

Επιρροή Συστολής Ξήρανσης στην Σεισμική Συμπεριφορά Υποστυλωμάτων Ενισχυμένων με Μανδύες και Πρόσθετες Στρώσεις από Οπλισμένο Σκυρόδεμα Influence of Shrinkage on the Seismic Behaviour of Columns Strengthened with RC Jackets and Additional Layers

Ανδρέας ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ¹, Στέφανος ΔΡΙΤΣΟΣ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η τεχνική ενίσχυσης υποστυλωμάτων με χρήση περιμετρικού μανδύα αλλά και μονόπλευρης στρώσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρά το γεγονός ότι οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως για την ενίσχυση υποστυλωμάτων και δοκών υφισταμένων κατασκευών, υπάρχουν αρκετές δυσκολίες σχετικά με την προσομοίωση τους καθώς τα ενισχυμένα στοιχεία είναι σύνθετα στοιχεία. Στην παρούσα διερεύνηση πραγματοποιούνται αναλύσεις με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ATENA το οποίο δίνει την δυνατότητα διερεύνησης της συμπεριφοράς ενισχυμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς διαθέτει ειδικά στοιχεία για την προσομοίωση της διεπιφάνειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Η επίδραση της συστολής ξήρανσης και της τιμής του αξονικού φορτίου στην συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων είναι οι παράμετροι που εξετάζονται και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά που προκύπτουν για τα αντίστοιχα μονολιθικά στοιχεία. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται φαίνεται ότι η συστολή ξήρανσης και το αξονικό φορτίο επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά των ενισχυμένων υποστυλωμάτων.

ABSTRACT : In this study, the technique of strengthening existing columns using reinforced concrete jackets or additional layers has been examined. This is a fairly common technique used to strengthen existing columns and beams. However, there are a lot of difficulties in the simulation of these elements because they are composite elements. In this investigation, finite element program ATENA has been used for the analyses of the strengthened columns using special contact elements between the old and the new concrete. The effect of shrinkage and the effect of the value of the axial load on the behaviour of the strengthened specimens are the parameters that have been examined and results are compared to results calculated for respective monolithic specimens. According to these results, it was found that shrinkage and the value of the axial load have a serious effect on the behaviour of the strengthened columns.

¹ Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, email: andlamp@upatras.gr

² Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, email: dritsos@upatras.gr

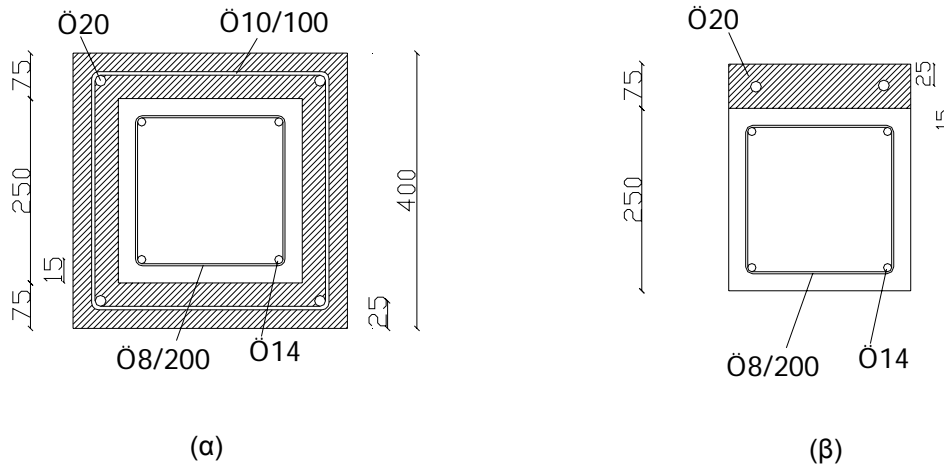
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε χώρες με μεγάλη σεισμικότητα όπως η Ελλάδα έντονη είναι η ανάγκη ενίσχυσης των υφισταμένων κτιρίων είτε λόγω των βλαβών που έχουν υποστεί είτε λόγω των αυξημένων απαιτήσεων των νέων αντισεισμικών κανονισμών. Μια συνηθισμένη τεχνική που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων είναι η προσθήκη περιμετρικού μανδύα ή μονόπλευρης στρώσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η επίδραση που έχουν παράμετροι όπως το αξονικό φορτίο και η συστολή ξήρανσης στην συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων εξετάζονται στην παρούσα διερεύνηση χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Όπως έχει προκύψει από συγκρίσεις αναλυτικών και πειραματικών αποτελεσμάτων, το πρόγραμμα ATENA που επιλέγεται για τις αναλύσεις μπορεί να προβλέψει (μετά από κατάλληλες παραδοχές) αξιόπιστα την συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα ακόμα και μετά το μέγιστο της καμπύλης δύναμης-μετατόπισης (Lamprououlos and Dritsos, 2007). Η διεπιφάνεια μεταξύ του παλαιού και του νέου σκυροδέματος προσομοιώνεται με ειδικά επίπεδα στοιχεία επαφής. Επιπλέον στην περίπτωση που εξετάζεται η τεχνική της ενίσχυσης με μονόπλευρη στρώση από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, χρησιμοποιούνται και αναρτήρες μεταξύ του παλαιού και του νέου οπλισμού. Τόσο στην περίπτωση ενίσχυσης με περιμετρικό μανδύα όσο και στην περίπτωση ενίσχυσης με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος, το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης του νέου στοιχείου προσομοιώνεται με μια επιβαλλόμενη θλιπτική παραμόρφωση. Παραμετρικές αναλύσεις πραγματοποιούνται για διαφορετικές τιμές του αξονικού φορτίου, το οποίο θεωρείται ότι επιβάλλεται στο ενισχυμένο υποστυλώμα, ενώ εξετάζονται και τα αντίστοιχα μονολιθικά στοιχεία. Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν υπολογίζονται οι συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής για το μέγιστο φορτίο της καμπύλης δύναμης μετατόπισης, οι οποίοι εκφράζουν τον λόγο της αντοχής του ενισχυμένου στοιχείου προς την αντοχή του αντίστοιχου μονολιθικού. Από τα εξαγόμενα αποτελέσματα φαίνεται ότι τόσο η συστολή ξήρανσης όσο και η τιμή του αξονικού φορτίου επηρεάζουν σημαντικά την συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

