

INFLUENȚA REABILITĂRII ROSTURILOR ASUPRA RĂSPUNSULUI STRUCTURAL AL ZIDĂRIEI CU MORTARE AVÂND REZISTENȚĂ MICĂ

THE INFLUENCE JOINTS REHABILITATION ON STRUCTURAL RESPONSE OF MASONRY WITH LOW-STRENGTH MORTARS

DANIEL COVATARIU, IRINA LUNGU, NICOLAE ȚĂRANU*, MIHAI BUDESCU, IONUȚ OVIDIU TOMA

Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, B-dul Mangeron 43, Iași, 700050, România

Mortarele cu rezistență mică s-au folosit pe scară largă la multe din construcțiile din zidărie care aparțin patrimoniului istoric. Aceste mortare folosesc drept liant varul, argila sau combinații ale acestor materiale. Datorită valorilor mici ale caracteristicilor mecanice ale mortarelor cedarea prin fisurare a zidărilor se produce în majoritatea cazurilor prin rosturile umplute cu aceste mortare. Reabilitarea structurilor din zidărie cu mortare slabe este concentrată pe îmbunătățirea caracteristicilor de portanță ale rosturilor utilizând materiale durabile, compozite armate cu fibre sau mortare cu diferite adaosuri.

În cadrul unui program de cercetare desfășurat la Facultatea de Construcții și Instalații din Iași au fost analizate mai multe soluții de consolidare a rosturilor prin armare cu corzi din fibre din oțel, carbon și sticlă, precum și prin rostuire cu materiale compozite, constând din ciment armat cu fibre polipropilenice sau cu adaosuri de cauciuc.

Au fost efectuate teste pentru stabilirea răspunsului structural al materialelor care compun zidăria, precum și a probelor din zidărie cu rosturi consolidate. Rezultatele obținute au evidențiat sporuri semnificative de rezistență și rigiditate, diferențierea în comportare depinzând de materialele și soluțiile folosite.

Low strength mortars have been widely utilized to masonry buildings representing historical heritage. These mortars use as binder lime, clay or mixes of those materials. The masonry failure very often occurs within the joints filled with weak mortars. Structural rehabilitation of masonry framing systems using weak mortars is mainly focused on the enhancing load bearing characteristics of their joints using durable materials, fibrous composites or mortar with various additives.

A research program has been carried out at the Faculty of Civil Engineering and Building Services of Iasi aiming to evaluate a number of strengthening solutions for the masonry joints, using reinforcing chords made of steel, carbon and glass fibres. In addition, strengthening measures have been taken by re-joining the masonry units with mortars including rubber powder and polypropylene fibres.

Mechanical tests have been performed to evaluate the structural response of the masonry components and of the masonry samples with strengthened joints. The experimental results have revealed significant increase in strength and stiffness depending on the used materials and solutions.

Keywords: structural rehabilitation, weak mortars, joints strengthening, structural response, fibre chords, improved mortars

1. Introducere

În ultimele decenii, importanța reabilitării structurale a clădirilor istorice precum și, în general, a structurilor vechi din zidărie a crescut considerabil. Cele mai multe degradări ale structurilor din zidărie apar frecvent în zonele cele mai solicitate, când sunt supuse și la acțiuni extraordinare, datorită caracteristicilor mecanice reduse ale mortarelor din rosturi. Evident că există și alte cauze ale degradărilor structurilor din zidărie, uneori mai semnificative, cum ar fi îmbătrânirea materialelor componente, migrația apelor prin capilaritate, precum și expunerea la un mediu agresiv.

Practica curentă în cazul zidărilor vechi, aparținând mai ales clădirilor de patrimoniu, are la bază principiile Cartei de la Veneția a Conservării și

1. Introduction

In the recent decades, the importance of structural rehabilitation of historic buildings and generally old masonry structures has increased considerably.

Most of the structural degradations in old masonry framing systems frequently occur in the severely stressed areas when subjected to extraordinary actions (due to the low mechanical characteristics of the joining mortars). Obviously there are other sources of degradation of masonry structures that sometimes are more substantial, such as the aging of the component materials, water migration due to capillarity as well as exposure to an aggressive environment.

The current practice in case of ancient masonry, belonging mostly to heritage buildings is

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

Restaurării Monumentelor Istorice, finalizată în 1964, în care conceptul de reversibilitate este fundamental. Acest concept presupune utilizarea unor tehnologii și materiale care pot fi înlocuite, favorizând dezvoltarea durabilă (atunci când evoluția cunoașterii în domeniul reabilitării o va permite).

Abordarea actuală în ceea ce privește siguranța construcțiilor de patrimoniu este aceea de a îngloba în structura zidăriei, sisteme structurale adiacente din beton armat care elimină reversibilitatea soluției, integritatea zidăriei fiind alterată [1, 2]. De aceea, în locul unor astfel de soluții costisitoare, incompatibile cu alcătuirea structurală inițială, orice soluție nouă este preferabilă, atâta timp cât respectă reversibilitatea și compatibilitatea structurală și permite păstrarea integrității construcției expusă la acțiunile mecanice și de mediu.

2. Obiective

Numeroase construcții vechi cu structura de rezistență din zidărie sunt realizate din corpuri ceramice liate cu mortare slabe pe bază de argilă. Aceste mortare au o comportare bună în ceea ce privește distribuția tensiunilor din încărcări gravitaționale și asigură o disipare bună a energiei indusă de acțiunea seismică în structura zidăriei. Dezavantajele acestui sistem structural sunt datorate în principal, rezistenței reduse a acestor zidării și sensibilității mortarului la acțiunea apei.

Intervențiile clasice prin inserții din beton armat în structura zidăriei sau cămășuieli realizate din mortar sau beton cu armături diverse, distrug integritatea structurală a unor astfel de sisteme în detrimentul valorii istorice.

Programul de cercetare a fost direcționat către analiza și verificarea experimentală a unei noi metode de reabilitare a zidărilor prin consolidarea parțială a rosturilor dintre corpurile ceramice [3]. Procedeu pleacă de la soluția îmbunătățirii comportării zidărilor numai prin consolidarea rosturilor dintre corpurile ceramice pe o adâncime de 25 mm. Aceste soluții pot deveni alternative viabile la rezolvările clasice. Mai mult decât atât, aspectele legate de reversibilitate în aceste cazuri sunt mai bine gestionate, noi materiale sau sisteme vor putea fi mai ușor implementate [4], fiind necesară numai refacerea rosturilor, corpurile ceramice și cea mai mare parte a mortarului păstrându-și integritatea.

