

## **2.5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

### **2.5.1. Υποστυλώματα**

#### **Γενικά**

Μετά από ένα ισχυρό σεισμό, οι βλάβες στα υποστυλώματα μιας κατασκευής είναι από τις πιο συχνές και συγχρόνως από τις πιο σοβαρές. Αποτελούν πρώτη προτεραιότητα για την εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής γιατί μπορεί να οδηγήσουν σε τμηματική ή ολική κατάρρευση του δομήματος. Είναι από τις περιπτώσεις όπου ο μηχανικός, εκτιμώντας το επίπεδο βλάβης αμέσως μετά το σεισμό σε στενά χρονικά περιθώρια πρέπει να αποφασίσει για άμεσα μέτρα προσωρινής υποστύλωσης και απομάκρυνσης ενοίκων. Η εμπειρία του παρελθόντος έχει δείξει την κρισιμότητα του χρονικού διαστήματος αμέσως μετά από τον κύριο σεισμό όπου ένας ισχυρός μετασεισμός είναι πολύ πιθανός και συχνά καταστρεπτικότερος του κύριου σεισμού.

Οι βλάβες αυτές μπορεί να είναι καμπτικού ή διατμητικού χαρακτήρα. Οι βλάβες καμπτικού χαρακτήρα παρουσιάζονται συνήθως στην κορυφή και τη βάση των υποστυλωμάτων αφού εκεί γενικά παρουσιάζεται η μεγαλύτερη καμπτική ένταση. Οι βλάβες διατμητικού χαρακτήρα παρατηρούνται σε υποστυλώματα με μικρό λόγο διάτμησης στις περιοχές με τη μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία, και δεν είναι υποχρεωτικά στα άκρα του υποστυλώματος.

Ανάλογα με το βαθμό βλάβης του υποστυλώματος η επισκευή μπορεί να γίνει είτε με χρήση ρητινενέσεων ή επισκευαστικών κονιαμάτων είτε με καθαίρεση και αποκατάσταση των περιοχών βλάβης. Η πρώτη διαδικασία επιλέγεται όταν οι βλάβες είναι ελαφρές ενώ η δεύτερη διαδικασία όταν οι βλάβες είναι σοβαρότερες.

#### **Επισκευή Υποστυλωμάτων**

Αποκαταστάσεις με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα εφαρμόζονται όταν οι βλάβες είναι ελαφρές, όταν δηλαδή εμφανίζονται ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις σκυροδέματος χωρίς αποδιοργάνωση του περισφιγμένου τμήματος του υποστυλώματος και λυγισμό των ράβδων οπλισμού. Ειδικότερα οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των ρηγματώσεων, ενώ τα επισκευαστικά κονιάματα στην περίπτωση των επιφανειακών αποφλοιώσεων του σκυροδέματος.

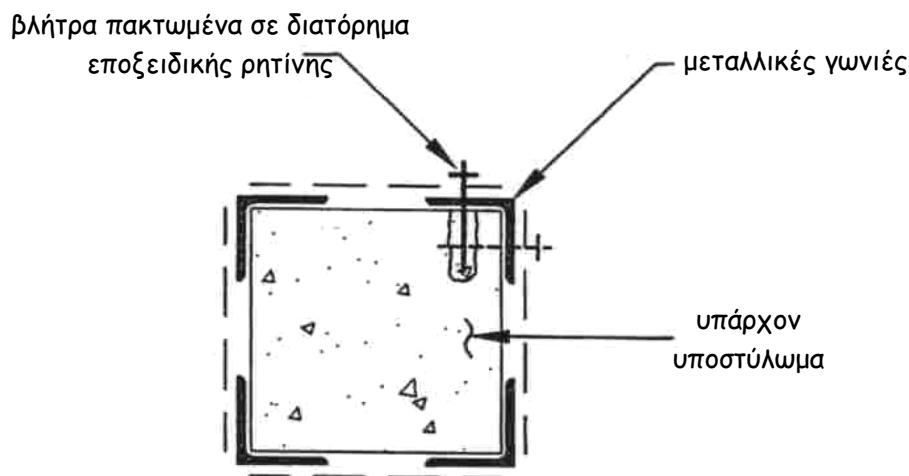
Επεμβάσεις με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής εφαρμόζονται όταν οι βλάβες είναι σοβαρές, όταν δηλαδή εμφανίζεται αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή διάρρηξη που μπορεί να ακολουθείται από άνοιγμα ή διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμό των διαμήκων ράβδων. Συχνά μετά από μία επισκευή τέτοιου είδους ακολουθεί η ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.

### Ενίσχυση Υποστυλωμάτων

#### (α) Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Περίσφιγξη

Η επιβολή περίσφιξης σε υποστυλώματα μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται ενεργή περίσφιγξη χωρίς να πραγματοποιείται αύξηση της διατομής του υποστυλώματος ενώ στην δεύτερη περίπτωση η ενίσχυση επιτυγχάνεται με χρήση νέων στρώσεων σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, δηλαδή κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο και αυξάνοντας την διατομή του.

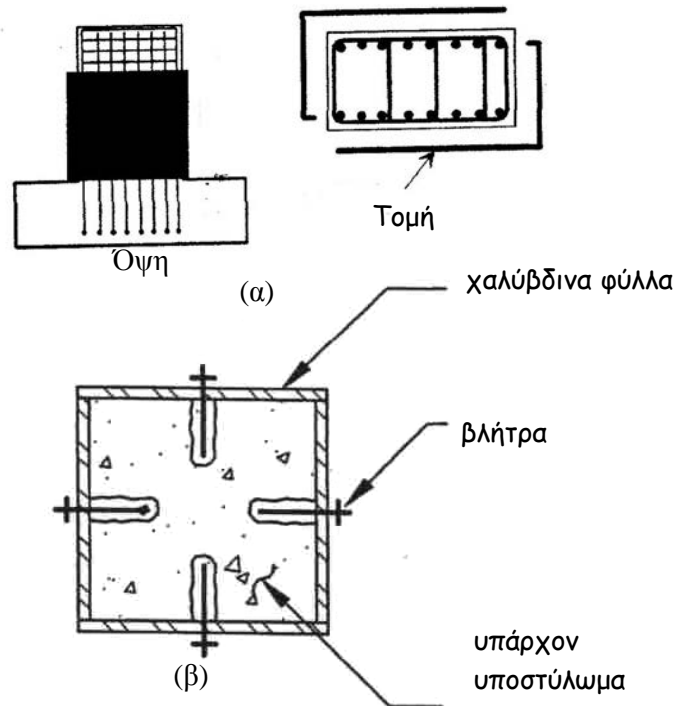
- Με χρήση μεταλλικών γωνιών και βλήτρων (Σχήμα 2.5.1)



Σχήμα 2.5.1: Περίσφιγξη με μεταλλικές γωνιές (Newman, 2001)

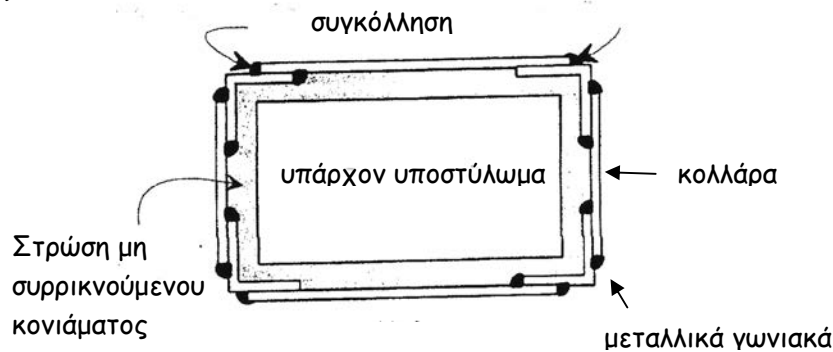
- Με χρήση μεταλλικού κλωβού την πλέον διαδεδομένη διαδικασία επιβολής περίσφιξης.

Στις παρακάτω διατάξεις Σχήμα 2.5.2α (Aboutaha et al, 1999) και Σχήμα 2.5.2β (Newman, 2001) παρουσιάζονται μορφές μεταλλικού κλωβού με πλήρη κατακόρυφα φύλλα.



Σχήμα 2.5.2: Περίσφιγξη με πλήρη χαλύβδινα φύλλα

Εναλλακτική διάταξη αποτελείται από τέσσερα μεταλλικά γωνιακά ελάσματα, τα οποία προσαρμόζονται στο υποστύλωμα και στη συνέχεια οριζόντια ελάσματα "κολλάρα" συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά (Σχήμα 2.5.3).

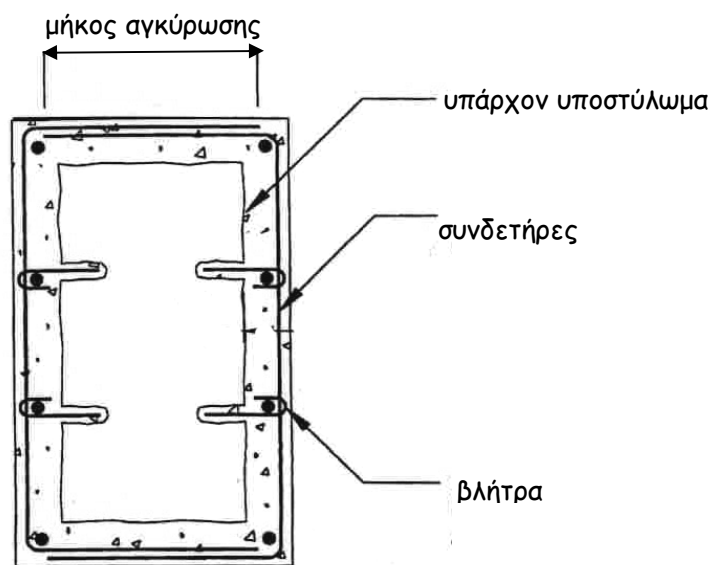


Σχήμα 2.5.3: Περίσφιγξη με μεταλλικά κολλάρα (Aboutaha et al, 1999)

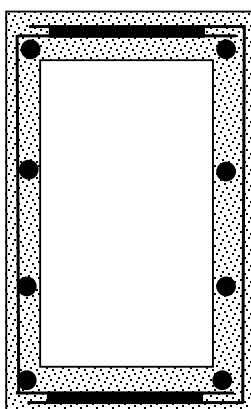
#### (β) Μανδύες Υποστυλωμάτων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Η τεχνική της κατασκευής μανδυνών σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις όπου εμφανίζονται σοβαρές βλάβες ή γενικότερα όταν διαπιστώνεται ιδιαίτερη ανεπάρκεια της αντοχής τους ή άλλων χαρακτηριστικών τους. Είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητάς τους.