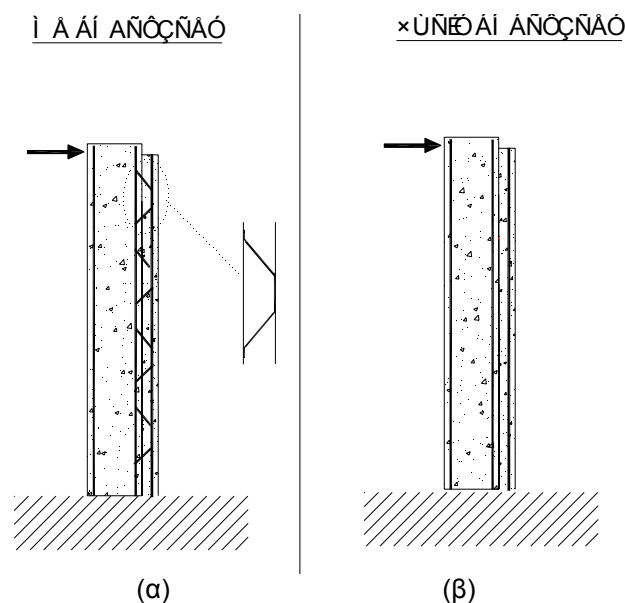
Στην παρούσα διερεύνηση εξετάζεται ένα υποστυλώμα ορθογωνικής διατομής το οποίο ενισχύεται με περιμετρικό μανδύα (σχήμα 1α) αλλά και με μονόπλευρη στρώση σκυροδέματος (Σχήμα 1β). Η διατομή του αρχικού υποστυλώματος είναι 250X250 mm και το ύψος του 1600 mm. Ο διαμήκης οπλισμός είναι 4 ράβδοι με διάμετρο 14mm και κατηγορία χάλυβα S220 ενώ υπάρχουν και συνδετήρες με διάμετρο 8 mm και κατηγορία χάλυβα S220 τοποθετημένοι ανά 200mm. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται περιμετρικός μανδύας για την ενίσχυση του υποστυλώματος, το πάχος του μανδύα είναι ίσο με 75 mm και υπάρχει διαμήκης οπλισμός αποτελούμενος από 4 ράβδους με διάμετρο 20 mm και κατηγορία χάλυβα S500, ενώ υπάρχουν και συνδετήρες με διάμετρο 10 mm και κατηγορία χάλυβα S500 οι οποίοι τοποθετούνται καθ' ύψος του υποστυλώματος ανά 100 mm απόσταση. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης από οπλισμένο σκυρόδεμα στην θλιβόμενη παρειά του υποστυλώματος, το πάχος της στρώσης είναι ίσο με 75 mm και υπάρχει οπλισμός διαμήκης αποτελούμενος από δύο ράβδους με διάμετρο 20 mm και κατηγορία χάλυβα S500. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του αρχικού υποστυλώματος θεωρείται ίση με 20 MPa ενώ η αντίστοιχη τιμή του σκυροδέματος του μανδύα είναι ίση με 30

MPa. Το ύψος του μανδύα και της μονόπλευρης στρώσης ενίσχυσης είναι ίσο με 1550mm. Το υποστύλωμα και ο μανδύας ή η στρώση είναι πακτωμένα στην βάση τους. Στην επιφάνεια του αρχικού υποστυλώματος θεωρείται ότι έχει πραγματοποιηθεί εκτράχυνση της επιφάνειας πριν από την κατασκευή του νέου σκυροδέματος.



Σχήμα 1. Διατομή ενισχυμένου υποστυλώματος (α) με περιμετρικό μανδύα και (β) με μονόπλευρη στρώση οπλισμένου σκυροδέματος.

