

CARACTERISTICILE MECANICE ALE UNOR MATRICE MINERALE DIN CIMENT ȘI SULFAT DE CALCIU ANHIDRU RECICLAT ARMATE CU FIBRE DE STICLĂ

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF GLASS FIBRE REINFORCED COMPOSITES WITH CEMENT AND RECYCLED ANHYDRITE MATRIX

GEORGE ȚĂRANU, IRINA LUNGU, NICOLAE ȚĂRANU*, MIHAI BUDESCU

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, B-dul. Mangeron nr. 43, Iași 700050, România

Materialele compozite cu matrice minerală armate cu fibre din sticlă sunt utilizate în prezent atât la elemente de construcții noi cât și la consolidarea structurilor deteriorate. Utilizarea acestor compozite este condiționată de cunoașterea caracteristicilor de rezistență și de rigiditate necesare proiectării.

În cadrul unui program experimental complex desfășurat la Facultatea de Construcții și Instalații a Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași au fost analizate posibilitățile de utilizare ale compozitelor cu matrice minerală la elemente de construcții uzuale, pentru module tip necesare în situații de urgență. Programul a cuprins studii și cercetări privind utilizarea unei matrice ecologice armate, obținute prin înlocuirea parțială a cimentului cu un liant obținut din deșeuri industriale.

Din determinările experimentale efectuate pe diverse rețete și fracțiuni volumetriche de fibră s-au stabilit rezistențele mecanice și modulii de elasticitate corespunzători la solicitări axiale curente. Rezultatele obținute confirmă eficiența utilizării acestor tipuri de compozite la elemente structurale pentru construcții.

Composite materials made of glass fibre reinforced mineral matrices are nowadays utilized in both new construction elements and in strengthening solutions of deteriorated civil engineering structures. The use of such materials requires a good knowledge of their strength and stiffness properties for the corresponding design works.

An extensive experimental program has been carried out at the Faculty of Civil Engineering and Building Services of the “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi to reveal the usage possibilities of mineral matrix composites, relating to regular construction elements and to specialized modules in emergency conditions. The research program has included theoretical and experimental studies regarding the utilization of ecological reinforced matrix, obtained by partial substitution of the ordinary Portland cement by a hydraulic binder manufactured from industrial wastes. The mechanical strengths and the elastic moduli from composites with various mixes and fibre volume fractions experimentally established confirm the suitability of these materials to structural members subjected mainly to axial loading.

Keywords: mineral matrix composites, glass fibre mesh, mechanical strength, elastic modulus, structural response

1. Introducere

Programele de cercetare-dezvoltare referitoare la materialele compozite, desfășurate în ultimele decade, au condus la rezultate importante privind utilizarea acestora la construcții noi și la reabilitarea sistemelor structurale deteriorate [1]. Lucrările de cercetare inițiale referitoare la matricele minerale adecvate formării compozitelor armate cu fibre din sticlă au demarat în anii 1960 prin utilizarea gipsului [2]. Mai târziu, cimentul Portland obișnuit (OPC) a fost de asemenea introdus ca o soluție alternativă pentru matricele minerale pe bază de ciment, armate cu fibre din sticlă [3-6]. Soluțiile compozite bazate pe matrice minerale armate cu fibre de sticlă au fost concepute astfel încât să devină alternative viabile la materialele de construcții tradiționale precum lemnul, zidăria sau betonul [7, 8]. Aceste soluții alternative noi au condus la elemente de construcții mai eficiente

1. Introduction

Research and development programs carried out in the recent decades relating to composite materials have led to important results concerning their use in new construction and strengthening of the deteriorated framing systems.[1]. The initial research works on a mineral matrix capable of forming a composite material reinforced with glass fibres begun in the 1960s with the utilization of gypsum [2]; later on, the Ordinary Portland Cement (OPC) has also been introduced to another solution for cementitious mineral matrices reinforced with glass fibres. [3-6]. Composite solutions based on glass fibre reinforced mineral matrices have been conceived so that they become viable alternatives to traditional building materials such as wood, masonry or concrete [7, 8]. These new alternative solutions have led to more cost-effective construc-

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel.:+40 0232 232 219;e-mail: taranu@ce.tuiasi.ro

economic și cu rapoarte îmbunătățite rigiditate/greutate, respectiv rezistență/greutate și cu caracteristici termice superioare. Câteva analize numerice cu MEF au fost realizate pe panouri de perete și pe o structură completă a unei case prototip. Un model prototip a fost de asemenea testat pe platforma seismică la o accelerație maximă de 0,4g (mai mare decât valoarea maximă posibilă pe teritoriul țării noastre) ceea ce a condus la o valoare maximă a tensiunilor din compresiune de 3 [N/mm²] și din întindere de 5 [N/mm²]. Aceste valori pot fi considerate ca valori minime necesare privind caracteristicile de rezistență. Producătorul materialului care este de asemenea și deținătorul patentului [9], garantează caracteristicile privind durabilitatea acestui material, similare cu cele ale OPC.

În cadrul lucrării se prezintă rezultatele experimentale ale unui program de cercetare complex desfășurat la Facultatea de Construcții și Instalații a Universității Tehnice „Gheorghe Asachi” din Iași. Programul a fost inițiat pentru atragerea în piața materialelor de construcții a unor produse reciclabile din reziduuri industriale [10] și pentru a evidenția calitățile unei matrice ecologice cu caracteristici favorabile utilizării în construcții. Această matrice este obținută combinând OPC cu sulfat de calciu în forma β anhidridă β III'. Conform patentului produsului [9], gipsul ca material de bază este disponibil în stare naturală sau artificială. În starea artificială se găsește în special sub formă de fosfogips și gips desulfurat. Fosfogipsul este un reziduu al fosfatului din industria fertilizatorilor. Gipsul desulfurat este un produs similar, folosit la desulfurarea gazelor, în particular a gazelor de ardere din centralele termoelectrice. Aspectul ecologic al materialului derivă din reciclarea reziduurilor industriale. Acest produs pe bază de sulfat de calciu în forma β anhidridă III' s-a obținut în urma unor procese chimice la temperaturi de sub 750°C [9].

Principalul beneficiu studiat în timpul programului de cercetare s-a dovedit a fi lucrabilitatea acestui nou liant capabil de a fi turnat în spații cu dimensiuni mici. Acest produs s-a folosit pentru a concepe, proiecta și executa elemente speciale de tip sandwich alcătuite din straturi exterioare rezistente și rigide, separate de un strat intermediar termoizolator din polistiren. Straturile exterioare au fost realizate din matricea ecologică minerală armată cu plase din fibre din sticlă. Acest eco-material este complet reciclabil iar prin introducerea în diferite amestecuri au rezultat diverse produse cu utilizare în domeniul construcțiilor cum ar fi șape autonivelante, mortare, adevizi sau aditivi. În urma unor cercetări efectuate de alte echipe [11] rezultate experimentale obținute au reliefat posibilitatea utilizării acestuia ca liant sau ca înlocuitor parțial al cimentului Portland obișnuit. Domeniul construcțiilor oferă o largă varietate de aplicații ale materialului (fig. 1).

tion elements with improved stiffness/weight and strength/weight ratios and enhanced thermal characteristics. Some numerical simulations with FEM have been performed on wall panels and also on a complete structural model of a prototype house. The prototype has also been tested on a shake table with a maximum ground acceleration equal to 0.4g (larger than any possible value within our country) leading to a maximum required compressive stress of 3 [N/mm²] and a maximum tensile stress equal to 5 [N/mm²]. These values can be considered as minimum strength requirements. The supplier of the material who is also the owner of the product patent [9] guarantees that the durability characteristics of this product are at least equal to those of OPC.

