile test the conditioning according to ASTM D618 [19] has been carried out by storing the test specimens at standard laboratory conditions (23°C indoor temperature and 55 % relative humidity).

The specimens have been mounted in the testing machine, such that their longitudinal axes coincided with the line joining the two anchorages fitted to the testing machine. The data acquisition system was started one minute before applying the load on the sample. The rate of loading was selected at 300 MPa/minute so that the specimen would fail in 1 to 10 minutes [10].

The load has been increased until the tensile fracture. Strain measurements have been recorded until the load reached about 70% of the tensile capacity. After this strain the extensometer arms have been detached to be protected from damage.

2.5 Calculations

The stress-strain curves have been generated from the stress and strain measurements recorded from the extensometer readings.

The tensile strength has been calculated using equation:

$$R_{Lt} = \frac{F_u}{A} \quad (1)$$

where R_{Lt} is the longitudinal composite tensile strength, in MPa, F_u is the ultimate tensile load in N, and A is the cross-sectional area of specimen in mm^2 .

The tensile modulus of elasticity, E_L , in MPa, has been calculated from the difference between the stress-strain curve values at 50% and 20% of the ultimate tensile load according to Equation (2):

$$E_L = \frac{\sigma_{50} - \sigma_{20}}{\varepsilon_{50} - \varepsilon_{20}} \quad (2)$$

a barei din CPAFS, în mm².

Modulul de elasticitate la întindere, E_L , în MPa, a fost calculat din diferența valorilor înregistrate la 50% și 20% pe curbele de tensiuni și deformații specifice, conform Ecuației (2):

$$E_L = \frac{\sigma_{50} - \sigma_{20}}{\varepsilon_{50} - \varepsilon_{20}} \quad (2)$$

unde: σ_{50} este tensiunea corespunzătoare procentului de 50% din forța maximă de rupere la întindere a barei din CPAFS, în MPa și ε_{50} este deformația specifică corespunzătoare procentului de 50% din aceeași încărcare, în %, σ_{20} este tensiunea corespunzătoare procentului de 20% din forța maximă de rupere la întindere a barei din CPAFS, în MPa și ε_{20} este deformația specifică corespunzătoare procentului de 20% din deformația specifică la aceeași încărcare, în %. Valoarea modulului de elasticitate longitudinal calculată cu relația (2), este apropiată valorilor teoretice stabilite prin relațiile din mecanica mediilor compozite armate cu fibre [20 - 22].

Valoarea ultimă a deformației specifice, ε_u a fost înregistrată de către traductorul mașinii universale de încercat și calculată din rezistența ultimă la întindere și modulul de elasticitate longitudinal, conform Ecuației (3):

$$\varepsilon_u = \frac{\sigma_u}{E_L} \quad (3)$$

unde: σ_u este rezistența la întindere a barei din CPAFS, în MPa și ε_u este deformația specifică ultimă, în %.

3. Rezultate experimentale

În urma testării celor 30 de probe au fost determinate experimental proprietățile mecanice la întindere. O sinteză a rezultatelor obținute în programul de testare este prezentată în tabelul 2.

where σ_{50} is the stress at 50% of the ultimate tensile capacity in MPa, ε_{50} is the corresponding strain at the same load, in %, σ_{20} is the stress at 20% of the ultimate tensile capacity in MPa and ε_{20} is the strain at the same load, in %. The value of the longitudinal elastic modulus determined with formula (2) is close to the theoretical values established using the formulas from mechanics of fibrous composites [20 - 22].

The ultimate strain, ε_u was recorded by the transducer of the universal machine and also calculated from the ultimate tensile strength and modulus of elasticity according to Equation (3)

$$\varepsilon_u = \frac{\sigma_u}{E_L} \quad (3)$$

where: σ_u is the ultimate tensile strength, in MPa and E_L is the tensile modulus of elasticity, in MPa.

3. Experimental results

Based on the experimental tests on the 30 GFRP specimens the mechanical properties of the composite bars loaded in tension have been evaluated. A synthesis of the experimental results is presented in Table 2.

