

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**ΚΑΪΡΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ**  
**ΧΑΤΖΗΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ**

### Περίληψη

*Η παρακάτω εργασία έχει ως στόχο την αναλυτική παρουσίαση των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος ως τεχνική ενίσχυσης υποστυλωμάτων. Πρόκειται για την πλέον αποτελεσματική μέθοδο ενίσχυσης συγκριτικά με άλλες μεθόδους όπως έχει προκύψει από σειρά πειραματικών δοκιμών. Η εργασία περιλαμβάνει αναφορές σχετικά με τις κατηγορίες των βλαβών στα υποστυλώματα, μια εκτίμηση της απομένουσας φέρουσας ικανότητάς τους, τις μεθόδους ενίσχυσής τους γενικότερα, ενώ για τους μανδύες Ο.Σ. αναφέρονται τα είδη τους, η διαδικασία κατασκευής τους και οι κατασκευαστικές διατάξεις. Επίσης δίνεται ένα αριθμητικό παράδειγμα διαστασιολόγησης ενός μανδύα σε υφιστάμενο υποστυλώμα, καθώς και τα πειραματικά αποτελέσματα μιας δοκιμής που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου ενίσχυσης υποστυλωμάτων με μανδύες Ο.Σ.*

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλειονότητα των κτιρίων στην Ελλάδα είναι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν αρκετά πριν τη θέσπιση των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών. Οι κατασκευές είναι φυσικό να ακολουθούν τις γνώσεις αντισεισμικού σχεδιασμού της εποχής που σχεδιάστηκαν και ακόμη μερικές έχουν κατασκευαστεί εμπειρικά, χωρίς στατικούς υπολογισμούς. Οι σεισμοί θέτουν σε ισχυρή δοκιμασία τις κατασκευές και προκαλούν βλάβες που αποκαλύπτουν τόσο τις υπολογιστικές όσο και τις κατασκευαστικές ατέλειες των κτιρίων. Μια πολύ σημαντική αιτία εμφάνισης βλαβών από σεισμό στις κατασκευές είναι η αδυναμία εκτίμησης των χαρακτηριστικών της αναμενόμενης σεισμικής καταπόνησης κατά τη φάση σχεδιασμού του έργου. Εκτός όμως από το σεισμό, βλάβες μπορούν να προκληθούν και από κάποια δυσμενή φορτία ή από ισχυρούς ανέμους που δεν λήφθηκαν σοβαρά υπ' όψη κατά τη φάση του σχεδιασμού της κατασκευής.[2]

Όμως όσο εύκολη είναι η διαπίστωση των βλαβών ενός κτιρίου, τόσο δύσκολη είναι η αντιμετώπισή τους. Τα ερωτήματα που προκύπτουν είναι πολλά και οι απαντήσεις τους δύσκολα μπορούν να δοθούν.

- Ποιες κατασκευές έχουν προτεραιότητα να ενισχυθούν, και πώς θα προσδιοριστούν σε μεμονωμένη βάση;

- Μπορούν (ή αξίζει τον κόπο) να ενισχυθούν και μέχρι ποιο σημείο;

Μήπως η λύση της κατεδάφισης και ανακατασκευής είναι προτιμότερη;

- Τι μέσα (υλικά, μέθοδοι, τεχνικές) διατίθενται για να επέμβει κανείς και κάτω από ποιες προδιαγραφές αυτά εφαρμόζονται;

- Ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος ενίσχυσης ενός δεδομένου κτιρίου;

- Ποιο είναι το υπολογιστικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο στο μηχανικό για να

τεκμηριώσει τις επιλογές του, και ποιες οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των εργασιών; [1]

Είναι απαραίτητο κάθε επιλογή επέμβασης στο κτίριο να αναλύεται τόσο από τεχνική πλευρά, όσο και από πλευρά κόστους και να συγκρίνεται με τις υπόλοιπες δυνατές λύσεις κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

### 2. ΒΛΑΒΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Το σημαντικότερο τμήμα μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος είναι τα υποστυλώματα καθώς λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού πρέπει να οδηγούμαστε πρώτα σε αστοχία των δοκών. Οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι από τις πιο συχνές και συγχρόνως οι σοβαρότερες αφού μπορεί να οδηγήσουν σε τμηματική ή ακόμη και ολική κατάρρευση της

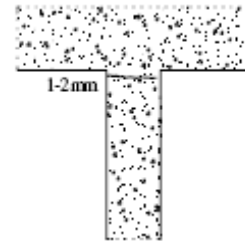
κατασκευής. Έτσι συχνά ο μηχανικός οδηγείται στην ενίσχυση ή επισκευή των υποστυλωμάτων.

Οι βλάβες στα υποστυλώματα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τυπικό βαθμό βλάβης, και τον χαρακτήρα των βλαβών.

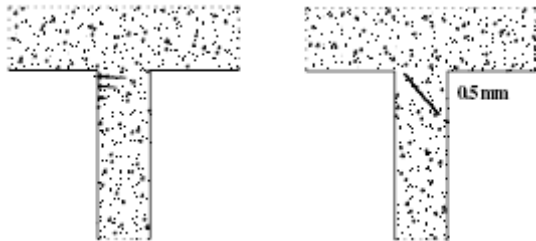
## 2.1 ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ

### Βαθμός βλάβης A

Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές με πλάτος λιγότερο από 1-2 mm, με την προϋπόθεση ότι ένας απλός υπολογισμός έχει αποδείξει ότι αυτές οι ρωγμές δεν οφείλονται σε ανεπάρκεια της διατομής σε κάμψη, αλλά μάλλον σε τοπικές αδυναμίες όπως π.χ. αρμοί διακοπής εργασίας, επίδραση της εν επαφή τοιχοπλήρωσης, ανεπαρκής αγκύρωση οπλισμών, κ.τ.λ. [3]



Σχήμα 2.1 : Βαθμός βλάβης A.[3]



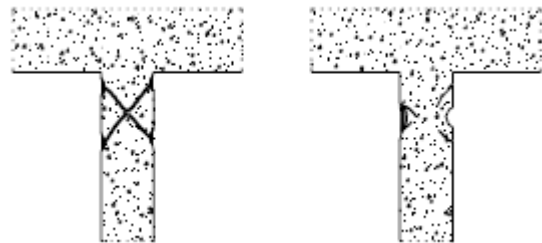
Σχήμα 2.2 : Βαθμός βλάβης B.[3]

### Βαθμός βλάβης B

Αρκετές πλατιές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές με πλάτος μικρότερο από 0.5 mm, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται εναπομένουσες μετακινήσεις.[3]

### Βαθμός βλάβης C

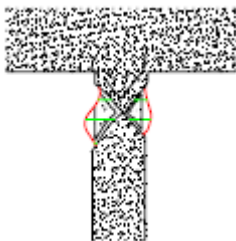
Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές ή έντονη τοπική σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται άξιες λόγου εναπομένουσες μετακινήσεις. Ρηγματώσεις στους κόμβους



Σχήμα 2.3 : Βαθμός βλάβης C.[3]

### Βαθμός βλάβης D

Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή βλάβης, λυγισμός των διαμήκων ράβδων, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος. Προϋποτίθεται επίσης ότι οι εναπομένουσες μετακινήσεις που παρατηρούνται (οριζόντιες και κατακόρυφες) και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι σχετικά μικρές. Σοβαρή αποδιοργάνωση στους κόμβους.[3]



Σχήμα 2.4 : Βαθμός βλάβης D.[3]

### Βαθμός βλάβης E

Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος. Ως μία γενικότερη παρατήρηση σημειώνεται ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμφωνεί με μία από τις εικόνες βλάβης των παραπάνω σχημάτων χωρίς όμως να τηρούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες για τις εναπομένουσες μετακινήσεις, τότε ως βαθμός βλάβης θεωρείται ένα επίπεδο παραπάνω απ' ότι δηλώνεται στο σχήμα. Έτσι για παράδειγμα μία βλάβη με εικόνα τύπου D, όπου όμως υπάρχουν μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις, πρέπει να θεωρηθεί βαθμός βλάβης E.[3]

## 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΒΛΑΒΩΝ

### Καμπτικού χαρακτήρα βλάβες

Παρουσιάζονται συνήθως στην κορυφή και στη βάση των υποστυλωμάτων αφού σε αυτές τις περιοχές γενικά παρατηρούνται οι μεγαλύτερες καμπτικές εντάσεις. Στην περίπτωση μικρών αξονικών φορτίων η βλάβη έχει τη μορφή οριζόντιας καμπτικής ρωγμής από υπέρβαση του ορίου διαρροής του χάλυβα σε εφελκυσμό (γεγονός που μεταφράζεται σε ανεπάρκεια συνδετήρων στην περιοχή), ενώ το εύρος της ρωγμής είναι αποκαλυπτικό και του βαθμού της αστοχίας.