The paper presents experimental results of a comprehensive research program performed at the Faculty of Civil Engineering and Building Services of the “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi. The program was initiated to attract recyclable materials from industrial wastes [10] in the building material market and to prove the qualities of an ecological mineral matrix with convenient characteristics in construction. This matrix is obtained combining OPC with calcium sulphate anhydrite form β III'. According to the product patent [9] gypsum as a basic material is available in natural and synthetic form. In synthetic form is available mainly as phosphogypsum and desulfogypsum. Phosphogypsum is a by-product of the phosphate fertilizer industry. The desulfogypsum is itself such a product for the desulphurisation of gases, in particular flue gas of power plants. The ecological features of the studied material are ensured by the recycling of industrial wastes. This product based on calcium sulphate in the β -anhydrite III' form has been obtained as a result of chemical processes at temperatures below 750°C [9].

The main benefit explored during the research program proved to be the workability of this new binder leading to a mineral matrix capable of being moulded into small spaces. This product has been utilized to conceive, design and manufacture special types of sandwich elements made of strong and stiff external layers separated by an intermediate layer of thermally insulating polystyrene. The external layers have been made of the ecological mineral matrix reinforced with fibreglass mesh. This eco-material is fully recyclable and, by utilizing different mixes, various compounds result to be introduced in the construction production such as self-levelling screeds, mortars, adhesives and additives. From the research work conducted by other research teams [11] the experimental results have revealed the possibility of its use as a binder or as a partial replacement of the OPC. The construction industry offers a wide range of applications (Fig. 1).

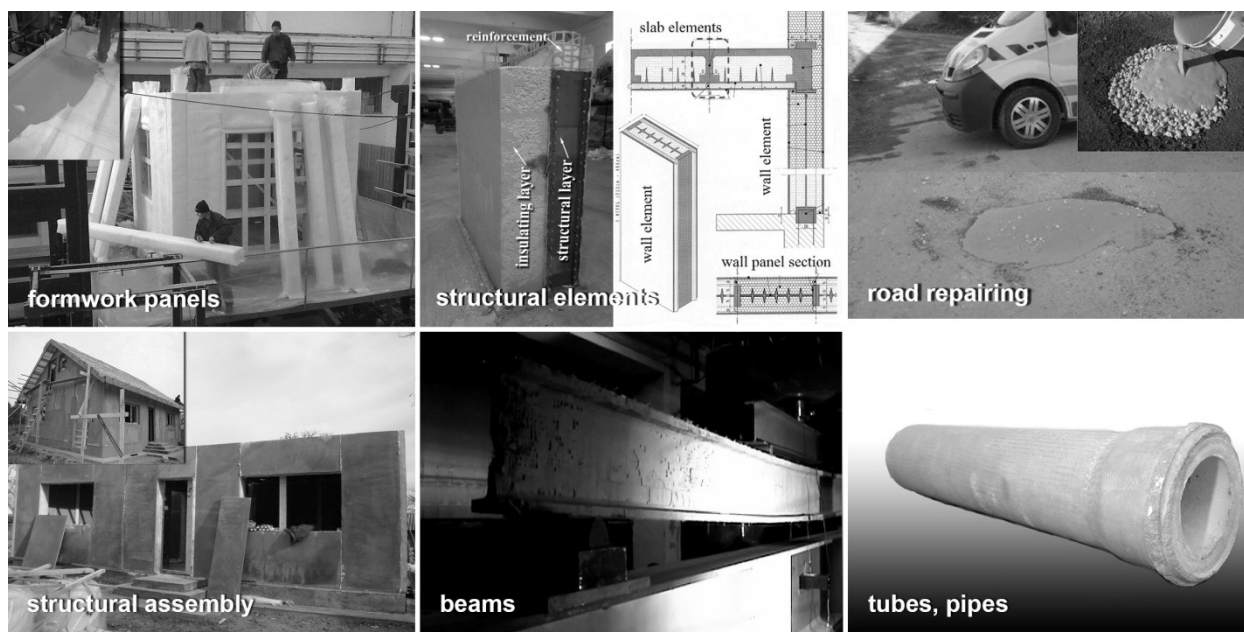


Fig. 1 – Aplicații cu material compozit mineral/ Mineral composite materials applications.

În cadrul programului experimental s-a urmărit realizarea unui amestec compus din sulfatul de calciu în forma β anhidridă III' și OPC, amestecul având rolul unui liant compatibil cu nisipul și constituind o matrice minerală adecvată armării cu fibre din sticlă rezistente la alcalii, pentru elemente de construcții compozite.

2. Programul experimental

2.1. Materiale

Prin utilizarea matricei minerale și a armăturilor din plase de fibră de sticlă bidirecționale s-au putut realiza câteva elemente stratificate de închidere și compartimentare. În cadrul programului experimental s-au confecționat și elemente tip grindă la care s-a urmărit îmbunătățirea comportării la sarcini transversale. Pentru realizarea matricei minerale s-au utilizat nisip cuarțos, spălat și fără impurități, cu granulația de până la 1mm, ciment Portland tip CEM II/B-V 32,5 R și sulfatul de calciu în formă β anhidridă III'. Caracteristicile de bază ale cimentului sunt cele specificate de producător pe site-ul acestuia conform SR ENV 197-1 [12].

Armătura sub formă de plase din fibre de sticlă E rezistentă la alcalii, utilizată la ranforsarea probelor din programul experimental este de tipul unei rețele ortogonale de 3,5 x 3,8 mm [13]. Caracteristicile plaselor din fibră de sticlă sunt prezentate în tabelul 1.

2.2. Pregătirea amestecurilor și epruvetelor

În cadrul programului experimental s-au confecționat epruvete prismatice cu dimensiunile 160x40x40mm pentru determinarea caracteristicilor mecanice. Testarea s-a efectuat pentru stabilirea rezistenței la întindere din

The experimental program aimed to achieve an admixture of anhydrous calcium sulphate in the β -anhydrite III' form with OPC; this mixture acts as a binder compatible with sand and that may form a mineral matrix capable of being reinforced with alkali resistant glass fibres for composite construction elements.

2. The experimental program

2.1. Materials

Closing and dividing layered elements made of mineral matrix and bidirectional glass fibre mesh reinforcement have been manufactured. In addition, beam type elements with improved behaviour under transverse loading have been made as well. To achieve the mineral matrix, the quartz sand washed and free of impurities with a grain size up to 1 mm, Portland cement type CEM II / BV 32.5 R and the calcium sulfate III' β anhydride form have been utilized. The characteristics of the Portland cement are specified by the manufacturer according to SR ENV 197-1 [12].

