

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

**ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ  
ΤΖΟΥΜΑΝΙΚΑ ΓΕΩΡΓΙΑ**

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

*Η παρούσα εργασία, που γίνεται στα πλαίσια του μαθήματος «Ενισχύσεις- Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» έχει ως στόχο την παρουσίαση των μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας ως μέθοδο ενίσχυσης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μετά από διερεύνηση συγκεντρώθηκαν διάφορα στοιχεία ,από σχετικές μελέτες και εργασίες ,σχετικά με τις κατηγορίες των μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας, τους τρόπους σύνδεσης και αστοχίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μια αξιολόγηση των θετικών και αρνητικών σημείων κατά τη χρήση της μεθόδου. Τέλος, εξήχθησαν ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα αυτής της μεθόδου ενίσχυσης μιας υφιστάμενης κατασκευής.*

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις πιο αποτελεσματικές και ευρέως γνωστές τεχνικές ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η χρήση μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας σε προεπιλεγμένα φανώματα των φορέων της κατασκευής. Στην Ελλάδα λόγω των συχνών σεισμικών γεγονότων αλλά και της ύπαρξης μεγάλου αριθμού κτιρίων κατασκευασμένων σύμφωνα με τον μη αναθεωρημένο κανονισμό του 1984 υπάρχει η ανάγκη ενίσχυσης των υφιστάμενων κτιρίων για την αποφυγή μη πλάστιμου τρόπου αστοχίας τους αλλά και κατάρρευσής τους. Μέσα από τον έλεγχο τρωτότητας ο μηχανικός εντοπίζει τα σημεία ανεπάρκειας και επιλέγει την κατάλληλη τεχνική για την ενίσχυση του κτιρίου. Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας αποτελούν ένα αποτελεσματικό σύστημα αντίστασης έναντι πλευρικών φορτίων και ικανοποιούν τις πρόσθετες απαιτήσεις σε αντοχή, πλαστιμότητα και δυσκαμψία με αποτέλεσμα να αναβαθμίζουν τη σεισμική συμπεριφορά του υφιστάμενου κτιρίου.

### ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι κατά κύριο λόγο μεταλλικοί αφού ο χάλυβας λόγω των όλκιμων χαρακτηριστικών του αναλαμβάνει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις και απορροφά μεγαλύτερη σεισμική ενέργεια. Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την αντοχή σε πλευρική φόρτιση. Με την προσθήκη των συνδέσμων δυσκαμψίας, οι σεισμικές δυνάμεις αναλαμβάνονται κυρίως από τις αξονικές δυνάμεις των συνδέσμων. Η ενίσχυση της κατασκευής με μεταλλικούς συνδέσμους δυσκαμψίας αποτρέπει την εμφάνιση ψαθυρής αστοχίας μέσω της δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων.



**Σχήμα 1:** Χρήση δικτυωτού χιαστί συνδέσμου σε πολώροφο κτίριο [12]

## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

1) Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των μελών του συνδέσμου δυσκαμψίας με το ζύγωμα του φατνώματος σε:

- α) Κεντρικούς
- β) Έκκεντρους

2) Ανάλογα με το είδος της σύνδεσης των δικτυωτών συνδέσμων με την υφιστάμενη κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος σε:

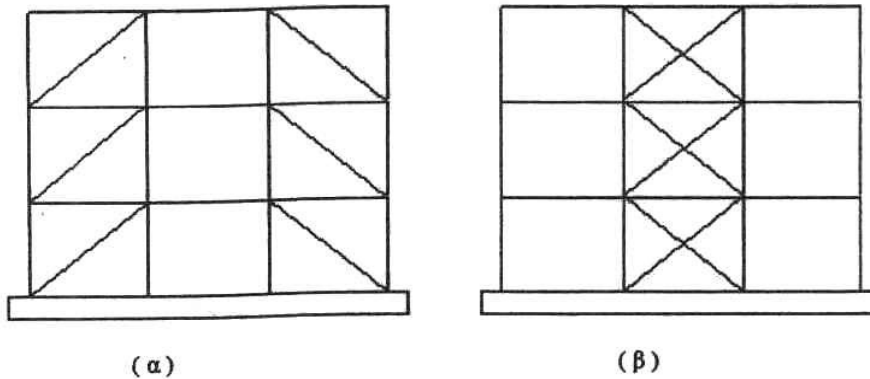
- α) Συνδέσμους με εξωτερική σύνδεση
- β) Συνδέσμους με εσωτερική σύνδεση, οι οποίοι κατατάσσονται περαιτέρω ως:
  - i) Άμεσης σύνδεσης
  - ii) Έμμεσης σύνδεσης

Προφανώς ένας δικτυωτός σύνδεσμος θα ανήκει και στις δύο κατηγορίες, μπορεί για παράδειγμα να είναι έκκεντρος, εσωτερικός και με άμεση σύνδεση με το υπάρχον πλαίσιο.

