

**ΘΕΜΑ:**

**ΒΛΑΒΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΛΟΓΩ ΣΕΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στις σελίδες που ακολουθούν παρουσιάζονται συνοπτικά οι βλάβες που δημιουργούνται στα υποστυλώματα των κατασκευών και οφείλονται σε σεισμικές δυνάμεις. Οι βλάβες αυτές στη συνέχεια κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με το βαθμό τους επιλέγεται η επισκευή ή ενίσχυση τους (αναφέρονται ενδεικτικές μέθοδοι). Ο βασικός στόχος των επεμβάσεων είναι η αύξηση της αξονικής φέρουσας ικανότητάς και ταυτόχρονα της πλαστιμότητας τους.

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ένας ισχυρός σεισμός θέτει σε δοκιμασία το σύνολο μιας κατασκευής. Αυτό έχει ως συνέπεια να αποκαλύπτονται όλες οι αδυναμίες της, που μπορεί να οφείλονται σε ατέλειες του κανονισμού σχετικές με τα φορτία σχεδιασμού ή σε σφάλματα υπολογισμού κατά την διαστασιολόγηση και όπλιση των δομικών στοιχείων. Η αντισεισμικότητα των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα εξαρτάται από την αντισεισμική ικανότητα των δοκών και των υποστυλωμάτων του σκελετού τους. Αυτή εξαρτάται, ιδιαίτερα των υποστυλωμάτων, κυρίως από τους συνδετήρες που εξασφαλίζουν αφενός μεν το λυγισμό των ράβδων του οπλισμού που περιβάλλουν, αφετέρου δε, εξασφαλίζουν τη συγκράτηση του σκυροδέματος που τείνει να σπάσει με πλευρική διόγκωση. Επειδή το σκυρόδεμα συρρικνώνεται (συστολή από ξήρανση) και έρπει από την επίδραση των μέσων που το περιβάλλουν, οι τάσεις στους κατά μήκος οπλισμούς με τον καιρό μεγαλώνουν και μπορούν να φτάσουν σε πολύ υψηλές τιμές (μέχρι και το όριο διαρροής). Άρα η εξασφάλιση των οπλισμών από τον λυγισμό με συνδετήρες ή σε περίπτωση ενίσχυσης τους με κάποια κατάλληλη εξωτερική περίσφιξη (ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα ή FRP) έχει τεράστια σημασία σε υποστυλώματα με μεγάλη φόρτιση. Άλλοι παράγοντες που καθιστούν την ύπαρξη και σωστά τοποθετημένων πυκνών συνδετήρων ή και την εφαρμογή εξωτερικών μανδύων είναι οι μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής κίνησης του εδάφους στο σκυρόδεμα και στις ράβδους οπλισμού της κατασκευής, με αποτέλεσμα την αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και τον λυγισμό των οπλισμών.

**ΠΡΟΣΩΡΙΝΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΕΙΣ <sup>2-1</sup>**

Ο βλαμμένος λόγω σεισμού φέρων οργανισμός (κυρίως τα κατακόρυφα στοιχεία) πρέπει “άμεσα” να εξασφαλισθεί με τοποθέτηση υποστυλώσεως. Με την υποστύλωση προκαλείται ελάφρυνση των βλαμμένων στοιχείων από τα φορτία τους μέσω πρόσθετων προσωρινών στοιχείων, που θα αναλαμβάνουν μέρος (το λιγότερο το 1/3) ή όλα τα φορτία του προς ενίσχυση στοιχείου. Πολλές φορές κρίνεται αναγκαία η χρήση υποστυλώσεως σε όλους τους ορόφους μιας κατασκευής και όχι μόνο σε αυτόν όπου εμφανίστηκαν βλάβες (καλύτερη κατανομή της έντασης). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην απόσταση των υποστυλώσεων από το βλαμμένο στοιχείο. Αυτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη έτσι ώστε, να αποφεύγεται η εμφάνιση μεγάλων τιμών αρνητικών ροπών στα άκρα των δοκών, που συντρέχουν στο βλαμμένο υποστύλωμα, λόγω μεταφοράς της στήριξης προς το κέντρο τους, αλλά ταυτόχρονα να μπορούν τα συνεργεία να εργαστούν χωρίς δυσκολίες. Οι κύριες μέθοδοι υποστυλώσεων είναι οι εξής:

- α) βιομηχανικά ικριώματα

- β) κορμοί δένδρων
- γ) σιδηρές διατομές
- δ) τακαρίες

Η υποστύλωση αυτή ,που αποτελεί το βασικότερο μέτρο ασφαλείας των εργαζομένων ,δεν επιτρέπεται να απομακρυνθεί πριν την περάτωση των εργασιών ενισχύσεως ,κατά τη διάρκεια των οποίων ο μελετητής και επιβλέπων Μηχανικός πρέπει να είναι μόνιμα παρών.