The reinforcement made of alkali resistant E glass fibre mesh 3.5 x 3.8 mm orthogonally arranged has been used to strengthen the experimental samples [13]. The fibre glass mesh characteristics are presented in Table 1.

2.2. Mixtures and specimens preparation

The prismatic specimens 160x40x40mm have been prepared to be tested for the experimental evaluation of mechanical characteristics. Tensile strength from bending and compressive strength have been analyzed. The percentage of the mix components was set in volumetric dry parts; several trials have been

Tabelul 1

Caracteristicile plaselor din fibră de sticlă E/ E fibre glass mesh characteristics			
Caracteristici/ Characteristics	Unitate de măsură / Units	Plasă din fibre de sticlă / Fibre glass mesh	
		Urzeală / warp	Bătătură / weft
Dimensiunea ochiurilor rețelei / Slot mesh	[mm]	3.5 x 3.8	
Grosimea rețelei / Slot thickness	[mm]	0.52	
Densitatea rețelei / Mesh density	[g/m ²]	160	
Rezistența la întindere / Tensile strength	[N/mm ²]	2000	
Modul de elasticitate la întindere / Tensile modulus	[N/mm ²]	72413	
Tratamentul chimic al fibrei / Fibre chemical treatment		rezistent alcalin fără emolient cu împiedicarea desfacerii firelor/ alkali resistant without emolient obstructing yarn drifting	

Tabelul 2

Compoziții de mortare armate cu plase din fibră de sticlă și fracțiunile volumetrice utilizate/ Mortars mixes reinforced with glass fibre meshes and the corresponding fibre volume fractions

Etichetă amestec / Mixture label	Nisip / Sand (%)	Ciment Portland / Portland cement (%)	sulfat de calciu β anhidridă III' / β-anhydrite III' calcium sulphate (%)	Raportul apă – liant / Water – binder ratio	Fracțiune volumetrică de fibre din sticlă / Glass fibre volume fraction (%)
NCK 50/25/25 – matrice nearmată / unreinforced matrix	50	25	25	0.40	0
NCK 2GF 50/25/25 – matrice armată / reinforced matrix	50	25	25	0.40	2
NCK 4GF 50/25/25 matrice armată / reinforced matrix	50	25	25	0.40	5
NCK 10GF 50/25/25 matrice armată / reinforced matrix	50	25	25	0.40	10

încovoire și a rezistenței la compresiune. Componentii amestecurilor au fost stabiliți în părți volumetrice în stare uscată. Proporțiile acestora au fost stabilite în urma unor încercări pentru realizarea unor amestecuri convenabile [14, 15] tabelul 2. Turnarea, întărirea și încercarea epruvetelor s-a efectuat conform SR EN 196-1:2006 [16].

Epruvetele cilindrice pentru încercarea la compresiune, cu diametrul $d = 50$ mm și înălțimea $h = 100$ mm (fig. 2a,c) s-au turnat din materialele indicate în tabelul 2, în matrițe din PVC, câte 5 probe din fiecare categorie. În matrițe au fost introduse plasele de armare cu 3, 6 și 12 rânduri (fig. 2b), cu firul de bătătură dispus circumferențial

performed to establish the most convenient mixes [14, 15], Table 2. The mix preparation and the prismatic samples casting, curing and testing were carried out according to SR EN 196-1:2006 [16].

The cylindrical specimens for compression testing, with a diameter $d = 50$ mm and the height $h = 100$ mm (Fig. 2a,c) have been cast from the materials described in Table 2, in PVC moulds, ten samples for each material type. The reinforcing meshes with 3, 6 and 12 rows (Fig. 2b) have been arranged with the weft circumferentially oriented and the warp disposed longitudinally. The fibre volume fractions are identical with those utilized for the prismatic samples.

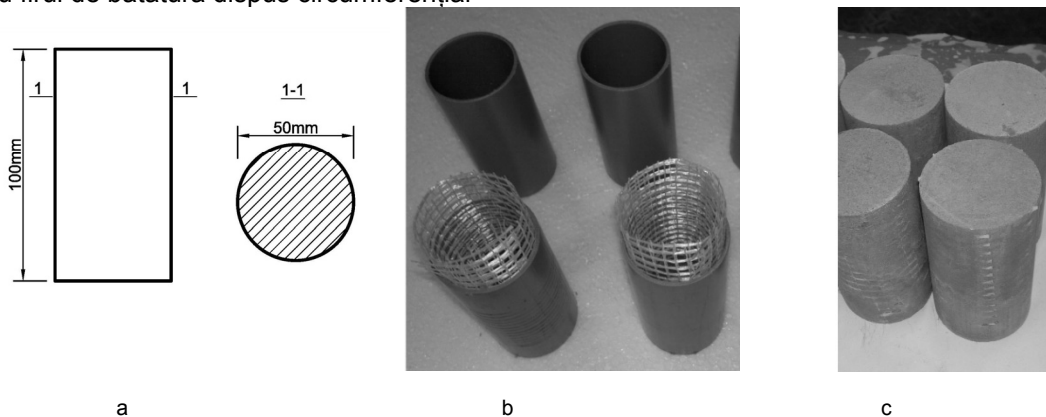


Fig. 2 – Alcătuirea probelor cilindrice / The cylindrical specimens: (a) - dimensiunile probei / the specimen dimensions; (b) - introducerea plaselor de armare / the insertion of the reinforcing mesh; (c) – epruvetele turnate / the cast specimens.

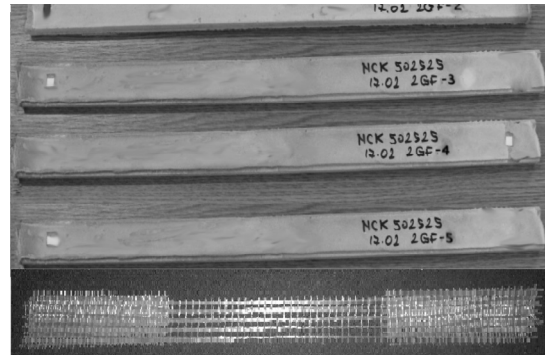
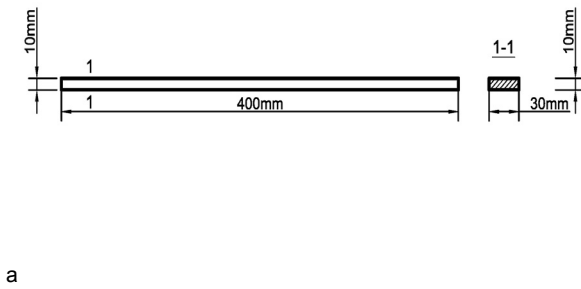


Fig. 3 – Probe tip fâșie pentru încercarea la tracțiune / *The strip type specimens for the tensile testing*: - (a) dimensiunile epruvetei / *the sample dimensions*; - (b) epruvetele turnate și sistemul de armare / *the cast samples and the reinforcing system*.

iar firul de urzeală în direcție longitudinală, fracțiunile volumetriche de fibră fiind cele utilizate și la epruvetele prismatice.