Ίδιου χαρακτήρα βλάβη είναι δυνατό να εκδηλωθεί και με αποφλοίωση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης των ράβδων οπλισμού από υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εντός και εκτός του πυρήνα της διατομής. [4],[5]



Εικόνα 2.5 :

Καμπτική αστοχία υποστυλώματος.[5]

### Διατμητικού χαρακτήρα βλάβες

Παρατηρούνται στις περιοχές με τη μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία, όχι υποχρεωτικά στα άκρα του υποστυλώματος αλλά συνήθων στη μέση. Πρόκειται για βλάβες ψαθυρής μορφής και συνεπώς εξ'ορισμού σοβαρές. Εκδηλώνονται με λοξές ρωγμές οι οποίες λόγω της αντιστροφής της φοράς της σεισμικής δράσης έχουν χιαστί μορφή. Συνήθως η χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος και η έλλειψη επαρκούς διατμητικού οπλισμού είναι εμφανείς παράγοντες αστοχίας σε τέτοιου είδους βλάβες. [4],[5]



Εικόνα 2.6 :

Διατμητική αστοχία υποστυλώματος.[5]

### Καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες

Στην περίπτωση μεγάλων αξονικών θλιπτικών φορτίων με σύγχρονη δράση κάμψης και διάτμησης εκδηλώνεται η βλάβη με εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής και πολλές φορές με λυγισμό των διαμήκων ράβδων. Συνήθως το γεγονός οφείλεται σε ανεπάρκεια των διαστάσεων της διατομής, έλλειψη περίσφιξης, χαμηλή ποιότητας σκυροδέματος ή συνδυασμό των παραπάνω λόγων. Αυτός ο χαρακτήρας βλάβης πέρα απ'την ψαθυρότητα της αστοχίας και τη σημαντική μείωση της ακαμψίας του υποστυλώματος, συνεπάγεται αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων.



Εικόνα 2.7 :

Καμπτοδιατμητική αστοχία με σύνθλιψη.[12]

Η αδυναμία αυτή είναι δυνατόν σε συνδυασμό με τη συμπεριφορά γειτονικών κατακόρυφων στοιχείων (πιθανές αλυσωτές αστοχίες), να οδηγήσει σε κατάρρευση της κατασκευής. [4],[5]

### 2.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Οι τυπικοί βαθμοί βλάβης αλλά και ο χαρακτήρας τους συνδέονται άμεσα με την απομένουσα φέρουσα ικανότητα και τα περιθώρια ασφάλειας των βλαμμένων δομικών στοιχείων. Για την εκτίμηση της απομένουσας αντοχής  $R_{res}$  και δυσκαμψίας  $K_{res}$  σε στοιχεία με βλάβες, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές  $R_0$  και  $K_0$  των ίδιων στοιχείων χωρίς βλάβες, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές  $r_R$  και  $r_k$  που εκφράζουν τα μέτρα της εναπομένουσας αντοχής και της εναπομένουσας δυσκαμψίας αντιστοίχως. Οι συντελεστές αυτοί ορίζονται ως εξής:  $r_R = R_{res}/R_0$  &  $r_k = K_{res}/K_0$

Μία εκτίμηση του μέτρου αντοχής  $r_R$  για υποστυλώματα και τοιχώματα, ανάλογα με την κατάσταση της κατασκευής και τον βαθμό βλάβης του στοιχείου, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.8).[6]

Ηλικία κατασκευής	Βαθμός βλάβης			
	A	B	C	D
Μικρή ηλικία ( $\leq 25$ ετών)	0,95	0,75	0,45	0,15
Μεγάλη ηλικία ( $> 25$ ετών)	0,85	0,65	0,35	0,00

Πίνακας 2.8 : Τιμές του μέτρου της απομένουσας αντοχής  $r_R$  για υποστυλώματα ανάλογα με το βαθμό βλάβης.

Για μία ποιοτική εκτίμηση του βαθμού βλάβης του συνόλου μιας κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας γενικός δείκτης ( $r_g$ ) ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη του τα μέτρα απομένουσας αντοχής ( $r_R$ ) των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων του φορέα. Στον EC 8 – Part 1.4 (1995) προτείνεται η παρακάτω σχέση:

$$r_g = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{R0,i} \cdot r_{R,i})}{\sum_{i=1}^n V_{R0,i}}$$

όπου :

$i$  είναι ο δείκτης που προσδιορίζει το κατακόρυφο φέρων στοιχείο του φορέα.

$r_R$  είναι το μέτρο απομένουσας αντοχής του στοιχείου (Πιν.1.1).

$V_{R0}$  είναι η τέμνουσα σχεδιασμού που αναλαμβάνεται από το σκυρόδεμα.

Αν και η αντικατάσταση του  $V_{R0}$  με το  $V_{Rd3}$  ( $=V_{wd}+V_{cd}$ ) στην παραπάνω σχέση δίνει πιο πραγματικά αποτελέσματα, η σχέση χρησιμοποιεί το  $V_{R0}$  επειδή ο προσδιορισμός του είναι πολύ ταχύς και με λιγότερες αβεβαιότητες. Για την τελική αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, σε συνδυασμό με τον καθορισμό προτεραιοτήτων για πιθανή επέμβαση, χρησιμοποιείται ένας τροποποιημένος γενικός δείκτης βλάβης  $r_f$  που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$r_f = r_g \cdot K_R / \gamma_1$$

όπου:

$K_R$  είναι ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του την κανονικότητα του κτιρίου όπως αυτή ορίζεται στον EC 8 – Part 1.2 (1994). Για κανονικά κτίρια λαμβάνεται  $K_R = 1,0$  ενώ για μη-κανονικά  $K_R = 0,8$

$\gamma_1$  είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας της κατασκευής όπως ορίζεται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό.

Σύμφωνα με τον EC 8 – Part 1.4 (1995) :

Για τιμές  $r_f > 0,80$  η αντοχή του κτιρίου θεωρείται επαρκής.

Για τιμές  $0,80 > r_f > 0,50$  η αντοχή του κτιρίου θεωρείται μετρίως ανεπαρκής.

Για τιμές  $r_f < 0,50$  το κτίριο θεωρείται ότι έχει σοβαρή ανεπάρκεια αντοχής.

### 3. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Η ενίσχυση ενός υποστυλώματος, αφορά την διαδικασία επέμβασης με την οποία αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα του ή γενικότερα βελτιώνεται η συμπεριφορά του. Οι τεχνικές ενίσχυσης των υποστυλωμάτων μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την αύξηση ή όχι της διατομής του υποστυλώματος. Στην **πρώτη κατηγορία** ανήκουν οι τεχνικές στις οποίες δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και η ενίσχυση επιτυγχάνεται με ενεργή περίσφιξη του στοιχείου. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να γίνει με τη χρήση επικολλητών κολλάρων μεταλλικών ή FRP, με τη χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή FRP (με τη μορφή ταινίας πακεταρίσματος), με τη χρήση σπειροειδούς οπλισμού, με ολόσωμο μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή ή ακόμη και με την τεχνική του μεταλλικού κλωβού.

Στην **δεύτερη κατηγορία** η ενίσχυση επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο. Την κατηγορία αυτή θα εξετάσουμε αναλυτικότερα παρακάτω.[3],[6]



Εικόνα 3.1:  
Περίσφιξη με ολόσωμο μανδύα από FRP.[13]



Εικόνα 3.2:  
Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό.[13]



Εικόνα 3.3:  
Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.[13]

### 3.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η τεχνική της κατασκευής μανδύων σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητάς τους. Συνήθως εφαρμόζεται σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων με σοβαρές βλάβες ή γενικότερα όταν διαπιστώνεται ιδιαίτερη ανεπάρκεια της αντοχής τους ή άλλων χαρακτηριστικών τους.