Η διεθνής βιβλιογραφία (Newman, 2001) προτείνει μία τεχνική μανδύα υποστυλώματος στην οποία επάλληλοι συνδετήρες τοποθετούνται και πακτώνονται με την βοήθεια μεταλλικών βλήτρων (Σχήμα 2.5.4). Ωστόσο η τεχνική αυτή επιτυγχάνει περισσότερο την σύνδεση παλαιού νέου στοιχείου παρά την περίσφιγξη του υποστυλώματος. Για την επίτευξη της πλήρους περίσφιγξης προτείνεται η διάταξη του Σχήματος 2.5.5 στην οποία πραγματοποιείται συγκόλληση των ενδοιαμέσων συνδετήρων.



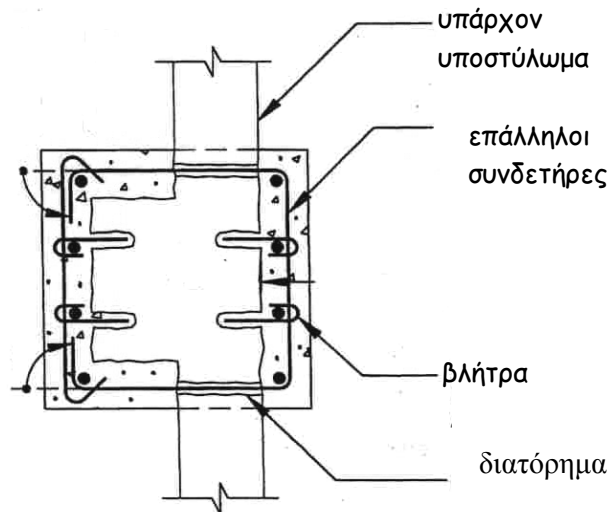
Σχήμα 2.5.4: Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος εσωτερικού μεμονωμένου υποστυλώματος (Newman, 2001)



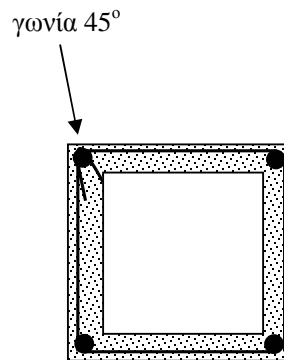
Σχήμα 2.5.5: Προτεινόμενη διάταξη πλήρους περίσφιξης με συγκόλληση

Μια πρόσθετη διάταξη από την βιβλιογραφία (Newman, 2001) για ενίσχυση εξωτερικού υποστυλώματος σε συνέχεια τοιχώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος φαίνεται στο Σχήμα 2.5.6.

Ωστόσο μία παραλλαγή αυτής της τεχνικής φαίνεται στο Σχήμα 2.5.7 όπου η περίσφιγξη επιτυγχάνεται σε μεγαλύτερο βαθμό με το σπάσιμο των συνδετήρων σε γωνία των  $45^\circ$ .



Σχήμα 2.5.6: Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος εξωτερικού υποστυλώματος σε συνέχεια τοιχώματος (Newman, 2001)

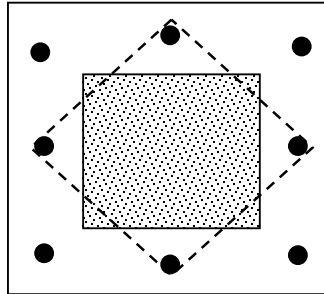


Σχήμα 2.5.7: Προτεινόμενη διάταξη

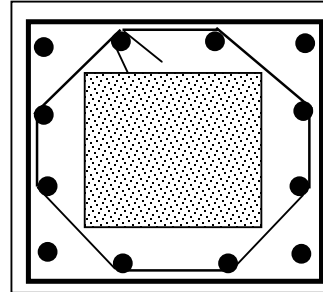
Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στην πράξη είναι η αδυναμία τοποθέτησης ενδιάμεσων συνδετήρων λόγω ύπαρξης του αρχικού στοιχείου (Σχήμα 2.5.8)

Έτσι στην περίπτωση τετραγωνικών διατομών η λύση στην αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος μπορεί να δοθεί με κατάλληλη διάταξη του νέου διαμήκους οπλισμού ώστε να επιτρέπει την τοποθέτηση οκταγωνικού ενδιάμεσου οπλισμού και όχι τετραγωνικού και να μην παρεμποδίζεται από τις γωνίες του υπάρχοντος υποστυλώματος.

ΟΧΙ

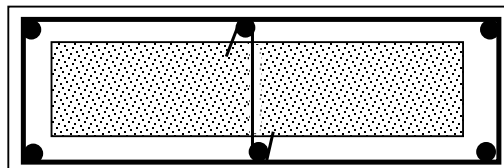


ΝΑΙ



Σχήμα 2.5.8: Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε τετραγωνικές διατομές

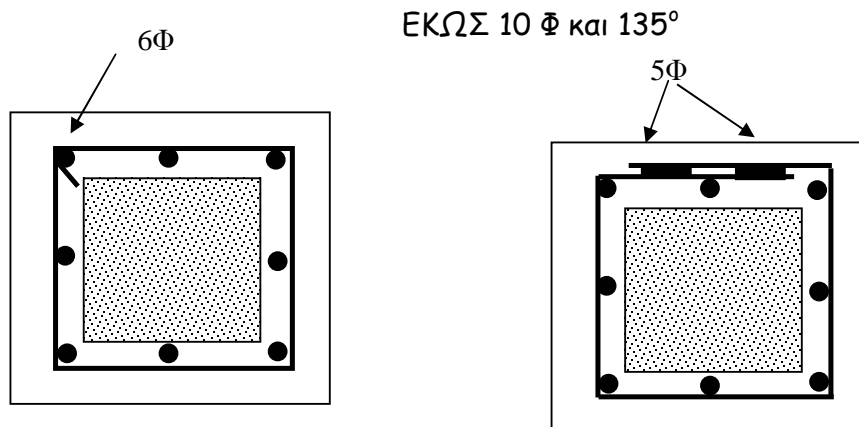
Στην περίπτωση επιμήκους διατομής με μικρό πάχος για την αντιμετώπιση του ίδιου προβλήματος προτείνεται η διάνοιξη οπής κατά μήκος της μικρής πλευράς του στοιχείου (Σχήμα 2.5.9).



Σχήμα 2.5.9: Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε επιμήκεις διατομές

Ένα επιπλέον πρόβλημα που αντιμετωπίζεται κατά την εφαρμογή μανδυνών οπλισμένου σκυροδέματος σε υποστυλώματα είναι η αδυναμία εφαρμογής αγκίστρων στα άκρα των συνδετήρων λόγω της ύπαρξης του παλαιού στοιχείου (Σχήμα 2.5.10). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με συγκόλληση των άκρων των συνδετήρων όπως φαίνεται παρακάτω.

Αδυναμία εφαρμογής αγκίστρων στα άκρα των συνδετήρων



Σχήμα 2.5.10: Αδυναμία εφαρμογής αγκίστρων στα άκρα των συνδετήρων και αντιμετώπιση με συγκόλληση των άκρων

## 2.5.2. Δοκοί

### Γενικά

Οι βλάβες οριζοντίων επιφανειακών στοιχείων μιας κατασκευής όπως είναι οι πλάκες, είναι εν γένει δευτερεύουσας σημασίας αφού σχεδόν πάντα δεν επηρεάζουν την ευστάθεια του συνολικού φορέα. Εκτός τούτου, συνήθως δεν υπάρχει κίνδυνος ούτε για την ίδια την πλάκα λόγω του μεγάλου βαθμού υπερστατικότητας της, με εξαίρεση βέβαια τους προβόλους. Εξάλλου, όπως είναι γνωστό, οι πλάκες είναι στοιχεία ουσιαστικά ανεπηρέαστα από σεισμικές δράσεις.

Μία σοβαρότερη μορφή βλάβης που οφείλεται σε καθιζήσεις υποστυλωμάτων συνοδεύεται συνήθως και από βλάβες των γειτονικών δοκών και ρηγματώσεις των τοιχοπληρώσεων.

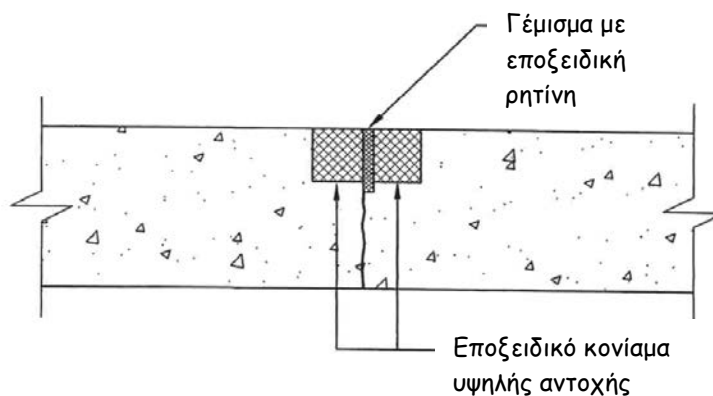
Οι επισκευές και οι ενισχύσεις δοκών και πλακών, ακολουθούν αντίστοιχες τεχνικές με αυτές που αναφέρθηκαν για τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα.