Caracteristicile la întindere axială au fost determinate pe epruvete tip fâșie nearmate și armate cu dimensiunile de 400x30x10mm (fig.3a), câte zece din fiecare tip. Probele s-au turnat în matrițe paralelipipedice, cele armate fiind prevăzute cu 1, 2 și 4 straturi de plase de fibră din sticlă cu firul de urzeală în direcție longitudinală (fig.3b). Fraecțiunile volumetriche de fibră, în cazul epruvetelor armate au fost de 2%, 5% și 10%.

2.3. Testarea epruvetelor

Epruvetele prismatice nearmate și armate au fost testate la încovoiere sub acțiunea unei forțe concentrate aplicată la mijlocul deschiderii (fig. 4a).

Testarea s-a efectuat la 28 de zile conform prescripțiilor SR EN 196-1:2006 [16]. Viteza de aplicare a sarcinii concentrate pentru solicitarea la încovoiere a fost de 50 N/s până în momentul ruperii, produsă prin depășirea rezistenței la întindere din încovoiere a materialului din epruvetă, figura 4a. Testarea la compresiune s-a desfășurat pe semi-prisme aplicându-se o rată de încărcare egală cu 2400 N/s, constantă până la rupere (fig. 4b).

Ten strip specimens of 400x30x10 mm (Fig. 3a) made of unreinforced matrix and of reinforced matrix have been cast for testing under axial load to determine the tensile characteristics. The samples have been poured in parallelepipedic moulds; the reinforced specimens have been strengthened with 1, 2 and 4 layers of fibreglass mesh having the wrap yarns arranged in the longitudinal direction (Fig. 3b). The fibre volume fractions achieved in case of reinforced samples were 2%, 5% and 10%.

2.3. Testing of specimens

The prismatic specimens both unreinforced and reinforced have been subjected to bending under a three point loading scheme. (Fig. 4a). The 28-days tests have been performed according to SR EN 196-1:2006 [16]. Loading rates equal to 50 N/s and 2400 N/s, for the bending tests and for the compression tests respectively have been selected until the rupture of samples occurred, Figure 4a, b. The bending failure occurred when the concrete tensile strength was reached and the half prisms resulted from this test were utilized in the compression test (Fig. 4b).

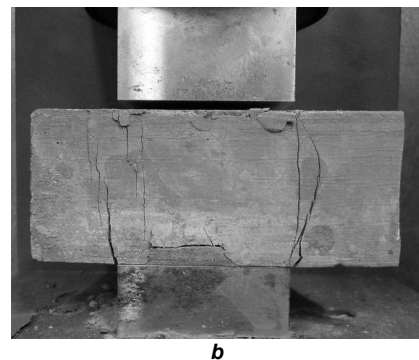
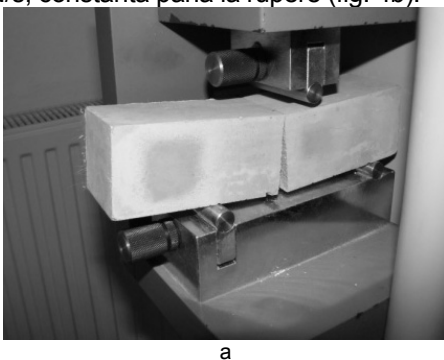


Fig. 4 - Încercarea probelor prismatice / *Testing of prismatic samples*: (a) - la încovoiere / *in bending*; (b) - la compresiune pe semi-prismă / *in compression on half-prism*.

Probele cilindrice au fost încercate la compresiune centrică, urmărindu-se stabilirea rezistenței la compresiune și a modulului de elasticitate la această solicitare. Testările s-au efectuat cu o mașină universală de tip ZWICK/ROELL de 1000 kN, prevăzută cu

The cylindrical samples have been tested under axial compression to determine the compressive strength and the elastic modulus. A Universal Testing Machine type ZWICK/ROELL having a load capacity 1000 kN, with an automatic control system operated by the dedicated software

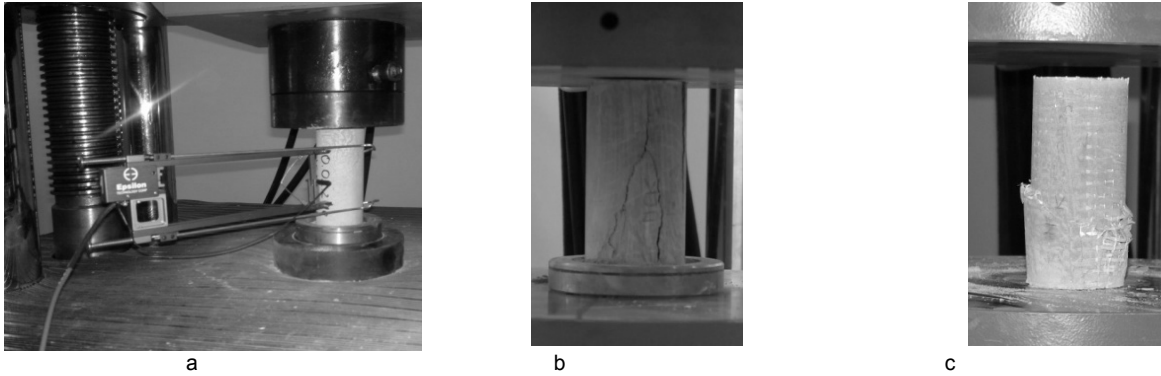


Fig. 5 - Încercarea la compresiune pe epruvete cilindrice / *Compression test on cylindrical samples*: (a) – epruveta cilindrică echipată cu extensometru / *the cylindrical specimen equipped with extensometer*; (b) – cedarea la compresiune a epruvetei nearmate / *compressive failure of a unreinforced specimen*; (c) - cedarea la compresiune a epruvetei armate / *compressive failure of a reinforced specimen*.

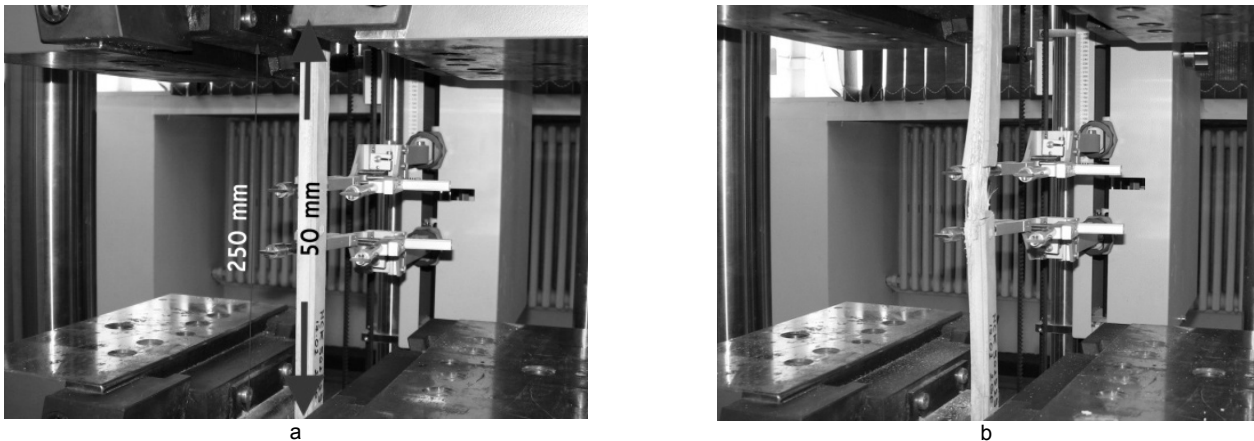


Fig. 6 – Încercarea la tracțiune a fâșiilor din matrice minerală / *Tensile testing of mineral matrix strips*: (a)- montajul experimental / *experimental set-up*; (b)- cedarea fâșiei armate cu 10% fracțiune volumetrică de fibră / *failure of the 10% fibre volume fraction reinforced strip*.

