

Βαθμονόμηση αποτελεσματικότητας τεχνικών ενίσχυσης υποστυλωμάτων ωπλισμένου σκυροδέματος αναβαθμισμένων με σύνθετα υλικά

Αλεξάνδρα Ν. Κιζιρίδου

BSc, MEng Civil Engineer, alexkizi92@gmail.com

Δήμητρα Β. Αχιλλοπούλου

Dr, MSc. Civil Engineer, dimiachi@civil.duth.gr

Αθανάσιος Ι. Καραμπίνης

Professor, Dr, Civil Engineer, karabin@civil.duth.gr

Η παρούσα εργασία μελετάει τη βαθμονόμηση της αποτελεσματικότητας τεχνικών ενίσχυσης υποστυλωμάτων από ωπλισμένο σκυρόδεμα με σύνθετα υλικά (CFRPs, GFRPs, TRM's, NSMs). Παρέχει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των αδυναμιών των τεχνικών αυτών. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων που περιέχει ενισχυμένα υποστυλώματα Ω.Σ. με ποικίλες τεχνικές (29 ενισχυμένα με CFRP, 5 ενισχυμένα με GFRP, 4 που περιέχουν NSM και 4 ενισχυμένα με TRM). Τα δοκίμια ορθογωνικής διατομής και κλίμακας 1:1 οπλίστηκαν με λείο ή με νευρώσεις συμβατικό οπλισμό, με ορισμένα από αυτά να περιέχουν ματίσεις. Καταπονήθηκαν υπό οριζόντια ανακυκλιζόμενη φόρτιση με σταθερό αξονικό φορτίο. Η βάση δεδομένων δημιουργήθηκε από εκτεταμένη έρευνα της δημοσιευμένης βιβλιογραφίας (Wu *et al.* 2008, Bournas *et al.* 2009, Sarafaz and Danesh 2010, Realfonzo and Napoli 2009, 2012, Sadone *et al.* 2012). Σχολιάζεται ο τύπος αστοχίας, το επίπεδο επίδοσης κάθε τεχνικής και το επίπεδο αποδοτικότητας όσον αφορά την πλαστιμότητα και τη φέρουσα ικανότητα. Η βαθμονόμηση των τεχνικών ενίσχυσης γίνεται μέσω διαγραμμάτων διασποράς βασισμένων σε τρεις δείκτες: μέγιστης ανηγμένης ροπής (I_{μ}), μέγιστης μετατόπισης (I_{δ}) και μετατόπισης πρώτης αστοχίας (I_{δ}^1).

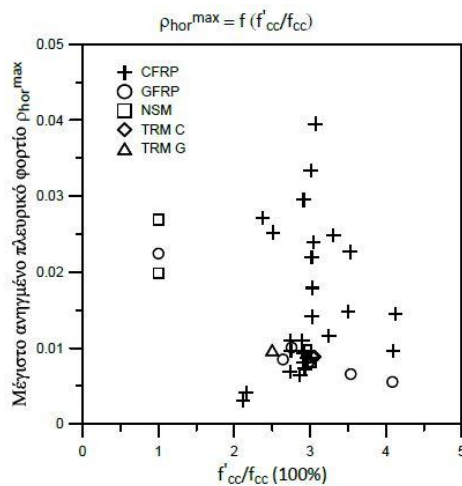
$$I_{\mu} = \frac{\mu_{max}}{\mu_{max,un}} \quad (1)$$

$$I_{\delta} = \frac{\delta_{max}}{\delta_{max,un}} \quad (2)$$

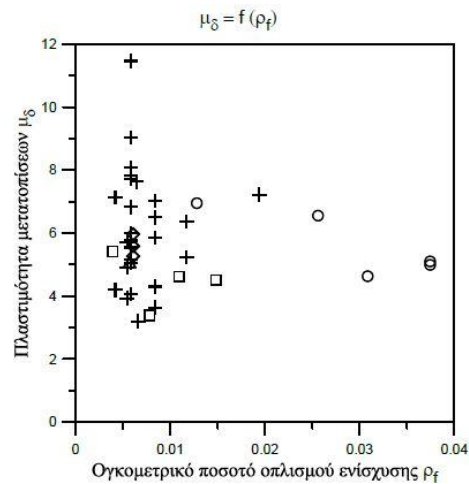
$$I_{\delta}^1 = \frac{\delta_1}{\delta_{1,un}} \quad (3)$$