Η τεχνική περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέο σκυρόδεμα και νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς περιμετρικά και μπορεί να εκτείνεται είτε σε όλο το μήκος του υποστυλώματος (ολικός μανδύας) είτε σε ένα μόνο τμήμα του (τοπικός μανδύας). Ακόμη ο μανδύας μπορεί να περιβάλλει ολόκληρη τη διατομή (κλειστός μανδύας) ή τμήμα αυτής (ανοιχτός μανδύας) σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων ευρισκόμενα στα όρια με άλλη οικοδομή.[3],[6]

### 3.2 ΕΙΔΗ ΜΑΝΔΥΩΝ

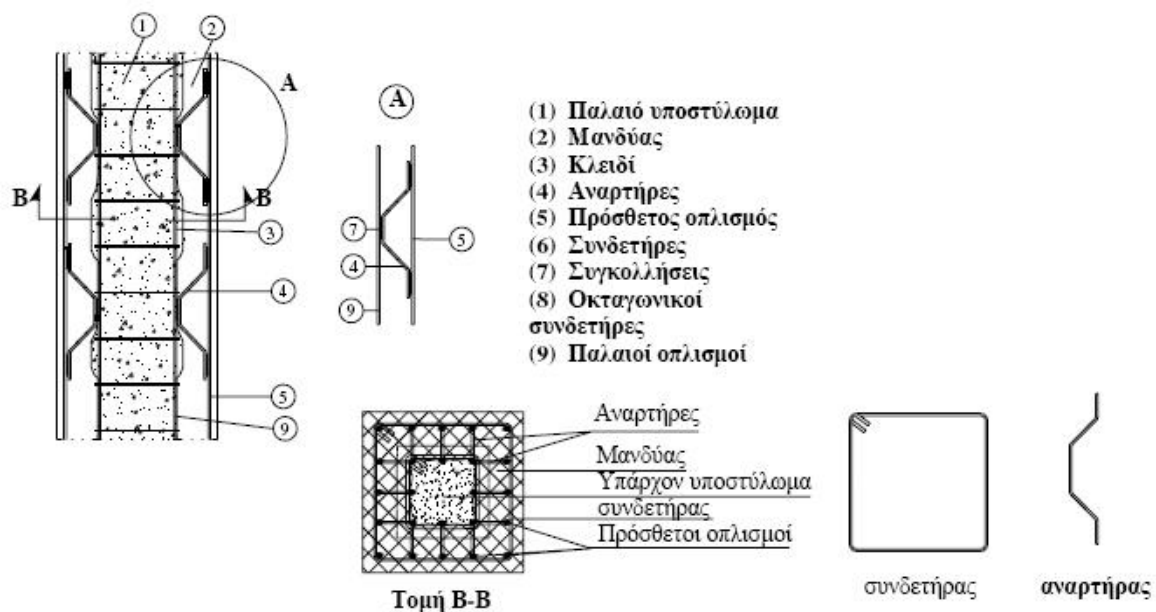
Τα είδη των μανδύων που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση υποστυλωμάτων είναι :

**1. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα.** Έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται όταν ο μανδύας που πρόκειται να κατασκευαστεί έχει πάχος μεγαλύτερο από 8 cm. Για τη σκυροδέτηση του μανδύα απαιτείται η χρήση ξυλοτύπου.

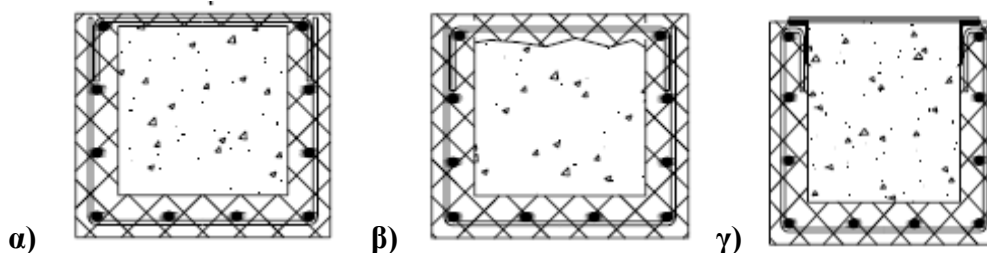
**2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.** Η κατασκευή μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί τη συνηθέστερη πρακτική για την περίπτωση που το συνολικό πάχος του μανδύα δεν υπερβαίνει τα 10 cm. Αν και δεν απαιτείται ξυλότυπος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην εξασφάλιση της κατακόρυφης επιφάνειας του μανδύα. Για το σκοπό αυτό γίνεται συνήθως χρήση οδηγών. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτών των μανδύων είναι ότι η συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη έναντι των άλλων.

**3. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα.** Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτού του είδους των μανδύων είναι η εύκολη σκυροδέτηση ακόμα και παρουσία πυκνού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού. Η διαδικασία εφαρμογής του σκυροτσιμεντοπήγματος περιλαμβάνει την τοποθέτηση αδρανών σε καλούπια και στη συνέχεια την πλήρωση των μεταξύ τους κενών με υγροποιημένο τσιμέντο υπό πίεση. Η συστολή ξήρανσεως μειώνεται στο ελάχιστο. Η χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής δεν είναι διαδεδομένη στη χώρα μας.

**4. Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.** Με τη χρησιμοποίηση ειδικών σκυροδεμάτων ή τσιμεντοκονιαμάτων είναι δυνατόν να υλοποιηθούν μανδύες εξαιρετικά μικρού πάχους. Το βασικό μειονέκτημα είναι το αυξημένο κόστος κατασκευής τους.[5]



Σχήμα 3.4: Κλειστός μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος.[3]



Σχήμα 3.5: Περιπτώσεις ανοιχτού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος :

α) Νέοι συνδετήρες με εξωτερική ράβδο ή λάμα και συγκόλληση, β) Νέοι συνδετήρες με διαμπερές χάντρωμα ή τρύπα και συγκόλληση γ) Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά και εξωτερική λάμα.[5],[6]

### 3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΑΝΔΥΩΝ

Η σειρά συνήθως που απαιτείται για την κατασκευή μανδύων (κλειστών) οπλισμένου σκυροδέματος είναι η παρακάτω:

1) Στην αρχή αποφορτίζονται και υποστυλώνονται οι πλάκες και οι δοκοί που συντρέχουν στο προς ενίσχυση υποστύλωμα.

2) Έπειτα απομακρύνεται το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα και αποκαθίσταται η συνέχεια του υποστυλώματος επισκευάζοντας τις τυχόν προϋπάρχουσες τοπικές βλάβες (π.χ. λυγισμένες ράβδοι οπλισμού).

3) Αποκαλύπτονται οι οπλισμοί σε θέσεις που έχουν προεπιλεγεί για συγκόλληση με νέους οπλισμούς (εφόσον προβλέπεται).

4) Διανοίγονται και προετοιμάζονται οι κατάλληλες οπές στις θέσεις αγκύρωσης των νέων ράβδων οπλισμού και στις θέσεις που τυχόν προβλέπονται βλήτρα.

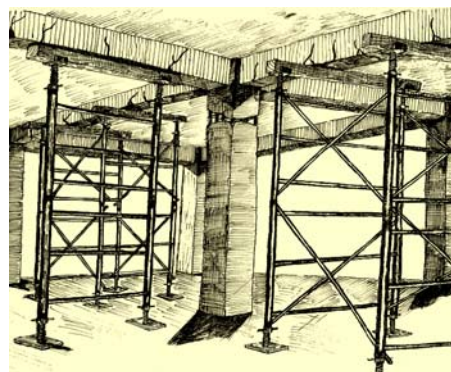
5) Εκτραχύνεται καλά η επιφάνεια του σκυροδέματος με επιμέλεια σε βάθος 6 mm με κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό (π.χ. με “ματσακόνι” όχι απλώς με σφυρί και καλέμι), ή ακόμη καλύτερα με υδροαμμοβολή, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η εξωτερική επιδερμική στρώση τσιμεντοπολτού και να αποκαλυφθούν τα αδρανή.

6) Καθαρίζεται επιμελώς η επιφάνεια του υποστυλώματος χρησιμοποιώντας αέρα υπό πίεση.

7) Αγκυρώνονται στα άκρα τους οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού με χημική πάκτωση με τη χρήση κόλλας (σχήμα 3.8.α).

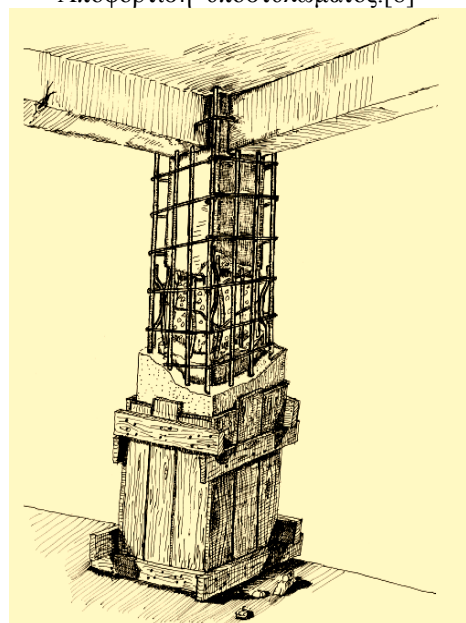
Για κατασκευαστική ευκολία είναι δυνατόν να μην αγκυρωθούν απευθείας οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού, αλλά να προηγηθεί η αγκύρωση μικρότερων τμημάτων ράβδων οπλισμού επί των οποίων στην συνέχεια θα “ματιστούν” οι νέες ράβδοι.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί και με την αγκύρωση των ράβδων οπλισμού στα στοιχεία θεμελίωσης. Στο Σχήμα 3.8.β παρουσιάζεται εξ’ άλλου μία εναλλακτική διαδικασία που έχει προταθεί [3] για την περίπτωση που η θεμελίωση είναι με πέδιλα.