Cercetarea a avut în vedere cinci modalități de refacere parțială a rosturilor la zidăriile din corpuri ceramice cu mortare de argilă și anume:

- a) armarea rosturilor utilizând corzi din fibre de sticlă;
- b) armarea rosturilor folosind corzi din fibre de carbon;
- c) armarea rosturilor prin inserție cu corzi din fibre de oțel ;

based on the principles of the Venice Charter on the Conservation and Restoration of Monuments, completed in 1964, where the concept of reversibility is fundamental. This concept involves the use of technologies and materials replaceable with others to favour sustainable development (when new achievements in the rehabilitation solutions would enable it).

The current approach in heritage buildings rehabilitation is to provide additional safety by encasing the masonry structure, within concrete adjacent framing systems that neglect the concept of reversibility and consequently the masonry integrity is altered [1, 2]. Therefore, instead of these costly solutions that are incompatible with the original structural assemblage, any new development elaborated on the basis of reversibility and structural compatibility is preferable, and enables preserving the integrity of the construction subjected to mechanical and environmental actions.

2. Objectives

Numerous old buildings with masonry framing systems are made of ceramic blocks with weak clay based mortars. These mortars show a good behavior in terms of stress distribution from gravity loads and provide better energy dissipation induced by seismic action in this masonry structure. The main disadvantages of these structural systems are mainly due to the low strength of these masonry works and their sensitivity to water.

Conventional interventions through inserts of reinforced concrete in the masonry structure or jacketing made of either mortar or concrete with various reinforcements alter the structural integrity of such systems on the expense of their historical value.

The research program has been focused on the analysis and experimental verification of a new rehabilitation method based on partial strengthening of the masonry joints between the ceramic units [3]. This procedure commences from the solution of improving the masonry behaviour by strengthening only the joints between the ceramic units limited to 25 mm depth. These solutions could become viable alternatives to the conventional ones. Furthermore, reversibility issues in this case are better solved; new materials and corresponding systems could be easier implemented [4], as only the re-pointing of the joints is required, while ceramic units and most of the joining mortar remain intact.

The study has considered five operational ways to intervene on clay mortar joints between ceramic blocks by partial re-pointing as it follows:

- a) joints reinforced with glass fibre chords;
- b) joints reinforced with carbon fibre chords;

- d) introducerea în rosturi a unor mortare de ciment cu adaos de cauciuc reciclat (tip FlexCement);
- e) introducerea în rosturi a unor mortare de ciment cu armătură dispersă din fibre polipropilenice (Edifiber3).

Investigațiile experimentale s-au concentrat în această primă fază numai pe evaluarea caracteristicilor mecanice și a capacității portante a zidăriei la solicitarea de compresiune. În acest sens s-au confecționat șase seturi de probe pentru analiza soluțiilor propuse: primul grup constă din trei epruvete martor din zidărie cu mortar de argilă; celelalte cinci seturi conțin fiecare câte trei probe consolidate prin metodele menționate anterior (a-e).

În cadrul programului experimental s-a urmărit determinarea principalelor caracteristici mecanice necesare evaluării structurilor din zidărie: modulul de elasticitate, rezistența la rupere și modurile de cedare în stadiul ultim [5].

3. Structura zidăriei martor

Probele martor din zidărie au fost realizate din cărămizi presate, pline din argilă arsă, colectate în urma demolării unei clădiri cu o vechime de circa 90 de ani; cărămizile au dimensiunile de 240x120x80mm. Această selecție a avut în vedere simularea comportării materialelor din structura zidăriilor vechi [6].

Proprietățile mecanice determinate pe epruvete prelevate din aceste corpuri ceramice, au condus la următoarele rezultate:

- rezistența medie la compresiune - 4,2 N/mm²;
- rezistență medie la întindere din încovoiere - 0,52 N/mm².

Pentru epruvetele martor a fost utilizat mortarul de argilă așezat în rosturi în straturi de 10 ÷ 15 mm. Acesta este un mortar sensibil la umezire și friabil, având un timp de priză relativ scăzut. Pentru determinarea caracteristicilor mecanice, au fost efectuate încercări la compresiune (pe cuburi cu dimensiunile de 40x40x40 mm) și încercări la întindere din încovoiere (pe prisme cu dimensiunile de 40x40x160 mm) [7-9]. În urma efectuării testelor, pe seturi de cinci probe, la fiecare încercare a rezultat o rezistență medie la compresiune de 2,3 N/mm², respectiv o rezistență medie la întindere din încovoiere de 0,13 N/mm².

Mortarul utilizat la realizarea programului experimental a folosit ca liant argila locală de tip montmorilonitic iar ca agregat, nisip calcaros existent în cariera de la Pietrărie din apropierea lașului. Cele două componente (argila activă și nisipul cu rezistențe mecanice scăzute) formează un mortar friabil, vulnerabil la deteriorări locale, care progresiv pot conduce la golirea unora dintre rosturi [10].

Epruvetele martor au fost realizate prin țesere după modelul prezentat în figura 1, având

- c) joints reinforced with steel fibre chords;
- d) insertion of cement mortar containing recycled rubber filler (FlexCement type);
- e) insertion of cement mortars reinforced randomly dispersed polypropylene fibres (Edifiber3).

Experimental investigations have been concentrated, in this first stage, only on the evaluation of the mechanical characteristics and the load carrying capacity of masonry subjected to compression. Six sets of test specimens have been manufactured to analyze the proposed solutions: a first group consists of three control samples of masonry with clay mortar joints; the other 5 sets consist of three samples each, corresponding to the above mentioned strengthening solutions.

During the experimental work, the main mechanical characteristics needed for the structural assessment of the masonry framing systems have been studied: the elasticity modulus, the fracture resistance and corresponding failure modes at the ultimate state [5].

3. The masonry control sample and its characteristics

The masonry control samples have been manufactured from pressed burnt clay bricks collected from the demolition of an old building, aging approximately 90 years; the brick unit dimensions were 240x120x80mm. This particular selection was chosen to appropriately simulate the behavior of the constituent materials in old masonry structures [6].

The mechanical properties determined on five brick specimens cut from these ceramic units are the following:

- the average compressive strength - 4.2 N/mm²;
- the average tensile strength from bending test - 0.52 N/mm².

A clay mortar has been utilized to make the control specimens; the mortar has been laid on the joints depth, in layers of 10 to 15 mm. This mortar is considered to be sensitive to moistening and friable, having a short setting time.

To determine the mechanical characteristics compression tests on five samples set have been performed on cubic specimens (40x40x40mm) and also tensile tests have been carried out on the same number of prismatic samples (40x40x160mm) [7-9]. The average compressive strength obtained on cubic specimens was of 2.3 N/mm² and the average tensile strength determined in three point loading tests resulted equal to 0.13 N/mm².