### **ΒΛΑΒΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ <sup>3</sup>**

Στη συντριπτική τους πλειονότητα οι βλάβες των υποστυλωμάτων από κτίρια με Ο/Σ οφείλονται σε αστοχίες διαφόρων μορφών στα άκρα τους (σχήμα 1 <sup>4</sup>), αναλόγως με τις σχετικές τιμές των φορτίων στη διατομή (N , Q , M ) και από διάφορους κατασκευαστικούς παράγοντες . Άλλες συστηματικές βλάβες παρουσιάζονται στις περιοχές παράθεσης των οπλισμών , όπου πάλι συνήθως έλειπαν οι συνδετήρες . Συγκεκριμένα οι βλάβες που εμφανίζονται από σεισμό στα υποστυλώματα είναι τριών ειδών κυρίως:

### **Σχήμα 1**

#### **α)Βλάβη από αύξηση του αξονικού φορτίου (N) :**

Οι θραύσεις αυτού του είδους εκδηλώνονται σε στύλους πλαισίων λόγω σύζευξής τους με τοιχεία . Το σημείο που εμφανίζονται αυτές οι θραύσεις είναι σε τυχαίο ύψος μεταξύ των πατωμάτων. Αυτή η εικόνα θραύσης αποτελεί μία κλασσική περίπτωση όπου το αξονικό φορτίο προκαλεί λυγισμό των ράβδων μεταξύ των συνδετήρων και πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος .Αύξηση του φορτίου με τα ίδια αποτελέσματα μπορεί να προκαλέσουν οι ροπές ανατροπής του κτιρίου.

### **β) Βλάβη λόγω κάμψης**

Οι αστοχίες αυτού του είδους είναι ψαθυρής μορφής και εμφανίζονται στα άκρα των υποστυλωμάτων και συχνότερα στις κεφαλές. Η θλιβόμενη ζώνη συντρίβεται κυκλικά και από τις δυο πλευρές και αφού δημιουργηθούν μεγάλες καμπτικές ροπές η συντριβή αυτή εκδηλώνεται με αποφλοιώση του σκυροδέματος επικαλύψεως των οπλισμών και εν συνεχεία την διάρρηξη του πυρήνα με αποτέλεσμα την διαρροή και πολλές φορές την θραύση των συνδετήρων. Βασικές αιτίες αυτού του είδους βλάβης θα πρέπει να θεωρηθούν η χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος, οι αραιοί συνδετήρες ή ύπαρξη ισχυρών δοκών, δηλαδή όταν γίνεται έλεγχος σε ένα κόμβο και το άθροισμα των οριακών ροπών του υποστυλώματος είναι μικρότερο από το άθροισμα των οριακών ροπών των δοκών, και τέλος η με πολλούς κύκλους επαναλήψεως ισχυρή διέγερση.

### **γ) Βλάβη από διάτμηση**

Οι αστοχίες αυτές έχουν διατμητικό χαρακτήρα και εκδηλώνονται υπό μορφή χιαστή ρηγμάτων λοξού εφελκυσμού στη ασθενέστερη ζώνη του υποστυλώματος, όπου αυτές οι ρωγμές (περίπου  $45^{\circ}$ ) και το άνοιγμα του διατμητικού οπλισμού (συνδετήρες) μπορεί να προκαλέσει ψαθυρή και κατ'επέκταση επικίνδυνη μορφή αστοχίας. Αυτά τα ανοίγματα παρατηρούνται ιδίως σε υποστυλώματα στα οποία η γωνία κάμψης στα άγκιστρα των συνδετήρων (τσέρκια) δεν είναι  $45^{\circ}$  αλλά  $90^{\circ}$  (σχήμα 2<sup>4</sup>). Ακόμα τέτοιου είδους βλάβες εμφανίζονται σε περιπτώσεις τοπικής αύξησης της ακαμψίας από μείωση του ύψους με το οποίο συνεργάζεται το υποστυλώμα. Δηλαδή η βασική αιτία βλάβης αυτού του τύπου βρίσκεται στο γεγονός ότι η καμπτική αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη από την διατμητική με αποτέλεσμα να προηγείται η διατμητική αστοχία.