The experimentally determined tensile properties given in Table 2 show that all the tests have a small scatter; the maximum coefficient of variation, (4.65%), has been determined for the elastic modulus of specimens with a 16 mm diameter.

The uniformity of the mechanical characteristics, underlined by small values of the coefficients of variation proves the quality of the reinforcing bars and the suitability of pultrusion as a manufacturing procedure for such composite products.

Tabelul 2

Rezultate la întindere obținute pe epruvetele din CPAFS / Tensile test results on GFRP samples

	GFRP Φ8			GFRP Φ12			GFRP Φ16		
	σ [MPa]	E [MPa]	ε [%]	σ [MPa]	E [MPa]	ε [%]	σ [MPa]	E [MPa]	ε [%]
Valoare medie / Average value	1280.77	58631.26	2.19	1269.05	54599.71	2.32	1267.19	53659.61	2.37
Deviație standard / Standard deviation	27.94	1895.61	0.07	29.28	1192.39	0.04	34.15	2497.75	0.10
Coeficientul de variație / Coefficient of variation [%]	2.18	3.23	3.20	2.31	2.18	1.91	2.70	4.65	4.35

Proprietățile la întindere determinate experimental incluse în tabelul 2 prezintă diferențe mici; coeficientul de variație maxim egal cu (4,65%) a fost determinat pentru modulul de elasticitate al probei din CPFAS cu diametrul de 16mm.

Uniformitatea caracteristicilor mecanice subliniată prin valorile mici ale coeficienților de variație confirmă calitatea barelor de armare din CPAFS și utilitatea pultrudării ca proces de fabricare a unor astfel de produse compozite.

Barele din CPAFS au o comportare

The composite bars behave in a quasi-linear manner up to failure, Figure 3. No yielding has been observed during the test. Average tensile strength values from 1280 MPa (for a 8 mm diameter) to 1267 MPa (for a 16 mm diameter) have been obtained. These high values of tensile strength recommend the use of GFRP bars as tensile reinforcement for concrete elements.

The modulus of elasticity (from 53659 MPa to 58631MPa) is about 3.8 times lower than that of steel, therefore the composite reinforcing bars are

cvasiliniară până la rupere (fig. 3); pe curbe caracteristice nu s-au observat tendințe de curgere. Valorile medii ale rezistențelor la întindere de la 1280 MPa (pentru 8 mm în diametru) la 1267 MPa (pentru 16mm în diametru) indică o grupare favorabilă a rezultatelor. Valorile ridicate ale rezistenței la tracțiune recomandă utilizarea barelor din CPAFS ca armături întinse pentru elementele din beton.

Modulul de elasticitate (de la 53659 MPa până la 58631 MPa) este de circa 3,8 ori mai mic decât modulul de elasticitate al oțelului, prin urmare, barele compozite pentru armare nu sunt potrivite pentru criterii severe de rigiditate. Din figura 3, se observă că deformația specifică ultimă la întindere este redusă, caracteristică ce impune o abordare diferită a proiectării elementelor din beton folosind bare din CPAFS pentru armare.

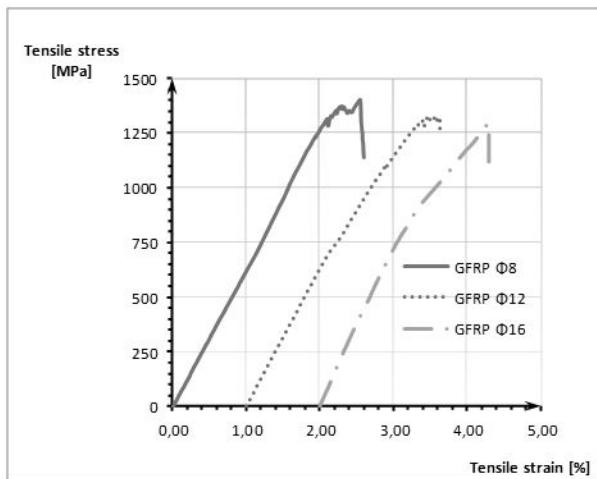


Fig.3 - Diagrama tensiuni deformații specifice la întindere pentru epruvetele din CPAFS / Tensile stress-strain diagrams for GFRP test specimens.