Σχήμα 3.6:

Αποφόρτιση υποστυλώματος.[8]



Σχήμα 3.7:

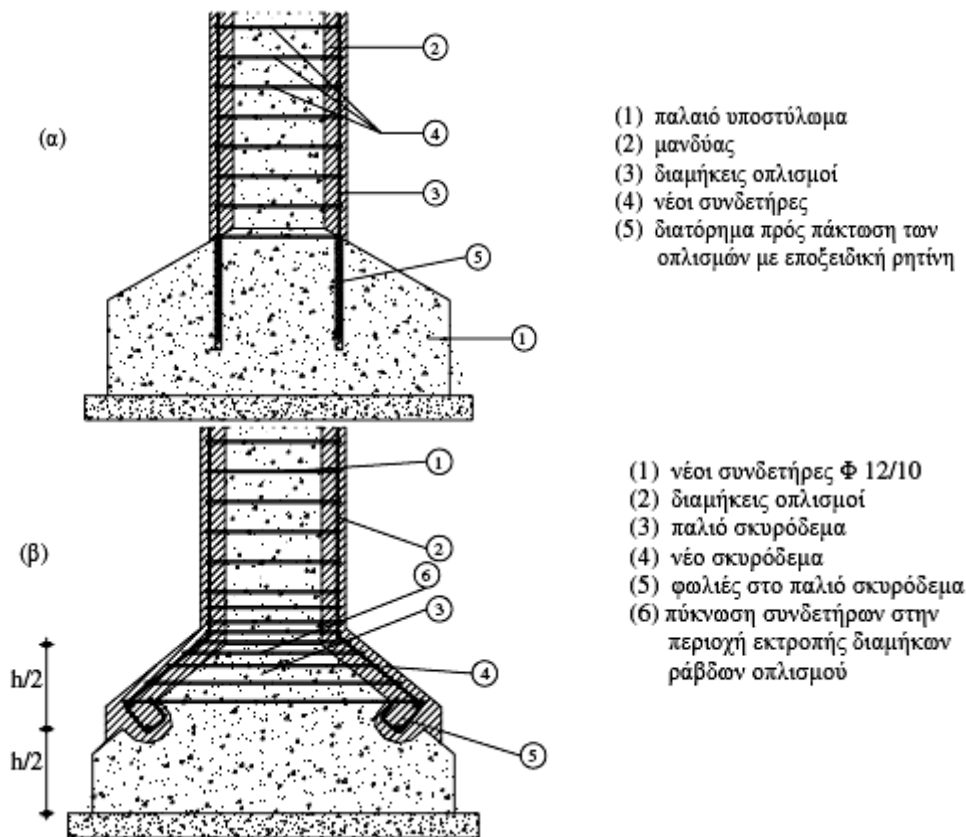
Στάδια κατασκευής μανδύα σε υποστύλωμα.[8]

Προβλέπεται η συνέχεια του μανδύα γύρω από τον κώνο του πεδύλου σε μήκος τουλάχιστον ίσο προς το μισό του ύψους του, με διάταξη πυκνών κλειστών συνδετήρων σ' αυτή τη περιοχή της τάξεως  $\Phi 12/100$  mm, και απόληξη του μανδύα σε μία περιμετρική “φωλιά” που έχει δημιουργηθεί στο πέδιλο. Εάν ο διαμήκης οπλισμός του μανδύα είναι αρκετός (π.χ. περισσότερος από 4 ράβδοι) είναι προτιμότερο να γίνει μια μικτή εφαρμογή των δύο παραπάνω διαδικασιών. Στην περίπτωση που απαιτείται συγχρόνως και ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης, η τεχνική προσαρμόζεται έτσι ώστε το θέμα να αντιμετωπιστεί συνολικά (βλ. Ενισχύσεις Στοιχείων Θεμελίωσης).

8) Αγκυρώνονται τα μηχανικά ή χημικά βλήτρα (εφόσον και όπου προβλέπονται).

9) Τοποθετούνται και ηλεκτροσυγκολλούνται τα χαλύβδινα παρεμβλήματα σύνδεσης παλαιών και νέων οπλισμών (αναρτήρες), εφόσον προβλέπονται συγκολλήσεις.

10) Τοποθετούνται νέοι συνδετήρες.



Σχήμα 3.8: Αγκύρωση διαμήκων οπλισμών στα πέδιλα των υποστυλωμάτων.[3]

11) Γίνεται ο τελικός καθαρισμός των επιφανειών με αέρα και νερό υπό πίεση.

12) Διαβρέχεται η επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος τουλάχιστον 6 ώρες πριν την σκυροδέτηση του νέου σκυροδέματος. Η διαβροχή πρέπει να γίνεται και στον ξυλότυπο (εφόσον υπάρχει) και στα αδρανή για την περίπτωση του σκυροτσιμεντοπήγματος.

13) Σκυροδετείται ο μανδύας και ακολουθούν τα μέτρα συντήρησης σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

#### 4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ - ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Για να εκτιμηθεί το μέγεθος του αξονικού φορτίου που μεταφέρεται στους μανδύες υποστυλωμάτων όταν αφαιρεθεί η προσωρινή υποστύλωση ή όταν γενικά αυξηθεί το αξονικό φορτίο του παλαιού υποστυλώματος, έχει προταθεί ένα μαθηματικό προσομοίωμα απ' όπου μπορούν να υπολογισθούν οι δυνάμεις και οι αντίστοιχες σχετικές ολισθήσεις στην



διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος. Οι υπολογιστικές σχέσεις που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα αναφέρονται μόνο στην μεταφορά του αξονικού φορτίου του υποστυλώματος και είναι προσεγγιστικές αφού τα αποτελέσματα της έρευνας στον τομέα αυτό είναι ιδιαίτερα λίγα. Οι οδοί μεταφοράς δυνάμεων δείχνονται παραστατικά στο Σχήμα 4.1 [3] και μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

**Οδός μεταφοράς 1 :** Μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού τριβής.

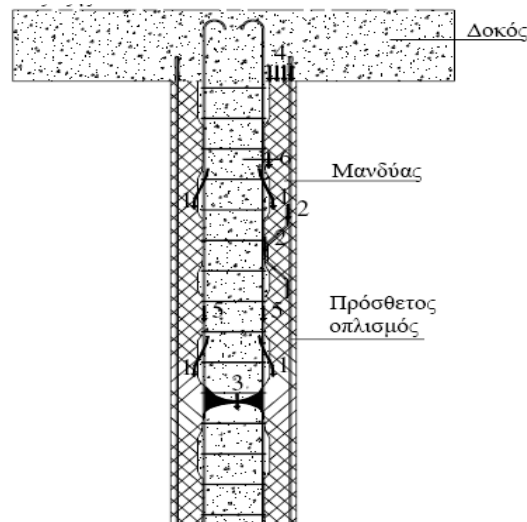
**Οδός μεταφοράς 2 :** Μεταφορά δυνάμεων μέσω συγκολλημένων οπλισμών.

**Οδός μεταφοράς 3 :** Μεταφορά δυνάμεων μέσω της περιοχής βλάβης μετά από αποκατάσταση της συνέχειας.

**Οδός μεταφοράς 4:** Μεταφορά δυνάμεων από τον υπερκείμενο όροφο απευθείας στον μανδύα.

**Οδός μεταφοράς 5:** Μεταφορά δυνάμεων μέσω των παλαιών οπλισμών.

**Οδός μεταφοράς 6:** Μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού δράσης βλήτρου. [3],[6]



Σχήμα 4.1 : Οδοί μεταφοράς δυνάμεων.[3]

Το αξονικό φορτίο  $N_f$ , που μεταβιβάζεται στον μανδύα μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά:

$$\max N_f = 8 \mu f_{2t} t u_o$$

όπου:

$\mu$  είναι ο συντελεστής τριβής στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος.

$f_{2t}$  είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα.

$u_o$  είναι το μήκος του μανδύα που απαιτείται για να αναπτυχθεί η  $\max N_f$ .

Έτσι αν:

$N_u$  είναι το ολικό θλιπτικό φορτίο του επισκευασμένου/ενισχυμένου υποστυλώματος μετά από την αφαίρεση της υποστυλώσης και την ανακατανομή της έντασης και

$N_r$  είναι το θλιπτικό φορτίο που εξακολουθεί να φέρει το αρχικό υποστύλωμα κατά την διάρκεια της επέμβασης,

το μήκος του μανδύα  $u_o$  που απαιτείται για να μεταφερθεί το φορτίο  $N_u - N_r$  εξ' ολοκλήρου μέσω του μηχανισμού τριβής, μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση:

$$u_o = \frac{N_u - N_r}{8 \mu f_{2t} t}$$

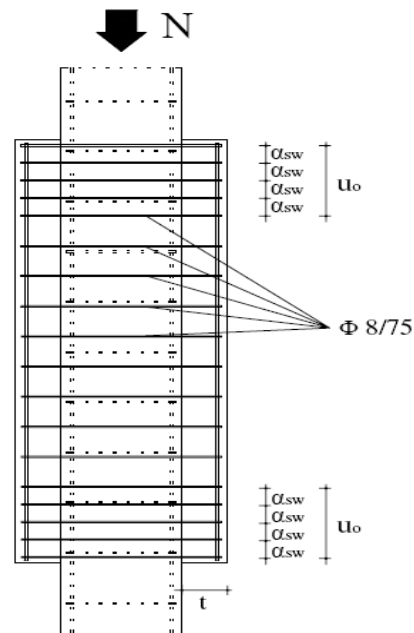
Το κατακόρυφο φορτίο ( $T_s$ ) που μεταφέρεται μέσω λοξών συνδέσμων εκτιμάται από την σχέση :

$$T_s = \frac{\sum A_s \cdot E_s}{\sqrt{2} h_s} s_{cr}$$

όπου:

$\Sigma A_s$  είναι το εμβαδόν της συνολικής διατομής των λοξών σκελών των αναρτήρων.