#### **Σχήμα 2**

Σελίδα 5-3

Η προαναφερθείσα μείωση προκαλείται σε πολλές περιπτώσεις από καλοκτισμένους τοίχους μικρού ύψους μεταξύ των υποστυλωμάτων ώστε να δημιουργηθούν κοντά υποστυλώματα (σχήμα 3<sup>3</sup>), σε περίπτωση που δεν έχουν προβλεφθεί κατά την φάση σχεδιασμού τους. Επίσης υπερβολική αύξησης της ακαμψίας αυτών των υποστυλωμάτων σε σχέση με την περίπτωση που θα μπορούσαν να δουλέψουν σε όλο τους το ύψος συμβαίνει όταν η διεύθυνση του σεισμού είναι περίπου παράλληλη προς το επίπεδο των τοίχων. Σε τέτοιες περιπτώσεις αν υπάρξει συγχρόνως και αύξηση της οριζόντιας τέμνουσας θα υπάρξει μείωση της **ιδιοπεριόδου** του συστήματος με πιθανότητα να αυξηθούν και οι σεισμικές δυνάμεις αδρανείας.

#### **Σχήμα 3**

Αξίζει να παρατηρήσει κανείς την αστοχία που παρατηρείται στα ματίσματα του διαμήκη οπλισμού. Είναι σύνηθες φαινόμενο το μήκος αγκυρώσεως να είναι μικρότερο από το απαιτούμενο για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας, με αποτέλεσμα οι ενώσεις των οπλισμών να γίνονται κοντά στη βάση του υποστυλώματος, όπου οι αναπτυσσόμενες ροπές λόγω σεισμού είναι οι μέγιστες (π.χ. περιοχές πλαστικών

αρθρώσεων).Κανονικά οι θέσεις παραθέσεως των οπλισμών πρέπει να γίνονται σε κάποιο ενδιάμεσο ύψος του υποστυλώματος και να υπάρχουν πυκνοί συνδετήρες και κατάλληλα μήκη αναμονών ώστε να αυξάνεται η πλαστιμότητα και η αντοχή.

#### **ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ <sup>4</sup>**

Οι στόχοι της επέμβασης σε ένα κτίριο που έπαθε ζημιές από σεισμό συμπίπτουν με αυτούς που τίθενται κατά το σχεδιασμό μιας νέας κατασκευής, δηλαδή :

- α) διασφάλιση έναντι κατάρρευσης σε ένα πολύ ισχυρό σεισμό στο μέλλον
- β) περιορισμός των βλαβών σε ανεκτά επίπεδα σε σεισμούς μέσης έντασης
- γ) μη επανεμφάνιση βλαβών σε σεισμούς με μικρό σχετικά χρόνο επανάληψης

Σελίδα 5-4

Υπό αυτή την έννοια η μόνη επέμβαση που μπορεί να διασφαλίσει τους παραπάνω στόχους είναι η **ενίσχυση**, δηλαδή επισκευή των δομικών στοιχείων που έχουν βλάβες και η παράλληλη επαύξηση της σεισμικής ικανότητας του έργου με πρόσθετα μέτρα ενισχύσεως μέχρι του επιπέδου που προδιαγράφουν οι κανονισμοί για της νεοανεγειρόμενες κατασκευές.

Από τα πιο πάνω συμπεραίνει κανείς ότι μια ρεαλιστική λύση είναι η **επισκευή**, δηλαδή αν επισκευαστούν τα βλαμμένα δομικά στοιχεία (φέροντα και μη φέροντα) η κατασκευή αποκτά την προ του σεισμού διαθέσιμη σεισμική ικανότητα και συμπεριφορά και συνεπώς είναι σε θέση να ανταποκριθεί σε ένα μελλοντικό σεισμό με τα ίδια χαρακτηριστικά.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η περίπτωση σοβαρών βλαβών σε ένα σεισμό αποτελεί το πλέον αξιόπιστο κριτήριο της απόκλισης της διαθέσιμης σεισμικής ικανότητας από την απαιτούμενη. Άρα η κατασκευή πλησίασε στην κατάρρευση και δεν μπορεί πλέον να θεωρηθεί ικανοποιητική με αποτέλεσμα το κτίριο να πρέπει να ενισχυθεί αντί να επισκευαστεί.