Cedarea este casantă și apare în lungimea de testare a probei când se atinge rezistența la întindere a materialului compozit. În zona de rupere, fibrele de sticlă cedează prin expandarea laterală a fibrelor (fig. 4).

4. Modelarea numerică

Proprietățile mecanice ale barelor din CPAFS utilizate în modelarea și analiza cu elemente finite au fost determinate folosind principiile micromecanicii. Pentru evaluarea preliminară a caracteristicilor mecanice în direcție longitudinală și transversală s-au folosit relațiile bazate pe regula amestecurilor și regula inversă a amestecurilor [20, 22].

În timpul încercărilor experimentale s-au observat cedări multiple în zonele de ancorare. Aceste probleme sunt atribuite faptului că deplasările relative dintre bara din CPAFS și ancaj consumă un volum de energie care în cele din

not suitable for severe stiffness criteria. It can be seen from Figure 3 that the ultimate tensile strain is quite low, feature that will impose a different design approach of reinforced concrete elements using reinforcing GFRP composite bars.

Failure is brittle and it occurs in the free span of the test specimen when the tensile strength of composite material is reached. The glass fibres in fracture region spread in a brush like fashion, Figure 4.

4. Numerical modelling

The mechanical properties of the GFRP bar used in the Finite Element Modelling (FEM) and analysis have been determined using the micromechanics approach. Direct and indirect rules of mixtures have been used in order to obtain the longitudinal and transverse mechanical parameters [20, 22].



Fig.4 - Ruperea fragilă a barei din CPAFS / Brittle fracture of the GFRP sample.

During the performed laboratory tests multiple failures in the bar anchorage regions have been observed. These problems were attributed to the fact that relative displacement between the GFRP bar and the anchorage system consumed a certain amount of energy that otherwise should have been undertaken by the bar cross-section. For this reason, in the FEM analysis, the bottom part of the bar was considered fully fixed over the external surface. The obtained stress and strain maps, Figures 5a, 5b, 5c, illustrate relatively concentrically distributions of the tensile stresses. The material model used in the analysis considers the composite bar as an orthotropic element with the characteristics determined earlier.

In the discretization process pentahedral elements have been used PN12L, utilizing the facilities of LUSAS software package [23, 24] for the analysis of the composite bar; several laminae have been included in a single element. For these elements the three degrees of freedom per node have been utilized to interpolate a displacement