### Επισκευή Δοκών και Πλακών

Για τις επισκευές δοκών και πλακών, χρησιμοποιούνται ανάλογα με το βαθμό βλάβης είτε η τεχνική των ρητινενέσεων και των επισκευαστικών κονιαμάτων (για ελαφρές βλάβες) είτε η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής (για βαριές βλάβες).

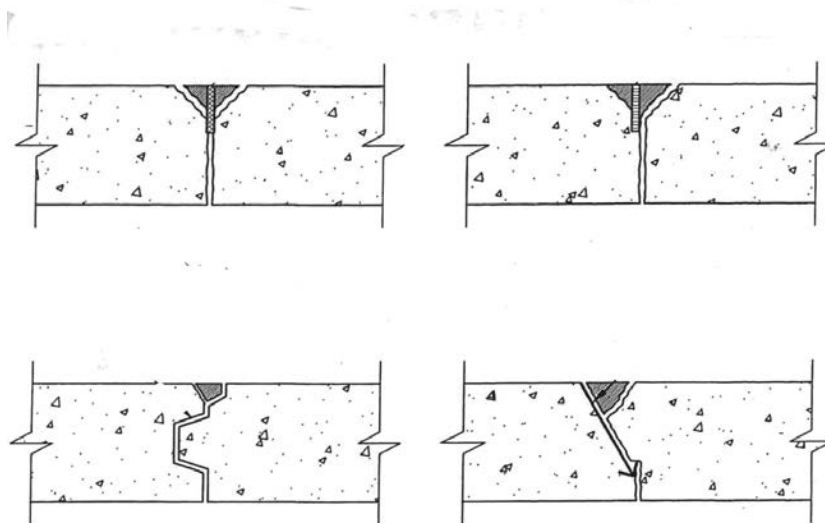
Στο Σχήμα 2.5.11 φαίνεται μια διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής των ρητινενέσεων για την περίπτωση διαμπερούς ρωγμής. Η μέθοδος

περιλαμβάνει την απομάκρυνση της κατεστραμμένης περιοχής στο χείλος της ρωγμής και το γέμισμα της ευρύτερης περιοχής με εποξειδικό κονίαμα υψηλής αντοχής.



Σχήμα 2.5.11: Επισκευή δοκών και πλακών με την τεχνική των ρητινενέσεων (Newman, 2001)

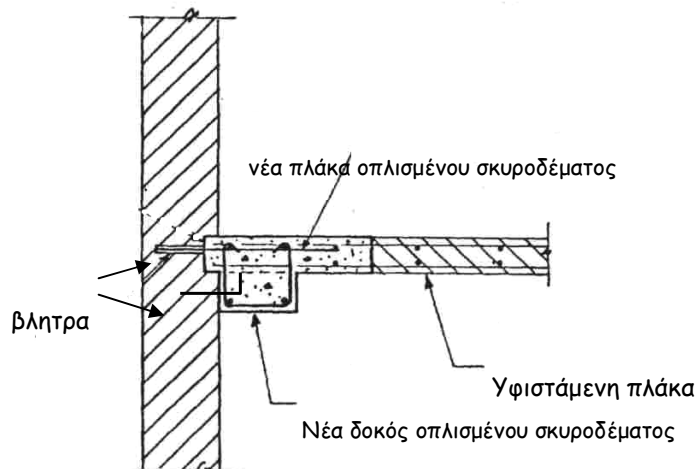
Εναλλακτικές τεχνικές με εφαρμογή επισκευαστικών κονιαμάτων ανάλογα με το είδος και το εύρος της ρωγμής παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5.12 (Newman, 2001).



Σχήμα 2.5.12.: Διατάξη ρωγμών και εφαρμογή επισκευαστικών κονιαμάτων (Newman, 2001)

Η επισκευή ίσης διατομής εφαρμόζεται στην περίπτωση πλακών όπως παρουσιάζεται στην διάταξη του Σχήματος 2.5.13.





Σχήμα 2.5.13: Τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής

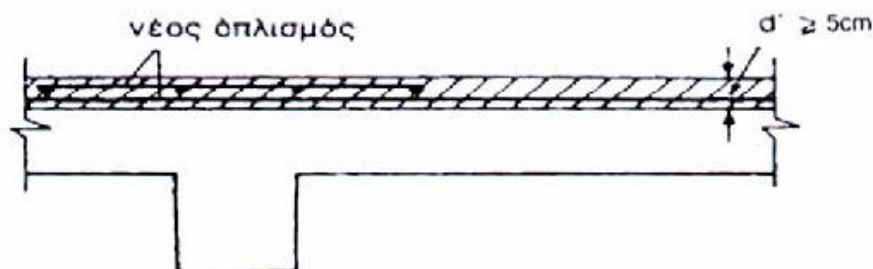
### Ενίσχυση Δοκών Πλακών

Οι τεχνικές ενίσχυσης των δοκών διακρίνονται ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο σε αυτές που στοχεύουν στην αύξηση της καμπτικής αντοχής (που χρησιμοποιούνται και στις περιπτώσεις πλακών), σε αυτές που στοχεύουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής ή και στα δύο.

#### (α) Καμπτική Ενίσχυση με Πρόσθετες Στρώσεις Σκυροδέματος

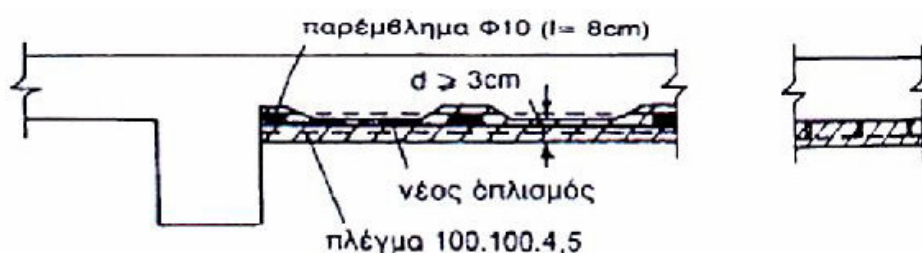
Μία μέθοδος ενίσχυσης δοκών και πλακών που παρουσιάζουν αστοχία καμπτικού χαρακτήρα περιγράφεται ως εξής (Σχήμα 2.5.14):

Για την κάλυψη των μεγάλων τιμών των αρνητικών ροπών στις στηρίξεις ενισχύεται η πάνω επιφάνεια των πλακοδοκών. Αρχικά αποκαλύπτεται ο παλιός οπλισμός και στη συνέχεια τοποθετείται και συγκολλάται νέος. Η αγκύρωση του νέου οπλισμού γίνεται στο συνεχόμενο άνοιγμα, πέραν του σημείου μηδενισμού των ροπών μέσα σε φωλιές. Στη συνέχεια γίνεται διάστρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους περίπου 3cm. Για να επιτευχθεί η συνεργασία μεταξύ παλαιάς και νέας πλάκας γίνεται σύνδεση του παλαιού με τον νέο οπλισμό με συνδετήριες ράβδους κάθετα προς τις επιφάνειες των πλακών σε κατάλληλες θέσεις. Στο Σχήμα 2.5.14 παρουσιάζεται εναλλακτικός τρόπος ενίσχυσης στο άνω πέλμα μίας δοκού.



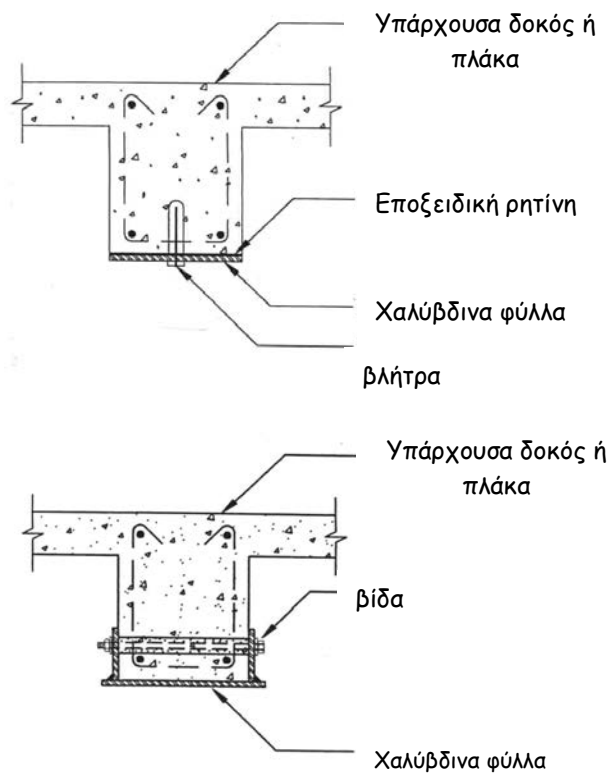
Σχήμα 2.5.14: Ενίσχυση πλακών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος στο άνω πέλμα

Για την κάλυψη των μεγάλων τιμών των θετικών ροπών στα ανοίγματα ενισχύεται το κάτω πέλμα των πλακοδοκών. Η τεχνική επιβάλλει την αποκάλυψη του παλαιού οπλισμού και την συγκόλληση νέου με χρήση δομικού πλέγματος και παρεμβλημάτων. Στη συνέχεια διαστρώνεται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε πάχος που συχνά κυμαίνεται από 5-7cm όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5.15.