Για την περίπτωση που η τεχνική ενίσχυσης που εξετάζεται είναι η χρήση μονόπλευρης στρώσης ενίσχυσης, εκτός από την εκτράχυνση της διεπιφάνειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος εξετάζεται και η χρήση 4 αναρτήρων με διάμετρο 10 mm και κατηγορία χάλυβα S220, που συνδέουν το κάθε ένα από τους νέους οπλισμούς με τους παλαιούς. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το ενισχυμένο υποστύλωμα με μονόπλευρη στρώση με και χωρίς αναρτήρες (Σχήμα 2).



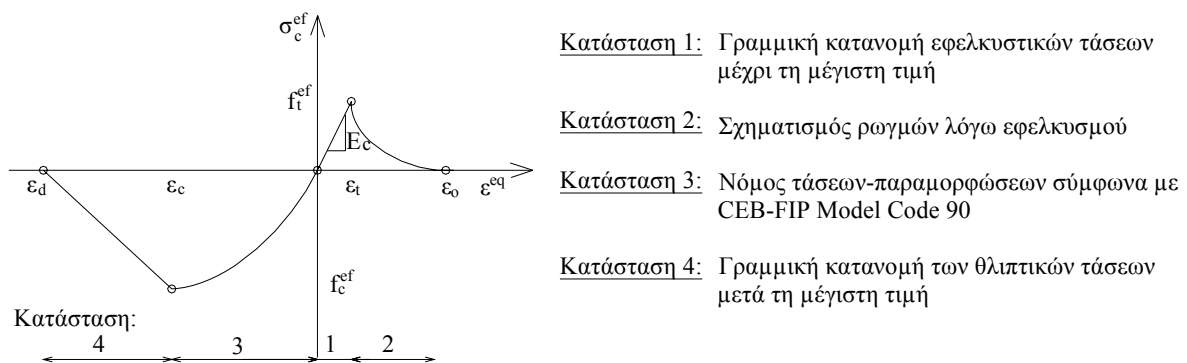
Σχήμα 2. Παρουσίαση ενισχυμένου υποστυλώματος με μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης, (α) με και (β) χωρίς αναρτήρες μεταξύ παλαιού και νέου οπλισμού.

Για κάθε ένα από τα ενισχυμένα δοκίμια που εξετάζονται, έχει πραγματοποιηθεί και μια αντίστοιχη διερεύνηση για την περίπτωση που το παλαιό και το νέο σκυρόδεμα είναι πλήρως συνδεδεμένα με σκοπό την διεξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων σε σχέση με τα αντίστοιχα μονολιθικά.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για την προσομοίωση των δοκιμών που εξετάζονται στην παρούσα διερεύνηση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ATENA. Η αξιοπιστία του συγκεκριμένου λογισμικού έχει εξετασθεί σε προηγούμενες εργασίες στις οποίες, με χρήση κατάλληλων παραδοχών, βρέθηκε να υπάρχει καλή συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για ενισχυμένα και μονολιθικά υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα με τα αντίστοιχα πειραματικά (Lampropoulos and Dritsos, 2007).

Για την προσομοίωση του σκυροδέματος χρησιμοποιείται ένα οκτάκομβο τρισδιάστατο στοιχείο. Το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων που καθορίζει την συμπεριφορά του στοιχείου διαθέτει φθίνοντα κλάδο μετά το μέγιστο της θλιπτικής αλλά και εφελκυστικής αντοχής με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα πραγματοποίησης των αναλύσεων ακόμα και μετά το μέγιστο της καμπύλης δύναμης μετατόπισης (Σχήμα 3) (CEB-FIP, 1990, Cervenka et al, 2005).



Σχήμα 3. Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του σκυροδέματος.

Για την προσομοίωση του χάλυβα οπλισμού χρησιμοποιούνται γραμμικά στοιχεία στα οποία δίνεται διγραμμική συμπεριφορά με κράτυνση. Επιπλέον τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται έχουν την δυνατότητα να συμπεριλαμβάνουν την σχετική ολίσθηση με το περιβάλλον σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικούς νόμους για την τάση συνάφειας. Στην παρούσα διερεύνηση χρησιμοποιείται ο νόμος που προτείνεται στο CEB-FIP (1990).

Για την προσομοίωση της διεπιφάνειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται ειδικά επίπεδα στοιχεία επαφής η συμπεριφορά των οποίων εξαρτάται από τους συντελεστές για την τριβή και την συνάφεια. Στις αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί θεωρείται συντελεστής τριβής ίσος με 1.55 και συνάφεια ίση με 1 MPa.

Τα υποστυλώματα που εξετάζονται στην παρούσα διερεύνηση είναι στοιχεία πρόβολοι. Η συστολή ξήρανσης του νέου σκυροδέματος του μανδύα ή της πρόσθετης στρώσης ενίσχυσης υπολογίζονται αρχικά. Το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης προκαλεί μια παραμόρφωση στο σκυρόδεμα η οποία αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Για την προσομοίωση του φαινομένου αυτού επιβάλλεται μια ομοιόμορφη θλιπτική παραμόρφωση στο μανδύα ή στην στρώση ενίσχυσης με τιμή ίση με $780 \cdot 10^{-6}$ m/m, η οποία είναι μια οριακή τιμή για την παραμόρφωση λόγω συστολής ξήρανσης που προτείνεται από το ACI 209R-92 (1997). Στην συνέχεια επιβάλλεται στην κορυφή το αξονικό φορτίο και έπειτα μια οριζόντια μετατόπιση η οποία επιβάλλεται στο αρχικό υποστύλωμα.