Έτσι με βάση τα πιο πάνω η επικρατούσα άποψη στη διαδικασία των επεμβάσεων έχει διαμορφωθεί ως εξής:

1. Σε κτίρια με μικρές βλάβες, τοπικού χαρακτήρα, η επέμβαση περιορίζεται στην επισκευή.
2. Σε κτίρια με εκτεταμένες ή βαριές βλάβες, δηλαδή βλάβες γενικού χαρακτήρα, η επέμβαση περιλαμβάνει και την ενίσχυση της κατασκευής.

#### **ΕΠΙΣΚΕΥΗ-ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΒΛΑΜΜΕΝΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ <sup>4-6</sup>.**

Στην περίπτωσή μας που οι βλάβες προέρχονται από σεισμικές δράσεις, η επισκευή συνδυάζεται και με την ενίσχυση. Η τελευταία είναι απαραίτητη γιατί σε μια παρόμοια καταπόνηση της κατασκευής, σε περίπτωση που γίνει μόνο επισκευή, κατά πάσα πιθανότητα θα παρουσιαστούν οι ίδιες βλάβες με αυτές που είχαμε πριν την επισκευή. Οι βλάβες των υποστυλωμάτων μπορούν να καταταχθούν χοντρικά σε τρεις τυπικούς βαθμούς :

##### **A) Απλή ρηγμάτωση**

Στην περίπτωση αυτή όπου το πάχος των ρωγμών είναι της τάξεως των 0,5-3mm **επισκευάζουμε** το βλαμμένο στοιχείο με συγκόλληση των ρωγμών με εποξειδικές ρητίνες με τη μέθοδο των ενέσεων.

Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται ως εξής :

- προετοιμασία της ρηγματωμένης διατομής με αφαίρεση του επιχρίσματος στη θέση της ρωγμής .
- καθαρισμός της ζώνης της ρωγμής με χρήση πεπιεσμένου αέρα
- τοποθέτηση ειδικών ακροφυσίων σε καθορισμένες θέσεις για να είναι δυνατή η πλήρης διείσδυση της λεπτόρρευσης ( για να είναι δυνατή η εισαγωγή της σε πολύ μικρού εύρους ρωγμές μέχρι 0,1mm ) εποξειδικής ρητίνης υπό πίεση και ταυτόχρονη έξοδος του εγκλωβισμένου αέρα .

Η χρήση ποιοτικά κατάλληλου για ενέσεις ζεύγους ρητινών ( σκληρυντικό + εποξειδική ρητίνη) έχει ως αποτέλεσμα :

1<sup>ο</sup>.-υψηλές μηχανικές αντοχές του σκληρού μίγματος .

2<sup>ο</sup>.-μεγάλη πρόσφυση στη ρηγματωμένη διατομή

3<sup>ο</sup>.-σταθερότητα όγκου.

4<sup>ο</sup>.-εξασφαλισμένη προστασία του σιδηροπλισμού από διαβρώσεις .

#### Σελίδα 5-5

Μειονεκτήματα της χρήσης εποξειδικής ρητίνης αποτελούν η μείωση των μηχανικών της αντοχών σε υψηλές θερμοκρασίες ( 65<sup>0</sup> και άνω- π.χ. πυρκαγιά ) και η αδυναμία χρησιμοποίησής τους σε περιβάλλον με χαμηλή θερμοκρασία (ενδεχόμενο παραμονής σε ρευστή κατάσταση μέσα στη ρωγμή).

Στην περίπτωση που επιθυμούμε την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και της πλαστιμότητας του υποστρώματος **ενισχύουμε** με κατασκευή μανδύα με έγχυτο ή εκτοξευμένο σκυροδεμα . Αυτές οι μέθοδοι αναλύονται εκτενέστερα παρακάτω .