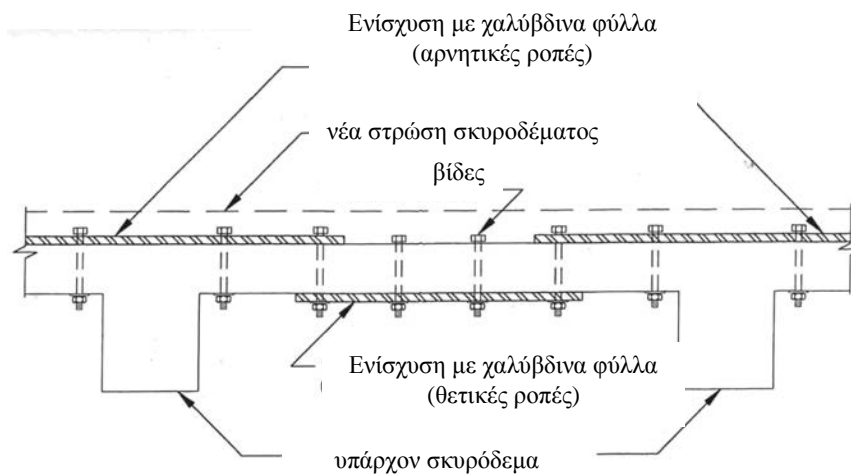
Σχήμα 2.5.15: Ενίσχυση πλακών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος στο κάτω πέλμα

Η χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα, ως εξωτερικός οπλισμός στο εφελκόμενο πέλμα δοκών ή πλακών, είναι μία πρακτική τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η αύξηση της καμπτικής αντοχής των παραπάνω στοιχείων. Στο Σχήμα 2.5.16 παρουσιάζονται τυπικές διατάξεις καμπτικής ενίσχυσης δοκού με επικολλητά φύλλα από χάλυβα.



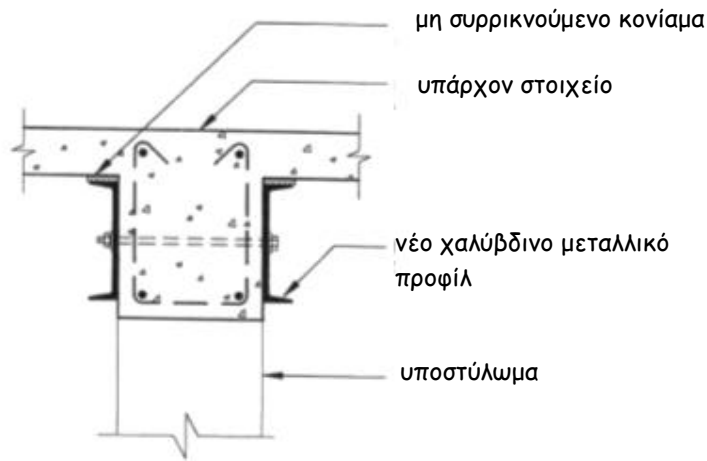
Σχήμα 2.5.16: Καμπτική ενίσχυση δοκού με επικολλητά φύλλα από χάλυβα

Η κάλυψη των αρνητικών ροπών στις στηρίξεις και των θετικών στα ανοίγματα συνδυάζεται στην παρακάτω τεχνική του Σχήματος 2.5.17.



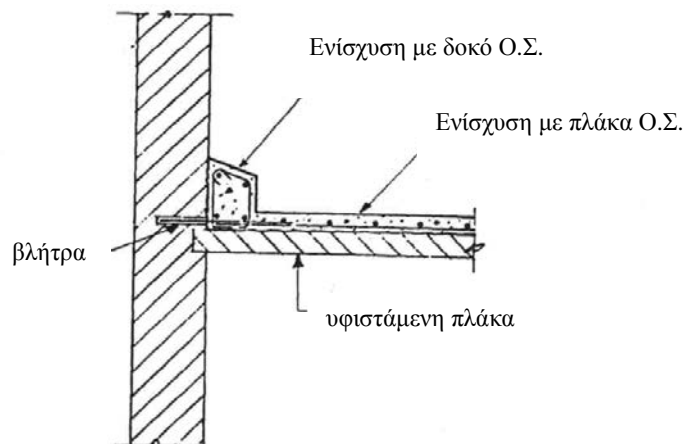
Σχήμα 2.5.17: Πλήρης καμπτική ενίσχυση δοκού (Newman, 2001)

Μία εναλλακτική λύση ενίσχυσης που μπορεί να συνεισφέρει συγχρόνως και την αύξηση της διατμητικής αντοχής του στοιχείου είναι η τοποθέτηση μεταλλικών χαλύβδινων προφίλ στις παρειές της δοκού έτσι όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5.18.



Σχήμα 2.5.18: Ενίσχυση στοιχείου σε διάτμηση με τοποθέτηση μεταλλικών προφίλ

Στο Σχήμα 2.5.19 παρουσιάζεται μια τεχνική ενίσχυσης πλάκας σε κάμψη. Η μεταφορά των δυνάμεων στα κατακόρυφα στοιχεία εξασφαλίζεται μέσω των βλητρών που πακτώνονται στο υπάρχον υποστύλωμα.



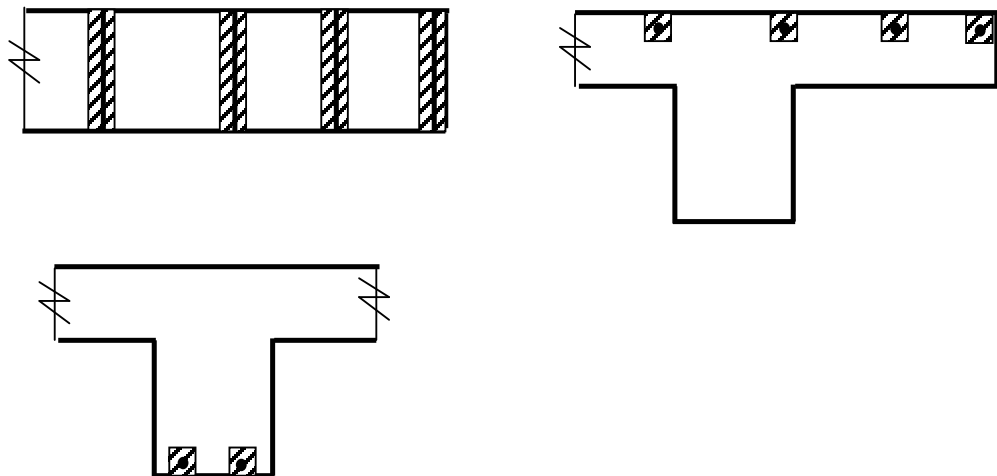
Σχήμα 2.5.19: Ενίσχυση πλάκας σε κάμψη

*(β) Μέθοδος Ενίσχυσης με Χρήση Ράβδων Οπλισμού στην Εξωτερική Επιφάνεια Δοκών - Πλακών*

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία εναλλακτική λύση εξωτερικής ενίσχυσης με τοποθέτηση διαμηκών ράβδων από χάλυβα ή ΙΟΠ σε "αυλάκια" που διανοίγονται στην επιφάνεια της δοκού και συμπληρώνονται με ρευστοκονίαμα σκυροδέματος (Σχήμα 2.5.20). Ο τρόπος εφαρμογής περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

- Διάνοιξη εγκοπών στην επιθυμητή διεύθυνση στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- Το μέγεθος της εγκοπής επιλέγεται έτσι ώστε να υπάρχει διάκενο γύρω από τη ράβδο επαρκές για συγκόλληση.
- Καθαρισμός εγκοπών με αμμοβολή ή υδροβολή.
- Πλήρωση των εγκοπών ως τη μέση με εποξειδική ρητίνη υψηλού ιξώδους.
- Τοποθέτηση των ράβδων από χάλυβα ή ΙΟΠ στις εγκοπές με ελαφρή πίεση, ώστε οι ράβδοι να παίρνουν την κατάλληλη θέση και να γεμίζουν τα κενά ανάμεσα στη ράβδο και το τοίχωμα της εγκοπής.
- Τέλος το υπόλοιπο της εγκοπής γεμίζει με ρευστοκονίαμα.

Αποτελεί ενδιαφέρουσα πρακτική για ενίσχυση προβόλων καθώς και για ενίσχυση οπλισμού στήριξης πλακών και δοκών.



Σχήμα 2.5.20: Μέθοδος ενίσχυσης με χρήση μεταλλικού οπλισμού "αυλάκια" στην εξωτερική επιφάνεια δοκών-πλακών

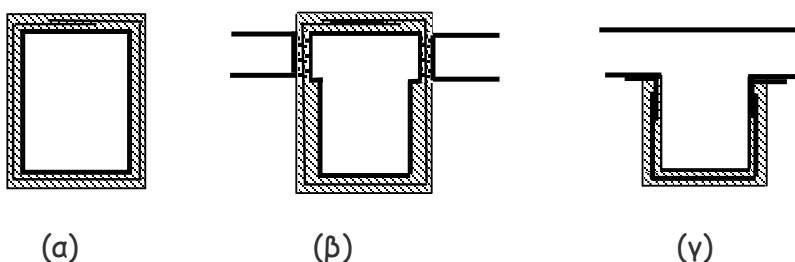
Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα αγκύρωσης των άκρων των πρόσθετων διαμήκων ράβδων οπλισμού στον υφιστάμενο φορέα. Η διαδικασία αγκύρωσης περιλαμβάνει την διάνοιξη οπών στον υφιστάμενο φορέα και την αγκύρωση των ράβδων με χρήση εποξειδικής ρητίνης.