The mortar utilized to make the experimental units was based on the local montmorillonitic clay as the binder and calcareous

dimensiunile: lungimea de două cărămizi, lățimea de o cărămidă și înălțimea aferentă a 5 cărămizi.

La partea superioară și inferioară a epruvetelor s-a dispus un strat de mortar pe bază de ciment pentru a asigurarea planeității în timpul încercărilor. Epruvetele au fost menținute 4 săptămâni în laborator pentru condiționare.

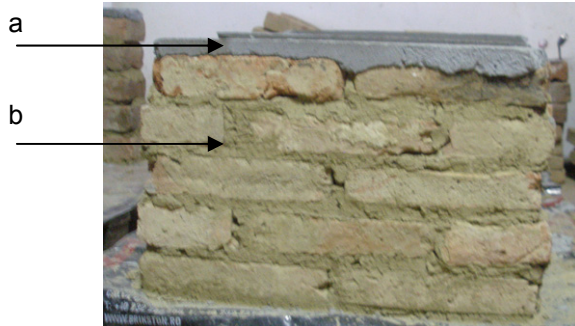


Fig.1 - Epruveta din zidărie utilizată la experimentări/ *The experimental masonry unit.* (a) strat din mortar de ciment pentru asigurarea planeității/ *cement based mortar for the unit flatness*; (b) rost cu mortar de argilă/ *masonry joint filled with clay mortar.*

4. Caracteristicile materialelor utilizate la consolidare

4.1. Corzi din fibră de sticlă (fig.2a)

Corzile din fibră de sticlă tip E (de tip MapeWrapG produse de MAPEI Italia) sunt constituite din fibre unidirecționale, învelite într-o plasă protectoare; fibrele au densitate redusă (2.620 kg/m^3), rezistență la întindere mare (2.560 N/mm^2) și modul de elasticitate convenabil (80.700 N/mm^2). Armătura este rezistentă la agresivitățile de mediu (atac sulfatic și al sărurilor solubile) și se comportă bine la oboseală din încărcări repetate [11, 12]. Aspectul fibros al corzilor permite o tehnică simplă de montaj, asigurând un spor de aderență la suport comparativ cu al armăturilor din bare de oțel.

4.2. Corzi din fibre de carbon (fig.2b)

Corzile din fibre de carbon de înaltă rezistență (MapeWrapC, produse de MAPEI Italia) sunt realizate din fibre unidirecționale cu densitatea de 1.800 kg/m^3 , având rezistența la întindere de 4.830 N/mm^2 și modulul de elasticitate ridicat (230.000 N/mm^2), fiind învelite într-o plasă protectoare [13]. Produsul de armare este de asemenea un material rezistent la oboseală și la coroziune, cu aderență bună la stratul suport.

4.3. Corzi din fibre de oțel (fig.2c)

Corzile din fibre de oțel (MapeWrapS, produse de MAPEI Italia) sunt constituite din fibre unidirecționale cu densitate de 4.840 kg/m^3 , rezistență la întindere egală cu 2.086 N/mm^2 și modulul de elasticitate de 210.000 N/mm^2 , învelite, de asemenea, într-o plasă protectoare [14]. Și aceste fibre au avantaje de durabilitate ridicată,

sand as aggregate existing in the Pietrărie quarry located in the Iași County. These two components (the active clay and the low strength sand) give a friable mortar, vulnerable to local deteriorations that might progressively lead to empty joints [10].

The control specimens (masonry panel) have been made by setting the bricks as illustrated in Figure 1, with the following dimensions: the length equal to two bricks, the width of one brick and a total height of five bricks.

The flatness of the samples required for testing was achieved by laying cement based mortar on the top and at bottom of each specimen. The samples have been kept for four weeks in the laboratory for conditioning.

4. Characteristics of materials utilized for joint strengthening

4.1. Glass fibre chords (Fig.2a)

E glass fibre chords (MapeWrapG, Italy Mapei products) consist of unidirectional fibres wrapped in a protective net; the fibres have a low density ($2,620 \text{ kg/m}^3$), high tensile strength ($2,560 \text{ N/mm}^2$) and convenient elastic modulus ($80,700 \text{ N/mm}^2$). The reinforcement is resistant to the environmental aggressiveness (sulphates and soluble salts attacks) and it is fatigue resistant to repeated loads [11, 12]. The fibrous appearance of the chords enables a simple installing technique, with an increased adherence to the substrate compared to that provided by the steel bars.

4.2. Carbon fibre chords (Fig.2b)

The chords made of high strength carbon fibres (MapeWrapC as Mapei products from Italy) consist of unidirectional filaments with the density of $1,800 \text{ kg/m}^3$, displaying a tensile strength of $4,830 \text{ N/mm}^2$ and a high elasticity modulus ($230,000 \text{ N/mm}^2$) wrapped in a protective net [13]. This reinforcement product is also resistant to fatigue and corrosion having a good adherence to the substrate.

4.3. Steel fibre chords (Fig.2c)

The steel fibre chords (MapeWrapS, MAPEI products from Italy) are made of unidirectional fibres having the density equal to $4,840 \text{ kg/m}^3$, the tensile strength equal to $2,086 \text{ N/mm}^2$ and the elasticity modulus of $210,000 \text{ N/mm}^2$, also wrapped in a protective net [14]. Like the previous products they are also resistant to fatigue, providing a good adherence to the substrate.

4.4. M10Z masonry mortar with Eco-cement binder

This mortar has been used as both support and bonding material for the flexible reinforcements (glass fibre chords, carbon fibre chords, and steel fibre chords). An eco-cement binder EN 197-1-CEM II / BM (S-LL) 42.5N has

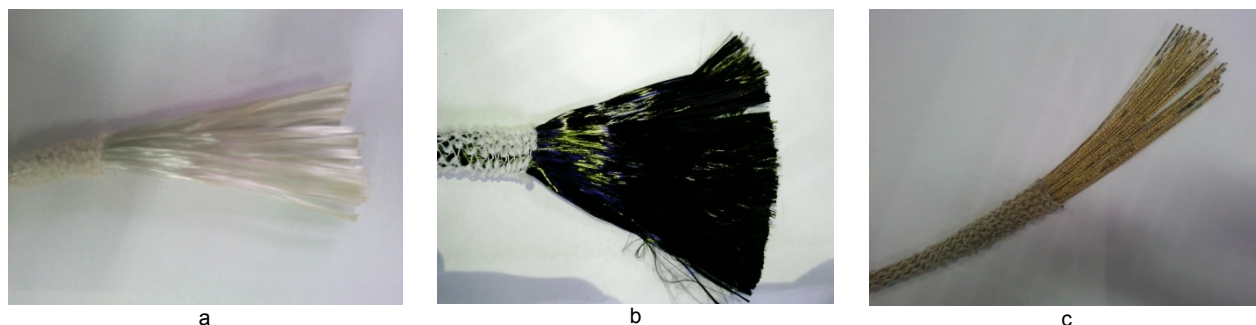


Fig. 2 - Produse din fibre utilizate pentru armarea rosturilor orizontale/ *Fibre based products for horizontal joints reinforcement*: (a) corzi din fibră de sticlă/ *glass fibre chords*; (b) corzi din fibră de carbon/ *carbon fibre chords*; (c) corzi din fibre de oțel/ *steel fibre chords*.

rezistență bună la oboseală și aderență convenabilă la stratul suport.