**Β) Σημαντική τοπική βλάβη-μερική αποδιοργάνωση** του σκυροδέματος του υποστρώματος

- υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο υποστύλωμα
- καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος
- προετοιμασία της διεπιφάνειας-αποκάλυψη οπλισμών
- συγκόλληση νέων οπλισμών (1Φ14/15cm) και πυκνών κλειστών συνδετήρων(Φ8/10cm)
- διάστρωση σκυροδέματος εκτοξευόμενου (5cm) ή έγχυτου(περίπου 10cm) για την δημιουργία του μανδύα (συνήθως προτιμούμε το εκτοξευμένο)
- μήκος μανδύα μεγαλύτερο ή ίσο από μιάμιση φορά την μεγαλύτερη διάσταση του στύλου εκατέρωθεν του βλαμμένου μήκους του υποστρώματος .
- για τον υπολογισμό της δυσκαμψίας θεωρούμε ότι η διατομή είναι μονολιθική(Kk=1,0)

**Γ) Σημαντική τοπική βλάβη-πλήρης αποδιοργάνωση** (καταστροφή συνδετήρων ) του σκυροδέματος του υποστρώματος .

- αποφόρτιση και υποστύλωση πλακών και δοκών που συντρέχουν στο υποστύλωμα .
  - πλήρης καθαίρεση του αποδιοργανωμένου τμήματος του υποστρώματος τουλάχιστον σε ύψος 30cm
  - έλεγχος του διαμήκη οπλισμού και προσθήκη πυκνών συνδετήρων (min Φ8/5cm στην θέση της βλάβης και Φ8/10cm στο υπόλοιπο ύψος)
  - τοποθέτηση ξυλοτύπου
  - διάστρωση έγχυτου σκυροδέματος πάχους 10cm και κατά προτίμηση σε όλο το ύψος .
- Παρακάτω γίνεται αναφορά σε τεχνικές ενισχύσεων που χρησιμοποιούμε στα βλαμμένα από σεισμό υποστρώματα :

**1<sup>ο</sup>) Μανδύες από Ο/Σ <sup>1</sup>**

Η κατασκευή των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος περιμετρικά στα υποστυλώματα στην πράξη συνηθίζεται να γίνεται είτε με τμηματική έγχυση σκυροδέματος (έγχυτο) μέσα σε καλούπια ύψους 50-60cm , είτε με το εκτοξευμένο σκυρόδεμα (gunite -shotcrete) .

Η χρήση του **έγχυτου** σκυροδέματος (εικόνα 1) είναι εφικτή μόνο όταν η πυκνότητα του οπλισμού επιτρέπει τη διέλευση των αδρανών και τη σωστή συμπίκνωση του σκυροδέματος (δόνηση) .Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη ευρεία χρήση πλαστικών σκυροδεμάτων με αυξημένη ρευστότητα . Αναγκαία κρίνεται η έκπλυση και εκτράχυνση (συρματόβουρτσες-αμμοβολή) του παλαιού σκυροδέματος , η χρήση νέου σκυροδέματος με 100 Kg/cm<sup>2</sup> μεγαλύτερη αντοχή από το παλιό και τέλος με αδρανή μικρότερα από 2cm .Το πάχος του μανδύα πρέπει να είναι το λιγότερο 10 cm.

Σελίδα 5-6

Το **εκτοξευόμενο** σκυρόδεμα είναι κονίαμα (αφού λείπουν τα σκύρα) που εκτοξεύεται από απόσταση κάθετα στην επισκευαζόμενη επιφάνεια (εικόνα 3).Διαστρώνεται χωρίς καλούπι (εύχρηστο) σε επιφάνειες κάθε κλίσεως .Προηγείται εκτράχυνση ,καθαρισμός και πλύσιμο της επιφάνειας του σκυροδέματος και μετά αφού γίνει τοπική αποκάλυψη του κατακόρυφου οπλισμού του υποστυλώματος συγκολλούνται νέοι ράβδοι οπλισμού πάνω στον παλιό (εικόνα 2).Η συγκόλληση των νέων οπλισμών πάνω στους παλιούς γίνεται με καβίλιες (παρεμβλήματα ίδιας διαμέτρου  $\Phi > 16$ ) ή πάπιες. Χρησιμοποιούνται τσιμέντα ταχείας πήξεως ή καλύτερα έτοιμα τσιμεντοκονιάματα ,τα οποία αναπτύσσουν υψηλές αντοχές ευθύς αμέσως και λόγω της υδαρότητάς τους συμπληρώνουν με ασφάλεια τον ξυλότυπο χωρίς δόνηση . Όταν η κατασκευή του μανδύα γίνεται σε υποστύλωμα άμεσα εδραζόμενου επί θεμελίου ( δηλαδή στο κατώτερο υποστύλωμα ) πρέπει ο μανδύας να καλύπτει τουλάχιστον και το μισό ύψος του πεδίου .