Ωστόσο η εφαρμογή της μεθόδου είναι ανέφικτη στις δοκούς με ανεπαρκή επικάλυψη που συνεπάγεται αδυναμία διάνοιξης αυλακιών στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

#### (γ) Διατμητική Ενίσχυση Δοκών και Υποστυλωμάτων

Η ενίσχυση σε τέμνουσα που απαιτείται έναντι ανεπάρκειας του στοιχείου σε λοξή θλίψη αντιμετωπίζεται με την κατασκευή μανδυνών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

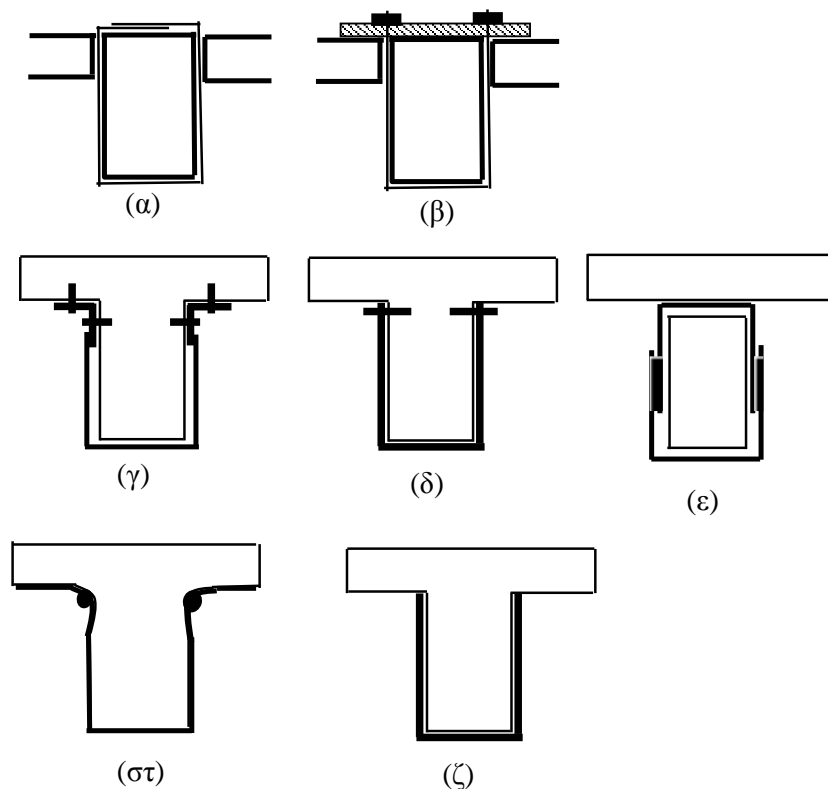
Όταν η κατασκευή μανδύα (δηλ. "κλειστή ενίσχυση") (Σχήμα 2.5.21α και 2.5.21β) είναι ανέφικτη, η προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος ως "ανοικτή" ενίσχυση, πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον 3 πλευρές του αρχικού στοιχείου Σχήμα 2.5.21γ. Σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να αποδεικνύεται υπολογιστικώς ότι: (α) εξασφαλίζεται επαρκής αγκύρωση των συνδετήρων του μανδύα και (β) οι διεπιφάνειες μπορούν να μεταφέρουν την τέμνουσα δύναμη που ζητείται να αναληφθεί από το νέο στοιχείο.



Σχήμα 2.5.21: Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας σε λοξή θλίψη: (α), (β) Κλειστές ενισχύσεις, (γ) Ανοικτές ενισχύσεις

Η ενίσχυση σε τέμνουσα ενός στοιχείου Ο.Σ. η οποία απαιτείται λόγω ανεπάρκειας του οπλισμού διάτμησης ( $V_{sd} > V_{Rdr3}$ ) μπορεί να γίνει με υφάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή τα οποία επικολλώνται πλήρως επί του στοιχείου, αναλαμβάνοντας ρόλο οπλισμού διάτμησης, ανάλογα με αυτόν του αντίστοιχου συμβατικού οπλισμού.

Στην πράξη, πολλές φορές, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές διατμητικής ενίσχυσης δοκών ή υποστυλωμάτων με χρήση επικολλητών φύλλων στις δύο απέναντι παρειές της, τα οποία την περισφίγγουν εξωτερικά (Σχήμα βλ.2.5.18). Επίσης τα εξωτερικά στοιχεία μπορούν να έχουν την μορφή επικολλητών κολλάρων (εξωτ.συνδετήρες). Στην περίπτωση χρήσης χάλυβα, τα κολλάρια μπορεί να είναι ράβδοι ή ελάσματα, ενώ στην περίπτωση χρήσης ινοπλισμένου πολυμερούς είναι λωρίδες σύνθετου υλικού.



Σχήμα 2.5.22: Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης : (α), (β) "κλειστή" ενίσχυση, (γ), (δ), (ε), (στ) "ανοικτή" ενίσχυση με ανκυρωμένα άκρα και (ζ) "ανοικτή" ενίσχυση αποδεκτή κατά παρέκκλιση και υπό προϋποθέσεις.

Συνιστάται η επιδίωξη "κλειστών" ενισχύσεων με την μορφή ολόπλευρων μανδυνών ή κολλάρων που περιβάλλουν ολόκληρη τη διατομή του στοιχείου. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, απαιτείται η πλήρης ανκύρωση του διατμητικού οπλισμού της "ανοικτής" ενίσχυσης στο υφιστάμενο σκυρόδεμα με πρόσθετα στοιχεία σύνδεσης. Δεν επιτρέπονται "ανοικτές" ενισχύσεις με ανεξάρτητα ελάσματα ή υφάσματα επικολλημένα στις παρειές του στοιχείου. "Ανοικτές" ενισχύσεις επιτρέπονται μόνο υπό μορφή U. Ενδεικτικοί τρόποι "κλειστών" και "ανοικτών" ενισχύσεων απεικονίζονται στο Σχήμα 2.5.22.

Κατά παρέκκλιση των παραπάνω, επιτρέπεται η εφαρμογή "ανοικτών" ενισχύσεων με ανκύρωση μόνο μέσω συγκολλητικής κόλλας υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις: (α) ο ποιοτικός έλεγχος των εργασιών να είναι υψηλής στάθμης, (β) η ικανότητα του αρχικού στοιχείου χωρίς ενίσχυση να είναι επαρκής για τον συνδυασμό φόρτισης  $G+\psi_2 Q$  και (γ) το ύψος του αρχικού στοιχείου που διατίθεται για την επικόλληση του στοιχείου ενίσχυσης είναι επαρκές για την εξασφάλιση της δύναμης η οποία ζητείται να αναληφθεί από τους νέους συνδετήρες.

### 2.5.3 Κόμβοι Δοκού - Υποστυλώματος από Ο/Σ

#### Γενικά

Οι βλάβες σε κόμβους Δοκών - Υποστυλωμάτων είναι αναμφισβήτητα από τις πλέον κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας της κατασκευής. Σοβαρές βλάβες στους κόμβους, μειώνουν σημαντικά την δυσκαμψία του φορέα και μπορεί να οδηγήσουν σε ανεξέλεγκτες ανακατανομές έντασης. Έτσι κάθε ρηγμάτωση κόμβου, έστω και πολύ μικρού ανοίγματος ρωγμών θα πρέπει να θεωρείται ως επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία που έχουν την ίδια εικόνα ρηγμάτωσης. Σε μία βαθμονόμηση των βλαβών που προτείνεται στον EC8-Part 1.4 (1996), οι βλάβες στους κόμβους αξιολογούνται κατά μία κατηγορία υψηλότερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε υποστυλώματα με την ίδια εικόνα (εύρος, κατεύθυνση, κ.τ.λ.) ρηγμάτωσης.

Πάντως, οι επισκευές και οι ενισχύσεις στην περιοχή των κόμβων αποτελούν μία από τις πλέον δύσκολες κατασκευαστικές διαδικασίες στο τομέα των επεμβάσεων επειδή εκεί συντρέχουν πολλά στοιχεία του φορέα.

Στην συνέχεια αναλύεται η αποτελεσματικότητα κάθε ειδικότερης τεχνικής επέμβασης με βάση την διαθέσιμη σχετική βαθμολογία.

#### Επισκευές Κόμβων

##### *α) Επισκευή Κόμβων με Ρητινενέσεις*

Η τεχνική επισκευής κόμβων με ρητινενέσεις εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που οι βλάβες μπορούν να θεωρηθούν ελαφρές. Δηλαδή το εύρος των ρωγμών δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τα 2-3 mm. Πάντως στην βιβλιογραφία συχνά διατυπώνονται επιφυλάξεις για την ικανότητα της τεχνικής να αποκαταστήσει πλήρως τη συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος, όταν έχει συμβεί σημαντική ολίσθηση ή εξόλκευση οπλισμού. Επισημαίνεται ότι οι συστάσεις της UNIDO (1983), ο EC8-part 1.4 (1995) καθώς και η FEMA 97 αναφέρουν ότι η μέθοδος αυτή δεν πρέπει να θεωρείται αξιόπιστη για την αποκατάσταση της συνάφειας χάλυβα-σκυροδέματος. Το συμπέρασμα αυτό διατυπώνεται και στις εργασίες Poron and Bertero (1995) και οι Velkon and Gavriloic (1980). Αντίθετα στις εργασίες των French et al (1988, 1990) και Filiatrault and Lebrun (1996) το συμπέρασμα είναι ότι η συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος και οι μηχανικές αντισεισμικές ιδιότητες αποκαθίστανται ικανοποιητικά. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα των Chronopoulos et al (1994) και των Lee et al (1977).

Σε μια σειρά εργασιών των Karayannis et al (1995), (1998), Καραγιάννης κ.α. (1996) και Καραγιάννης και Χαλιορής (1998), δημοσιεύονται τα αποτελέσματα από ένα ευρύ πειραματικό πρόγραμμα που αφορά την αποκατάσταση κόμβων με την τεχνική των ρητινενέσεων. Από τις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι επισκευασμένοι κόμβοι σε



σχέση με τους αρχικούς παρουσίασαν (α) ίσες ή και μεγαλύτερες τιμές μέγιστου φορτίου στους κύκλους φόρτισης, (β) δυσκαμψίες φόρτισης περίπου της ίδιας τάξης, (γ) χαμηλότερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και (δ) όμοια ή βελτιωμένη μορφή αστοχίας.