4.4. Mortar pentru zidărie M10Z cu liant de Eco-ciment

Acest mortar a fost utilizat ca suport și mediu aderenț pentru armăturile flexibile (corzi din fibre de sticlă, carbon și din oțel). Liantul folosit este un eco-ciment EN 197-1-CEM II/B-M (S-LL) 42,5N, mortarul rezultat având rezistența medie determinată pe un set de cinci probe, - la compresiune - $9,8 \text{ N/mm}^2$ și la întindere din încovoiere - $0,563 \text{ N/mm}^2$.

4.5. Mortar de ciment cu adaos de cauciuc (FlexCement)

În compoziția acestui mortar s-a utilizat ca liant eco-cimentul EN 197-1-CEM II/B-M (S-LL) 42,5N; 20% din ciment a fost înlocuit cu FlexCement, care este un ciment cu adaos de cauciuc natural și reciclat care, datorită fineții de măcinare, are o suprafață specifică foarte mare, acest material asigurând o ductilitate sporită a mortarului și o aderență îmbunătățită la stratul suport față de mortarul obișnuit [15]. De asemenea, în acest amestec, mortarul are o rezistență semnificativă la atacul agenților agresivi. În urma încercărilor efectuate pe un set de 5 probe s-a determinat rezistența medie la compresiune egală cu $8,9 \text{ N/mm}^2$ și rezistența la întindere din încovoiere, egală cu $0,447 \text{ N/mm}^2$.

4.6. Mortar de ciment cu adaos de fibre disperse polipropilenice (EdiFiber3)

Mortarul a fost realizat folosindu-se același ciment, cu armătură dispersă din fibre polipropilenice scurte, EdiFiber3, în proporție de 5% din masa liantului. Fibrele folosite (fig. 3) au un aspect lenticular și fibrilat fin, cu un diametru de aproximativ 35-45 micrometri și lungimi cuprinse între 12 și 42 mm, având o rezistență la întindere egală cu 510 N/mm^2 și un modul de elasticitate în valoare de 4.950 N/mm^2 [16]. Polipropilena EdiFiber3 a fost folosită pentru a preveni în mod eficient apariția fisurilor datorate contracțiilor, prin asigurarea unei dispersii tridimensionale în toată masa mortarului; în acest fel s-a obținut și o reducere semnificativă a permeabilității mortarului,



Fig. 3 - Eșantion de fibre polipropilenice / *Sample of polypropylene fibres*.

been used; the resulted mortar had an average compressive strength equal to 9.8 N/mm^2 , determined on a five samples set, and an average tensile strength of 0.563 N/mm^2 , evaluated on the same number of test specimens.

4.5. Mortar with recycled rubber filler (FlexCement)

The mix of this mortar has utilized an eco-cement binder EN 197-1-CEM II / BM (S-LL) 42.5N; 20% of the binder has been replaced by FlexCement. FlexCement is a modified cement with filler made of natural and recycled rubber; due to the grinding fineness the specific surface area is very large, providing a mortar with better ductility and consequently an increased adhesion to the substrate compared to the regular mortar [15]. In addition, this mortar has a better resistance to aggressive environmental agents attack and thus, enhanced durability. The resulted mortar has had an average compressive strength equal to 8.9 N/mm^2 , determined on a five samples set, and an average tensile strength of 0.447 N/mm^2 , evaluated on the same number of test specimens.

4.6. Cement mortar with dispersed polypropylene fibres (EdiFiber3)

This mortar has been obtained using the M10Z mix, and adding short polypropylene fibres EdiFiber3, representing 5% of the binder dry mass, as dispersed reinforcement. The used fibres (Fig. 3) display a lenticular texture with fine filaments having a diameter of 35-45 micrometers and lengths

însoțită de o sporire a rezistenței la uzură și la ciclurile de îngheț/dezghet. Pe setul de cinci probe realizate din acest mortar s-a determinat rezistența medie la compresiune în valoare de $6,8 \text{ N/mm}^2$ și rezistența la întindere din încovoiere egală cu $0,29 \text{ N/mm}^2$.

5. Epruvete pentru programul experimental

Epruvetele din zidărie cu mortar de argilă au fost consolidate efectuându-se următoarea succesiune de operații:

- adâncirea rosturilor orizontale dintre cărămizi prin decaparea a 25 mm din lățimea patului de mortar, cu ajutorul a două discuri de frezare prevăzute cu un distanțier, pentru a îndepărta mortarul decapat pe toată grosimea rostului;

- curățarea rosturilor prin vacuumare pentru îndepărtarea particulelor de praf rezultate în urma operațiunii anterioare;

- udarea rosturilor astfel adâncite (cu 2 ore înainte de aplicarea amorsei), pentru a realiza hidratarea zonei;

- amorsarea rosturilor, pentru asigurarea aderenței noului mortar la stratul suport;

- introducerea în rosturi a materialului considerat, în concordanță cu soluția de consolidare:

- corzile din fibre cu alcătuirile prezentate anterior și mortarul de ciment M10Z pentru refacerea rosturilor prin umplere (fig. 4 și fig. 5);

- numai mortarele speciale (cu substituție de Flexciment sau armate dispers cu fibre polipropilenice).