sistem automat de control, prin softul dedicat, *Test/Expert versiunea 2.0*. În timpul încercării s-a aplicat o viteză de încărcare egală cu $0,255 \text{ N/mm}^2\text{s}$. Înregistrarea deformațiilor s-a realizat cu traductorii din dotarea mașinii și cu un extensometru montat ca în figura 5a; încărcarea probelor a continuat până la cedarea acestora (fig. 5b, c).

În cazul probelor tip fâșie solicitate la întindere axială testarea s-a efectuat cu aceeași mașină universală, instrumentarea probelor cu extensometrul realizându-se ca în figura 6a. Măsurarea deformațiilor realizate prin alungirea probei s-a efectuat cu o precizie de $0,002\%$ din lungimea de calcul L_0 stabilită de 50 mm în zona centrală (fig. 6a). Detalii privind modul de rupere al epruvetelor armate tip fâșie se prezintă în figura 6b.

2.4. Calculul caracteristicilor mecanice

Caracteristicile mecanice au fost determinate cu relațiile prezentate în tabelul 3.

Test/Expert 2.0. A loading rate equal to $0.255 \text{ N/mm}^2\text{s}$ has been applied throughout the testing process. The deformations were recorded with the machine's transducers and with an extensometer mounted as shown in Figure 5a; the loading of the test samples continued until their failure, (Fig. 5b,c).

Testing of the strip type specimens subjected to axial tension has been carried out using the same testing machine, and the extensometer has been mounted as shown in Figure 6a. A base length L_0 equal to 50 mm has been selected and marked on the central portion of the sample, (Fig 6a), where the deformations have been measured with a precision of 0.002% . Details on the failure mode of the reinforced strip are illustrated in Figure 6b.

2.4. Calculations

The mechanical characteristics were determined using the equations presented in Table 3.

Tabelul 3

Relațiile de calcul pentru determinarea caracteristicilor mecanice/ *The mechanical characteristics evaluation formula*

Caracteristica mecanică <i>Mechanical characteristic</i>		Rezistența la întindere <i>Tensile strength</i> (N/mm ²)	Rezistența la compresiune <i>Compressive strength</i> (N/mm ²)	Modul de elasticitate/ <i>Elastic modulus</i> (N/mm ²)
Relația de calcul <i>Formula</i>	Prisme <i>Prismatic specimens</i>	$f_{ct} = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3}$	$f_c = \frac{F_u}{1600}$	
	Cilindrii <i>Cylindrical specimens</i>		$f_c = \frac{F_u}{1962,5}$	$E_{c,cyl} = \frac{4L_0(F_{50} - F_{20})}{\pi d^2(L_{20} - L_{50})}$
	Fâșii/ <i>Strip specimens</i>	$f_{ct} = \frac{F_u}{300}$		$E_t = \frac{(\sigma_{50} - \sigma_{20})}{(\varepsilon_{50} - \varepsilon_{20})} = \frac{L_0(F_{50} - F_{20})}{ab(L_{50} - L_{20})}$

unde:

- F_f este forța la rupere aplicată în mijlocul prisme, în N, l este distanța dintre reazemele grinzii prismatice, în mm, iar b reprezintă latura secțiunii pătrate a prisme, în mm.
- F_u este forța maximă în momentul ruperii la compresiune a probelor semi-prismatice, în N, iar 1600 mm² reprezintă aria secțiunii transversale a epruvetei comprimate, având latura de 40mm (fig. 4b).
- F_u este forța maximă în momentul ruperii la compresiune a probelor cilindrice, în N, iar 1962,5 mm² este aria secțiunii transversale a epruvetei, 300 mm² este aria secțiunii transversale a fâșiei solicitată la tracțiune.
- L_0 este lungimea de calcul ($L_0 = 50$ mm), F_{50} și F_{20} reprezintă încărcările axiale corespunzătoare fracțiunilor de 50%, respectiv 20% din forța maximă de compresiune F_u a epruvetei, iar L_{50} și L_{20} sunt lungimile ce corespund încărcărilor menționate anterior.
- a este grosimea fâșiei, iar b lățimea acesteia, în mm.

Valorile modurilor de elasticitate determinați pe epruvetele cilindrice solicitate la compresiune $E_{c,cyl}$, în N/mm², au fost calculate cu diferența dintre valorile de pe curbele tensiuni-deformații specifice stabilite la 50% și 20% din încărcarea axială maximă. Valorile modurilor de elasticitate determinați pe epruvetele tip fâșie solicitate la tracțiune E_t , în N/mm², au fost calculate în mod similar [17], pentru mărimile corespunzătoare înregistrate la 50% și 20% din încărcarea axială maximă, pe curbele de tensiuni și deformații specifice:

3. Rezultate experimentale și discuții

Cu mărimile rezultate din încercările experimentale pe epruvetele matricelor nearmate și armate, utilizând relațiile din tabelul 3, au fost determinate valorile rezistențelor mecanice la solicitări uzuale precum și modulii de elasticitate corespunzători tipurilor de epruvete și naturii încărcărilor. O sinteză a rezultatelor obținute este prezentată în tabelele 4 și 5.

Rezistențele mecanice la compresiune, determinate experimental pe matrice nearmată

where:

- F_f is the fracture load applied at the midspan of the specimen, in N, l is the span of the bent sample, in mm, while b is the side of the prismatic square section, in mm.
- F_u is the maximum force at failure of the semi-prismatic specimens, in N, while 1600 mm² is the contact surface between the loading plate of the machine and the 40mm sample side (fig. 4b).
- F_u is the maximum force at failure of the cylindrical specimens, in N, while 1962.5 mm² is the cross-sectional area of the sample, 300 mm² is the cross-sectional area of the tensioned sample.
- L_0 is the base length ($L_0 = 50$ mm), F_{50} and F_{20} representing the axial loads at 50%, and 20% respectively from the ultimate compressive force F_u on the sample, while L_{50} and L_{20} are the corresponding lengths associated with the above mentioned loads.
- a is the strip thickness and b its width, in mm.

The elastic modulus values determined on the compressed cylindrical samples $E_{c,cyl}$, in N/mm², have been calculated from the corresponding magnitude differences recorded on the stress-strain curves at 50% and 20% from the ultimate compressive load. The modulus values established on the strip type samples loaded in tension, E_t , in N/mm², have been also evaluated in a similar manner [17], utilizing the appropriate magnitude differences recorded on the stress-strain curves at 50% and 20% from the ultimate tensile load.