Από τις αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεταβολής της δύναμης μετατόπισης. Στην παρούσα διερεύνηση, η αστοχία του στοιχείου θεωρείται ότι συμβαίνει μόλις το επιβαλλόμενο φορτίο μειωθεί στο 0.8 της μέγιστης τιμής του. Σε περιπτώσεις που η τιμή του αξονικού φορτίου που χρησιμοποιείται είναι μικρή, και το διάγραμμα δύναμης - μετατόπισης δεν παρουσιάζει φθίνοντα κλάδο, ως αστοχία θεωρείται η κατάσταση κατά την οποία η γωνία στροφής στη βάση του υποστυλώματος είναι ίση με 3% που αντιστοιχεί σε οριζόντια μετατόπιση στην κορυφή του υποστυλώματος ίση με 48mm (ATC-40, 1996).

Για την αξιολόγηση της σχετικής ικανότητας των ενισχυμένων υποστυλωμάτων έχουν προσδιορισθεί οι τιμές των αντίστοιχων συντελεστών μονολιθικότητας. Ως συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής θεωρείται ο λόγος της αντοχής του ενισχυμένου στοιχείου προς την αντίστοιχη ενός μονολιθικού δηλαδή ενός στοιχείου, το οποίο είναι ίδιο με το ενισχυμένο με μόνη διαφορά την ύπαρξη τέλει συνάφειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος.

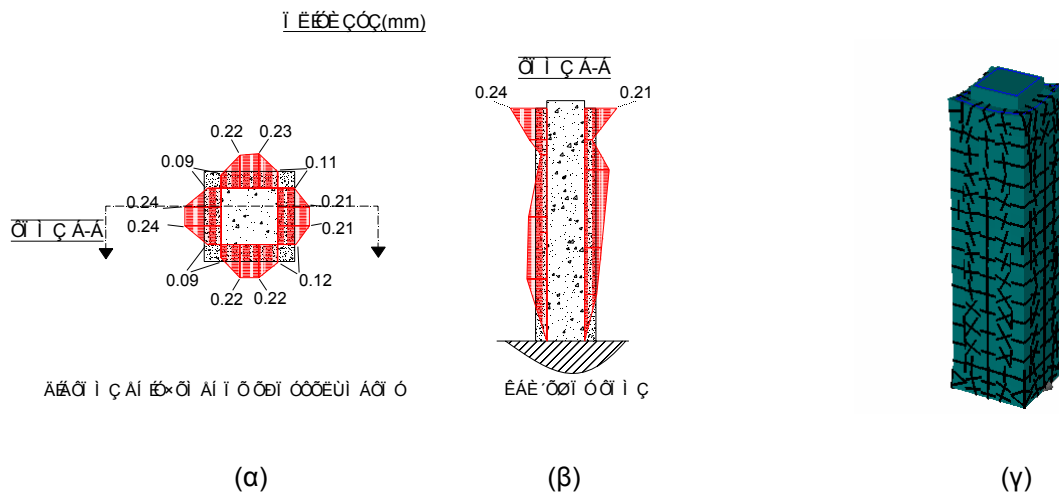
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από τις αναλύσεις για ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα και με μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης για τιμές του ανηγμένου, στο ενισχυμένο υποστύλωμα, αξονικού φορτίου ίσες με 0.05, 0.2 και 0.4. Επιπλέον εξάγονται τιμές για το συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στο μέγιστο φορτίο.

Ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αναλύσεις έχουν πραγματοποιηθεί για διαφορετικές τιμές του αξονικού φορτίου (0.05, 0.2 και 0.4), για την περίπτωση που η συστολή ξήρανσης του μανδύα από σκυρόδεμα αγνοείται καθώς και για την περίπτωση που συνυπολογίζεται, με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης που έχει στην συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων. Η επιρροή της συστολής ξήρανσης στην κατανομή των ολισθήσεων στην ελεύθερη διατομή του μανδύα και σε μια καθ' ύψος τομή του υποστυλώματος