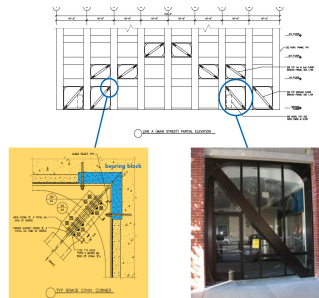
Ακολουθεί περιγραφή των ιδιοτήτων και των κατασκευαστικών λεπτομερειών των παραπάνω κατηγοριών.

**1.α) Κεντρικοί:** Είναι η μορφή που χρησιμοποιείται πιο συχνά στην πράξη. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι απλοί και χιαστί διαγώνιοι (Τύπος / και X αντίστοιχα) και οι σύνδεσμοι τύπου V, Λ ή Κ.

Οι σύνδεσμοι τύπου / ή X έχουν στοιχεία κατά τη διεύθυνση της μίας ή και των δύο διαγωνίων του φατνώματος αντίστοιχα (Σχήμα 2,3).



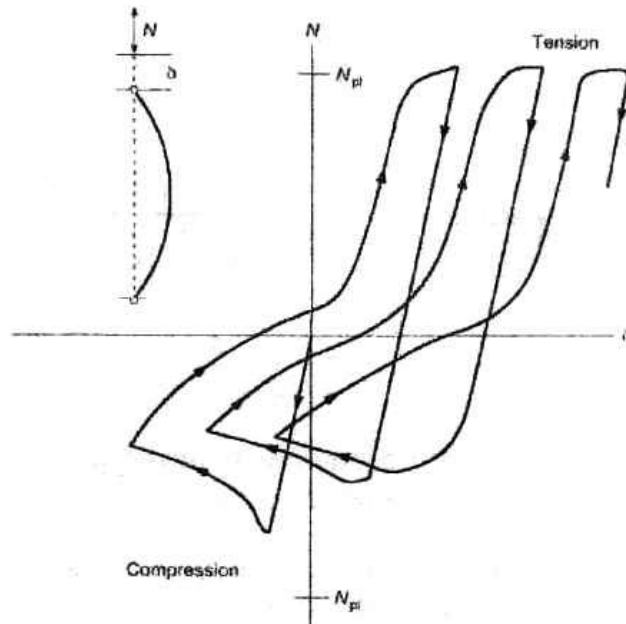
Σχήμα 2: α) απλοί και β) χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας σε πλαίσιοτους φορείς [4]



Σχήμα 3: Χρήση δικτυωτού απλού συνδέσμου σε πολυώροφο κτίριο και κατασκευαστική λεπτομέρεια κόμβου [9]

Αναλαμβάνουν μόνο πλευρικά φορτία τα οποία μεταφέρονται μέσω των συνδέσμων και καταπονούν αξονικά τα διαγώνια μέλη και τα κατακόρυφα φορτία αναλαμβάνονται από το πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος. Κατά τη διαστασιολόγησή τους θεωρείται ότι οι εφελκόμενες διαγώνιοι μόνο συνεισφέρουν στην ανάληψη των εναλλασσόμενων σεισμικών δυνάμεων ενώ οι θλιβόμενες προφανώς αγνοούνται. Έτσι στους χιαστί συνδέσμους τα θλιβόμενα και εφελκόμενα μέλη βρίσκονται στο ίδιο φάτνωμα ενώ στην περίπτωση των απλών συνδέσμων, σε διαφορετικά φάτνωμα [10],[4]. Η θεώρηση ότι το πλευρικό φορτίο αναλαμβάνεται εξολοκλήρου από τις εφελκόμενες διαγώνιους επιβεβαιώνεται από πειράματα όπου μελετάται η απόκριση πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων με απλούς και χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας και μη ενισχυμένων σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Κατά την εφαρμογή θλιπτικού φορτίου τα μέλη παραμορφώνονται πλευρικά και σχηματίζουν πλαστική άρθρωση στο μέσον του μήκους τους που συνεπάγεται μείωση της αντοχής του στοιχείου σε θλίψη. Στη συνέχεια, με τη δράση εφελκυστικής δύναμης, το εφελκόμενο μέλος αναλαμβάνει το φορτίο και διαρρέει. Ακολουθεί ο λυγισμός του θλιβόμενου μέλους [3],[7].

