

Αύξηση πλαστιμότητας δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με εξωτερική περίσφιγξη

Σωτηρία Ν. Αθανασοπούλου

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός, MSc, sotiria90@gmail.com

Στέφανος Η. Δρίτσος

Καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, dritsos@upatras.gr

Εκτενής περίληψη

Ένα σημαντικά μεγάλο μέρος των παλαιών υφιστάμενων κτιρίων είναι κατασκευασμένο με βάση παλαιούς αντισεισμικούς κανονισμούς (ή ακόμη και απουσία κανονισμού), όπου δεν περιλαμβάνονται η τεχνογνωσία, η τεχνοτροπία και οι μέθοδοι σχεδιασμού που υιοθετούν οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί για τα νέα κτίρια. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα στα παλαιά κτίρια να εντοπίζονται ορισμένες αδυναμίες ειδικά κατά την απόκρισή τους υπό σεισμικές δράσεις. Μία από τις συνηθέστερες και σημαντικότερες αδυναμίες είναι η έλλειψη πλαστιμότητας στα υφιστάμενα μέλη της κατασκευής με κυριότερα τα υποστυλώματα. Για την αποκατάσταση αυτού του σύνθητος προβλήματος, οι κανονισμοί έχουν συμπεριλάβει ειδικές διατάξεις, ενώ υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ενίσχυσης. Μία αποτελεσματική μέθοδος ενίσχυσης (ευρέως διαδεδομένη στο χώρο των ενισχύσεων τα τελευταία χρόνια) είναι η εξωτερική περίσφιγξη με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή ή Fiber Reinforced Polymers, FRP) υπό τη μορφή μανδύων. Στη βιβλιογραφία, υπάρχει πλήθος διαθέσιμων προσομοιωμάτων για τη συσχέτιση της επιτυγχανόμενης πλαστιμότητας με την απαιτούμενη ποσότητα του υλικού περίσφιγξης (FRP). Ορισμένα από αυτά έχουν υιοθετηθεί από κανονισμούς όπως, ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ.) και ο Ευρωκώδικας (EN1998-3), που είναι οι δύο διαθέσιμοι κανονισμοί τη παρούσα χρονική περίοδο στον Ελλαδικό χώρο (με παράλληλη εφαρμογή). Ένα θέμα, λοιπόν που τίθεται είναι ποία η διαφορά των προσομοιωμάτων των κανονισμών και πότε αυτά συγκλίνουν ή αποκλίνουν μεταξύ τους.

Το θέμα αυτό αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας η οποία περιλαμβάνει τη παρουσίαση και τη σύγκριση των προσομοιωμάτων των κανονισμών, ΚΑΝ.ΕΠΕ. και Ευρωκώδικα, για την αύξηση της τοπικής πλαστιμότητας υφιστάμενων μελών. Μέσω της σύγκρισης αυτής επιδιώκεται, να εντοπιστούν ασάφειες και αδυναμίες των προσομοιωμάτων αλλά και να βελτιωθούν τα προσομοιώματα (όπου απαιτείται), μέσω διόρθωσης ή οριοθέτησης τους. Προς το σκοπό αυτό αυτά δεν συγκρίνονται μόνο μεταξύ τους αλλά και με αναλυτικότερες λύσεις, όπως αυτές προκύπτουν χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, προγράμματα ανάλυσης διατομής.

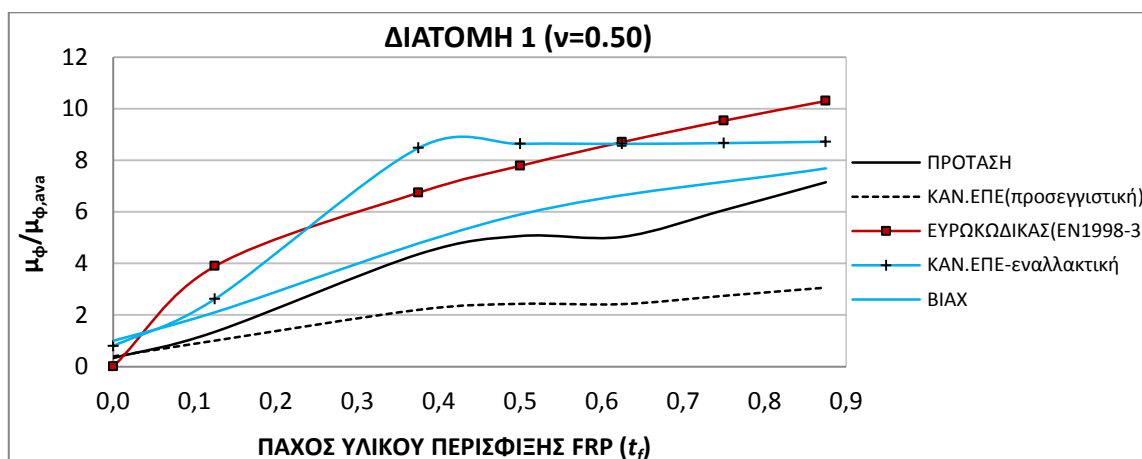
Αρχικά στην εργασία, προσδιορίζεται η διαθέσιμη πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων, μέσω κλειστών σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και συγκρίνονται με τα αναλυτικά αποτελέσματα από τα πλήρη διαγράμματα ροπών-καμπυλοτήτων, M-φ, που προκύπτουν από τα προγράμματα ανάλυσης διατομής, BIAX και XTRACT. Σημειώνεται βέβαια, ότι με βάσει τις κλειστές σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., η πλαστιμότητα προσδιορίζεται ως ο λόγος της καμπυλότητας στην αστοχία προς την καμπυλότητα στη διαρροή. Για τη μεν, καμπυλότητα στη διαρροή, περιλαμβάνονται ήδη στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 οι κλειστές σχέσεις προσδιορισμού της. Για τη δε, καμπυλότητα στην αστοχία οι κλειστές σχέσεις προσδιορισμού της δεν περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 αλλά θα περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2016.