6. Încercarea epruvetelor

Epruvetele din zidărie realizate conform metodologiei prezentate anterior au fost testate la compresiune în planul probelor. Încercările experimentale au fost realizate cu o mașină universală de încercat de 3000 kN, echipată

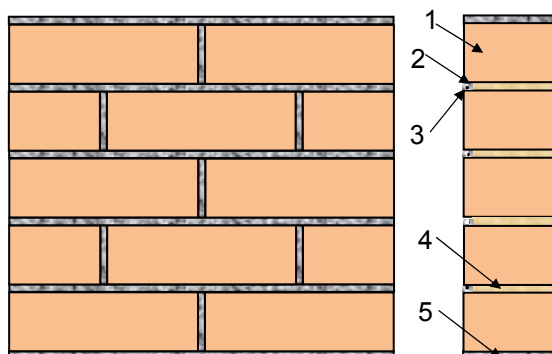


Fig. 4 - Unitatea experimentală alcătuită din/ *Experimental unit made of*: 1. cărămidă plină/ *solid brick*; 2. rost cu mortar/ *mortar joint*; 3. coardă din fibre/ *chord of fibres*; 4. mortar de argilă existent/ *existing clay mortar*; 5. mortar de nivelare a suprafețelor de contact/ *levelling mortar on top and bottom contact surfaces*.

between 12 to 42 mm; the tensile strength of the fibres is about 510 N/mm^2 and an elasticity modulus equal to $4,950 \text{ N/mm}^2$ [16]. The EdiFiber3 polypropylene fibres have been used to efficiently prevent the cracking caused by shrinkage; this beneficial effect is produced by their spatial dispersion within the entire mortar mass. In addition, a significant reduction of the mortar permeability accompanied by an increased resistance to wearing and to freeze/thaw cycles can be obtained. An average compressive strength equal to 6.8 N/mm^2 and an average tensile strength of 0.29 N/mm^2 , evaluated on the same number of test specimens have been obtained on this material.

5. Test samples for the experimental program

The masonry samples with clay based mortar have been strengthened by performing the following set of operations:

- cutting the mortar from horizontal joints to a depth of 25 mm out of the total width of the mortar bed, using a pair of milling disks provided with a spacer to extract the mortar to the full thickness of joint;

- vacuum cleaning the joint to remove the dust particles resulting from the previous operation;

- watering of the deepened joints (2 hours before priming to achieve a good hydration of the bonding area);

- priming the bonding surfaces to ensure adherence to the substrate;

- introduction of the material according to the strengthening solution:

- the fibre chords as presented earlier and re-pointing the joint by filling the remaining space with cement mortar M10Z (fig. 4 and fig. 5);

- the special mortars only (with Flexciment substitution or dispersedly reinforced with polypropylene fibres).



Fig.5 - Dispunerea corzilor din fibre și refacerea rosturilor prin umplere cu noul tip de mortar/ *Fibre chords placement repointing the rehabilitated joints with the new mortars*.

suplimentar cu o celulă de forță de 1000 kN și traductori electrici rezistivi. Încărcarea a fost transmisă la epruvetă printr-o traversă situată sub celula de forță, - figura 6.

Pentru măsurarea deformațiilor epruvetei s-a utilizat un ansamblu de patru traductori de tip LVDT. Traductorii au fost amplasați câte doi pe fiecare parte a epruvetei (câte doi față în față), iar măsurarea deplasărilor s-a făcut între corpurile ceramice situate la cele două extremități ale epruvetei.

Semnalul analogic de la celula de forță și cei patru traductori LVDT a fost preluat de un sistem de conversie analog numeric care permite reprezentarea cu ajutorul unui sistem de calcul a rezultatelor experimentale. Încercarea s-a realizat în mod continuu cu o viteză constantă pe toată durata testului.

Pentru determinarea modului de elasticitate s-a procedat la aplicarea unui ciclu de încărcare - descărcare, reprezentând 10 - 30% din capacitatea portantă a epruvetei martor.

7. Rezultate experimentale și analiza acestora

Atât pentru unitățile experimentale martor cât și pentru fiecare soluție de consolidare a rosturilor s-au încercat seturi de câte trei probe. Rezultatele obținute pentru unitățile de zidărie consolidate au fost comparate cu rezultatele medii ale grupului de epruvete martor (tabel 1).

Modurile de cedare ale unităților experimentale încercate la încovoiere sunt prezentate succesiv în figurile 7, 8, 10 și 11.

Figura 7 ilustrează modul de cedare a probelor martor, cu mortar de argilă. Cedarea evidențiază caracteristici mecanice reduse ale zidăriei de acest tip, materializată prin fisurarea corpurilor ceramice transversal și pe întreaga înălțime, cuprinzând toate componentele, inclusiv mortarul din argilă. Acest mod de cedare era de așteptat având în vedere capacitatea mortarului de argilă de a asigura transmiterea uniformă a deformațiilor și implicit a stării de tensiuni în corpurile ceramice din structura zidăriei.

În figura 8 sunt ilustrate caracteristici ale cedării probelor la care consolidarea rosturilor orizontale s-a realizat utilizând corzi din fibre.

Din analiza comportării epruvetelor până la rupere, din compresiune, se constată următoarele:

- modulul de elasticitate și capacitatea portantă a zidăriei consolidate cu corzi în rosturi cresc în raport cu valorile înregistrate la zidăria martor;
- cedarea epruvetei consolidate se localizează spre fețele zidăriei, rezultând o dislocare a stratului consolidat, lucru ce era de așteptat având în vedere neomogenitatea ansamblului rezultat;
- partea centrală a zidăriei, mai puțin rigidă, își păstrează parțial integritatea,

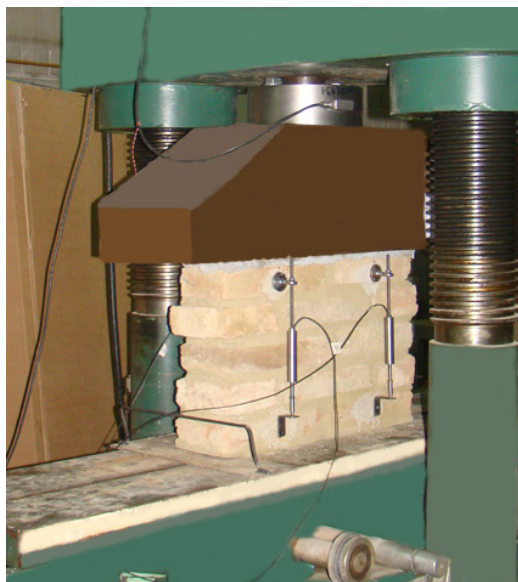


Fig. 6 - Mașina de testat universală (3000 kN) cu proba de zidărie pregătită pentru încercare/ The (3000 kN) universal testing machine with the masonry sample installed for testing.

6. Sample testing

The masonry specimens manufactured according to the above presented methodology have been tested by in-plane compressive loading.

The experimental tests have been carried out with a 3000 kN universal testing machine, supplementary equipped with a load cell of 1000 kN provided with resistive electrical transducers. The load has been applied on the sample by a transverse girder located under the load cell, Figure 6.

An assembly of four LVDT transducers has been used to measure the sample deformations. The transducers were placed in pairs, two on each sample side and in front of each other; the displacement measurement has been performed between the brick units located at the ends of the specimen.