$E_s$  είναι το Μέτρο Ελαστικότητας του χάλυβα (των αναρτήρων).



Σχήμα 4.2 : Μόρφωση μανδύα.[3],[6]

$h_s 2^{1/2}$  είναι το μήκος κάθε λοξού σκέλους αναρτήρα με κλίση  $45^\circ$

$s_{cr}$  είναι η κρίσιμη τιμή της ολίσθησης στην διεπιφάνεια όταν μεγιστοποιείται η αντίσταση τριβής και μπορεί να ληφθεί ίση προς 0,15 mm.

Στις ακραίες περιοχές μήκους  $u_o$  το πλήθος των απαιτούμενων αναρτήρων ( $n_a$ ) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την φέρουσα ικανότητά τους.

$$N_u - N_r = n_a \left( 14 \frac{A_s}{h_s} \right) \quad [\text{kN, mm}]$$

Στις ακραίες περιοχές μήκους  $u_o$  (Σχ.4.2) πρέπει να διατάσσονται πυκνοί συνδετήρες οι οποίοι προσδιορίζονται από την σχέση:

$$\frac{A_{sw}^\sigma}{a_{sw}} \geq \frac{t \cdot f_{2t}}{f_{ywd}}$$

όπου :

$A_{sw}^\sigma$  είναι το εμβαδόν της διατομής της ράβδου του συνδετήρα

$a_{sw}$  είναι η απόσταση των συνδετήρων

$f_{ywd}$  είναι το όριο διαρροής των συνδετήρων

$f_{2t} = f_{ctk0,95}$

#### 4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

- Ελάχιστο πάχος μανδύα
  - Με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 50 mm.
  - Με έγχυτο σκυρόδεμα και μία σειρά νέων οπλισμών, 80-120 mm.
  - Με έγχυτο σκυρόδεμα και δύο σειρές νέων οπλισμών, 120 mm τουλάχιστον.
 Για μικρό πάχος μανδύα θα πρέπει τα άκρα των συνδετήρων να ηλεκτροσυγκολλούνται σε εναλλασσόμενες πλευρές του υποστυλώματος.
- Ελάχιστοι νέοι κατακόρυφοι οπλισμοί και ελάχιστοι συνδετήρες : Ισχύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις υποστυλωμάτων. Στην περιοχή της βλάβης τίθενται συνδετήρες τουλάχιστον  $\Phi 8/75$  mm.
- Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν βλήτρα από χάλυβα S500s εμβαδού διατομής:

$$A_{sd} = \rho_{\delta, \min} A_{c\delta}$$

όπου  $\rho_{\delta, \min} = \max(\rho_{w, \min}^{\text{οπλ. διατμ.}}, 0.12\%)$

$\rho_{w, \min}^{\text{οπλ. διατμ.}}$  είναι το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Κανονισμό για την Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα

$A_{c\delta}$  είναι το εμβαδόν της διατομής της διεπιφάνειας.

Οι αποστάσεις (S) των βλήτρων πρέπει να ικανοποιούν την σχέση:

$$S \leq \min(6h_{\min}, 800\text{mm})$$

όπου  $h_{\min}$  είναι το μικρότερο από τα πάχη των δύο στοιχείων που έρχονται σε επαφή. Εναλλακτικά μπορούν να γίνουν ηλεκτροσυγκολλήσεις των διαμήκων ράβδων.

- Η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι τουλάχιστον μία κατηγορία μεγαλύτερη αυτής του παλαιού υποστυλώματος.
- Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το διπλάσιο το εμβαδού της διατομής του αρχικού υποστυλώματος ( $A_{c2} \leq 2A_{c1}$ ).
- Τα όρια του μανδύα πρέπει να φθάνουν σε απόσταση από τα όρια της βλάβης τουλάχιστον μιάμιση φορά την μεγαλύτερη διάσταση του παλαιού υποστυλώματος.
- Στην περίπτωση που απαιτείται επισκευή του υποστυλώματος κοντά στον κόμβο, εξετάζεται η δυνατότητα επέκτασης του μανδύα στον γειτονικό όροφο.[3],[6]

## 5. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

### Δεδομένα : [9]

Υφιστάμενο Υποστύλωμα : 350 x 350 mm , h = 3000 mm , C16/20 , S400, 4Φ16, d<sub>1</sub> = 40mm.

Μανδύας : t = 100 mm , C20/25, S500, 8Φ16, d<sub>1</sub> = 40mm.

Αξονικό φορτίο : N<sub>d</sub> = - 500 KN.

### Προσεγγιστική επίλυση : [9]

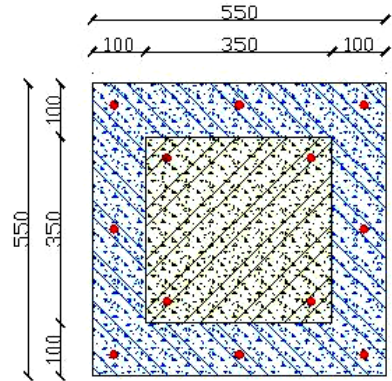
Έστω ότι η θλιπτική δύναμη αναλαμβάνεται εξ'ολοκλήρου από τον μανδύα και οι οπλισμοί του μανδύα αναλαμβάνουν τη δύναμη διαρροής τους.

$$v_d = N_d / (b h f_{cd}) = -500 / (0,55 \times 0,55 \times 20000) = -0,124 > -0,4$$

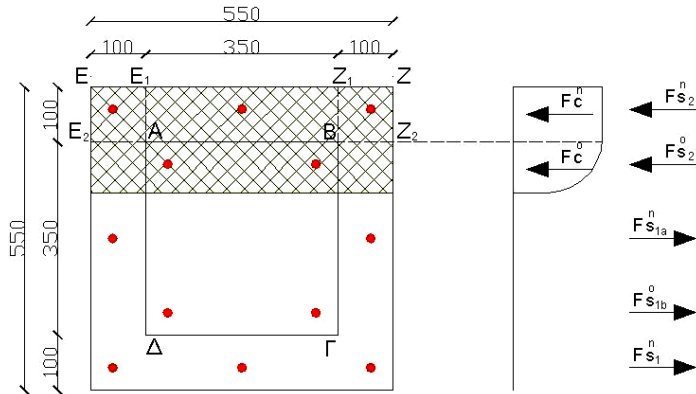
$$F_{s,tot} = 5 A_s f_{yd} = 5 \times 201 \times 400 / 1,15 = 349565 \text{ N} \approx 350 \text{ KN}$$

$$F_{c,tot} = N_d - F_{s,tot} = -500 - 350 = -850 \text{ KN}$$

$$d = 550 - 80 = 470 \text{ mm}$$



Σχήμα 5.1 : Κάτοψη υποστυλώματος και μανδύα



Σχήμα 5.2 : Θλιβόμενη ζώνη και δυνάμεις.

$$F_c = b 0,85 f_{cd} 0,8x \Rightarrow x = 170 \text{ mm}, \xi = 410 \text{ mm}, \zeta = 0,85, z = 400 \text{ mm},$$

$$M_d = F_{c,tot} z + N_d y_{s1} = F_{c,tot} z + N_d (h/2 - d_1) = 850 \times 0,40 - 500 \times [0,55/2 - (0,55 - 0,47)] = 243 \text{ KNm}$$

$$F_{s,\mu} = 3 A_s f_{yd} = 3 \times 201 \times 0,4 / 1,15 = 210 \text{ KN}$$

$$F_{c,\mu} = -850 \text{ KN}$$

$$u_o = (F_{c,\mu} \times h) / (F_{c,\mu} + F_{s,\mu}) = 850 \times 3000 / (850 + 210) = 2406 \text{ mm}$$

$$f_{2td} = f_{ctk0,95} / 1,5 = 0,70 \times f_{ctm} / 1,5 = 0,70 \times 0,30 \times f_{ck}^{2/3} / 1,5 = 0,14 \times f_{ck}^{2/3} = 0,14 \times 20^{2/3} \Rightarrow f_{2td} = 1,32 \text{ Mpa}$$

$$x > 2t = 2 \times 100 = 200 \text{ mm} \Rightarrow x - t = 170 - 100 = 70 \text{ mm} \Rightarrow T_f = (2t + 2 \times 70) u_o \mu f_{2td} = (2 \times 100 + 140) \times 2406 \times 1 \times 1,032 = 844 \text{ KN} < F_{c,\mu} = 850 \text{ KN} \Rightarrow \text{Βλήτρα}$$

Για ευθύγραμμο βλήτρα πρέπει μήκος εντός μανδύα και εντός υποστυλώματος από 8d<sub>b</sub>.