3. Experimental results and discussions

The mechanical strengths under current loading schemes as well as the elastic moduli corresponding to the tested sample types have been determined utilizing the experimental recordings and the formulas presented in Table 3. A synthesis of the obtained results is given in Tables 4 and 5.

The compressive strengths experimentally determined on unreinforced matrix (Table 4),

(tabelul 4), prezintă diferențe mici între valorile individuale; coeficientul de variație este 2,30% în cazul probelor prismatice și 2,60% pentru cele cilindrice. Valorile modului de elasticitate la compresiune, stabilit pe probe cilindrice, au de asemenea o împrăștiere redusă, caracterizată printr-o abatere standard egală cu 203 N/mm² și un coeficient de variație de 2,29%. Valoarea relativ redusă a modului de elasticitate la compresiune se datorează alcătuirii matricei nearmate, care este formată doar din particule fine, lipsind agregatul cu diametrul mare, care reprezintă scheletul betonului clasic. Armarea matricei minerale cu plase din fibre din sticlă contribuie nesemnificativ la creșterea rezistenței la compresiune. Diferențele dintre probele nearmate și respectiv cele armate (tabelele 4 și 5) cu 2%, 5% și 10% au rezultat în îmbunătățiri ale acestei rezistențe egale cu 4,35%, 6,57% și 11,89%.

reveal small differences between individual values; the coefficient of variation is 2.30% for prismatic samples and 2.60% for the cylindrical ones. The compressive modulus values determined on cylindrical samples, also have a reduced scattering characterized by a standard deviation equal to 203 N/mm² and a coefficient of variation of 2.29%. The relatively low value of the compressive elastic modulus is explained by the structure of the unreinforced matrix, consisting of fine particles only and lacking large diameter aggregates, existing in the classic concrete skeleton.

The reinforcing of the mineral matrix with glass fibre meshes does not significantly contribute to the increase of the compressive strength. Differences between the unreinforced and reinforced samples (Tables 4 and 5) with fibre volume fractions of 2%, 5% and 10% resulted in

Tabelul 4

Rezultatele testelor experimentale pe amestecul NCK 50/25/25 –matrice nearmată
Experimental test results for the mix NCK 50/25/25 – unreinforced matrix

	Prisme / Prismatic samples		Cilindrii / Cylindric samples		Fâșii / Strip type samples	
	$f_{ct}^{a)}$	$f_c^{b)}$	$f_c^{c)}$	$E_{c,cil} / E_{c,cyl}^{d)}$	$f_{ct}^{e)}$	$E_t^{f)}$
Valoare medie / Average value [N/mm ²]	7.28	31.29	25.72	8840	1.13	9259
Abatere standard / Standard deviation [N/mm ²]	0.18	0.72	0.67	203	0.024	246
Coeficientul de variație / Coefficient of variation [%]	2.47	2.30	2.60	2.29	2.12	2.65

Tabelul 5

Rezultatele testelor experimentale pe amestecul NCK 50/25/25 – matrice armată / Experimental test results for the mix NCK 50/25/25 – reinforced matrix

	Armare/ GFR - 2%				Armare/ GFR - 5%				Armare/ GFR - 10%			
	Cilindrii / Cylinders		Fâșii / Strips		Cilindrii / Cylinders		Fâșii / Strips		Cilindrii / Cylinders		Fâșii / Strips	
	$f_c^{c)}$	$E_{c,cil} / E_{c,cyl}^{d)}$ [N/mm ²]	$f_{ct}^{e)}$	$E_t^{f)}$	$f_c^{c)}$	$E_{c,cil} / E_{c,cyl}^{d)}$ [N/mm ²]	$f_{ct}^{e)}$	$E_t^{f)}$	$f_c^{c)}$	$E_{c,cil} / E_{c,cyl}^{d)}$ [N/mm ²]	$f_{ct}^{e)}$	$E_t^{f)}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
Valoare medie / Average value [N/mm ²]	26.84	9007	4.87	39175	27.41	9250	5.73	42933	28.78	9836	6.24	45595
Abatere standard / Standard deviation [N/mm ²]	0.53	217	0.18	962	0.63	231	0.21	1167	0.92	275	0.22	1241
Coeficientul de variație / Coefficient of variation [%]	1.97	2.40	3.69	2.45	2.29	2.49	3.66	2.71	3.01	2.79	3.52	2.72

a) Rezistența la întindere din încovoieră a probelor prismatice / Tensile strength from bending of the prismatic samples

b) Rezistența la compresiune pe semi-prisme / Compressive strength on half-prisms

c) Rezistența la compresiune pe cilindrii / Compressive strength on cylindrical samples

d) Modulul de elasticitate la compresiune pe cilindrii / Compressive elastic modulus on cylindrical samples

e) Rezistența la tracțiune pe fâșii / Tensile strength on strips

f) Modulul de elasticitate la tracțiune pe fâșii / Tensile elastic modulus on strips

Modulul de elasticitate la compresiune pe epruvete cilindrice a înregistrat creșteri ca urmare a ranforsării cu plasele de armare. Creșterile valorilor acestei caracteristici mecanice reprezintă 1,9%, 4,63% și respectiv 11,2%, pentru matricele armate cu fracțiuni volumetrice de fibră egale cu

improvements of this strength equal to 4.35%, 6.57% and 11.89%.

The compressive modulus established on cylindrical samples has risen as a result of reinforcing with glass fibre meshes. The magnitude increases of this modulus are 1.9%, 4.63% and

2%, 5% și 10%.

Răspunsul structural la compresiune a probelor cilindrice este exemplificat în figura 7, prin curbele medii tensiuni-deformații specifice, calculate pentru seturi de 10 epruvete. Se observă că alura diagramelor caracteristice și valorile limită ale deformațiilor specifice liniare sunt similare cu cele de la betonul simplu cu agregat mărunț.

În ceea ce privește comportarea probelor solicitate la compresiune axială s-a constatat că epruvetele nearmate au cedat brusc, prin despicare (fig. 5b) în timp ce ranforsarea cu plasă induce o cedare lină și continuă (fig. 5c).

Rezistențele la întindere din încovoiere a probelor prismatice nearmate (tabelul 4) sunt relativ omogene, având un coeficient de variație egal cu 2,47%. În cazul probelor tip fâșie, nearmate, rezultatele indică o împrăștiere de asemenea redusă, caracterizată printr-un coeficient de variație egal cu 2,12%. Prin ranforsarea fâșiilor, rezistențele cresc în raport cu matricele nearmate, după cum urmează: la fracțiunea volumetrică de fibră egală cu 2%, creșterea rezistenței la tracțiune a fost de 331%; la 5% fracțiune volumetrică de fibră, rezistența la tracțiune a sporit cu 407%, iar la fracțiunea volumetrică maximă de armare, egală cu 10%, creșterea rezistenței a fost de 806%. Coeficienții de variație ai rezistențelor la tracțiune pentru probele armate au fost de 3,69% (pentru 2% armare), 3,66% (pentru 5% armare), respectiv 3,41% (pentru 10%), indicând o omogenitate remarcabilă a valorilor.