**εικόνα 2**

Σελίδα 5-7

## **2ον) Κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα με λάμες και ντίζες (σχήμα 4).**

Τοποθετούνται τέσσερα (4) γωνιακά τουλάχιστον 100x100x10mm στις τέσσερις γωνίες του βλαμμένου υποστρώματος σε όλο του το ύψος . Έξω από τα γωνιακά αυτά και ανά 60cm τοποθετούνται ζευγάρια από εγκάρσιες γωνίες (120x120x10mm) κατά την μια και την άλλη διεύθυνση του υποστρώματος εναλλάξ .Τα ζευγάρια των γωνιακών αυτών συσφιγγονται μεταξύ τους με ντίζες και μπουλόνια . Μετά την πρώτη σύσφιξη των μπουλονιών τοποθετούνται και ηλεκτροσυγκολούνται λαπάτσες (50x10) πάνω στα κατακόρυφα γωνιακά ανά 60cm και ξανασφιγγονται τα μπουλόνια .

### **Σχήμα 4**

Σελίδα 5-8

## **3<sup>ον</sup>) Μεταλλικοί μανδύες (εκτοπίζονται από φύλλα F.R.P) <sup>2-4</sup>**

Αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε αρχικά για κυκλικά υποστρώματα .Δυο κελύφη σε σχήμα ημικυκλίου τοποθετούνται στο υποστύλωμα και συγκολλούνται μεταξύ τους σε όλο το ύψος .Η ακτίνα τους είναι 1,25-2,5cm μεγαλύτερη από την ακτίνα του υποστρώματος. Το κενό μεταξύ υποστρώματος και μεταλλικού μανδύα γεμίζεται με μη-συρρικνωμένο κονίαμα. Σε ορθογωνικά υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυο συγκολλίτα ελάσματα διατομής π (σχήμα 5) εκατέρωθεν του στύλου που σφηνώνονται στο δάπεδο και στην οροφή .Πριν από την τοποθέτηση ,αφαιρούνται οι σοβάδες και οι επικαλύψεις του σκυροδέματος .Τα ελάσματα σφίγγονται με την βοήθεια μπουλονιών ανά 30cm και συγκολλώνται πλευρικά στα πέλματά τους τμηματικά ή συνεχώς . Οι τμηματικές λάμες παίζουν το ρόλο των συνδετήρων , ενώ οι συνεχείς μορφώνουν μαζί με το υπόλοιπο σύστημα ένα καλούπι στο οποίο εγχύεται σκυρόδεμα ώστε να προκύψει ένας εγκιβωτισμένος σύμμικτος στύλος .  
Συνήθως σε ορθογωνικά υποστρώματα προτείνεται η χρήση μανδύων ελλειπτικού ή κυκλικού σχήματος προσφέροντας έτσι πιο ομοιόμορφη περίσφιξη .

### **σχήμα 5**

## **4<sup>ον</sup>) Δημιουργία μεταλλικού κλωβού (σχήμα 6) <sup>2</sup>**

Άλλος ένας τρόπος επιβολής της περίσφιξης είναι η δημιουργία μεταλλικού κλωβού με 4 κατακόρυφα γωνιακά 100X100X10 στις γωνίες του βλαμμένου υποστρώματος και η περίσφιξη τους με οριζόντιες μεταλλικές λάμες (κόλλαρα) με ελάχιστη διασταση 25X4 οι οποίες συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά .

Για την καλύτερη περίσφιξη των 4 κατακόρυφων γωνιακών προηγείται προθέρμανση σε θερμοκρασία 200-400 °C των “κολάρων” ,ώστε μετά την απόψυξή τους να δημιουργηθεί περίσφιξη λόγω της συστολής που επέρχεται . Με μια ισχυρή τσιμεντοκονία μπορεί να καλυφθεί η μεταλλική επένδυση και να έχουμε την τελική εμφάνιση του υποστρώματος.

Σελίδα 5-9

*Κατασκευαστική διάταξη:*

α) ελάχιστη απόσταση δομικού οπλισμού και κολάρων 10-15cm.