The analogical signal from the load cell and the four LVDT transducers has been acquisitioned by a numerical analogical conversion system that



Fig. 7 - Cedarea la compresiune a probelor martor, din zidărie neconsolidată, cu mortar de argilă/ Compressive failure of the unstrengthened control units, with clay mortar.

cedarea având loc în stadiul ultim, prin fisuri verticale în lungul epruvetelor; datorită efectului de împiedecare a deformațiilor de către stratul exterior consolidat, fisurile nu se dezvoltă în direcție transversală;

- consolidarea în rosturi cu corzi limitează apariția fisurilor în corpurile ceramice la un nivel al încărcării aferent capacității portante a epruvetelor martor;

- modulul de elasticitate determinat pe epruvetele armate în rosturi cu fibre de sticlă a rezultat mult mai mare în raport cu aceeași caracteristică determinată pentru ranforsarea cu celelalte tipuri de corzi, ca urmare a unei mai bune aderențe a mortarului; acest mod de comportare se extinde până la nivelul stadiului ultim, când zona consolidată se detașează vizibil de structura inițială a zidăriei (fig. 8a);

- modulul de elasticitate mai mic pentru cazul ranforsării probelor cu corzi din fibre de carbon sau fibre de oțel, în raport cu cele din fibre de sticlă, se explică printr-o aderență scăzută a mortarului la aceste materiale de armare;

- creșterea rezistenței ultime la compresiune a epruvetelor consolidate cu corzi din fibre de carbon și corzi din fibre de oțel se explică prin faptul că în acest stadiu se asigură păstrarea integrității epruvetei și datorită influenței frecării dintre materialul de ranforsare din rosturi și corpurile ceramice.

În tabelul 1 sunt prezentate sintetic rezultatele obținute din încercările experimentale la compresiune ale epruvetelor martor, comparativ cu cele trei tipuri de epruvete consolidate cu corzi în rosturi.

În figura 9 sunt prezentate curbele tensiune - deformație specifică valori medii pentru cele trei tipuri de consolidări ale rosturilor în raport cu proba martor de zidărie (m). Se constată că deși în faza

enables the representation of the experimental results utilising a computing unit.

The operation has been performed continuously with a constant rate during the entire test period.

A loading-unloading cycle has been applied within 10-30% from the ultimate load of the control specimen to determine the elasticity modulus.

7. Experimental results and their analysis

Three sample sets have been tested on both control specimens and each strengthening solution of the horizontal masonry joints. The results for the strengthened masonry units have been compared with the average values obtained on the specimen group of the control samples (Table 1).

The illustrative modes of failure of the tested specimens are presented in Figure 7, Figure 8, Figure 10 and Figure 11. Figure 7 reveals the failure mode of the control samples with clay based mortar. The failure displays low mechanical properties of this masonry type, characterized by transverse cracking of the ceramic blocks and over the entire depth, comprising all constituents including the clay mortar. This failure mode was expected considering the clay mortar capacity to uniformly distribute the deformations and the state of stress within the brick units from the masonry structure.

Figure 8 shows the failure features of the experimental units with the horizontal joints strengthened with fibre chords.

The following concluding aspects can be formulated from the analysis of the specimen behaviour up to compressive failure:



a



b



c

Fig. 8 - Cedarea la compresiune a probelor din zidărie cu rosturile consolidate cu corzi din fibre/ *Compressive failure of the masonry units with joints strengthened with fibre chords*: a. caracteristici ale cedării epruvetelor cu rosturi consolidate prin inserarea corzilor din fibre de sticlă/ *failure features of the joints strengthened with inserted glass fibre chords*; b. caracteristici ale cedării epruvetelor cu rosturi consolidate prin inserarea corzilor din fibre de carbon/ *failure features of the joints strengthened with inserted carbon fibre chords*; c. caracteristici ale cedării epruvetelor cu rosturi consolidate prin inserarea corzilor din fibre de oțel/ *failure features of the joints strengthened with inserted steel fibre chords*.

Tabelul 1

Rezultate experimentale pentru epruvete având rosturile horizontale consolidate cu corzi din fibre
The experimental results for masonry samples having the horizontal joints strengthened with fibre chords

Soluția de consolidare a rosturilor horizontale The strengthening solution of the horizontal joints		Rezistența medie la rupere/ The average fracture strength [N/mm ²]	Modulul de elasticitate mediu/ The average elasticity modulus [N/mm ²]
m	Epruvete martor/ Control samples	0.258	38.7
a.	Consolidare cu corzi din fibre de sticlă/ Strengthening with glass fibre chords	0.259	102.1
b.	Consolidare cu corzi din fibre de carbon/ Strengthening with carbon fibre chords	0.306	45.3
c.	Consolidare cu corzi din fibre de metal/ Strengthening with steel fibre chords	0.352	63.1

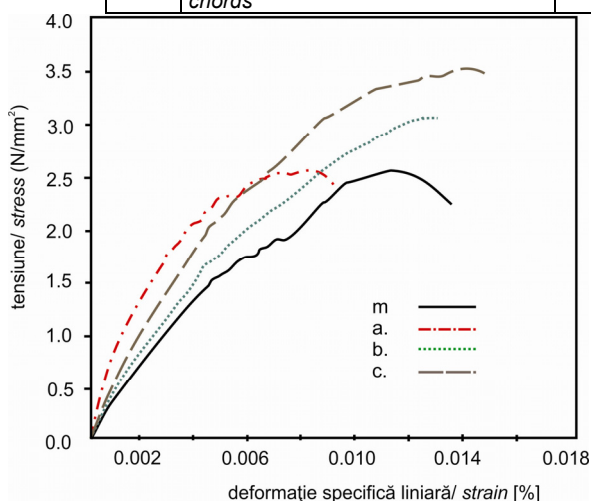


Fig. 9 - Curbe caracteristice pentru cele trei soluții de consolidare a rosturilor horizontale cu corzi din fibre (pentru notații vezi tabelul 1) / The stress-strain curves resulted for the three strengthening solutions of the horizontal joints with fibre chords (for notations see Table 1).

inițială epruvetele armate în rosturi cu corzi din fibră de sticlă (a) sunt mai rigide, deformația specifică ultimă scade substanțial față de cea a probei martor. Această comportare este datorată și desprinderii stratului superficial consolidat, figura 8a.

Epruvetele armate în rosturi cu fibre de carbon (b) și fibre de oțel (c) au o zonă de rupere fragilă, fără un palier orizontal, dar deformațiile specifice ultime sunt mai mari decât la proba martor (m).

În cazul epruvetelor consolidate în rosturi cu mortar aditivat cu Flexciment (d), au rezultat deformații specifice mult mai mari față de cele ale epruvetelor martor (m). Aceste diferențe se datorează adăosului de cauciuc din compoziția cimentului, folosit în mortarul de rostuire, care a condus la o comportare foarte apropiată de mortarul de argilă din probele martor, figura 10. Afirmarea este susținută prin faptul că nu au apărut desprinderi ale zonelor consolidate iar fisurile s-au propagat uniform în masa structurii de zidărie, crescând în același timp rigiditatea acestor probe.