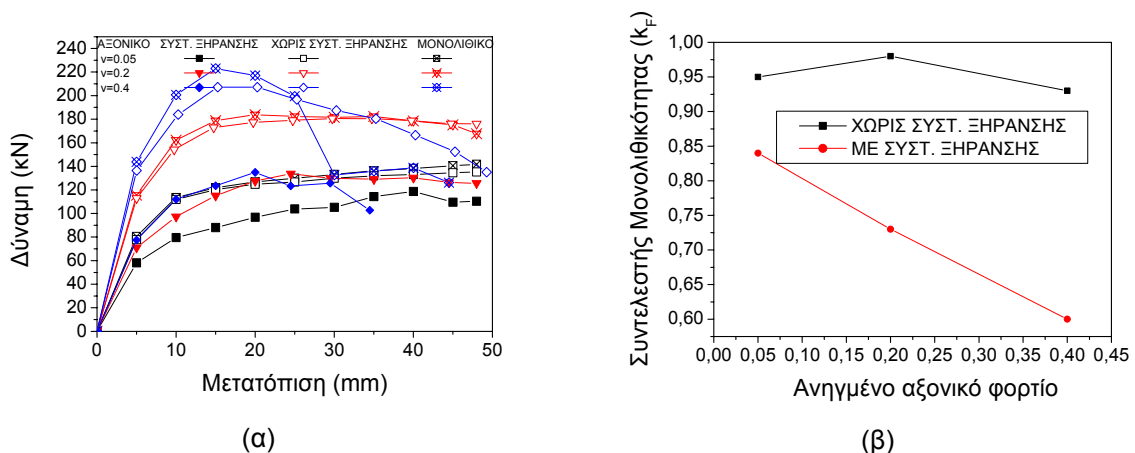
παρουσιάζονται στα σχήματα 4α και 4β. Στο σχήμα 4γ απεικονίζονται οι ρωγμές που σχηματίζονται στο σκυρόδεμα του μανδύα λόγω της συστολής ξήρανσης.



Σχήμα 4. Κατανομή των ολισθήσεων (α) κατά μήκος της διατομής, (β) καθ' ύψος του υποστυλώματος και (γ) απεικόνιση των ρηγματώσεων του μανδύα, λόγω της συστολής ξήρανσης, για ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα.

Από το παραπάνω σχήμα (σχήμα 4β) φαίνεται ότι η ολίσθηση λαμβάνει την μέγιστη τιμή της στην κορυφή του υποστυλώματος και είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανομημένη κατά το μήκος της διατομής (σχήμα 4α). Η τιμή της μέγιστης ολίσθησης που έχει βρεθεί λόγω της συστολής ξήρανσης είναι ίση με 0.24 mm.

Στην συνέχεια, στο σχήμα 5, παρουσιάζονται τα διαγράμματα μεταβολής της δύναμης με την μετατόπιση για τα ενισχυμένα καθώς και για τα αντίστοιχα μονολιθικά στοιχεία για τιμές του ανηγμένου, στο ενισχυμένο στοιχείο, αξονικού φορτίου 0.05, 0.2 και 0.4. Επιπλέον παρουσιάζεται η μεταβολή των συντελεστών μονολιθικότητας αντοχής με το αξονικό φορτίο.



Σχήμα 5. Μεταβολή (α) της δύναμης με την μετατόπιση και (β) των συντελεστών μονολιθικότητας αντοχής με την τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου για ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα.

Οι τιμές των συντελεστών μονολιθικότητας καθώς και των τιμών της μέγιστης δύναμης για τα δοκίμια που έχουν εξετασθεί παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές για την μέγιστη δύναμη και τους συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής για ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα.

Αξονικό φορτίο	Τιμή μέγιστης δύναμης (kN)			K _f	
	Μονολιθικό	Χωρίς Σ. Ξ.	Με Σ. Ξ.	Χωρίς Σ. Ξ.	Με Σ. Ξ.
0.05	141.72	135.26	118.72	0.95	0.84
0.2	183.86	180.56	133.64	0.98	0.73
0.4	223.00	207.20	134.90	0.93	0.60

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 5 και στον πίνακα 1, φαίνεται ότι στην περίπτωση που αγνοείται η συστολή ξήρανσης, η αντοχή των ενισχυμένων δοκιμίων δεν είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με αυτή των αντίστοιχων μονολιθικών και οι τιμές των συντελεστών μονολιθικότητας είναι κοντά στην μονάδα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι στην παρούσα διερεύνηση, αγνοείται η επίδραση της ανακύκλησης της φόρτισης στην συμπεριφορά της διεπιφάνειας, με αποτέλεσμα η συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων να εμφανίζουν αυξημένη αντοχή. Σε προηγούμενη διερεύνηση (Lampropoulos and Dritsos, 2006) έχει βρεθεί ότι η ανακύκλιση της φόρτισης έχει αρκετά σημαντική επίδραση στην συμπεριφορά των ενισχυμένων στοιχείων καθώς προκαλούσε μείωση της αντοχής τους. Η επίδραση αυτή προσομοιωνόταν με μείωση της τριβής και της συνάφειας κατά την διάρκεια της ανάλυσης.

Σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα της παρούσας διερεύνησης φαίνεται να έχει το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης, καθώς τα ενισχυμένα δοκίμια στα οποία συνυπολογίζεται το φαινόμενο αυτό, εμφανίζουν αρκετά χαμηλότερες τιμές αντοχής και οι συντελεστές μονολιθικότητας είναι αρκετά μικρότεροι της μονάδας. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 5β και στον πίνακα 1, είναι εμφανής η σημαντική μείωση των τιμών των συντελεστών μονολιθικότητας με αύξηση της τιμής του αξονικού φορτίου όταν λαμβάνεται στους υπολογισμούς η συστολή ξήρανσης.