Στο σχήμα 4 δίνεται η χαρακτηριστική μορφή του ελλειψοειδούς βρόγχου υστέρησης του συνδέσμου δυσκαμψίας.

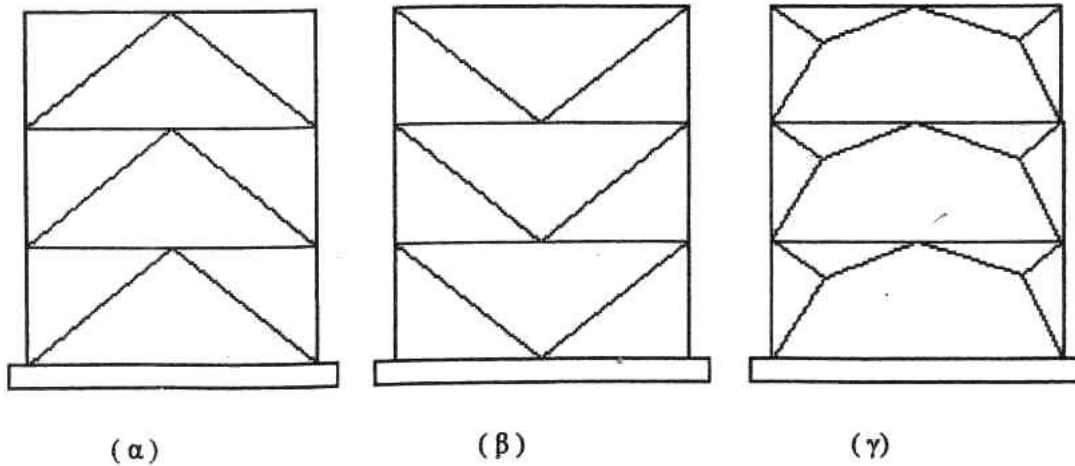


Σχήμα 4: Βρόγχος υστέρησης του συνδέσμου δυσκαμψίας [3]

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι η σημαντική αύξηση στη διατμητική αντοχή εντός επιπέδου ενός πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος λόγω της ενίσχυσης του από 2,5 έως 4 φορές για συνδέσμους με ένα διαγώνιο μέλος και χιαστί συνδέσμους αντίστοιχα [7]. Τα προβλήματα λυγισμού που παρουσιάζονται στα θλιβόμενα μέλη και η σχετικά φτωχή μετελαστική συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα την απότομη αστοχία και την μικρή δυνατότητα απορρόφησης μεγάλου ποσοστού σεισμικής ενέργειας, κάτι που καθιστά δυσμενές το σύστημα αυτό για έναν πλάστιμο σχεδιασμό [4]. Εξάλλου η αύξηση της δυσκαμψίας μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη αδρανειακή δύναμη λόγω σεισμού [12]. Επισημαίνεται ξανά, ωστόσο, η ευεργετική επίδραση τους στην αύξηση αντοχής και δυσκαμψίας της υφιστάμενης κατασκευής έναντι των σεισμικών δράσεων και η

καταλληλότητα χρησιμοποίησής τους σε επίπεδο επιτελεστικότητας: προστασία ανθρώπινης ζωής [4].