Στις εργασίες του Τσώνου (1998), (2001) μελετάται πειραματικά η αποδοτικότητα της επισκευής με χρήση ρητινών σε ακραίους κόμβους. Η μέθοδος αποδεικνύεται αποτελεσματική, αλλά σε μια περίπτωση εμφανίστηκε αδυναμία πλήρους αποκατάστασης της συνάφειας του διαμήκους οπλισμού της δοκού.

Ενδιαφέροντα αποτελέσματα παρουσιάζονται από τους Chronopoulos, Scarpas and Tassios (1996) από την επισκευή δύο μεσαίων κόμβων, όπου ο ένας είχε κατασκευαστεί με πολλούς συνδετήρες (νέες Κανονιστικές Διατάξεις) και ο άλλος με ελάχιστους (όπως συνηθίζονταν στο παρελθόν). Οι κόμβοι υποβλήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και μετά επισκευάστηκαν με χρήση ενεμάτων ρητίνης, αποκαταστάθηκε το σκυρόδεμα και συγκολλήθηκαν οι ράβδοι οπλισμού που είχαν σπάσει. Μετά την επανάληψη της φόρτισης η συμπεριφορά του πρώτου κόμβου αποδείχθηκε μη ικανοποιητική, ενώ ο δεύτερος κόμβος παρουσίασε ικανοποιητική συμπεριφορά.

#### *β) Επισκευή Κόμβων με τη Μέθοδο της Αποκατάστασης Ίσης Διατομής*

Η μέθοδος εφαρμόζεται συχνά στην πράξη, ιδιαίτερα όταν ο κόμβος έχει βαρείες βλάβες. Συχνά στην φάση αποκατάστασης, τοποθετούνται οι εντός του κόμβου ελείποντες οπλισμοί, οπότε η τεχνική θα μπορούσε να θεωρηθεί τεχνική ενίσχυσης.

Στις εργασίες των Tassios et al (1977), οι Corazao et al (1988) και Tsonos (2000) η μέθοδος αποδεικνύεται επιτυχής.

Στην εργασία των Lee et al (1977) εξετάζεται η μέθοδος σε δύο δοκίμια εξωτερικών κόμβων, αφού προηγουμένως έχουν υποβληθεί σε ισχυρή σεισμική ένταση που τους έχει προκαλέσει σοβαρές βλάβες. Το ένα ήταν σχεδιασμένο χωρίς να ληφθούν υπόψη οι κατασκευαστικές διατάξεις ενώ στο άλλο είχαν ληφθεί. Στο δοκίμιο που σχεδιάστηκε με αντισεισμικές διατάξεις η μέθοδος αποκατέστησε πλήρως τις μηχανικές αντισεισμικές ιδιότητες ενώ στο άλλο δοκίμιο λόγω της ισχυροποίησης της δοκού με την επισκευή προκλήθηκαν μεγάλες βλάβες στον κόμβο και το εν λόγω δοκίμιο ανέπτυξε τελικά μικρότερες τιμές αντοχών ακαμψιών και ικανότητας απορρόφησης ενέργειας συγκριτικά με τις αναπτυσσόμενες στο αρχικό δοκίμιο.

#### **Ενισχύσεις Κόμβων**

##### *α) Ενίσχυση Κόμβων με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος*

Η ενίσχυση κόμβων δοκού-υποστυλώματος με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η πλέον αποτελεσματική διαδικασία βελτίωσης των

μηχανικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Παρ' όλα αυτά η πειραματική διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της Τεχνικής είναι περιορισμένη.

Στην εργασία του Gulkan (1977), όπου ενισχύονται δοκίμια κόμβων δοκού-υποστυλώματος με κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος σε όλο το ύψος του στύλου αλλά στην περιοχή του κόμβου δεν τοποθετούνται νέοι συνδετήρες, η περιοχή του κόμβου παραμένει το αδύνατο δομικό στοιχείο μετά τις επεμβάσεις.

Επιτυχείς ενισχύσεις κόμβων με την μέθοδο των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος πραγματοποιούν οι Hakuto et al (2000) και Paultre and Mitchell (1990, 1993). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η τελική συμπεριφορά του ενισχυμένου κόμβου υπερτερεί όταν η ενίσχυση γίνεται πριν την βλάβη του αρχικού κόμβου.

Στην εργασία των Aliocer και Jirsa (1990), (1992), οι κόμβοι ενισχύονται με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος αφού προηγουμένως τοποθετούνται (αντί για συνδετήρες) ειδικά κολάρα που δημιουργούνται από σιδηρογωνιές. Η τεχνική αποδεικνύεται αποτελεσματική και η βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του κόμβου ήταν σημαντική. Η υιοθέτηση κολάρων αντί πρόσθετων συνδετήρων (λόγω της κατασκευαστικής δυσκολίας τοποθέτησης των τελευταίων), αποδεικνύεται επιτυχής και σε άλλες ερευνητικές εργασίες (Teran and Ruiz, (1990), Corazao et al (1988)). Εξ' άλλου η χρήση χιαστί προεντεταμένων κολλάρων που διερευνάται σε δύο εργασίες από τον Τσώνο (Τσώνος (1998), Τsonos (1999)) αποδεικνύεται ιδιαίτερα επιτυχής.

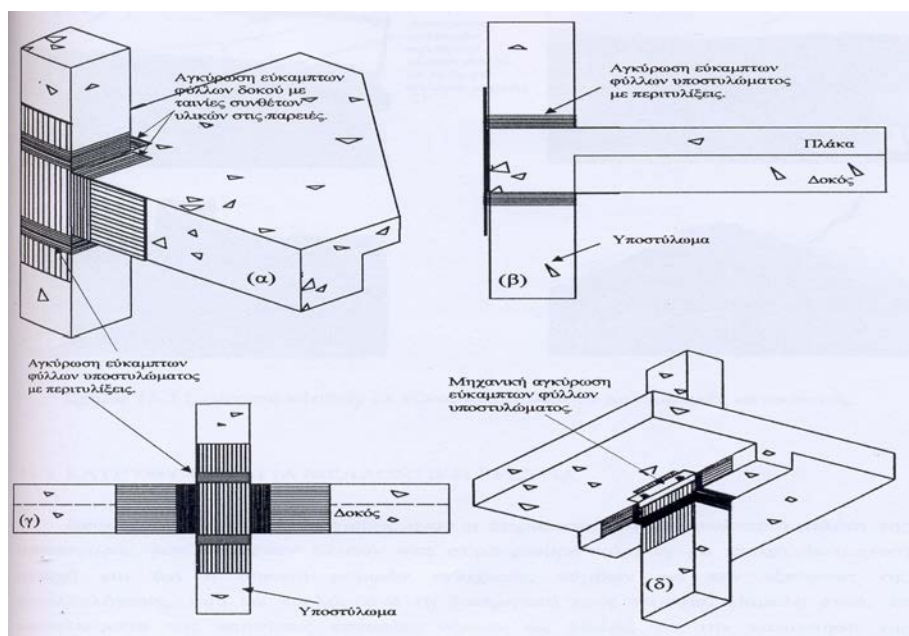
Επίσης στην βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί αρκετοί εναλλακτικοί τρόποι ενίσχυσης των κόμβων (Hoffshild (1995), Chobarah (1997), Τσώνος (1998), Τsonos (1999)) όπου χρησιμοποιούνται χαλύβδινα ελάσματα ή σιδηροσωλήνες που περιβάλλουν τον κόμβο και την γειτονική του περιοχή και είτε επικολλώνται στο αρχικό στοιχείο είτε τοποθετούνται σε μικρή απόσταση γεμίζοντας το κενό με ειδικό κονίαμα.

Κλείνοντας την παρούσα περιγραφή πρέπει να τονιστεί ότι η παραπάνω αξιολόγηση αφορά ολόπλευρους μανδύες κόμβων. Για τρίπλευρους ή δίπλευρους μανδύες, που κατ' ανάγκη κατασκευάζονται όταν ο κόμβος βρίσκεται σε επαφή με γειτονικό κτίριο, τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν δημοσιευτεί, μέχρι σήμερα στην βιβλιογραφία είναι ελάχιστα. Από την εργασία των Aboutaha et al (1999) προκύπτει ότι οι μη ολόπλευροι μανδύες υποστυλμάτων δεν είναι αποδοτικοί. Όμως πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εργασία του Τsonos (2000), δείχνουν ότι η κατασκευή τρίπλευρων μανδύων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του κόμβου.

*β) Ενίσχυση Κόμβων Δοκού-Υποστυλώματος με Ινοπλισμένα Πολυμερή*

Η τεχνική της ενίσχυσης κόμβων με Ινοπλισμένα πολυμερή έχει τύχει περιορισμένου πρακτικού και ερευνητικού ενδιαφέροντος, λόγω των τεχνικών δυσκολιών της τεχνικής, επειδή στην περιοχή συντρέχουν οι εγκάρσιοι δοκοί και οι πλάκες.

Στην βιβλιογραφία, πάντως, τα δημοσιευμένα αποτελέσματα δείχνουν ότι η τεχνική μπορεί να προσφέρει βελτίωση στις μηχανικές ιδιότητες του κόμβου. Στην εργασία των Pantelides et al (2000) τα ενισχυμένα δοκίμια παρουσίασαν αύξηση της διατμητικής τους αντοχής κατά 45% ενώ στην εργασία των Τσώνος και Στυλιανίδης (2001) η αύξηση της αντοχής και δυσκαμψίας των δοκιμών ήταν της τάξεως του 30%, ενώ σημαντικά αυξημένη ήταν η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Μία εκτεταμένη διερεύνηση του θέματος γίνεται στην Διδακτορική Διατριβή του Κ. Αντωνόπουλου και στις σχετικές δημοσιεύσεις που ακολούθησαν (Αντωνόπουλος (2001), Αντωνόπουλος και Τριανταφύλλου (2000), Antonopoulos and Triantafyllou (2002), (2003)). Εξετάστηκαν αρκετοί εναλλακτικοί τρόποι ενίσχυσης (μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5.23) και αξιολογήθηκε η αποδοτικότητα κάθε τεχνικής.