Επειδή t = 100 mm  $\Rightarrow d_b = 10 \text{ mm}$  Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται βλήτρα Φ14 S500 μορφής Γ , 5 d<sub>b</sub> = 5 x 14 = 70 mm < t

Το πρώτο και το τελευταίο βλήτρο σε απόσταση c από τα άκρα.

$$c = \min(7d_b, 100 \text{ mm}) = \min(7 \times 14 = 98 \text{ mm}, 100 \text{ mm})$$

$$c \cong 100 \text{ mm} > 5d_b = 70 \text{ mm}$$

Έστω αστοχία βλήτρου τύπου Β (απόσχιση ή διάρρηξη σκυροδέματος)

$$V_{Rd,D1} = 1,3 / \gamma_{Rd} d_b^2 (f_{cd} f_{yd})^{1/2}$$

Μειωτικός Συντελεστής Λόγω Ανακύκλισης Φόρτισης :

$$\alpha = (1 - \delta (n - 1))^{1/2}$$

$$\text{Επομένως: } V_{Rd,D} = V_{Rd,D1} \times \alpha = 1,3 / \gamma_{Rd} d_b^2 (f_{cd} f_{yd})^{1/2} [1 - \delta (n - 1)]^{1/2}$$

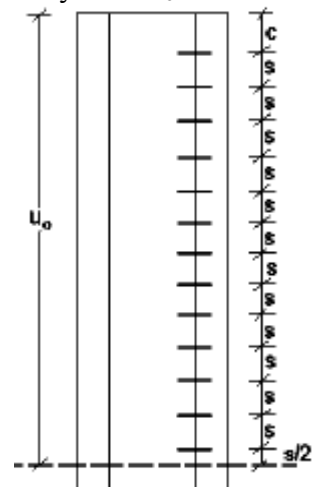
$$\text{όπου } \gamma_{Rd} = 1,3, \delta = 0,15, V_{Rd,D} = 9,41 \text{ KN}, n = 3 \text{ (κύκλοι φόρτισης)}$$

$$\text{Επομένως: } n_D \geq (F_{c,\mu} - T_f) / V_{Rd,D} = (850 - 844) / 9,41 = 0,64$$

$\cong 1$  βλήτρα (οριακά τοποθετείται στη μέση του ύψους υποστυλώματος)

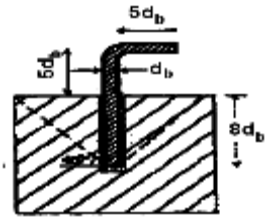
$$s_{cr} = \gamma_{Rd} (l_b + d_b) = 1,3 (8d_b + d_b) = 11,7d_b = 164 \text{ mm}$$

Εάν δεν έχει γίνει καλή σφήνωση μανδύα : F<sub>s,μ</sub> = 210 KN



Σχήμα 5.3 : Θέσεις βλήτρων. [15]

Αγνοώντας τριβή:  $n_D \geq 210/9,41 = 22,32 \approx 23$  βλήτρα Φ14 S500  
 $s = (3000-2406-100)/22,5 = 21,96 \ll s_{cr} \Rightarrow$  Καλή σφήνωση  
 Εάν η σφήνωση του μανδύα δεν ήταν καλή τότε χρησιμοποιούνται οι αναρτήρες, που υπολογίζονται ως εξής :  
 Έστω χρησιμοποιούνται αναρτήρες Φ18 S500s και  $h_s = 90 - 18 = 72$ mm  
 $T_{\alpha,1} = 2 \times 10 \times A_{sa} / h_s = 70,55 \text{KN} > F_s^{\text{παλ.ραβδ}} = 69,9 \text{KN}$   
 Επομένως  $T_{\alpha,1} = 69,9 \text{KN}$ , έστω 2 αναρτήρες σε κάθε γωνιακή ράβδο.



Σχήμα 5.4 : Τρόπος αγκύρωσης βλήτρων.

$T_{\alpha} = 2 \times 2 \times 69,9 = 279,6 \text{KN} > F_{s,\mu} = 210 \text{KN} \Rightarrow$  Όχι βλήτρα  
 Στις θλιβόμενες διεπιφάνειες 2 αναρτήρες σε κάθε γωνιακή ράβδο αρκούν:  
 $T_f + T_{\alpha} = 844 + 279,6 = 1123,6 \text{KN} > F_{c,\mu} = 850 \text{KN}$   
 Όχι καλά σφηνωμένος μανδύας : 4 αναρτήρες Φ18 S500s σε κάθε γωνιακή ράβδο.  
 $h-2(h-u_o) = 1812 > s_{\max} \Rightarrow$  Ελάχιστα βλήτρα στο τμήμα αυτό  
 Ελάχιστες απαιτήσεις οπλισμού διεπιφάνειας:  $\rho_{\delta} = A_{sd} / A_{c\delta} \sin \alpha =$   
 $4 \times 4 \times 2 \times 254 \times 2^{1/2} / (2 \times 4 \times 400 \times 3000) = 0,12\% = \rho_{\delta,\min} \Rightarrow$  Δεν χρειάζονται πρόσθετα βλήτρα

### Έλεγχος ελαχίστων [9]

$A_{sd}^{\min} = \rho_{\delta,\min} A_{c\delta}$   
 $\rho_{\delta,\min} = \max(\rho_{w,\min}^{\text{οπλ.διατμ.}}, 0,12\%) = \max(0,07\%, 0,12\%) = 0,12\%$   
 Επομένως:  $A_s^{\beta\lambda\eta\tau\rho} / (b s) = 0,12\% \Rightarrow 154 / (350 s) = 0,12\% \Rightarrow s \leq 370 \text{mm}$   
 Επίσης:  $s \leq \min(6t, 800 \text{mm}) = \min(6 \times 100 = 600 \text{mm}, 800 \text{mm}) \Rightarrow s \leq 600 \text{mm}$   
 Επομένως τοποθετείται ένα βλήτρο S500 Φ14 σε όλες τις πλευρές.

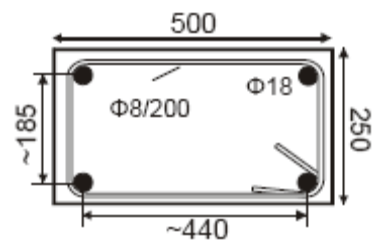
## 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

Η πειραματική δοκιμή υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με μανδύες σκυροδέματος πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο κατασκευών του Πανεπιστημίου Πατρών από τους καθηγητές Κ<sup>ο</sup>ς Μ. Φαρδή και Ε. Μπούσια καθώς και τον Δρ. Πολ. Μηχανικό Κ<sup>ο</sup> Α. Σπάθη στα πλαίσια της εργασίας που παρουσίασαν στο 15<sup>ο</sup> συνέδριο σκυροδέματος στην Αλεξανδρούπολη, την 25<sup>η</sup> – 27<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2006. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών σε υποστυλώματα πριν και μετά την ενίσχυσή τους με μανδύες εκτοξευμένου σκυροδέματος.[10]

### 6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής 250 x 500 mm είχαν τέσσερις ράβδους νευροχάλυβα Φ18, με όριο διαρροής 514MPa και εφελκυστική αντοχή 659MPa και αγκύρωση στο πέδιλο (ύψους 600 mm) με ορθογωνικό άγκιστρο. Το ύψος των υποστυλωμάτων ήταν 1,60 m. Σε ένα αριθμό δοκιμών ο διαμήκης οπλισμός ματίστηκε στη βάση του υποστυλώματος, με παράθεση μήκους 15Φ, 30Φ ή 45Φ. Και στους δύο τύπους δοκιμών ο εγκάρσιος οπλισμός αποτελείτο από συνδετήρες λείου χάλυβα διαμέτρου Φ8 σε αποστάσεις 200mm με αγκύρωση των άκρων τους με κάμψη του ενός κατά 90<sup>ο</sup> και του άλλου κατά 135<sup>ο</sup> (Σχήμα 6.1). Το όριο διαρροής και η εφελκυστική αντοχή των συνδετήρων ήταν 425MPa και 596MPa αντίστοιχα.

Τα υποστυλώματα υποβλήθηκαν σε μονοαξονική ανακυκλιζόμενη φόρτιση με εύρος αυξανόμενο κατά 5mm σε κάθε κύκλο, για ευκολότερη αναγνώριση της επιρροής των παραμέτρων των δοκιμών στην ικανότητα παραμόρφωσης. Υδραυλικό έμβολο ασκούσε στην κορυφή των δοκιμών περίπου σταθερό αξονικό φορτίο 800 kN.