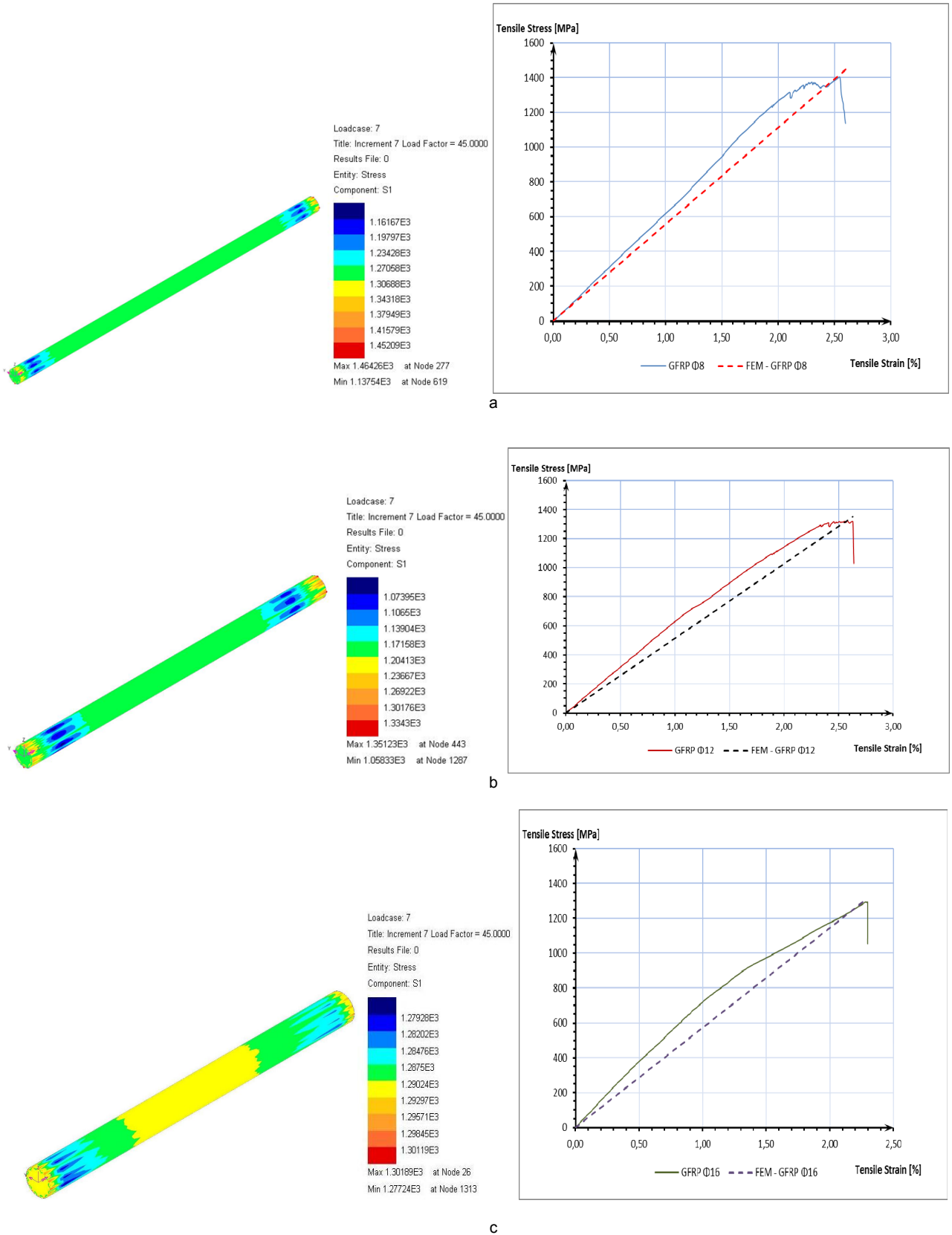


Fig. 5 - Comparație între curbele caracteristice determinate experimental și cele obținute prin simulare numerică / Comparison between experimental characteristic curves and those obtained by numerical simulation: (a) - bara din CPAFS cu diametrul de 8 mm / GFRP bars with 8mm diameter, (b) - bara din CPAFS cu diametrul de 12 mm / GFRP bars with 12mm diameter, (c) - bara din CPAFS cu diametrul de 16 mm / GFRP bars with 16mm diameter.

urma este preluată de secțiunea de bară. Din aceste motive, analiza cu elemente finite (AEF), poate clarifica starea de tensiuni și deformații specifice din ancora metalică care la un capăt este considerată fixă.

Hărțile de tensiuni și deformații specifice sunt ilustrate în Figurile 5a, 5b, 5c. Bara din CPAFS a fost considerată ortotropă, având caracteristicile mecanice determinate anterior.

În procesul de discretizare a barei compozite au fost folosite elemente pentaedrice de tip PN12L [23, 24] în care volumul barei a fost definit printr-o succesiune de lamele compozite. Ținând seama de faptul că fiecărui nod i s-au atribuit trei grade de libertate la stabilirea câmpului deplasărilor s-a utilizat interpolarea liniară pe grosimea lamelei compozite și interpolarea quadratică în planul acesteia.

Fiecare strat a fost definit prin matricea de rigiditate caracteristică materialului ortotrop. Valoarea maximă a tensiunii de întindere obținută prin simulare numerică a fost de 1350 MPa. Această valoare este apropiată de valoarea dată de producător și cea obținută în cadrul încercărilor experimentale.