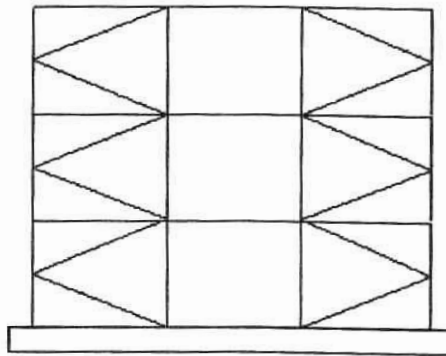
Οι σύνδεσμοι της μορφής V, Λ αποτελούνται από δύο στοιχεία ανά φάτνωμα που συντρέχουν σε ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο της δοκού του πλαισίου. Το σημείο αυτό δεν παραβιάζει τη στατική συνέχεια του ζυγώματος και συνεπώς δεν θεωρείται ως στήριξη [4]. Ανάλογα με τη θέση του σημείου σύνδεσης στο φάτνωμα, κάτω ή πάνω, ο σύνδεσμος ονομάζεται τύπου V και τύπου Λ αντίστοιχα. Το Σχήμα 5 που ακολουθεί δείχνει τις διάφορες διατάξεις αυτού του είδους.



Σχήμα 5: Σύνδεσμοι τύπου V ή Λ [4]

Η βασική διαφορά των συνδέσμων δυσκαμψίας V, Λ με τους χιαστί και τους απλούς συνδέσμους είναι ότι στον τύπο αυτό και οι θλιβόμενες και οι εφελκόμενες διαγώνιοι αναλαμβάνουν τις οριζόντιες δυνάμεις και συνεισφέρουν στην ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων.

Άλλο ένα είδος δικτυωτού συνδέσμου είναι ο σύνδεσμος της μορφής K (Σχήμα 6)



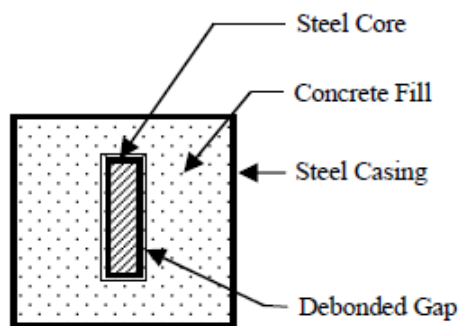
Σχήμα 6: Σύνδεσμοι τύπου K [4]

Αυτού του είδους οι σύνδεσμοι συνίσταται να αποφεύγονται διότι εισάγουν δυσμενή φαινόμενα δεύτερης τάξεως, δημιουργούν κοντά υποστυλώματα λόγω της σύνδεσής τους με αυτά στο μέσον τους. Επιπλέον απαιτεί τη συμμετοχή του υποστυλώματος στην ανάπτυξη του μηχανισμού διαρροής. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η δυνατότητα πλαστικής συμπεριφοράς του συστήματος πλαισίου- σύνδεσμοι δυσκαμψίας [10].

Για την αντιμετώπιση του βασικού προβλήματος του λυγισμού των θλιβόμενων μελών του συνδέσμου δυσκαμψίας έχει προταθεί μια μέθοδος χρήσης διαγώνιων σύμμικτων στοιχείων που είναι ανθεκτικά σε λυγισμό (*Buckling Restrained Brace Frame-BRBF system*).

Πρόκειται για ένα σύστημα από συνδέσμους δυσκαμψίας που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε λυγισμό και χρησιμοποιούνται από τις αρχές του αιώνα. Αν και η πρώτη τους εφαρμογή τοποθετείται γύρω στο 1988 στην Ιαπωνία άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην Αμερική είτε σε καινούργιες κατασκευές ή σε υφιστάμενες το 2000 μετά από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Berkeley. Αυτοί οι μεταλλικοί σύνδεσμοι ξεχωρίζουν από τους υπόλοιπους λόγω της μεγάλης τους πλαστιμότητας, της σκληρότητας και της αναμενόμενης συμπεριφοράς τους.

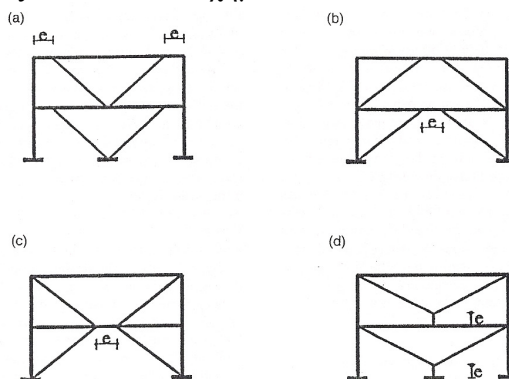
Το σύστημα BRBF αποτελείται από ένα μεταλλικό πυρήνα και από σκυρόδεμα που τον περιβάλλει (Σχήμα 7). Ο μεταλλικός πυρήνας αντιστέκεται στις αξονικές τάσεις ενώ το σκυρόδεμα προστατεύει το μεταλλικό πυρήνα από λυγισμό.