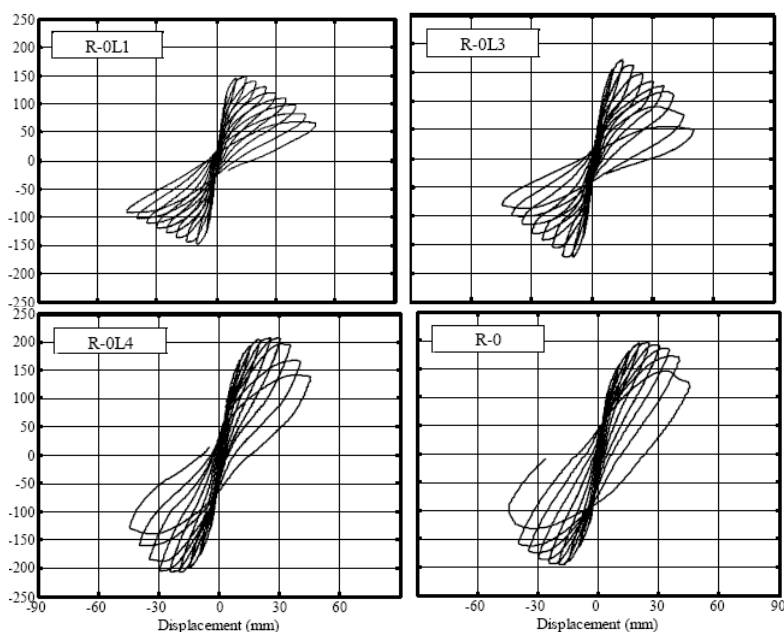
Σχήμα 6.1: Διατομή υποστυλωμάτων.[10]

## 6.2 ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Οι βρόχοι υστέρησης των μη-ενισχυμένων δοκιμών R φαίνονται στο Σχήμα 6.3 (για συνεχή οπλισμό το δοκίμιο χαρακτηρίζεται με L0, ενώ για μήκος μάτισης 15, 25 και 45Φ, με L1, L2 και L3, αντίστοιχα). Το υποστύλωμα με το συνεχή διαμήκη οπλισμό (R-0L0) διέρρηξε σε κάμψη αλλά, μετά τη μέγιστη αντίσταση, παρουσίασε απότομη πτώση με την ανακύκλιση και εμφάνιση λοξών ρωγμών (επιρροή διάτμησης). Τελικά αστόχησε σε σχετική μετακίνηση 2.5%, με αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και λυγισμό των διαμήκων ράβδων.

Δοκίμιο	Μήκος μάτισης	Στατικό ύψος (mm)	$f_c$ (MPa)	$\nu=N/bhf_c$	Παραμόρφωση αστοχίας, $\theta_u$ (%)
R-0	-	455	31.0	0.26	2.5
R-0L1	15Φ	470	27.4	0.23	1.9
R-0L3	30Φ	465	27.4	0.28	1.9
R-0L4	45Φ	470	27.4	0.28	2.5

Πίνακας 6.2 : Χαρακτηριστικά υποστυλωμάτων ελέγχου ορθογωνικής διατομής.[10]



Σχήμα 6.3: Βρόχοι υστέρησης δοκιμών ελέγχου ορθογωνικής διατομής με νευροχάλυβα.[10]

Στα δοκίμια με μάτιση του οπλισμού η αρχική δυσκαμψία είναι παρόμοια αυτής του δοκιμίου με συνεχή οπλισμό. Η επιρροή της μάτισης εκδηλώνεται μετά τη διαρροή. Το εύρος των βρόχων υστέρησης και η απορρόφηση ενέργειας μειώνονται με τη μείωση του μήκους μάτισης. Το δοκίμιο R-0L1 (μάτιση 15Φ) είχε τη χαμηλότερη αντοχή, ενώ παρουσίασε πολύ σύντομα αποφλοιώση του σκυροδέματος στις γωνίες και απώλεια συνάφειας.

## 6.3 ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ Ο.Σ.

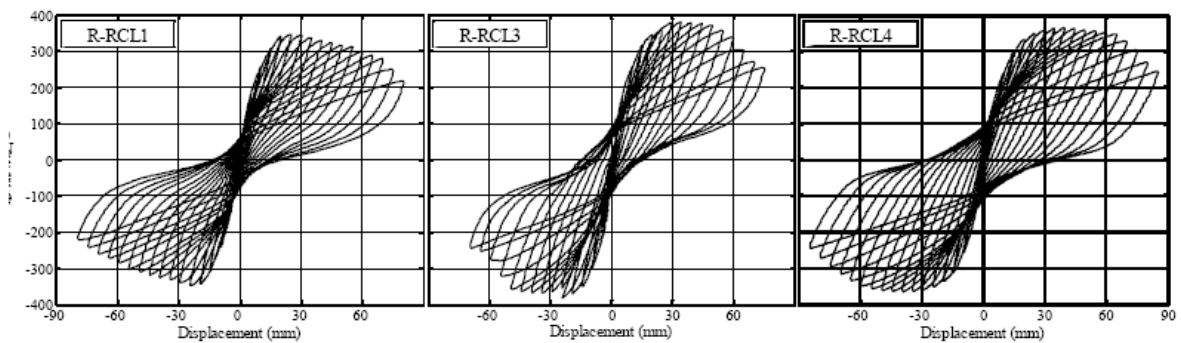
Ο μανδύας ήταν από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος 75mm, το οποίο είναι το ελάχιστο που επιτρέπει επαρκή επικάλυψη του οπλισμού και δυνατότητα κάμψης των άκρων των συνδετήρων κατά 135°. Ο οπλισμός του μανδύα αποτελούνταν από 6Φ18 (νευροχάλυβα S500, με όριο διαρροής 487MPa) που είχαν τοποθετηθεί πριν τη σκυροδέτηση του δοκιμίου και αγκυρώνονταν στο πέδιλο με ορθογωνικό άγκιστρο. Ο εγκάρσιος οπλισμός αποτελούνταν από συνδετήρες Φ10/100 (S500, όριο διαρροής 599MPa). Κύρια παράμετρος αυτής της σειράς δοκιμών ήταν ο τρόπος σύνδεσης του μανδύα με το αρχικό στοιχείο και η επιρροή προγενέστερης βλάβης. Εξετάστηκαν 3 δοκίμια (Πίνακας 6.4) με μήκος μάτισης

15Φ (R-RCL1), 30Φ(R-RCL1) και 45Φ(R-RCL1), αντίστοιχα. Λόγω των σημαντικών απαιτήσεων συνάφειας, παρατηρήθηκε κατά τις δοκιμές ρηγματώση και αποφλοιώση του μανδύα κατά μήκος των γωνιακών ράβδων, σε βαθμό αντιστρόφως ανάλογο του μήκους μάτισης.

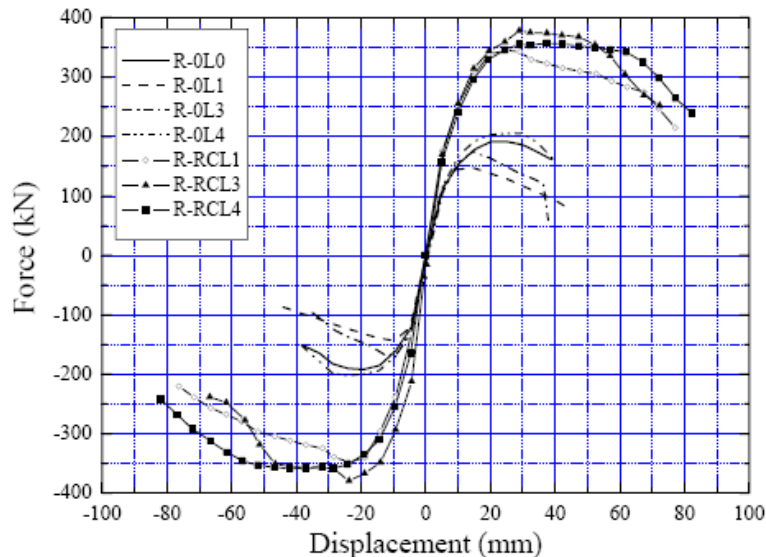
Δοκίμιο	Μήκος μάτισης	Στατικό ύψος (mm)	$f_c$ (MPa)		$\nu=N/bhf_c$	Παραμόρφωση αστοχίας, $\theta_u$ (%)
			Αρχικό δοκίμιο	Μανδύας		
R-RCL1	15Φ	600	36.70	55.30	0.066	4.2
R-RCL3	30Φ	605	36.80	55.30	0.066	3.8
R-RCL4	45Φ	600	36.30	55.30	0.052	4.7

Πίνακας 6.4 : Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων ορθογωνικής διατομής ενισχυμένων με μανδύα Ο.Σ.[10]

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης των δοκιμών που είχαν ενισχυθεί με μανδύες (σχήμα 6.5) καθώς και οι περιβάλλουσες των βρόχων σε όλα τα δοκίμια ενισχυμένα και μη προκειμένου να γίνει η σύγκρισή τους (σχήμα 6.6).