5. Concluzii

Utilizarea barelor din CPAFS pentru armare necesită o caracterizare detaliată pentru cunoașterea completă a proprietăților necesare proiectării.

Întrucât aceste bare de armare sunt solicitate la tracțiune proprietățile principale sunt: modulul de elasticitate, rezistența ultimă din întindere și deformația specifică limită la întindere.

Forma și dimensiunile barelor de armare din CPAFS necesită ancoraje speciale pentru a evita lunecarea din bacurile mașinii de încercat și pentru a obține o distribuție convenabilă a tensiunilor.

În lucrare este prezentată organizarea programului experimental astfel încât să fie îndeplinite cerințele de testare existente precum și rezultatele obținute pe probe cu trei diametre diferite.

Toate rezultatele experimentale confirmă comportarea linear elastică a barelor de armare din CPAFS și comportarea fragilă a materialului.

Pultruderea este o metodă recomandată de fabricare a barelor compozite pentru armare, produsele rezultate având proprietăți apropiate și împrăștiere mică a rezultatelor.

Datorită modulului de elasticitate scăzut, barele din CPAFS sunt recomandate pentru elemente cu cerințe de rezistență ridicate dar mai puțin potrivite pentru elementele la care predomină criteriile de rigiditate.

Modelarea numerică pe epruvetele solicitate la întindere confirmă validitatea metodei de testare experimentală adoptată.

field that varies linearly over the thickness and quadratically in-plane for the higher order elements. Each layer has been specified by an orthotropic material stiffness matrix. As it may be seen in Figure 5, a maximum value of more than 1350 MPa in terms of tensile stresses were obtained. This value is in good agreement with the value given by the manufacturer and from the experimental tests.

5. Conclusions

The use of GFRP as reinforcing bars requires a detailed characterisation of these elements so that the design properties are fully known.

Since these reinforcing bars are subjected to tension the essential properties are: the elastic modulus, the ultimate strength and the ultimate tensile strain.

The shape and the dimensions of GFRP reinforcing bars required special anchorages to avoid slippage from the testing machine grips and a suitable stress distribution.

The paper presents the organisation of the experimental setup to meet the requirements of the existing test methods and the results obtained on samples with three different diameters.

All experimental results confirm the linearly elastic behaviour of GFRP composites in reinforcing bars and the brittle behaviour of the material.

Pultrusion is an appropriate method of fabrication for composite reinforcing bars, giving products with similar properties and low scattering.

Due to their low elastic modulus GFRP reinforcing bars are recommended in strength based design but less suitable when the stiffness criteria are prevailing.

The numerical modelling performed on the test specimen loading in tension confirms the suitability of the testing procedure.

Acknowledgements

This work was supported by CNCSIS - UEFISCSU, project number 737, PNII - IDEI code 369/2008 on hybrid structures made of polymeric composites and traditional building materials.

Mulțumiri

Încercările au fost efectuate în cadrul proiectului PNII - IDEI cod 369/2008 - 737 cu titlul: *Structuri ingineresti hibride cu performante superioare din compozite polimerice și materiale tradiționale. Autorii mulțumesc CNCSIS – UEFISCSU pentru sprijinul financiar acordat.*