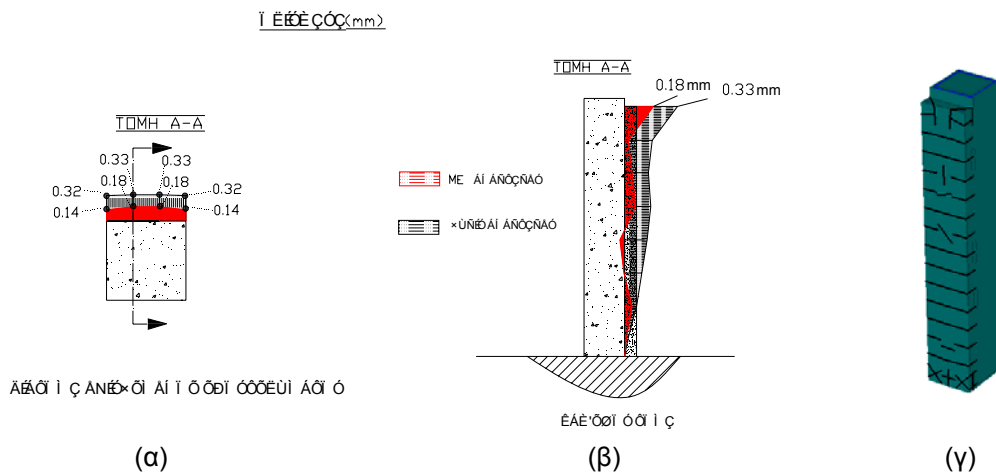
Στην συνέχεια εξετάζεται η τεχνική ενίσχυσης με μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης.

Ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται διερεύνηση της συμπεριφοράς ενισχυμένων υποστυλωμάτων με μονόπλευρη στρώση στην θλιβόμενη παρειά. Δύο διαφορετικές προσομοιώσεις εξετάζονται, με και χωρίς αναρτήρες μεταξύ παλαιού και νέου οπλισμού, ενώ και στις δύο περιπτώσεις η διεπιφάνεια θεωρείται εκτραχυμένη (συντελεστής τριβής ίσος με 1.55 και συνάφεια ίση με 1 MPa). Η τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου καθώς και της συστολής ξήρανσης είναι οι δυο παράμετροι που εξετάζονται. Τρεις διαφορετικές τιμές του ανηγμένου, στο ενισχυμένο υποστυλώμα, αξονικού φορτίου εξετάζονται, 0.05, 0.2 και 0.4.

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η κατανομή των ολισθήσεων στην διατομή του υποστυλώματος (σχήμα 6α) και σε μια καθ' ύψος τομή (σχήμα 6β) καθώς και οι ρηγματώσεις που

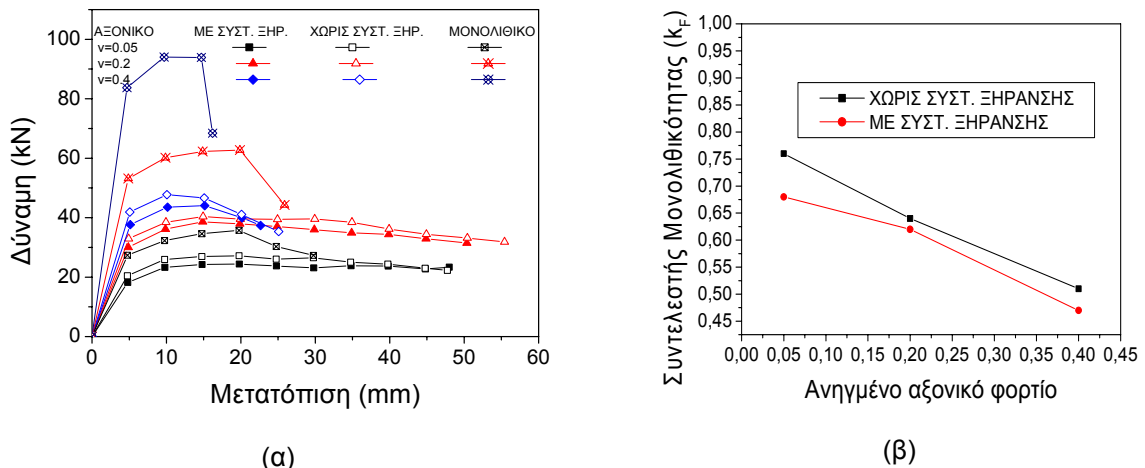
σχηματίζονται και οφείλονται στο φαινόμενο της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος του μανδύα (σχήμα 6γ).



Σχήμα 6. Κατανομή των ολισθήσεων (α) κατά μήκος της διατομής, (β) καθ' ύψος του υποστυλώματος και (γ) απεικόνιση των ρηγματώσεων του μανδύα λόγω της συστολής ξήρανσης για ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση.