– the elasticity modulus and the load carrying capacity of the joints strengthened with fibre chords increase compared to the similar characteristics of the control masonry unit;

– the strengthened sample failure is localized near the masonry sides, resulting in dislodging of the strengthened layer; this failure mode was, in fact, expected considering the non-homogeneity of the resulted assembly;

– the less rigid core of the masonry unit, remains partially undisturbed, while failure occurs at the ultimate state by developing vertical cracks, longitudinally oriented, along the samples; due to the confinement induced by the strengthened external layer, the cracks do not develop in the transverse direction;

– the joints strengthening with fibre chords limits the crack development within the brick units to a load level equal to the load carrying capacity of the control masonry specimens;

– the elasticity modulus of the samples with joints strengthened with glass fibre chords increased significantly compared to the other reinforcing chord types, due to a better adherence of the mortar; this behaviour extends to the ultimate state when the strengthened zone detaches visibly from the initial masonry structure (fig.8.a);

– the lower value of the elasticity modulus when using carbon or steel fibre chords compared to the glass fibre chords reinforcing scheme is determined by the poorer adherence of the mortar to those chord materials;

– the increase of the ultimate compressive strength of the masonry samples with the joints strengthened by carbon or steel fibre chords results from the additional frictional effect between the joints reinforcing chords and the ceramic blocks, which improves the integrity of the strengthened test samples.

Table 1 summarizes the results obtained by the experimental compression tests of the control masonry specimens compared to the three types of samples having the joints strengthened with fibre chords.

The stress-strain curves with the average

Epruvetele la care s-a utilizat pentru consolidarea rosturilor orizontale, mortar armat dispers cu fibre polipropilenice de tip EdiFiber3 (e.) au arătat o creștere importantă a rezistenței ultime, însoțită de o micșorare a deformațiilor specifice liniare ultime. La fel, ca și în cazul precedent, comportarea structurii zidăriei consolidate la solicitarea de compresiune este convenabilă pentru menținerea integrității ansamblului, fără desprinderi ale zonelor consolidate, figura 11.

Rezultatele încercărilor experimentale pentru aceste soluții de consolidare a rosturilor sunt sintetizate în tabelul 2, iar curbele tensiune – deformație specifică liniară sunt ilustrate în figura 12.



Fig. 10 - Caracteristici ale cedării la compresiune ale probelor din zidărie având rosturile consolidate cu mortar de ciment și FlexCement/ *Compressive failure features of the masonry units strengthened with mortar improved with FlexCement.*

values are presented in Figure 9 for the three strengthening cases of the joints compared to the control masonry sample (m). It has been noticed that although initially, the samples with the joints strengthened with glass fibre chords (a) are stiffer, their ultimate strain decreased significantly compared to those of the control sample. This effect is generated also by the dislodging of the strengthened layer, figure 8a.

The samples with the joints reinforced with carbon fibre chords (b) and steel fibre chords (c) exhibit a brittle failure zone, with no horizontal plateau, but the ultimate strains are higher than those of the control samples (m).



Fig. 11 - Caracteristici ale cedării la compresiune ale probelor din zidărie având rosturile consolidate cu mortar de ciment armat dispers cu fibre polipropilenice/ *Compressive failure features of the masonry units strengthened with polypropylene fibres reinforced mortar.*

Tabelul 2

Rezultatele experimentale pentru epruvete consolidate cu mortar în rosturi
The experimental results for the samples with the horizontal joints re-pointed with improved mortar

Soluția de consolidare a rosturilor orizontale <i>The strengthening solution of the horizontal joints</i>		Rezistența medie la rupere/ <i>The average fracture strength</i> [N/mm ²]	Modulul de elasticitate mediu/ <i>The average</i> <i>elasticity modulus</i> [N/mm ²]
m	Epruvete martor/ <i>Control samples</i>	0.258	38.7
d.	Rosturi consolidate cu mortar de ciment cu adaos de cauciuc (tip FlexCement)/ <i>The strengthened joints with cement mortar improved with FlexCement</i>	0.290	61.6
e.	Rosturi consolidate cu mortar de ciment armat cu fibre polipropilenice (EdiFiber3) disperse/ <i>The strengthened joints with cement mortar reinforced with disperse polypropylene fibres (EdiFiber3)</i>	0.358	81.5

Curbele tensiune – deformație specifică, cu valorii medii, pentru probele consolidate și încercate la compresiune până la rupere sunt prezentate în figura 12.

The samples with the horizontal joints strengthened by re-pointing with Flexcement improved mortar (d) have shown significantly higher strains compared to those of the control

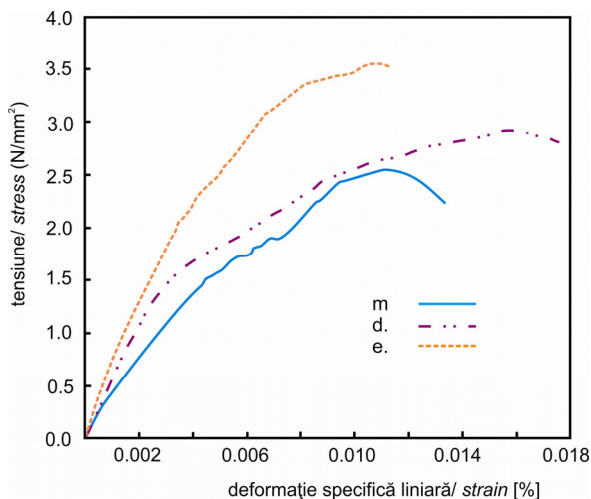


Fig. 12 - Curbele tensiune – deformație specifică pentru epruvetele consolidate în rosturile orizontale cu mortare îmbunătățite, solicitate la compresiune (pentru notații vezi tabelul 2)/ The stress-strain curves of the specimens with the horizontal joints strengthened with improved mortar, subjected to compression (for notations see Table 2).

7. Concluzii

Consolidarea în rosturi orizontale a zidărilor din corpuri ceramice reprezintă un procedeu prin care se îmbunătățește siguranța în exploatarea a construcțiilor vechi, fără intervenții majore, asigurându-se și reversibilitatea.

Tehnologia de consolidare a rosturilor orizontale prin armare cu corzi din fibre sau cu mortare aditivă nu necesită o manoperă pretențioasă și calificare deosebită.

Utilizarea corzilor sau a mortarelor de diferite tipuri, dispuse în rosturile zidăriei, asigură în primul rând o creștere a modulului de elasticitate, deci o mai bună comportare la acțiunile curente, pe lângă faptul că protejează mortarul existent la acțiunea intemperțiilor.