β) διατομή υποστυλώματος το πολύ 50Χ50

γ) διαμήκης οπλισμός τουλάχιστον 4Φ20

### **σχήμα 6**

#### **5<sup>ο</sup>) Επικολλήσεις ινοπλισμένων πλαστικών φύλλων (F.R.P) σε σκυρόδεμα <sup>4,6</sup>.**

Αυτή η τεχνική ενίσχυσης βασίζεται στην εξωτερική επικόλληση (Σχήμα 7) σύνθετων υλικών (δηλ. ινοπλισμένα πολυμερή – Fibre Reinforced Polymers) σε υποστυλώματα τα οποία έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό, είτε έχουν ανεπάρκεια αντοχής και πλαστιμότητας. Αυτά τα υλικά αποτελούνται από συνεχείς ίνες γυαλιού (οικονομικές) ή άνθρακα (με αύξημεν και σπανιότερα αραμιδίου (kenvar) οι οποίες εμποτίζονται με εποξειδική ρητίνη και διατίθενται σε μορφή σχετικά δύσκαμπτων “λωρίδων” (πάχος τάξεως 1mm) ή εύκαμπτων “υφασμάτων” (πάχος τάξεως 0,1-0,4mm) με ίνες μπορεί σε μια ή σε περισσότερες διευθύνσεις. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή (με μέτρο ελαστικότητας  $E_f$  από 30-300 Gpa ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης), χαμηλό βάρος (1/4 του χάλυβα) και ανθεκτικότητα σε διάρκεια (εξαιρετική αυτών από άνθρακα, μέτρια αυτών από γυαλί – προσβάλλονται από αλκαλικό περιβάλλον σκυροδέματος ή από ορισμένα οξείδια). Η τεχνική ενίσχυσης συνίσταται στην επικόλληση των σύνθετων υλικών, μέσω εποξειδικών ρητινών, στις εξωτερικές επιφάνειες δομικών (περιτύλιξη-περίσφιξη με υφάσματα υποστυλωμάτων). Η ευκολία, η ευελιξία και η ταχύτητα στην εφαρμογή της τεχνικής σε συνδυασμό με την αύξηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των στοιχείων, με αμετάβλητη την γεωμετρία και δυσκαμψία τους, έχουν καταστήσει τα υλικά αυτά ελκυστικά στους μηχανικούς που αντιμετωπίζουν βλάβες κατασκευών. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην προετοιμασία ενός “υγιούς” υποστρώματος (αφαίρεση χαλαρών τμημάτων, πλήρωση ρωγμών) όπου θα γίνει η επικόλληση. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι για την αποφυγή επαφής μεταξύ του μανδύα στην άκρη του υποστυλώματος και της παρακείμενης επιφάνειας (πλακα, δοκος) πρέπει να προβλέπεται ένα κενό

Σελίδα 5-10

(λιγότερο από 2.5cm), ώστε να επιτρέπεται στροφή της περιοχής πλαστικής άρθρωσης χωρίς να επιβαρύνεται το υποστυλώμα με επιπρόσθετη ακαμψία ή δύναμη από τη δράση του εξωτερικού μανδύα στο διαμήκη άξονα.

### **Σχήμα 7**

#### **Εγκιβωτισμός κατά την ενίσχυση με μανδύα σύνθετων υλικών.**

Αναγκαία κρίνεται σε αυτό το σημείο η αναφορά των πλεονεκτημάτων του εγκιβωτισμού που επιτυγχάνεται με τη χρήση σύνθετων υλικών. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αύξηση κυρίως της παραμορφωσιμότητας και δευτερευόντως της θλιπτικής αντοχής (βλέπε σχήμα 7), μείωση της πιθανότητας τοπικού λυγισμού των οπλισμών και βελτίωση της συνάφειας σε κρίσιμες περιοχές ενώσεων οπλισμών με μάτιση. Η αποτελεσματικότητά του δε, εξαρτάται από το πάχος του μανδύα,  $t_f$ , τον αριθμό των στρώσεων, την εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών και από την γεωμετρία της εγκιβωτισμένης διατομής (αποδοτικότητα 100% σε κυκλικά υποστυλώματα, περίπου 50% σε ορθογωνικά).



### **6<sup>ον</sup>) Προένταση μεταλλικών λωρίδων με μεταλλικούς συνδετήρες <sup>5</sup>.**

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια οικονομική και αποτελεσματική τεχνική ενίσχυσης υποστυλωμάτων (που έχει διασφαλίσει προνόμιο ευρεσιτεχνίας σε Ευρώπη, ΗΠΑ και Ιαπωνία). Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει προένταση μεταλλικών λωρίδων γύρω από το υποστυλώμα χρησιμοποιώντας μηχανές περισφίξης και στήριξη των λωρίδων με μεταλλικούς συνδετήρες. Οι λωρίδες παρέχονται σε ποικιλία υλικών, πάχους, πλάτους και τάσης.