Επιπλέον, υπολογίζεται η πλαστιμότητα μετατοπίσεων μ_{δ} των υποστυλωμάτων με βάση τρεις κανονισμούς (EN 1998-3 2005, CNR 2004, *fib*-Bulletin No. 56 2010) και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα πειραματικά. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται με στατιστικούς συντελεστές βαθμονόμησης (συντελεστής προσδιορισμού R^2 και συντελεστής κατανομής των σφαλμάτων RMSE).

Επιπλέον, δημιουργήθηκαν διαγράμματα εκτιμητριών όπου παρουσιάζονται οι παρατηρήσεις των τιμών της πλαστιμότητας μ_{δ} για κάθε τύπο αστοχίας και κάθε κανονισμό και η εκτιμήτρια αυτών. Ακόμα, σχεδιάστηκε η ιδανική εκτιμήτρια κλίσης 1:1 με στόχο την σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα των κανονισμών.



Σχ. 1 Συσχέτιση μέγιστου ανηγμένου πλευρικού φορτίου με την % αύξηση της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος



Σχ. 2 Συσχέτιση πλαστιμότητας μετατοπίσεων με το ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού ενίσχυσης

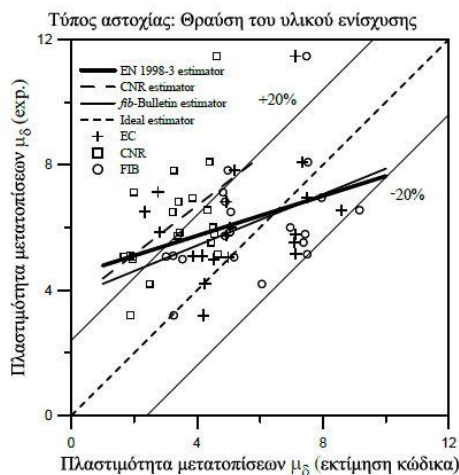
Εξετάζοντας τις διατάξεις των κανονισμών για κάθε τύπο αστοχίας μέσω του συντελεστή R^2 αποδείχτηκε πως για αστοχία λόγω θραύσης του υλικού ενίσχυσης ο CNR έδωσε τα πιο ακριβή αποτελέσματα, μετά ο *fib-Bulletin* και τέλος ο Eurocode EN 1998-3. Αντίστοιχα, για αστοχία λόγω καταστροφής της επικάλυψης ο EN 1998-3 ήταν ο πιο ακριβής, μετά ο CNR και τέλος ο *fib-Bulletin*. Επίσης, οι τιμές του συντελεστή RMSE έδειξαν πως τη μικρότερη κατανομή σφαλμάτων την ανέπτυξε ο *fib-Bulletin*. Ακόμα, παρατηρείται πως οι διατάξεις των κανονισμών δε λαμβάνουν υπόψη την ύπαρξη NSM, ελασμάτων (laminates) και μεταλλικών διατομών στη βάση των υποστυλωμάτων. Συγκεντρωτικά, ο περισσότερο συντηρητικός κανονισμός αποδείχτηκε ο CNR και ο λιγότερο ο *fib-Bulletin*.

Πρέπει να σημειωθεί πως οι κανονισμοί δεν παρέχουν συστάσεις σχετικά με την καταλληλότερη τεχνική για την εκάστοτε επιθυμητή ενίσχυση. Επιπλέον, δεν υπάρχουν κανονισμοί και διατάξεις που να συνδέουν τον τύπο αστοχίας με το επίπεδο επιτελεστικότητας και τη μέθοδο ενίσχυσης.