Από τα αποτελέσματα των ολισθήσεων που παρουσιάζονται στα σχήματα 6α και 6β φαίνεται ότι με την χρήση αναρτήρων μεταξύ του παλαιού και του νέου σπλισμού επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των ολισθήσεων που οφείλονται στην συστολή ξήρανσης καθώς οι μέγιστες τιμές ολίσθησης που υπολογίζονται με απουσία αναρτήρων (0.33 mm) είναι περίπου διπλάσιες από τις αντίστοιχες που υπολογίζονται για την περίπτωση που υπάρχουν αναρτήρες (0.18 mm). Επιπλέον η καθ' ύψος κατανομή (σχήμα 6β) φαίνεται να έχει την ίδια μορφή με αυτήν που υπολογίστηκε για ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα, καθώς αυξάνεται με το ύψος του υποστυλώματος.

Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με και χωρίς τον συνυπολογισμό της συστολής ξήρανσης, για την μεταβολή της δύναμης με την μετατόπιση (σχήμα 7α) καθώς και η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής με την τιμή του αξονικού φορτίου (σχήμα 7β).



Σχήμα 7. Μεταβολή (α) της δύναμης με την μετατόπιση και (β) των συντελεστών μονολιθικότητας

αντοχής με την τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου για ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση χωρίς αναρτήρες μεταξύ παλαιού και νέου σπλισμού.

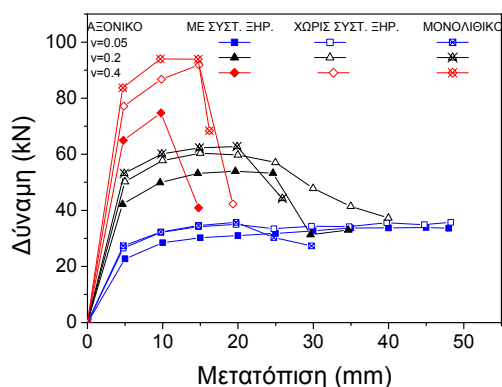
Τα αποτελέσματα της μέγιστης τιμής της δύναμης για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα στοιχεία καθώς και οι τιμές που προκύπτουν για τους συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής στο σημείο της μέγιστης δύναμης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τιμές για την μέγιστη δύναμη και τους συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής για ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση, χωρίς αναρτήρες μεταξύ παλαιού και νέου σπλισμού.

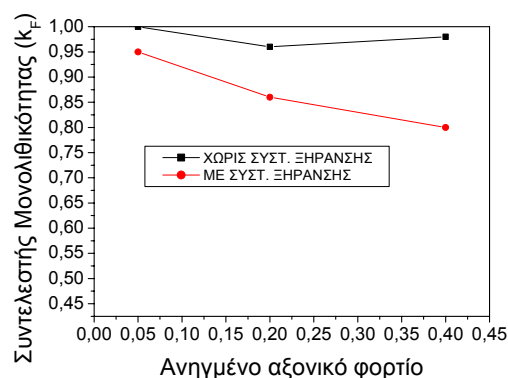
Αξονικό φορτίο	Τιμή μέγιστης δύναμης (kN)					K_f
	Μονολιθικ					
	ό	Χωρίς Σ. Ξ.	Με Σ. Ξ.	Χωρίς Σ. Ξ.	Με Σ. Ξ.	
0.05	35.74	27.20	24.40	0.76	0.68	
0.2	62.74	40.34	38.60	0.64	0.62	
0.4	94.00	47.74	44.04	0.51	0.47	

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 7 και στον πίνακα 2, φαίνεται ότι στην περίπτωση που η ενίσχυση γίνεται με μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης και δεν υπάρχουν αναρτήρες μεταξύ του παλαιού και του νέου σπλισμού, η αντοχή των ενισχυμένων στοιχείων, είναι σημαντικά μικρότερη αυτής του αντίστοιχου μονολιθικού ακόμα και για την περίπτωση που αγνοείται το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης του νέου σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής οι οποίοι είναι αρκετά μικρότεροι της μονάδας. Ωστόσο φαίνεται ότι το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης δεν έχει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα, σε αντίθεση με την τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου, αύξηση του οποίου φαίνεται να προκαλεί σημαντική μείωση των τιμών των συντελεστών μονολιθικότητας (Σχήμα 7β).

Ανάλογη διερεύνηση έχει πραγματοποιηθεί για την περίπτωση που χρησιμοποιούνται αναρτήρες μεταξύ παλαιού και νέου σπλισμού. Το διάγραμμα μεταβολής της δύναμης με την μετατόπιση καθώς και η κατανομή των συντελεστών μονολιθικότητας αντοχής με την τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου παρουσιάζονται στα σχήματα 8α και 8β αντίστοιχα.



(α)



(β)

Σχήμα 8. Μεταβολή (α) της δύναμης με την μετατόπιση και (β) των συντελεστών μονολιθικότητας αντοχής με την τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου για ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση με αναρτήρες μεταξύ παλαιού και νέου σπλισμού.

Τα αποτελέσματα για την μέγιστη τιμή της δύναμης σε κάθε περίπτωση και οι τιμές των συντελεστών μονολιθικότητας παρουσιάζονται στο πίνακα 3.

Πίνακας 3. Τιμές για την μέγιστη δύναμη και τους συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής για ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση, με αναρτήσεις μεταξύ παλαιού και νέου οπλισμού.