Σελίδα 5-11

Ο καθοριστικός παράγοντας για χρησιμοποίηση της μεταλλικής λωρίδας είναι η ευκολία κάμψης της, γι' αυτό το πάχος και το πλάτος της περιορίζεται στο 1mm και 30mm αντίστοιχα. Οι μεταλλικές λωρίδες έχουν δυνάμεις μεταξύ 300 και 1000 N/mm<sup>2</sup>. Οι μεταλλικοί συνδετήρες χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν σωστή στήριξη της προεντεταμένης λωρίδας. Η αποτελεσματικότητα της σύνδεσης εξαρτάται από το είδος της μηχανής σύνδεσης που χρησιμοποιείται. Μετά από πειραματικές μελέτες οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι οι εξισώσεις του Ευροκώδικα (EC 8) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό φορέων που επισκευάστηκαν και ενισχύθηκαν με την παραπάνω τεχνική. Το πιο κάτω διάγραμμα (σχήμα 8) δείχνει ότι όσο μειώνεται η καθαρή απόσταση μεταξύ των λωρίδων, τόσο αυξάνεται η μέγιστη θλιπτική αντοχή των υποστυλωμάτων. Ακόμα το όριο διαρροής των λωρίδων συμβαίνει ελάχιστα πριν, η μόλις το στοιχείο φθάσει την μέγιστη θλιπτική αντοχή του.

**Σχήμα 8**

### **Συμπεράσματα**

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι ενίσχυσης έχουν ως στόχο την αύξηση της θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας του βλαμμένου υποστυλώματος. Πρέπει να σημειωθεί, ότι κανένας από τους παραπάνω τρόπους αστοχίας δεν μπορεί να απομονωθεί και μελετηθεί ξεχωριστά, αφού ανάπλαση μιας και μόνο ανεπάρκειας μπορεί να μετατοπίσει το σεισμικό πρόβλημα σε κάποια άλλη θέση ή σε κάποιο άλλο μηχανισμό αστοχίας, χωρίς βελτίωση της ικανότητας παραμόρφωσης. Συμπερασματικά λοιπόν ο μελετητής πρέπει να παρέχει στον κάθε ιδιοκτήτη όλα τα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα με κύριο στόχο την δημιουργία μηχανισμών απορροφήσεως σεισμικής ενέργειας σε όλη την έκταση της κατασκευής, ώστε ο τελευταίος να είναι σε θέση να πάρει την βέλτιστη δυνατή απόφαση (αποκατάσταση των ζημιών με ή χωρίς ενίσχυση) και όχι την αλόγιστη ενίσχυση των πάντων.

Γενικά τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τάση προς τη χρήση σύνθετων υλικών (F.R.P) και ως “μονίμων” στοιχείων περισφίξης υποστυλωμάτων κατά το στάδιο της κατασκευής τους. Έτσι ο μανδύας λειτουργεί ως μόνιμο καλούπι (οικονομία αφού δεν ξεκαλουπώνουμε), προστατευτικό περίβλημα (αντίσταση σε διαβρωτικό περιβάλλον), εγκιβωτίζοντας το σκυρόδεμα μέσω των δυνάμεων συνάφειας και καμπτικής ενίσχυσης.

Σελίδα 5-12

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ**

- 1) Συστάσεις για τις επισκευές κτιρίων βλαμμένων από σεισμό – 7<sup>η</sup> Έκδοση – Ε.Μ.Π – Αθήνα 1988**
- 2) Άρση επικινδυνότητας , προσωρινές υποστυλώσεις – αντιστηρίξεις – Τεχνικό εγχειρίδιο Νο Π- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. – Ο.Α.Σ.Π. – Αθήνα 2000**
- 3) Σεμινάριο για τις επισκευές κτιρίων με ζημιές από σεισμό – Υπ.Δημοσίων Έργων – Α.Π.Θ – Τ.Ε.Ε.(τμήμα κεντρικής Μακεδονίας) – Θεσσαλονίκη 1979**
- 4) Δελτίο Σ.Π.Μ.Ε – Οκτώβριος 1988 – έκδοση Νο 257-Οκτώβριος – Νοέμβριος 1999**
- 5) Ενίσχυση γραμμικών στοιχείων από Ο/Σ με περιφεριακή περίσφιξη –Φράγκου Μ. , Πιλακούτας Κ.**
- 6) Κτίριο –Επιστημονική Έκδοση**