Σχήμα 7: Διατομή διαγώνιου μέλους BRBF συστήματος [14]

Το BRBF χρησιμοποιείται σαν στοιχείο που αντιστέκεται σε πλευρικές δυνάμεις και μειώνει την αστοχία σε λυγισμό των εύκαμπτων στοιχείων της κατασκευής. Διακρίνεται για την πλαστιμότητα του αλλά και για την υστερητική συμπεριφορά του αφού έχει πλήρεις και ισορροπημένους κύκλους υστέρησης. Επιπρόσθετα, παρουσιάζει κοινή συμπεριφορά σε εφελκυστική και θλιπτική διαρροή, πράγμα το οποίο εξαλείφει την αστάθεια λόγω μεταλυγιστικών φορτίων που παρουσιάζουν τα συμβατικά συστήματα, (Special Concentric Braced Frames). Τέλος, ξεχωρίζει για την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης που υπερβαίνει τις απαιτήσεις για πλαστική παραμόρφωση σύμφωνα με τους κανονισμούς [14].

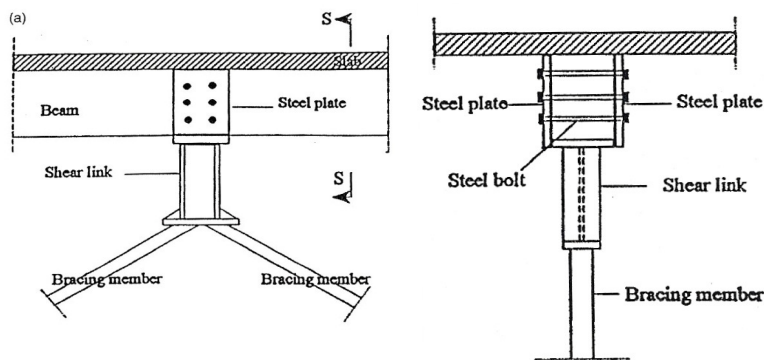
**1.β) Έκκεντροι:** Στους έκκεντρος συνδέσμους δυσκαμψίας τουλάχιστον ένα από τα μέλη συνδέεται με το ζύγωμα έκκεντρα ως προς τον αντίστοιχο κόμβο του υποστυλώματος. Χαρακτηριστικές διατάξεις δίνονται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Έκκεντροι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας σε πλαισιωτούς φορείς [6]

Το τμήμα της δοκού που αποτελεί την έκκεντρη σύζευξη ονομάζεται δοκός σύζευξης και καταπονείται έντονα σε κάμψη και διάτμηση. Ο σχεδιασμός αυτού του στοιχείου βασίζεται στη πλάστιμη συμπεριφορά και διαρροή του έτσι ώστε να απορροφά ενέργεια και να αποτρέπει το λυγισμό των μελών του συνδέσμου δυσκαμψίας. Η μορφή που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι η μορφή Y η ανεστραμμένου Y διότι η δοκός από οπλισμένο σκυρόδεμα δεν έχει μεγάλη δυνατότητα να δρα ως πλάστιμος συνδετήριος σύνδεσμος [6].

Στη μορφή Y το κατακόρυφο μεταλλικό σκέλος συνδέεται στο μέσο της δοκού του φατνώματος και αναλαμβάνει αποκλειστικά τις σεισμικές δράσεις γι' αυτό ονομάζεται και σεισμικός σύνδεσμος. Είναι λοιπόν, πολύ σημαντικό αυτό το σκέλος να σχεδιαστεί με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και να φτάσει πρώτο στη διαρροή όταν ενεργούν σεισμικές δυνάμεις, ώστε τα δικτυωτά μέλη να παραμείνουν στην ελαστική περιοχή και να αποφευχθεί πιθανή ψαθυρή αστοχία τους λόγω λυγισμού.[3],[6]. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί επίσης στη σύνδεση του σεισμικού αυτού συνδέσμου με τη δοκό του πλαισίου για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική μεταφορά του σεισμικού φορτίου.

