

## Ενίσχυση Άοπλης Φέρουσας Τοιχοποιίας με Εξωτερικό Οπλισμό FRP ή TRM

**Αθανασία Κ. Θώμογλου**

*Υποψήφια Διδάκτωρ Δ.Π.Θ., email: athanasia\_thomoglou@yahoo.gr*

**Θεόδωρος Χ. Ρουσάκης**

*Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ., email: trousak@civil.duth.gr*

**Αθανάσιος Ι. Καραμπίνης**

*Καθηγητής Δ.Π.Θ., email: karabin@civil.duth.gr*

### Εκτενής περίληψη

Οι κατασκευές από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό μέρος των ιστορικών κατασκευών σε όλο τον κόσμο και ιδίως στον ελλαδικό χώρο. Πρόσφατοι σεισμοί υποδεικνύουν την αναγκαιότητα για την ενίσχυσή τους. Αυτού του είδους οι κατασκευές έχουν αποδείξει ότι έχουν χαμηλή διατμητική αντοχή και είναι επιρρεπείς σε ψαθυρή αστοχία όταν υποβάλλονται σε φορτία εντός επιπέδου (κυρίως σεισμικά). Η ενίσχυσή τους πραγματοποιείται εσωτερικά και εξωτερικά με σύγχρονες τεχνικές όπως η τοποθέτηση ράβδων σιδήρου και χάλυβα στις κοιλότητες, αρμολόγηση, προένταση με τένοντες χάλυβα, ραφές, ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) ή με ινοπλέγματα μέσα σε μανδύα κονιάματος τσιμεντοειδούς βάσης (TRM ή FRCM) για την αύξηση της διατμητικής αντοχής και της ικανότητας παραμόρφωσης.

Η ταχεία ανάπτυξη του οπλισμού FRP οφείλεται στην αποτελεσματικότητά του, το μικρό βάρος, την ευκολία εφαρμογής και τη διαθεσιμότητα σε διάφορες μορφές όπως ελάσματα, φύλλα, πλέγματα, και ράβδους και τύπους ινών όπως: ίνες γυαλιού, άνθρακα, βασάλτη, αραμιδίου και χάλυβα μεταξύ άλλων. Οι πειραματικές μελέτες ενίσχυσης κυρίως με ινοπλισμένα πολυμερή FRP περιλαμβάνουν ανθρακονήματα (Proto et al. 2008, Petersen et al. 2010, Dizhur A. et al. 2013, Gattulli et al. 2014, Martinelli et al. 2016) ή υαλονήματα (Valluzzi et al. 2002, Corradi et al. 2003, Marcari et al. 2007).

Από την άλλη πλευρά, η εξωτερική ενίσχυση με (TRM ή FRCM) έχει αναδειχθεί ως μία εναλλακτική τεχνική εξωτερικής ενίσχυσης. Η εξωτερική ενίσχυση με ινοπλέγματα μέσα σε μανδύα κονιάματος τσιμεντοειδούς βάσης TRM συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία υπό διαφορετικούς όρους: FRCM, ινοπλέγματα σε οπλισμένο σκυρόδεμα (TRC), ινοπλέγματα μέσα σε μήτρα τσιμέντου (CMG), ή ινοπλέγματα μέσα σε ανόργανη μήτρα (IMG). Πρώτοι οι Triantafillou et al. (2005), Triantafillou et al. (2006), Papanicolaou et al. (2007), μελέτησαν το είδος αυτό ενίσχυσης και πρότειναν προσομοιώματα σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής της ενισχυμένης τοιχοποιίας. Έπειτα οι Proto et al. (2006), Lignola et al. (2009), Faella et al. (2010), Papanicolaou et al. (2011), Babadeidabarad (2013), Parisi et al. (2013), Tomazevic et al. (2014), Gams et al. (2014), Corradi et al. (2014), Borri et al. (2014), Viscovic et al. (2015), Ferretti et al. (2015), Almeida et al. (2015), χρησιμοποίησαν εξωτερική ενίσχυση με FRCM με σκοπό να μελετήσουν την εντός επιπέδου διατμητική συμπεριφορά της.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στη σύγχρονη κυρίως έρευνα που αφορά την ενίσχυση άοπλης φέρουσας τοιχοποιίας. Σκοπός είναι η διερεύνηση σε βάθος και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε δράσεις κυρίως εντός επιπέδου όσο