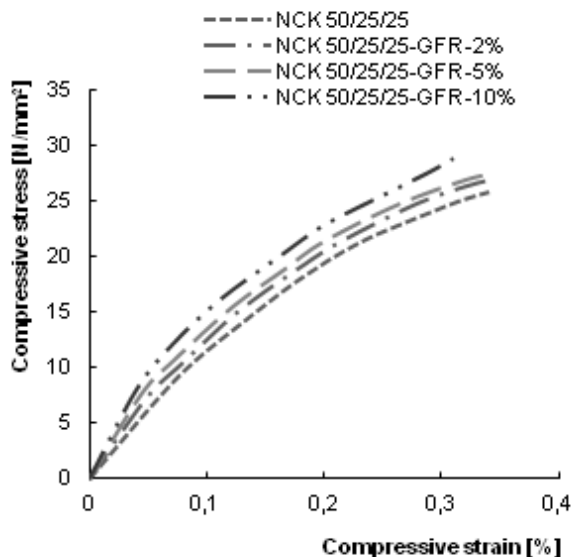


Fig. 7 – Curbe caracteristice cu valori medii tensiuni-deformații specifice la compresiune pe probe cilindrice / The average stress-strain diagrams in compression on cylindrical samples.

Din tabelul 5 se poate constata o creștere substanțială a valorii modulului de elasticitate la tracțiune (323%), pe probele tip fâșie armate cu 2% fracțiune volumetrică de fibră, iar pentru

11.2%, for matrices reinforced with 2%, 5% and 10% fibre volume fractions.

The structural response of cylindrical samples subjected to compression is illustrated in Figure 7, by the average stress-strain curves, plotted for sets of 10 samples. It can be noticed that the shape of the characteristic diagrams and the limit strain values are similar to those of plain concrete with small aggregates.

The cylindrical unreinforced specimen loaded in axial compression had suddenly failed by splitting of samples (Fig. 5b) while the mesh reinforcing had induced a smooth and continuous failure (Fig. 5c).

The tensile strengths determined by the three point loading test of the unreinforced prismatic samples (Table 4) are relatively homogeneous, with a coefficient of variation equal to 2.47%. When unreinforced strip type samples are loaded in tension, the experimental results also

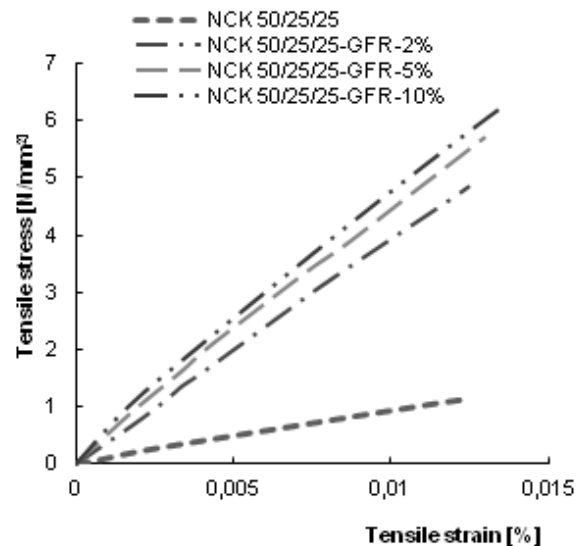


Fig. 8 – Curbe caracteristice cu valori medii tensiuni-deformații specifice la tracțiune pe epruvete tip fâșie / The average stress-strain diagrams in tension on strip specimens.

indicate a small scattering, characterized by a coefficient of variation equal to 2.12%. By reinforcing the strips, significantly increased tensile strengths have been obtained: a 331% increase has been determined for samples with 2% fibre volume fraction; for 5% fibre volume fraction, the tensile strength increased with 407% and the maximum volume fraction of reinforcement, equal to 10%, lead to an increase of 806%. The coefficients of variation of tensile strengths for reinforced samples were 3.69% (for 2% reinforcement), 3.66% (for 5% reinforcement) or 3.41% (for 10%), indicating a remarkable homogeneity of the strength values.

It can be noticed from Table 5, that a substantial increase of the tensile modulus value,

celelalte procente de armare creșterile relative sunt mai reduse, respectiv de 363% pentru fracțiunea volumetrică de 5% și 392% pentru fracțiunea volumetrică de fibră egală cu 10%, păstrându-se omogenitatea rezultatelor experimentale.

Răspunsul structural al probelor tip fâșie, nearmate și armate, solícitate la tracțiune, este ilustrat prin curbele caracteristice tensiuni – deformații specifice, din figura 8. Cedarea s-a produs prin apariția unor fisuri transversale la intervale cvasi – uniforme, de aproximativ 20mm în vecinătatea fălcilor de prindere ale mașinii de încercat; într-o fază ulterioară de solícitare, fibrele de sticlă din zona centrală au preluat integral efortul axial de întindere. În final cedarea probei s-a produs prin ruperea succesivă a fibrelor de armătură și smulgerea acestora din matrice în direcția efortului axial. În figura 6b este prezentat modul de cedare al fâșiei armate cu 10% fracțiune volumetrică de fibră.

4. Concluzii

În cadrul unor programe de cercetare-dezvoltare de la Facultatea de Construcții și Instalații din Iași s-a studiat posibilitatea utilizării în construcții a unei matrice minerale ecologice realizată prin înlocuirea parțială a cimentului Portland cu un liant obținut din deșeuri industriale.

Direcțiile de folosire preconizate se referă la dezvoltarea unor module tip din matrice minerală ranforsată cu plase din fibre de sticlă și la utilizarea acestor materiale la soluțiile de reabilitare structurală a elementelor din materiale tradiționale.

Utilizarea eficientă a acestor compozite cu matrice minerală este condiționată de cunoașterea caracteristicilor de rezistență și de rigiditate necesare proiectării; de aceea a fost conceput și realizat un program cuprinzător de încercări experimentale.

Determinările experimentale s-au efectuat pe probe din matrice nearmată și pe epruvete armate cu fracțiuni volumetrice de fibră cuprinse între 2% și 10%.

Încercările au fost concepute și realizate pe probe păstrate în condiții de laborator timp de 28 de zile în vederea determinării caracteristicilor de rezistență și de rigiditate specifice destinației anticipate a materialului.

Determinările s-au efectuat pe epruvete prismatice în vederea stabilirii rezistenței la întindere din încovoiere, cât și a rezistențelor la compresiune pe semi-prisme; caracteristicile de rezistență și rigiditate la compresiune s-au stabilit pe probe cilindrice, iar caracteristicile de rezistență și rigiditate la întindere axială s-au studiat pe epruvete paralelipipedice de tip fâșie.

Matricea ecologică și compozitul mineral au o lucrabilitate bună asigurând formarea fără dificultate a probelor experimentale și a elementelor prototip.

namely 323%, has been obtained on the strip type specimens reinforced with 2% fibre volume fraction; for the other fibre reinforcing ratios the relative increase were 363% for the 5% fibre volume fraction, and 392% for 10% reinforcing ratio, maintaining the homogeneity of the experimental results.