Στη συνέχεια, γίνεται προσδιορισμός της πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων που αποκτά το στοιχείο που ενισχύεται μέσω περίσφιξης με σύνθετα υλικά. Για την πλαστιμότητα αυτή, χρησιμοποιούνται τα βασικά προσομοιώματα των κανονισμών, ενός προσεγγιστικού κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και του προσομοιώματος του Ευρωκώδικα. Σημειώνεται βέβαια πως μέσω μίας θεωρητικής απόδειξης του προσομοιώματος του ΚΑΝ.ΕΠΕ. προκύπτει μία ανανεωμένη έκφραση αυτού η ισχύς της οποίας ελέγχεται μεταξύ άλλων μέσω των συνολικών συγκρίσεων. Τα αποτελέσματα αυτών συγκρίνονται μεταξύ τους αλλά και με αποτελέσματα που προκύπτουν από πιο αναλυτικούς τρόπους, μέσω κλειστών σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ως μία εναλλακτική λύση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και μέσω διαγραμμάτων ροπών-καμπυλοτήτων, $M-\varphi$, από ανάλυση διατομής με χρήση του ΒΙΑΧ. Τα δύο τελευταία προσομοιώματα χρησιμοποιούνται αφού προσαρμοστούν κατάλληλα ώστε να περιλαμβάνουν την περίπτωση περίσφιξης με FRP.

Τέλος πραγματοποιείται μία παραμετρική αξιολογική ανάλυση μέσω της οποίας ελέγχεται η ισχύς και η επιρροή των αποτελεσμάτων των συγκρίσεων από ορισμένες σημαντικές παραμέτρους, όπως ο τύπος (ινών) του υλικού περίσφιξης, το πλήθος των στρώσεων του FRP, το αξονικό φορτίο και τις διαστάσεις της διατομής.

Για την σύγκριση αποτελεσμάτων, η εργασία περιλαμβάνει αναλυτική εφαρμογή των προσομοιωμάτων των κανονισμών για δύο ενδεικτικές διατομές υφιστάμενων υποστυλωμάτων. Οι Διατομές που χρησιμοποιούνται είναι τετραγωνικές (μία μικρότερων και μία μεγαλύτερων διαστάσεων) οπλισμένες ομοιόμορφα στις πλευρές τους. Ως υλικό περίσφιξης επιλέγεται αρχικά μανδύας FRP από ίνες άνθρακα (CFRP) και στη συνέχεια μανδύας από ίνες γυαλιού (GFRP). Η εφαρμογή πραγματοποιείται για διάφορες τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν , και του πάχους του υλικού περίσφιξης, t_f .

Παρακάτω παρατίθεται διάγραμμα σύγκρισης των προσομοιωμάτων για τις τιμές της επιτυγχάνομενης πλαστιμότητας (κανονικοποιημένης ως προς τη διαθέσιμη), όπως αυτό ενδεικτικά προκύπτει για μία από τις δύο διατομές (Διατομή 1) με ανηγμένο αξονικό φορτίο ίσο με 0.5. Στο διάγραμμα αυτό η πλαστιμότητα παρουσιάζεται συναρτήσει του πάχους του μανδύα CFRP (για πλήθος στρώσεων από 1 έως 7 με πάχος μοναδιαίας στρώσης ίσο με 0.125mm)