Αξονικό φορτίο	Τιμή μέγιστης δύναμης (kN)			K _f	
	Μονολιθικ ό	Χωρίς Σ. Ξ.	Με Σ. Ξ.	Χωρίς Σ. Ξ.	Με Σ. Ξ.
0.05	35.74	35.72	33.90	1.00	0.95
0.2	62.74	60.42	53.94	0.96	0.86
0.4	94.00	91.86	74.76	0.98	0.80

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 8 και στον πίνακα 3 δείχνουν αυξημένη αντοχή των ενισχυμένων δοκιμίων σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές που έχουν προκύψει από την διερεύνηση που έχει πραγματοποιηθεί για ενίσχυση με μονόπλευρη στρώση απουσία αναρτήρων μεταξύ παλαιού και νέου οπλισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα και σημαντική αύξηση των τιμών των συντελεστών μονολιθικότητας σε σχέση με αυτούς που παρουσιάζονται στο σχήμα 7β και στον πίνακα 2. Ωστόσο στην περίπτωση αυτή φαίνεται να υπάρχει αρκετά σημαντική επίδραση της συστολής ξήρανσης καθώς οι τιμές του συντελεστή μονολιθικότητας όταν το φαινόμενο αυτό συνυπολογίζεται, είναι αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες που προκύπτουν όταν αυτό αγνοείται (Σχήμα 8β και Πίνακας 3). Επιπλέον παρουσιάζεται μείωση των τιμών των συντελεστών μονολιθικότητας αντοχής με αύξηση της τιμής του ανηγμένου αξονικού φορτίου μόνο για την περίπτωση που προσομοιώνεται το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος της στρώσης ενίσχυσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την διερεύνηση που έχει πραγματοποιηθεί στην παρούσα εργασία, τα εξής συμπεράσματα προκύπτουν:

- Το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης του μανδύα ή της στρώσης ενίσχυσης προκαλεί ολίσθηση μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος, η οποία λαμβάνει την μέγιστη τιμή της στην κορυφή του υποστυλώματος. Η τιμή αυτή της ολίσθησης είναι σημαντικά μεγαλύτερη για την περίπτωση ενίσχυσης με μονόπλευρη στρώση, χωρίς την παρουσία αναρτήρων μεταξύ παλαιού και νέου οπλισμού. Μείωση της προκαλείται με την χρήση αναρτήρων.
- Η τεχνική της ενίσχυσης με μονόπλευρη στρώση από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς την χρήση αναρτήρων φαίνεται να εμφανίζει σημαντικά μειωμένη αντοχή σε σχέση με το αντίστοιχο μονολιθικό καθώς και σε σχέση με τα αντίστοιχα ενισχυμένα δοκίμια στα οποία χρησιμοποιούνται αναρτήσεις μεταξύ παλαιού και νέου οπλισμού.
- Ο συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής παρουσιάζει σημαντική μείωση όταν αυξάνεται η τιμή του ανηγμένου αξονικού φορτίου, στα περισσότερα από τα εξεταζόμενα στοιχεία.

- Το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης μειώνει σημαντικά τις τιμές των συντελεστών μονολιθικότητας στις περιπτώσεις που για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων χρησιμοποιείται περιμετρικός μανδύας και μονόπλευρη στρώση με παρουσία αναρτήρων. Για την περίπτωση που χρησιμοποιείται μονόπλευρη στρώση ενίσχυσης χωρίς αναρτήρες, η επίδραση της συστολής ξήρανσης δεν ήταν σημαντική. Αυτό πιθανών οφείλεται στο ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση η παρουσία της στρώσης ενίσχυσης δεν συνεισφέρει σημαντικά στην συμπεριφορά του ενισχυμένου υποστυλώματος.

Από τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία φαίνεται ότι το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά των ενισχυμένων υποστυλωμάτων και πρέπει να λαμβάνεται στους υπολογισμούς όταν εξετάζονται ενισχυμένα στοιχεία με πρόσθετες στρώσεις ή μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία και βασίζεται στην επιβολή μιας θλιπτικής παραμόρφωσης με σταθερή τιμή ίση με την μέγιστη, μετά την πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος, φαίνεται να είναι κατάλληλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ACI 209R-92, (1997), "Prediction of creep, shrinkage and temperature effects in concrete structures".
- ATC-40, (1996), "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", Applied Technology Council, Vol 1, California, USA.
- CEB-FIP Model Code 1990 (1993), Thomas Telford, London.
- Cervenka, V. Jendele, L. & Cervenka, J., (2005), "ATENA Program Documentation Part 1 Theory", Prague, Czech.
- Lampropoulos, A. & Dritsos, S., (2006), "Numerical Prediction of Behaviour of Strengthened R.C. Columns under Cyclic Loading", Proc of 11th International Conference on Structural Faults and Repair, Edinburgh, UK.
- Lampropoulos A. and Dritsos S., (2007), "Finite element analysis of monolithic and strengthened RC columns". Structural Engineering and Mechanics. (submitted).