και η συγκέντρωση και αξιολόγηση των υφιστάμενων σχέσεων πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει καταρχήν τη δημιουργία ευρείας βάσης πειραματικών αποτελεσμάτων. Περιλαμβάνονται διαφορετικά σύνθετα υλικά ενίσχυσης, το είδος της άοπλης τοιχοποιίας ή των διαφορετικών τύπων τοιχοσωμάτων, η γεωμετρία των υλικών με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες καθώς η διαμόρφωση των ενισχύσεων. Συγκαταλέγονται ενισχύσεις FRP από γυαλί (GFRP), άνθρακα (CFRP), πολυβινυλαλκοόλη (PVAFRP) ή βασάλτη (BFRP), σε μήτρα από τσιμέντο, πολουρεθάνη ή εποξειδική ρητίνη, πάνω σε οπτοπλινθοδομή, τσιμεντοπλινθοδομή, ή λιθοδομή. Οι ενισχύσεις FRP διαμορφώνονται οριζόντια, κατακόρυφα, διαγώνια ή σε πλέγμα οριζόντιων και κατακόρυφων λωρίδων, σε τοιχοποιίες που υποβάλλονται σε δοκιμές διαγώνιας θλίψης ή σε δοκιμές θλίψης-διάτμησης.

Επιπλέον συλλέγονται και αξιολογούνται οι υφιστάμενες σχέσεις πρόβλεψης διατμητικής αντοχής φέρουσας τοιχοποιίας ενισχυμένης με εξωτερικούς οπλισμούς FRP ή TRM (ACI 2013, Triantafillou and Antonopoulos 2000, Triantafillou 1998, CNR-DT 200 R1/2013, Eurocode 6) οι οποίες εμφανίζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους. Βασίζονται στην παραδοχή ότι η συνολική συνεισφορά σε διατμητική ικανότητα είναι το άθροισμα των δύο όρων, της τοιχοποιίας και της εξωτερικής ενίσχυσης, παρόμοια με το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα αποτελέσματα από τη βάση δεδομένων αναλύονται στατιστικά για να εκτιμηθεί η ακρίβεια πρόβλεψης της διατμητικής ικανότητας ενισχυμένων τοιχοποιιών με χρήση των σχέσεων σχεδιασμού. Από την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτουν τα ακριβέστερα προσομοιώματα για τις δυο μεθόδους εξωτερικών αντισεισμικών ενισχύσεων φέρουσας τοιχοποιίας.

## Βιβλιογραφία

- Valluzzi M.R., Tinazzi D., Modena C., Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates, *Construction and Building Materials* (Elsevier), 16:409-416., 2002
- Triantafillou T.C., Papanicolaou C.G. (2005) Textile reinforced mortars (TRM) as strengthening materials for concrete structures. In: Balazs GL, Borosnyoi A (eds) *Proceedings of the fib symposium “Keep Concrete Attractive”*. Budapest, Hungary, May 2005, pp 345–350
- Triantafillou T.C., Papanicolaou C.G., Zissimopoulos P., Laourdekis T., Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets, *ACI Struct J*, 103 (1) (2006), pp. 28–37
- Prota A., Marcari G., Fabbrocino G., Manfredi G., Aldea C., Experimental In-Plane Behavior of Tuff Masonry Strengthened with Cementitious Matrix–Grid Composites. *J. of Comp. for Constr.* ASCE, 10, 3, 223-233, 2006
- Papanicolaou CG, Triantafillou TC, Karlos K, Papathanasiou M. Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading. *Mater Struct*, RILEM 2007;40(10):1081–97.
- ElGawady, M., P. Lestuzzi, M. Badoux, Shear Strength of URM Walls Retrofitted Using FRP, *Engineering Structures*, 28(12), pp. 1658-1670., 2006
- Marcari, G., Manfredi, G., Prota, A., and Pecce, M. 2007\_. “In-plane shear performance of masonry panels strengthened with FRP.” *Composites, Part B*, 38, 887–901.
- Prota A., Manfredi G. and Nardone F., Assessment of Design Formulas for In-Plane FRP Strengthening of Masonry Walls, *ASCE, J. Compos. Constr.* 12:643-649, 2008