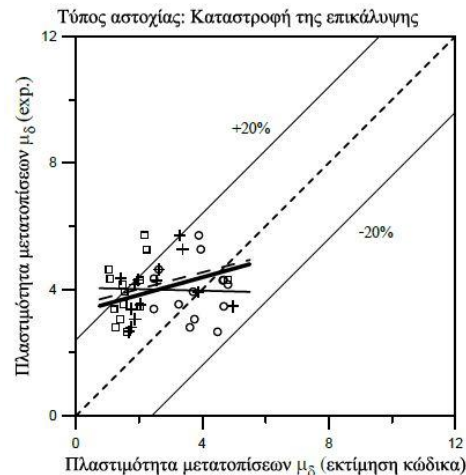
Από τα διαγράμματα διασπορών φαίνεται πως σε κάθε σύστημα ενίσχυσης, η δυστενία του σύνθετου υλικού αποδείχτηκε πως αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα όσον αφορά την αποδοτικότητα του ενισχυμένου στοιχείου.

Ακόμα, από την επεξεργασία της βάσης δεδομένων συμπεραίνεται ότι η επίδραση της περίσφιξης ήταν σημαντική στην απόκριση των ενισχυμένων υποστυλωμάτων Ω.Σ. υπό σεισμική φόρτιση σχετικά με την αντοχή, την πλαστιμότητα και την ικανότητα παραλαβής φορτίου και παραμόρφωσης, όπως διαπιστώθηκε και σε προηγούμενες έρευνες. Το νέο στοιχείο που μελετήθηκε ήταν η αστοχία του κάθε συστήματος ενίσχυσης ανάλογα με το επίπεδο επιτελεστικότητας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συμβατικός οπλισμός δεν έχει σημαντική συμβολή στη συνολική απόκριση του ενισχυμένου στοιχείου. Ωστόσο, σε περιπτώσεις ύπαρξης ματίσεων, φαίνεται ότι μπορούν να δράσουν ως πρόσθετη παράμετρος για να αυξηθεί η ικανότητα μετατόπισης σε συνδυασμό με ένα κατάλληλο ύφασμα FRP.



Σχ. 3 Διάγραμμα εκτιμητριών για αστοχία λόγω θραύσης του υλικού ενίσχυσης



Σχ. 4 Διάγραμμα εκτιμητριών για αστοχία λόγω καταστροφής της επικάλυψης

Βιβλιογραφία

- Bournas, D., Triantafyllou, T., Zygouris, K. and Stavropoulos, F. (2009), "Textile-reinforced mortar versus FRP jacketing in seismic retrofitting of RC columns with continuous or lap-spliced deformed bars", *Journal of Composites for Construction*, Vol. 13, No. 5, pp. 360-371.
- CNR. (2004), "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures (materials, RC and PC structures, masonry structures)", CNR-DT 200/2004, Italian National Research Council, Advisory Committee on Technical Recommendations for Constructions; Rome, Italy.
- EN 1998-3 (2005), "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of Buildings", European Committee for Standardization; Brussels, Belgium.
- fib-Bulletin No. 56 (2010), "Model Code 2010 - First complete draft, Volume 2", International Federation for Structural Concrete; Lausanne, Switzerland.
- Realfonzo, R. and Napoli, A. (2009), "Cyclic behavior of RC columns strengthened by FRP and steel devices", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 135, No. 10, pp. 1164-1176.
- Realfonzo, R. and Napoli, A. (2012), "Results from cyclic tests on high aspect ratio RC columns strengthened with FRP systems", *Construction and Building Materials*, Vol. 37, pp. 606-620.
- Sadone, R., Quiertant, M., Mercier, J. and Ferrier, E. (2012), "Experimental study on RC columns retrofitted by FRP and subjected to seismic loading", Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE), Rome, Italy.
- Sarafraz, M. and Danesh, F. (2010), "Experimental study on flexural strengthening of RC columns with near surface mounted FRP bars", *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, Vol. 12, No. 1-2.
- Wu, Y., Liu, T. and Wang, L. (2008), "Experimental investigation on seismic retrofitting of square RC columns by carbon FRP sheet confinement combined with transverse short glass FRP bars in bored holes", *Journal of Composites for Construction*, Vol. 12, No. 1, pp. 53-60.