Σχήμα 2.5.23: Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης κόμβων με εύκαμπτα σύνθετα υλικά (α) και (β) εξωτερικός κόμβος, (γ) και (δ) εσωτερικός κόμβος (Αντωνόπουλος 2001).

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι στην εργασία των Womach et al (2000), η εφαρμογή της τεχνικής για ενίσχυση κόμβων στην θέση έδρασης βάρων

γεφυρών, αποδεικνύεται ανεπιτυχής, αδυνατώντας να προσφέρει αξιοσημείωτη βελτίωση στην αντοχή και την δυσκαμψία της περιοχής.

Κλείνοντας πρέπει να επισημανθεί ότι συγκρίνοντας την αποδοτικότητα των ενισχύσεων των κόμβων με σύνθετα υλικά με την αποδοτικότητα των ενισχύσεων των στοιχείων αυτών με μανδύες από Ο/Σ, οι ενισχύσεις με μανδύες Ο/Σ προκύπτουν σαφώς αποδοτικότεροι. Ενώ με τη χρήση ενισχύσεων με σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή, τόσο ο λόγος ικανοτικού σχεδιασμού όσο και οι διατμητικές τάσεις των κόμβων μένουν πρακτικά αμετάβλητοι, οι ανωτέρω παράμετροι βελτιώνονται σημαντικά όταν γίνεται χρήση μανδύων από Ο/Σ. Έτσι, απομένει η βελτίωση που προσφέρουν τα FRPS ως οπλισμός που θα πρέπει να δράσει εναλλακτικά με τους κλειστούς συνδετήρες των συμβατικών μανδύων από Ο/Σ. Αλλά, όταν υφίστανται συντρέχουσες δοκοί σε όλες τις πλευρές ενός κόμβου δοκού-στόλου, είναι αρκετά δύσκολο, αν όχι πρακτικά ανέφικτο, να δράσουν τα στρώματα των σύνθετων υλικών αποτελεσματικά, προσφέροντας επαρκή περίσφιγξη (τύπου κλειστού συνδετήρα) και επαρκή διατμητική όπλιση στην περιοχή αυτή (Τσώνος 2000).

## 2.5.4 Τοιχώματα

### Γενικά

Τα τοιχώματα σε μία κατασκευή είναι τα στοιχεία που περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής έντασης. Μετά από ένα ισχυρό σεισμό οι βλάβες σε τοιχώματα είναι εξ' ίσου συχνές όπως και οι βλάβες σε υποστυλώματα. Ένα ποσοστό 28.5% των κατασκευών που παρουσίασαν βλάβες σε σκελετό, στο σεισμό της Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο του 1978, είχαν παρουσιάσει βλάβες στα τοιχώματα (Πενέλης και Κάππος, 1990).

Οι βλάβες αυτές είναι διατμητικής ή καμπτικής μορφής. Οι διατμητικού τύπου βλάβες είναι οι περισσότερες συχνές και πιο σοβαρές. Εμφανίζονται με λοξά ρήγματα που λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης τελικά εμφανίζουν χιαστί μορφή. Οι βλάβες καμπτικού τύπου είναι λιγότερο συχνές. Παρουσιάζονται στη βάση του τοιχώματος κοντά στη θεμελίωση, και είναι εμφανείς στον ισόγειο όροφο των κτιρίων, όταν έχουν κατασκευαστεί με ισχυρή θεμελίωση ή όταν διαθέτουν υπόγειο όροφο τα περιμετρικά τοιχώματα του οποίου δημιουργούν συνθήκες πάκτωσης του τοιχώματος.

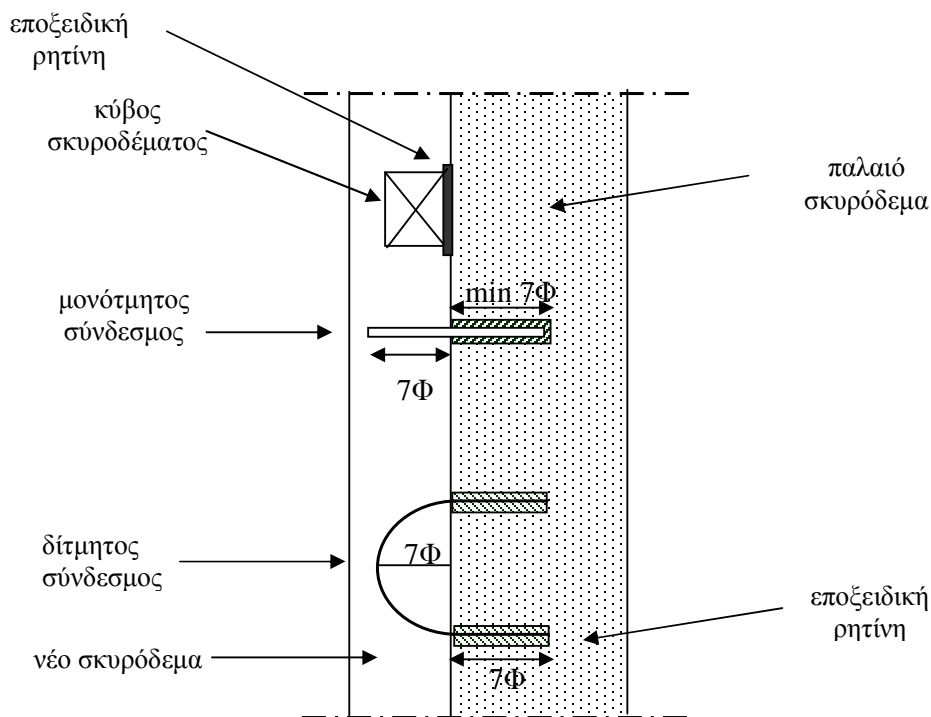
Μια ξεχωριστή περίπτωση βλάβης που παρουσιάζεται πάρα πολύ συχνά στα τοιχώματα είναι αυτή που παρατηρείται με ρηγμάτωση των αρμών διακοπής εργασίας.

## Επισκευή Τοιχωμάτων

Για τις επισκευές τοιχωμάτων ισχύουν οι ίδιες ακριβώς τεχνικές που αναπτύχθηκαν για τα υποστυλώματα, χωρίς καμία διαφοροποίηση, είτε αναφερόμαστε σε περιπτώσεις τοιχωμάτων με ελαφριές βλάβες, οπότε χρησιμοποιούνται ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα, είτε σε περιπτώσεις με βαριές βλάβες, όπου χρησιμοποιείται η τεχνική της τοπικής αποκατάστασης ίσης διατομής.

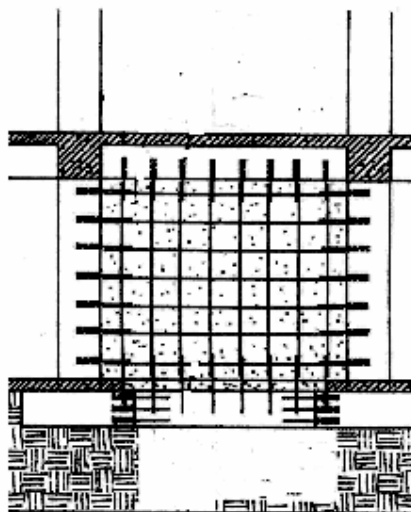
## Ενίσχυση Τοιχωμάτων

Η τεχνική των μανδυνών οπλισμένου σκυροδέματος εξαιτίας του μεγάλου μήκους της μιας διάστασης του τοιχώματος, δεν έχει κλειστή μορφή και ουσιαστικά πρόκειται για μονόπλευρη ή δίπλευρη αύξηση του πάχους του τοιχώματος ή για ενίσχυση των άκρων τους. Στο Σχήμα 2.5.24 παρουσιάζεται μία τεχνική μονόπλευρης επέκτασης τοιχώματος με χρήση τριών διαφορετικών τύπων διατμητικών συνδέσμων που αναλαμβάνουν την διαδικασία ανάληψης τέμνουσας στις διεπιφάνειες παλαιού νέου στοιχείου.



Σχήμα 2.5.24 : Μονόπλευρη επέκταση τοιχώματος με χρήση τριών διαφορετικών τύπων διατμητικών συνδέσμων

Μια εναλλακτική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος καθώς και ο τρόπος σύνδεσης του νέου πλέγματος με το υπάρχον τοίχωμα φαίνεται στο Σχήμα 2.5.25.



Σχήμα 2.5.25: Εναλλακτική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

#### Βιβλιογραφία

- 2.5-1 **Αντωνόπουλος Κ.**, (2001) "Ενίσχυση Κόμβου Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά", Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- 2.5-2 **Αντωνόπουλος Κ. , Τριανταφύλλου Θ.** (2000) "Ενίσχυση Κόμβου Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά", Α' Ελληνικό Συνέδριο Συνθέτων Υλικών Σκυροδέματος, Ξάνθη, σελ. 372÷382.
- 2.5-3 **Δρίτσος Σ. Η.** (2001), "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Πάτρα.
- 2.5-4 **Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο** (1978), "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
- 2.5-5 **Τσώνος Α.Γ.** (1990), "Προς μια Νέα Προσέγγιση στο Σχεδιασμό των Κόμβων Δοκού-Υποστυλώματος από Ο/Σ", ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Επιστημονική Περιοχή Α', Ιανουάριος-Αύγουστος, Τόμος 16, Τεύχος 1-2, σελ.69÷82.
- 2.5-6 **Τσώνος Α.Γ.** (1998), "Συμβολή στη Σεισμική Συμπεριφορά Επισκευασμένων και Ενισχυμένων Δοκιμίων από Ο/Σ", ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ι, τεύχος 3, σελ. 27÷39.
- 2.5-7 **Τσώνος Α.Γ.** (2000) "Συμπεριφορά Υποστυλωμάτων και Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων Ενισχυμένων με Σύνθετα Υλικά", ΗΜΕΡΙΔΑ : "Ενίσχυση Σκυροδέματος με Σύνθετα Πολυμερή", Αθήνα.