REFERENCES

1. *fib* FRP reinforcement in RC structures, *fib* Task Group 9.3, *fib* Bulletin 14, International Federation for Structural Concrete (*fib*), Lausanne, 2007.
2. H.Y. Leung and R.V. Balendran, Flexural behaviour of concrete beams internally reinforced with GFRP rods and steel rebars, *Structural Survey*, 2003, **21**(4), 146.
3. L. Ombres, T. Alkhrdaji T., A. Nanni, Flexural analysis of one-way concrete slabs reinforced with GFRP rebars, in Crivelli-Visconti, I. (Ed.), *International Meeting on Composite Materials, PLAST 2000, Proceedings, Advancing with Composites*, Milan, p. 243.
4. D. Tinazzi, C. Modena, and A. Nanni, Strengthening of Masonry Assemblages with FRP Rods and Laminates, *International Meeting on Composite Materials, PLAST 2000, Proceedings, Advancing with Composites 2000*, Ed. I. Crivelli-Visconti, Milan, Italy, May 9-11, 2000, 411.
5. N. Țăranu, G. Opreșan, M. Budescu and I. Gosav, Hollow concrete poles with Polymeric Composite Reinforcement, *Journal of Applied Sciences*, 2009, **9**(14), 2584.
6. F. Luca, Matta, and A. Nanni, Structural response of full-scale reinforced concrete columns with internal frp reinforcement under compressive load, *Proceedings of the 9th International Symposium of Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures*, Sydney, 2009, 4.
7. Weber Newly developed GFRP rebar in diaphragm walls of large tunnelling projects, *Tunnelling and underground space technology*, 2006, **21**(3-4), 437.
8. C. Florea, C. Trișcă Rusu, and G. Praporgescu, Specific characteristics of composite materials useable in explosive environments, *Romanian Journal of Materials*, 2009, **39**(1), 65.
9. C. Gentile, D. Svecova, and S.H. Rizkalla, Timber Beams Strengthened with GFRP Bars: Development and Applications, *J. Compos. for Constr.* 2002, **6**(1), 11.
10. *** ACI 440.3R-04 Guide test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for reinforcing or strengthening concrete structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, USA, 2004.
11. *** ASTM D3916 Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod, West Conshohocken, PA, 2008.
12. S. Kocaoz, V.A. Samaranyake and A. Nanni, Tensile characterization of glass FRP bars, *Composites: Part B*, 2005, **36**, 127.
13. F. Micelli, and A. Nanni, Tensile Characterisation of FRP rods for reinforced concrete structures, *Mechanics of Composite Materials*, 2003, **39**(4), 293.
14. Y.C. Wang, P.M.H. Wong, and V. Kodur, An experimental study of the mechanical properties of fibre reinforced polymer (FRP) and steel reinforcing bars at elevated temperatures, *Composites Structures*, 2007, **80**, 131.
15. N.Țăranu, M. Budescu, L. Bejan, G. Opreșan, V. Munteanu, and C. Banu, Hybrid structures made of polymeric composites and traditional building materials, *Technical Report, CNCSIS - UEFISCSU*, project number 737, PNII - IDEI code 369/2008.
16. *** Schöck ComBAR, <http://www.schoeck-combar.com/>.
17. F.T. Wallenberger, J. C. Watson, and H. Li, *Glass Fibers*, ASM International, Ohio, 2001.
18. T. Pepper, *Polyester Resins*, ASM International, Ohio, 2001.
19. *** ASTM D618 - 08 Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing, West Conshohocken, USA, 2008.
20. B. Agarwal, L. Broutman and K. Chandrashekhara, *Analysis and performance of fiber composites*, John Wiley&Sons, New Jersey, 2006.
21. L. Bejan, N. Țăranu, Eigensensors and eigenelastic constants for woven composites, *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 2007, **9**(9), 2902.
22. I. M. Daniel and O. Ishai, *Engineering Mechanics of Composite Materials*, Oxford Univ. Pr., New York, 2005.
23. C. Banu, N. Țăranu, G. Opreșan, and V. Munteanu, Finite Element Analysis of Fiber Reinforced Polymers Bars, 8th International Symposium Computational Civil Engineering 2010, Iași, Romania, 99.
24. *** LUSAS Modeller Reference Manual, Surrey, U.K., 2008.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS

XIII International Congress on the Chemistry of Cement, ICCM Madrid 3-8 July 2011

Main Topics:

- Production process chemistry and engineering
- Sustainable production
- New cementitious matrix
- Hydration and microstructure
- Hydration and thermodynamics
- Modelling
- Properties of fresh and hardened concrete
- Concrete durability
- Standardization

Contact <http://www.iccmadrid2011.org>