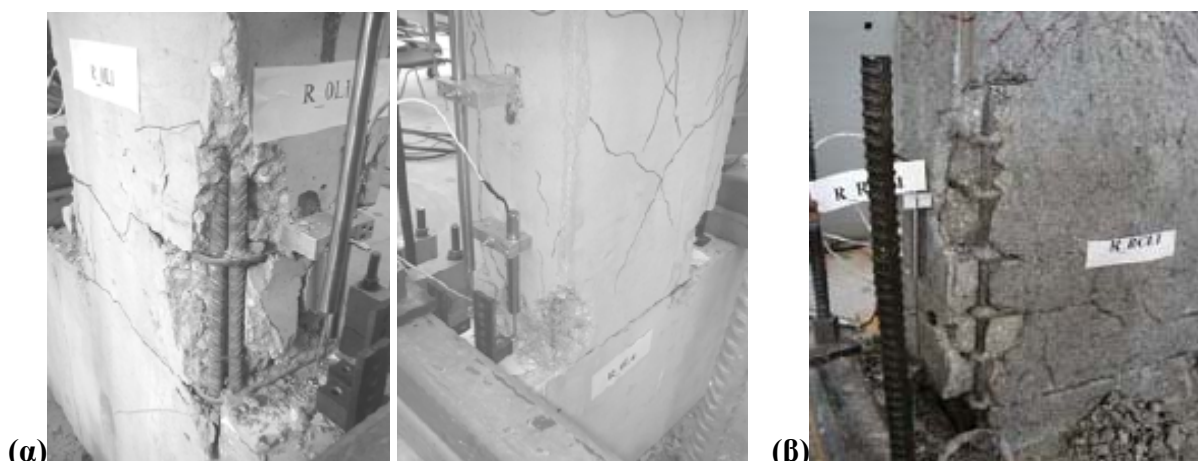
Σχήμα 6.5 : Βρόχοι υστέρησης δοκιμών ορθογωνικής διατομής ενισχυμένων με μανδύες Ο.Σ.[10]



Σχήμα 6.6 : Σύγκριση περιβαλλουσών βρόχων υστέρησης αρχικών ορθογωνικών δοκιμών και δοκιμών ενισχυμένων με μανδύα ΟΣ.[10]



Σχήμα 6.7 : Ενίσχυση με μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος.[10]



Σχήμα 6.7 : Αστοχίες υποστυλωμάτων μη ενισχυμένων (α) και ενισχυμένων με μανδύες Ο.Σ. (β). [10]

Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6, τα υποστυλώματα που ενισχύθηκαν με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα, είχαν τη διπλάσια και πλέον αντοχή και ικανότητα παραμόρφωσης σε σχέση με τα μη ενισχυμένα υποστυλώματα.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προέκυψε και από την πειραματική διαδικασία στη δοκιμή των κων Φαρδή, Μπούσια και Σπαθή, τα υποστυλώματα οπλισμένα είτε με τους παλαιούς κανονισμούς και με λείο οπλισμό, είτε με νευρογάλυβα, είχαν μικρή ικανότητα παραμόρφωσης υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Η ενίσχυσή τους με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την αντοχή τους και την ικανότητα παραμόρφωσής τους, χωρίς όμως να εξαλείφεται πλήρως η δυσμενής επίδραση των πολύ κοντών ματίσεων. [10]

Κατόπιν πολλών πειραματικών δοκιμών παγκοσμίως, έχει προκύψει ότι από τους διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να πετύχουμε ενίσχυση των υποστυλωμάτων, η τεχνική της κατασκευής μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί την πλέον αποτελεσματική σε ότι αφορά την αύξηση της αντοχής, πλαστιμότητας και δυσκαμψίας τους. [14]

Στην Ελλάδα οι μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται για ενίσχυση υποστυλωμάτων περισσότερο από κάθε άλλη τεχνική, καθώς εκτός από αποτελεσματική είναι και σχετικά οικονομική. Ενδεικτικά αναφέρεται το τιμολόγιο για εργασίες επισκευής βλαβών με μανδύες σε πυρόπληκτα κτίρια, όπως αναφέρεται σε απόφαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων που ανακοινώθηκε μετά τις καταστροφικές πυρκαγιές του καλοκαιριού του 2007. [11]

Σύμφωνα με την απόφαση αυτή : Για την αποκατάσταση ή ενίσχυση με μανδύα, ενός κυβικού μέτρου στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκού, υποστυλώματος ή τοιχείου), που είτε παρουσιάζει μερική ή πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, σύμφωνα με το κεφάλαιο 4 του τεύχους «Συνοπτικές οδηγίες για επισκευή του φέροντος οργανισμού κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με βλάβες από σεισμό», είτε απαιτείται η ενίσχυσή τους από τη νέα εντατική κατάσταση που δημιουργείται σε αυτά, μετά την αποκατάσταση ή ενίσχυση άλλων στοιχείων που είχαν πάθει βλάβη. Στην τιμή περιλαμβάνονται και όλες οι δαπάνες για να απογυμνωθεί το σκυρόδεμα, ο οπλισμός, η κατασκευή ξυλοτύπου, κατασκευή επιχρισμάτων κλπ.

α) Για μανδύα από έγχυτο σκυρόδεμα :

Ο υπολογισμός της δαπάνης, γίνεται με βάση τον όγκο του παλιού στοιχείου. (1000 €)

β) Για μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα :

Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με τον πραγματικό όγκο του νέου σκυροδέματος. (1450 €)

Στα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής μπορούν να αναφερθούν τα πολλά εργατικά χέρια που είναι απαραίτητα καθώς και η μεγάλη χρονική διάρκεια των εργασιών σε σύγκριση για παράδειγμα με τις μεθόδους ενίσχυσης με σύνθετα υλικά όπου ο χρόνος εργασίας αλλά και τα απαιτούμενα εργατικά χέρια είναι πολύ λιγότερα. Ακόμη ένα βασικό μειονέκτημα είναι η όχληση που προκαλείται στους ενοίκους λόγω σκόνης και θορύβου (συνήθως στην περίπτωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος), με αποτέλεσμα συχνά να απαιτείται η απομάκρυνσή τους κατά τη διάρκεια των εργασιών.[7]

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δρίτσος Η. Σ.  
“Επισκευές-Ενισχύσεις Κατασκευών πριν και μετά τον Σεισμό.” 14<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε. Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος 2003
- [2] Κτίριο (Τεχνικό περιοδικό)“Βλάβες από σεισμό. Τύποι και παράγοντες” [www.ktirio.gr](http://www.ktirio.gr)
- [3] Ο.ΑΣ.Π.-Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε  
“Συστάσεις για Προσεισμικές και Μετασεισμικές Επεμβάσεις στα Κτίρια” Αθήνα 2001
- [4] Κολλάτος Προκόπης  
“Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με τη Χρήση Μανδύων Ο. Σ.”  
12<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο Πάτρα Φεβρουάριος 2006
- [5] Σπυράκος Κ. Καθηγητής Ε..Μ.Π.  
“Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά φορτία” Τεχνικό Επιμελητήριο Αθήνα 2004
- [6] Δρίτσος Σ.,  
“ Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα” Πάτρα 2006.
- [7] Τσιβίκας Ιωάννης  
“Ενισχύσεις-Επισκευές Υποστυλωμάτων Ο.Σ με τη Χρήση Μανδύων Οπλισμένου Σκυροδέματος” 11<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο - Πάτρα - Φεβρουάριος 2005
- [8] Ministry of Enviroment Planning and Public Works Earthquake Planning and Protection Organisation  
“Risk Elements Removal, Temporal Support and Propping” Athens 2000
- [9] Δρίτσος Στέφανος  
Ασκήσεις ενισχύσεων <http://eclass.upatras.gr/modules/document/>
- [10] Σπαθής Α. Α., Μπούσιας Ν. Ε., Φαρδής Ν. Μ.  
“Δοκιμές Υποστυλωμάτων Ο.Σ. Ενισχυμένων με Μανδύες Σκυροδέματος ή Ινοπλισμένα Πολυμερή” 15<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε. 2006.
- [11] Απόφαση Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων  
“Τιμολόγιο για εργασίες επισκευής βλαβών από πυρκαγιές” Απόφαση προς δημοσίευση στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως 2007.
- [12] Ασημακοπούλου Μαριάννα – Γκίκα Μαρία  
“ Επισκευές – Ενισχύσεις Υποστυλωμάτων ” 7<sup>ο</sup> Φοιτ. Συνέδριο – Πάτρα Μαρτίος 2001.
- [13] <http://www.episkeves.civil.upatras.gr/photos/>
- [14] Τσώνος Δημ. Αλέξανδρος Καθηγητής ΑΠΘ  
“Αποδοτικότητα Μανδύων από FRP’s στην Ενίσχυση Υποστυλωμάτων και Κόμβων από Ο.Σ. – Σύγκριση αποδοτικότητας των Μανδύων αυτών με τους συμβατούς από Ο.Σ.”  
Τεχνικά Χρονικά – ΤΕΕ 2006