- 2.5-8 **Τσώνος Α.Γ.** (2000), " Συμπεριφορά Υποστυλωμάτων και Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων ενισχυμένων με Σύνθετα Πολυμερή", Β' Μέρος : Σύγκριση Αποδοτικότητας της Ενίσχυσης των Κόμβων με Μανδύες από Σύνθετα Υλικά με την Αποδοτικότητα της Ενίσχυσης με Μανδύες από Ο/Σ, Περιοδικό ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, Τεύχος Σεπτεμβρίου, σελ. 59÷62.
- 2.5-9 **Τσώνος Α.Γ.** (2001), "Αποδοτικότητα Επισκευής Πλαισιακών Υποσυνόλων με Χρήση Εποξειδικών Ρητινών", Ειδικά Θέματα Δελτίου Σ.Π.Μ.Ε., Τεύχος 282, σελ. 10÷20.
- 2.5-10 **Τσώνος Α.Δ. , Στυλιανίδης Κ.Α.** (2001), "Προσεισμική και Μετασεισμική Ενίσχυση Δομικών Υποσυνόλων Οπλισμένου Σκυροδέματος με χρήση GFRP", Επιστημονική Έκδοση ΚΤΙΡΙΟ, Τεύχος Α, 2001, σελ. 41÷50.
- 2.5-11 **Aboutaha R.S., Engelhardt M.D., Jirsa J.O., & Kreger M.E.** (1999), "Rehabilitation of Shear Critical Concrete Columns by use of Rectangular Steel Jackets", ACI Structural Journal, Proceedings, V.96, No1, pp.68÷78.
- 2.5-12 **ACI-ASCE Committee 352** (1995), "Recommendations for Design of Beam-to-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-95)" American Concrete Institute, 27pp.
- 2.5-13 **Alcocer S.M.** (1992), "Rehabilitation of RC frame Connections Using Jacketing", Proceedings of Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 9, Madrid, Spain, pp. 5235÷5240.
- 2.5-14 **Alcocer S.M., Jirsa J.O.** (1990), "Assessment of the Response of Reinforced Concrete Frame Connections redesigned by jacketing", Proceedings of the Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, California, U.S.A., May, pp.295÷304.
- 2.5-15 **Antonopoulos C.P. , Triantafillou T.C.** (2002), "Analysis of FRP-Strengthened R.C. Beam-Column Joints", Journal of Composites for Construction, ASCE, 6(1), p.p. 41-51.
- 2.5-16 **Antonopoulos C.P. , Triantafillou T.C.** (2003), "Experimental Investigation of Analysis of FRP-Strengthened R.C. Beam-Column Joints", Journal of Composites for Construction, ASCE, 7(1), p.p. 39-49.
- 2.5-17 **CEN Techn. Comm. 250/5C8** (1995), Eurocode 8 : "Earthquake-Resistant Design of Structures-Part 1". General Rules and Rules for Buildings (ENV 1998-1-1), CEN, Berlin, Germany.
- 2.5-18 **CEN Tech. Com., 250/569. Eurocode 8 - Part 1.4.** (1995), "Design Provisions for earthquake Resistance of Structures

- Strengthening and Repair of Buildings", Pr ENV 1998-1-4, Brussels, Belgium.
- 2.5-19 **Chronopoulos M., Scarpas A. & Tassios T.P.** (1994), "Response of Original and Repaired RC Joints Under Cyclic Imposed Deformations", Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Italy, Vol. III, pp. 2261÷2267.
- 2.5-20 **Corazao M., Durani A.J. & Taylor H.** (1988), "Repair and Strengthening of Concrete Structures damaged by Earthquakes", Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. VII, Tokyo-Kyoto, Japan, pp. 389÷395.
- 2.5-21 **Filiatrault A., Lebrun I.** (1996), "Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Joints by Epoxy Pressure Injection Technique", ACI SP 160-3 (Seismic Rehabilitation of Concrete Structures) pp. 73÷92.
- 2.5-22 **French C.E., Tsai W. & Thorp G.** (1988), "Evaluation of Techniques to Repair Moderated Earthquake Damage", Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. VII, Tokyo-Kyoto, Japan, pp. 379÷382.
- 2.5-23 **French C.W., Thorp G.A. & Tsai W.J.** (1990), "Epoxy Repair Techniques for Moderated Earthquake Damage", ACI Structural Journal, Vol. 87, No 4, pp. 416÷424.
- 2.5-24 **Ghobarah A., Aziz T.S. & Biddah A.** (1997), "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Corrugated Steel Jacketing", ACI Structural Journal, Vol. 94, No 3, May-June, pp. 283÷294.
- 2.5-25 **Gulkan P.** (1977), "The Inelastic Response of Repaired Reinforced Concrete Beam-Column Connections", Proceedings of Sixth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. III, New Delhi, India, pp. 2473÷2479.
- 2.5-26 **Hakuto S., Park R., & Tanaka H.** (2000), "Seismic Load Tests on Interior and Exterior Beam-Column Joints with Substandard Reinforcing Details", ACI Structural Journal, V.97, No 1, pp. 11÷25.
- 2.5-27 **Hoffshild T.E., Prion H.G.L. & Cherry S.** (1995), "Seismic Retrofit of Beam-to-Column Joints with Grouted Steel Tubes", Proceedings of the Thomas Paulay Symposium, "Recent Developments in Lateral Force Transfer in Buildings", ACI Special Publication, SP-157, Detroit, U.S.A., pp. 397÷425.
- 2.5-28 **Jara M., Hernandez C., Garcia R. & Robles F.** (1989), "The Mexico Earthquake of September 19, 1985. Typical Cases of



- Repair and Strengthening of Concrete Building", *Earthquake Spectra Journal*, Vol. 5, No 1, California, U.S.A., February, pp. 157÷193.
- 2.5-29 **Karayannis C., Chalioris C. & Sideris K.** (1998), "Effectiveness of R/C Beam-to-Column Connection Repair using Epoxy Resin Injections" *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 2, No 2, pp. 217÷240.
- 2.5-30 **Lee D.L., Wight J.K. & Hanson R.D.** (1980), "Repair of Damaged Reinforced Concrete Structures", *Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 7, Istanbul, Turkey, pp. 2486÷2491.
- 2.5-31 **Mitchell D.** (1995), "Controversial Issues in the Seismic Design of Connections in Reinforced Concrete Frames", *Proceedings of the Thomas Paulay Symposium, "Recent Developments in Lateral Force Transfer in Buildings"*, ACI Special Publication, SP-157, Detroit, U.S.A., pp. 75÷96.
- 2.5-32 **NEHRP** (1985), "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings-Part 3 Appendix : Existing Buildings", FEMA, 97, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., U.S.A.
- 2.5-33 **Newman A.** (2001), "Structural Renovation of Buildings", *Mc Graw Hill*.
- 2.5-34 **Pantelides C.P., Clyde C. & Reaveley L.** (2000), "Rehabilitation of R/C Building Joints with FRP Composites", *Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, No 2306.
- 2.5-35 **Paultre P. , Mitchell D.** "Some Considerations for Achieving Ductility in Reinforced Concrete Frame Structures", *Journal of European Earthquake Engineering*, No 2, pp. 27÷37.
- 2.5-36 **Penelis G.G., Kappos A.J.** (1996), "Earthquake Resistant Concrete Structures", *Chapman and Hall*, London, U.K., 600pp.
- 2.5-37 **Popov E. , Bertero V.V.** (1975), "Repaired R/C Members under Cyclic Loading", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, John Wiley and Sons, Vol. 4, pp. 129÷144.
- 2.5-38 **Priestley M.J., Seible F. & Calvi G.** (1996), "Seismic Design and Retrofit of Bridges", *John Wiley and Sons Inc.*
- 2.5-39 **Scott B.D., Park R. & Priestley M.J.N.** (1982), "Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates", *ACI Structural Journal*, Vol.79, No 1, Jan.-Feb., pp.13÷27.

- 2.5-40 **Tassios T., Plainis P. & Vassiliou G.** (1977), "Column-Beam Joints Failed under Seismic Loading. Repaired and Re-tested under Seismic Loading", Proceedings of Sixth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. III, New Delhi, India, pp. 2532÷2537.
- 2.5-41 **Teran A., Ruiz J.** (1992), "Reinforced Concrete Jacketing of Existing Structures", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, pp. 5107÷5113.
- 2.5-42 **Tsonos A.G.** (1999), "Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam-to-Column Joints", ACI Structural Journal, Proceedings, V.96, No 1, Jan.-Feb., pp. 46÷56.
- 2.5-43 **Tsonos. A.G.** (2000), "Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Joints by the Removal and Replacement Technique", G. Penelis International Symposium on Concrete and Masonry Structures, Thessaloniki, pp. 233÷245.
- 2.5-44 **Tsonos A.G.** (2001), "Seismic Retrofit of R/C Beam-to-Column Joints using Local three-sided Jackets", International Journal of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, No 1, pp. 48÷64.
- 2.5-45 **UNDP/UNIDO PROJECT RER/79/015, UNIDO** "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick Masonry Buildings", Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Regions, Vol.5, Vienna, Italy, 231pp.
- 2.5-46 **Velkov M., Gavrilovic P.** (1980), "Repaired Reinforced Concrete Members and Joints under Cyclic Loading", Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Vol.7, Istanbul, Turkey, pp.297÷305.
- 2.5-47 **Womach K., Halling M. & Mayle R.** (2000), "Full Scale Testing of Concrete Beam-Column Joints using Advanced Carbon-Fiber Composites", Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, No 2306.