Deformația specifică ultimă a zidărilor consolidate a crescut, exceptând cazul în care s-au utilizat corzile din fibre de sticlă, la care s-a constatat un mod de cedare neconvenabil, prin expulzarea stratului consolidat. Totuși, în acest caz s-a obținut și cel mai mare modul de elasticitate, ceea ce înseamnă o creștere semnificativă a rigidității zidăriei la solicitarea de compresiune.

În cazul corzilor metalice deformația ultimă crește nesemnificativ în raport cu cea a probei martor. Cele mai spectaculoase creșteri ale deformațiilor ultime au fost înregistrate în cazul rostuirii cu mortare de ciment cu adaos de cauciuc (tip FlexCement). Acest lucru poate fi asociat cu o creștere a ductilității, deci implicit cu creșterea capacității de disipare a energiei în cazul unei acțiuni seismice.

Adaosul de fibre polipropilenice în rosturile zidăriei conduce la o creștere a rezistențelor ultime în detrimentul deformațiilor specifice ultime.

Utilizarea în rosturi numai a mortarelor

samples (m). These differences are caused by the addition of rubber to the cement composition, used in the re-pointing mortar mix; thus, its behaviour was similar to that of the clay mortar from the control samples, figure 10. This statement is confirmed when considering that there were no detachments of the strengthened zones, and the occurred cracks developed uniformly within the masonry mass, also increasing the stiffness of these samples.

An important increase of the ultimate strength accompanied by a reduction of the ultimate strain has been noticed for the samples strengthened by re-pointing the horizontal joints with mortar reinforced with dispersed polypropylene fibres EdiFiber3 (e). As in the previous case, the structural behaviour of the strengthened masonry samples, subjected to compression, is convenient regarding the preserving of the assemble integrity with no detachments of the strengthened zones, Figure 11.

The experimental results from testing of these strengthened samples are summarized in Table 2 and the corresponding stress-strain curves are presented in Figure 12.

The stress-strain curves of the strengthened specimens loaded in compression to the ultimate state, traced with the average are presented in Figure 12.

7. Conclusions

The strengthening of the horizontal joints of the masonry made of ceramic blocks represents a viable procedure to increase the reliability of old construction without major interventions, also ensuring its reversibility.

The strengthening technology of the horizontal joints reinforced with fibre chords or their re-pointing with improved mortars does not require skilful labour force.

The utilization of fibre chords or improved mortars of different types within the horizontal masonry joints provides an increased elasticity modulus, ensuring a better behaviour during life service, in addition to the protection of the existing mortar to weathering.

The ultimate strain of the strengthened masonry samples increased, except for the case where the glass fibre chords have been used; an inconvenient failure occurred, materialized by the dislodging of the strengthened layer. However, In this case, the highest elasticity modulus has been recorded, which revealed a significant increase of the masonry compressive stiffness.

When the steel fibre chords have been used, the ultimate strain has increased insignificantly compared to the one of the control sample. The most substantial increases of the ultimate strains have been recorded when the

aditivat conduce la un mod de cedare asemănător cu cel al probei martor, ceea ce înseamnă că nu se creează zone cu rigiditate mai mare în structura zidăriei.

Păstrarea integrității și creșterea capacității portante a construcțiilor din zidărie din patrimoniul istoric, se poate obține prin introducerea în rosturile orizontale a unor materiale prezentate în lucrare; autorii consideră că aceste soluții pot conduce la o comportare structurală convenabilă.

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 co-finanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

REFERENCES

1. D. Tinazzi, and A. Nanni, Assessment of Technologies of Masonry Retrofitting with FRP, University of Missouri-Rolla, Center For Infrastructure Engineering Studies, 2000.
2. R. Pleșu, G. Țăranu, D. Covatariu, and I.D. Grădinaru, Strengthening and Rehabilitation Conventional Methods for Masonry Construction, The Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Construction. Architecture Section, 2011, Tomme: LVII (LXI), Fascicle: 4, 165.
3. G. Caspar, Developments on Repointing of Salt-Laden Historic Masonry in the Netherlands, Proceedings of CIRRea2012 – International Conference on Rehabilitation of Ancient Masonry Structures, Lisbon, 2012, 5.
4. I. Mohanu, M. Georgescu, D. Mohanu, I. Manolache, and C. Drăgănoiaie, Physical – mechanical and aesthetic characteristics of some mortars based on lime-stone volcanic tuff, Romanian Journal of Materials, 2011, **41**(4), 332.
5. *** ENV 1996-1-1:2009, Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for buildings - Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry, 2009.
6. M. Budescu, et al., Material Testing, vol. 2, chap. 21, Technical Publishing House, Bucharest, 1982.
7. *** ASTM C780-10, Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry, 2010.
8. *** CSA A179-04, CSA (Canadian Standards Association), Mortar and Grout for Unit Masonry, 2004.
9. *** ASTM C270 – 10, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, 2010.
10. D. Covatariu, I.O. Toma, R. Pleșu, and M. Budescu, A Study on Mortar Adherence to Masonry Pieces In Case of Historical Buildings, In ICEUBI2011 - International Conference on Engineering UBI 2011 – „Innovation and Development”, Covilha, Portugal paper: CT7-14, 2011.
11. 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.
12. *** Technical Sheet MapewrapG
<http://www.mapei.com/AE-EN/product-detail.asp?IDMacroLinea=0&IDProdotto=1032&IDTipo=5732&IDLinea=135>
13. *** Technical Sheet MapewrapC
<http://www.mapei.com/IT-IT/product-detail.asp?IDProdotto=1011&IDTipo=4478&IDLinea=135>
14. *** Technical Sheet MapewrapS
<http://www.mapei.com/it-en/product-detail.asp?IDMacroLinea=0&IDProdotto=2028300112&IDTipo=4473&IDLinea=135>
15. *** Technical Sheet MapewrapS
<http://www.compaktuna.be/library/Productfiches%20ENG/flexement.ENG.pdf?1337156990>
16. *** Technical Sheet Edifiber3
<http://www.edilcom.ro/useful.php?obj=download&filePath=prod/prod-39-ro.pdf&dname=edifiber-3-fibri>

ERATĂ / ERRATA

La articolul REȚINEREA IONILOR TOXICI DE Pb²⁺ DIN SOLUȚII APOASE PE GRANULE POROASE DE HIDROXIAPATITĂ / REMOVAL OF Pb²⁺ TOXIC IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS ON POROUS HYDROXYAPATITE GRANULES, apărut în numărul 2/2013, autorii sunt următorii: ALINA MELINESCU, CRISTU ȚÂRDEI, CLAUDIA MARIA SIMONESCU, VIRGIL MARINESCU, ANGELICA MICLEA.