- Triantafillou TC. Strengthening of masonry structures using epoxy - bonded FRP laminates. *J Compos Constr ASCE* 1998;2(2):96–104.
- Lignola, G., Prota, A., and Manfredi, G.(2009). “Nonlinear analyses of tuff masonry walls strengthened with cementitious matrix-grid composites.”*J. Compos. Constr.*, 13(4), 243–251.
- Faella C., Martinelli E., Nigro E., Paciello S., Shear capacity of masonry walls externally strengthened by a cement-based composite material: an experimental campaign, *Construction and Building Materials (Elsevier)*, 2010, 24:84-93.
- Petersen RB, Masia MJ, Seracino R. In-plane shear behavior of masonry panels strengthened with NSM FRP strips. II: Finite element model. *J Compos Constr*, 14(6):764–74., 2010
- Triantafillou, T. C. and Antonopoulos, C. P., “Design of concrete flexural members strengthened in shear with FRP”, *J. of Comp. for Constr.*, ASCE, 4(4), 2000, pp. 198-204.
- Papanicolaou C., Triantafillou T., Lekka M., Assessment of Design Formulas for In-Plane FRP Strengthening of Masonry Walls, Elsevier Ltd, *Construction and Building Materials* 25, 504–514, 2011
- Babaeidarabad, S., De Caso, F., and Nanni, A.(2013). "URM Walls Strengthened with Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Composite Subjected to Diagonal Compression." *J. Compos. Constr.*, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000441, 04013045.
- Parisi F., Iovinella I., Balsamo A., Augenti N., Prota A., In-plane behaviour of tuff masonry strengthened with inorganic matrix-grid composites, *Composites: Part B*, 45:1657-1666., 2013
- Dizhur D., Griffith M. and Ingham J., In-Plane Shear Improvement of Unreinforced Masonry Wall Panels Using NSM CFRP Strips, *M.ASCE*, DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000400., American Society of Civil Engineers., *J. Compos. Constr.*, 2013
- Tomažević M., Gams M., Berset T., Seismic strengthening of brick masonry walls with composites: an experimental study, 2014
- Gams M., Kwiecien A., Zajac B., Tomacevic M.: Seismic Strengthening Of Brick Masonry Walls With Flexible Polymer Coating. 9th International Masonry Conference in Guimarães, 2014
- Corradi M., Borri A., Castori G., and Sisti R., “Shear strengthening of wall panels 17 through jacketing with cement mortar reinforced by GFRP grids,” *Compos. Part B 18 Eng.*, vol. 64, pp. 33–42, 2014.
- Gattuli V., Marcari G., Paolone A., Potenza F., Simple modeling approach for the structural retrofitting of FRP-strengthened masonry systems, 9th International Masonry Conference, Guimarães, 2014
- Viskovic A., Zuccarino L., Kwiecień A. and Zajac B., Masonry Panels Composite Reinforcements with Epoxy Matrix, Inorganic Mortar Matrix and PS Polymer Matrix, *Key Engineering Materials* Vol. 624, pp 214-221, Trans Tech Publications, , Institute of Structural Mechanics, (2015)
- Almeida J.A.P.P., Pereira E. B., Barros J. A. O, Assessment of overlay masonry strengthening system under in-plane 1 monotonic and cyclic loading using the diagonal tensile test 2, ISISE, University of Minho, Department of Civil Engineering, School of Engineering, 4 Azurém, 4810-058 Guimarães, Portugal, (2015)
- Martinelli E., Perri F., Sguazzo C., Faella C., Cyclic shear-compression tests on masonry walls strengthened with alternative configurations of CFRP strips, *Bull Earthquake Eng.*, DOI 10.1007/s10518-016-9895-6, 2016