The structural response of the unreinforced and reinforced strip type samples loaded in tension is illustrated by the stress-strain characteristic diagrams, Figure 8. Failure occurred initially by the development of quasi - uniform transverse cracks spaced at about 20mm near the clamping grips of the testing machine; later on as loading progressed, the glass fibres in the gauge length took over the total axial load. Eventually, the sample failure occurred by successively fracturing the reinforcing fibres along the axial force direction and a visible pull-out. Figure 6b presents the failure mode of the 10% fibre volume fraction reinforced strip.

4. Conclusions

The possibility of usage of a green mineral matrix achieved by partial replacement of Portland cement with a binder from industrial waste in construction have been extensively studied in some research and development programs carried out at the Faculty of Civil Engineering of Iasi.

The intended use directions relate to the development of modular type units made of mineral matrix reinforced with fibreglass meshes and the utilization of these materials to structural rehabilitation of the load bearing elements from traditional building materials.

However the efficient use of these mineral matrix composites depends on a thorough knowledge of the strength and stiffness characteristics required for the design process; therefore a comprehensive experimental program has been designed and performed.

The experimental determinations have been carried out on samples made of unreinforced matrix and of reinforced matrix with fibre volume fractions between 2% and 10%.

The tests have been conceived and performed on samples kept in laboratory for 28 days to determine the particular strength and stiffness characteristics required by the destination of the material.

The experimental values have been recorded on prismatic specimens to determine the tensile strength from bending under the three point loading test and the compressive strength on the semi-prisms; the compressive strength and stiffness characteristics have been established on cylindrical samples while the tensile strength and stiffness properties under axial loading have been studied on strip type rectangular specimens.

The ecological matrix and the

Rezultatele astfel obținute reliefează omogenitatea materialelor studiate reflectată prin valorile reduse ale abaterilor standard și ale coeficienților de variație.

Influența armării cu plase din fibre de sticlă este favorabilă pentru rezistențele la tracțiune obținute atât pe prisme cât și pe epruvetele tip fâșie; această influență este semnificativă și în cazul modulilor de elasticitate a fâșiilor întinse. Fibrele pot fi orientate astfel încât direcțiile acestora să coincidă cu cele ale tensiunilor principale. Experimentele realizate pe elemente portante și pe modelul structural, au confirmat eficiența acestor soluții.

Armarea nu modifică esențial caracteristicile de rezistență și rigiditate la compresiune dar îmbunătățește răspunsul structural și caracterul cedării.

Mulțumiri

NOTĂ: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Dezvoltarea și susținerea de programe postdoctorale multidisciplinare în domenii tehnice prioritare ale strategiei naționale de cercetare - dezvoltare - inovare" 4D-POSTDOC, contract nr. POSDRU/89/1.5/S/52603, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

REFERENCES

1. N. Țăranu, G. Opreșan, I. Entuc, M. Budescu, V. Munteanu, and G. Taranu, Composite and hybrid solutions for sustainable development in civil engineering, *Environmental Engineering and Management Journal*, 2012, **11**(4), 783.
2. A. J. Majumdar, Glass fibre reinforced cement and gypsum products, *Proceedings of the Royal Society (Series A) Composites*, 1971, **319**(3), 6.
3. J. A. G. Thomas, Fibre composites as construction materials, *Composites*, 1972, **3**(2), 2.
4. A. M. Brandt, Present trends in the mechanics of cement based fibre reinforced composites, *Construction and Building Materials*, 1987, **1**(1), 11.
5. T. Ando, T. Ikeda, H. Sakai, H. Otaguro, and T. Sawanobori, Fibre reinforced cement mortar product, *23, Composites*, Japan, Pat. No. 1, 1992
6. D. Feldman, Fibre reinforced cementitious composites, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1993, **20**(2), 10.
7. M. Singh and M. Garg, Gypsum-based fibre-reinforced composites: an alternative to timber, *Construction and Building Materials*, 1994, **8**(3), 5.
8. M. Barbuță, N. Țăranu and M. Harja, Wastes used in obtaining polymer composites, *Environmental Engineering and Management Journal*, 2009, **8**(5), 1145.
9. C. Baux, Process for the industrial manufacture of compositions based on anhydrous calcium sulphate in the b-anhydrite iii' form, and corresponding compositions and binders, France, Pat. No. WO/2010/003827, 2010.
10. M. Barbuță, M. Harja and D. Babor, Concrete polymer with fly ash. Morphologic analysis based on scanning electron microscopic observations., *Romanian Journal of Materials*, 2010, **40**(1), 3.

corresponding mineral matrix composite have a good workability enabling the casting of the experimental samples and of the prototype components.

The experimentally determined results reveal the material homogeneity reflected by low values of the standard deviations and of the variation coefficients.

It has been noticed that reinforcing with fibreglass meshes is beneficial to the tensile strengths obtained on both prismatic and strip type specimens; this favourable influence is also noticeable on the elastic tensile moduli. The fibres can be oriented in such a way that they correspond to the principal stresses. The experiments carried out on load bearing elements and on the structural module confirmed the efficiency of these solutions.

Reinforcing does not significantly influence the essential compression characteristics but it improves the structural response and the failure mode.

Acknowledgments

This paper was supported by the project "Develop and support multidisciplinary postdoctoral programs in primordial technical areas of national strategy of the research - development - innovation" 4D-POSTDOC, contract POSDRU/89/1.5/S/52603, project co-funded from European Social Fund through Sectorial Operational Program Human Resources 2007-2013.

- *****
11. B. Aranda, O. Guillou, C. Lanos, C. Tessier, and F. Le Dret, Synthèse d'un liant vert capable de concurrencer le ciment Portland, in *Journée des doctorants, Communication orale*, 2011, Université de Rennes, France.
 12. *** Ordinary Portland cement for concrete, http://www.lafarge.ro/CEM_II_-_B-V_32.5R.pdf.
 13. *** Render Reinforcing Mesh GMESH/R131/1000/50, <http://www.fibreglassmesh.co.uk/wp-content/uploads/2011/03/Texile-Technologies-160gm-Medum-Weight-Render-Mesh1.pdf>.
 14. G. Țăranu, I. O. Toma, R. Pleșu and I. Grădinaru, Evaluation of Mechanical Properties of Cement and Calcium Sulphate Mineral Matrix, *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi. Construction and Architecture Section*, 2011, **LVII (LXI)**(2), 131.
 15. I. O. Toma, G. Țăranu, A.-M. Toma and M. Budescu, Influence of Cement and Sand Type on the Strength Characteristics of Mortars with Various Contents of Green Binder, *Procedia Engineering*, 2011, **21**, 196.
 16. *** SR EN 196-1:2006 - Methods of Testing Cement - Part 1: Determination of Strength, 2006.
 17. N. Țăranu, C. Banu, G. Opreșan, M. Budescu, V. Munteanu, and O. Ioniță, Tensile Characteristics of Glass Fibre Reinforced Polymeric Bars, *Romanian Journal of Materials*, 2010, **40**(4), 323.