Σχ. 1 Συγκριτικό Διάγραμμα των προσομοιωμάτων των κανονισμών

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα αλλά και από το σύνολο της εργασίας, η προσεγγιστική σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι, εν γένει, πιο συντηρητική από του Ευρωκώδικα, δίνοντας αρκετά χαμηλά αλλά και διαφορετικά αποτελέσματα από όλα τα υπόλοιπα προσομοιώματα που χρησιμοποιούνται. Η απόδοση της εν λόγω σχέσης βελτιώνεται και αποκρίνεται καλύτερα όταν

χρησιμοποιηθεί στην ανανεωμένη μορφή, που προτείνεται μέσω της εργασίας αυτής, για τη περίπτωση περίσφιξης με σύνθετα υλικά. Παρόλα αυτά και η νέα καμπύλη (όπως φαίνεται στο σχήμα 1) συνεχίζει να έχει διαφορετική μορφή από τις υπόλοιπες καμπύλες οι οποίες έχουν τα κοίλα προς τα κάτω, όπως είναι και λογικό καθώς αυτό σημαίνει πως με μία μικρή αύξηση της ποσότητας το υλικού περίσφιξης δεν αυξάνεται υπερβολικά η τιμή της επιτυγχανόμενης πλαστιμότητας. Από το ίδιο σχήμα φαίνεται ότι η εναλλακτική λύση (μέσω κλειστών σχέσεων) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. αντιλαμβάνεται το γεγονός ότι δεν μπορεί η πλαστιμότητα να αυξάνει ες αεί, όσο κι αν αυξάνει η περίσφιξη, οπότε και η καμπύλη του προσομοιώματος αυτού οριζοντιώνεται μετά το πέρας ενός ποσοστού περίσφιξης.

Επιπλέον, από το σύνολο της εργασίας, διαπιστώνεται πως η σχέση του Ευρωκώδικα δεν επηρεάζεται καθόλου από τον οπλισμό της διατομής και το αξονικό φορτίο εν αντιθέσει με τη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. που επηρεάζεται έντονα από αυτό, ενώ ελάχιστη είναι η επιρροή από τις διαστάσεις της διατομής. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και για τη περίπτωση περίσφιξης με GFRP με τη μόνη διαφορά ότι οι σχέσεις, ΚΑΝ.ΕΠΕ. (προσεγγιστική) και η νέα Πρόταση, επηρεάζονται πιο έντονα από τις υπόλοιπες δίνοντας αρκετά υψηλότερες τιμές από αυτές που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα 1. Τα μοντέλα των κανονισμών, εν γένει, συγκλίνουν για χαμηλά αξονικά φορτία, ν , καθώς όσο το ν αυξάνει (π.χ. για $\nu=0.75$) η προσεγγιστική σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. διαφοροποιείται από τα άλλα προσομοιωμάτων δίνοντας αισθητά μικρότερες τιμές από όλα τα υπόλοιπα.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μέσω της εργασίας αυτής, επιβεβαιώνεται η αξιοπιστία των κλειστών τύπων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τη διαθέσιμη πλαστιμότητα. Διαπιστώνεται δηλαδή ότι οι τύποι αυτοί δίνουν αποτελέσματα πολύ κοντά στα αναλυτικά αποτελέσματα των προγραμμάτων ανάλυσης διατομής, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν (με κάποιες μικρές προσαρμογές) για το προσδιορισμό της πλαστιμότητας μελών μετά από ενίσχυση με περίσφιξη με FRP.

Βιβλιογραφία

- ΟΑΣΠ (2013), “ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013, Κανονισμός Επεμβάσεων”, ΦΕΚ 2187/Β/05-09-2013
“ΚΑΝ.ΕΠΕ - Σχέδιο 2016”, (υπό διαμόρφωση)
- CEN (2005), “Ευρωκώδικας 8. Αντισεισμικός Σχεδιασμός - Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων (EN1998-3)”, Αθήνα.
- CEN (2004), “Ευρωκώδικας 2. Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια (EN1992-1-1)”, Αθήνα.
- Michael N. Fardis (2009), “Seismic design, assessment and retrofitting of Concrete Buildings, based on EN-Eurocode8”, *Springer*, 2009.
- Michael N. Fardis, Eduardo Carvalho, Amr Elnashai, Ezio Faccioli, Paolo Pinto and Andre Plumier (2005) “Designers’ Guide to EN 1998-1 and EN 1998-5, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. General rules, seismic actions, design rules for buildings, foundations and retaining structures”, *Thomas Telford*, 2005
- federation international du beton (2010), “fib Model Code for Concrete Structures 2010”, Lausanne, 2010.
- Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου (2006), «Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά», *Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Π+ολιτικών Μηχανικών*, Πάτρα, 2006.
- Στέφανος Η. Δρίτσος (2005), “Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα”, γ’ αναθεωρημένη έκδοση, *ISBN 9609150500*, Πάτρα, 2005.
- Μ. Γ. Σφακιανάκης (2015), “Πρόγραμμα ΒΙΑΧ-οδηγίες χρήσης”, Πάτρα, 2015.