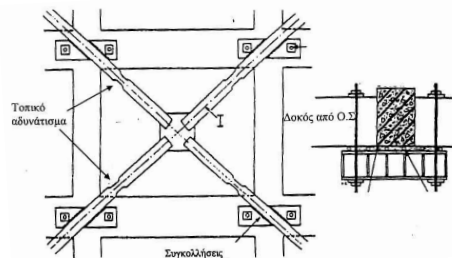


Σχήμα 9: Λεπτομέρεια σεισμικού συνδέσμου και τομή S-S [6]

Το πιο βασικό πλεονέκτημα των έκκεντρων συνδέσμων είναι ότι συνδυάζουν τις πιο απαιτητικές προδιαγραφές για αντισεισμικό σχεδιασμό, δηλαδή υψηλή δυσκαμψία σε κανονικά επίπεδα πλευρικής φόρτισης και πολύ καλή πλαστιμότητα στη σπάνια περίπτωση μεγάλου σεισμικού φορτίου [8].

**2.α) Σύνδεσμοι με εξωτερική σύνδεση:** Αποτελούνται από μεταλλικά δικτυώματα ή μεταλλικά πλαίσια που συνδέονται σε όλο το κτίριο ως εξωτερική υποστήριξη ή πιο συχνά τοπικά εξωτερικά μεμονωμένων πλαισίων [5]. Συνήθως χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που η αρχιτεκτονική ή η δομή του κτιρίου δεν επιτρέπει τη χρήση ενσωματωμένου μεταλλικού κτιρίου όπως για παράδειγμα η ύπαρξη τοιχοποιίας.

Χαρακτηριστικά σχέδια κατασκευαστικών λεπτομερειών φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



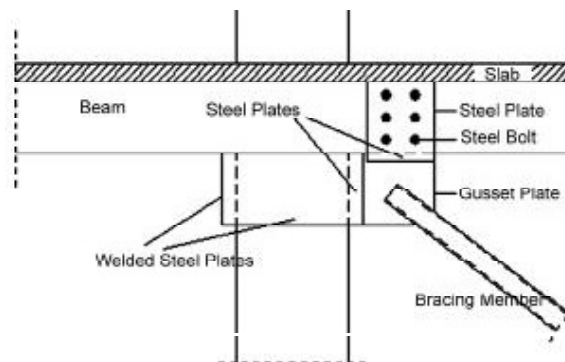
Σχήμα 10: Εξωτερικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας (αριστερά) και λεπτομέρεια σύνδεσης του συνδέσμου με το πλαίσιο (δεξιά) [1]

Η ράβδος συγκολλείται σε μεταλλικό έλασμα και αυτό με τη σειρά του συνδέεται στον κόμβο του πλαισίου από οπλισμένο σκυροδέμα μέσω προεντεταμένων κοχλιών και ρητίνης. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα συνδέσμων αναπτύσσει συνεργασία με το υφιστάμενο πλαίσιο και συμμετέχει στην ανάληψη των δυνάμεων λόγω σεισμού [4]. Στα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου σύνδεσης περιλαμβάνεται και η ελάχιστη σχεδόν ενόχληση και παρεμπόδιση της λειτουργίας του κτιρίου κατά τη διάρκεια της τοποθέτησής του, αν η τοποθέτησή του γίνεται εξωτερικά. Κρίσιμο σημείο που καθορίζει την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου είναι ο λυγισμός των διαγώνιων ράβδων που οφείλεται στο γεγονός ότι η δράσεις μεταφέρονται έκκεντρα από το πλαίσιο στους συνδέσμους. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου έχει προταθεί να εφαρμόζεται τοπική μείωση της διατομής (δημιουργία λαιμού) κοντά στις θέσεις των ενώσεων [1].

**2.β) Σύνδεσμοι με εσωτερική σύνδεση:** Σε αυτήν την περίπτωση σύνδεσης το σύστημα συνδέσμων τοποθετείται στον κενό χώρο μεταξύ της δοκού και των υποστυλωμάτων στο υπάρχον πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος με αποτέλεσμα κάθε πλαίσιο να είναι ξεχωριστά συνδεδεμένο στο εσωτερικό του με ένα σύνδεσμο δυσκαμψίας. Με αυτόν τον τρόπο σύνδεσης αποφεύγεται η μεταφορά των δράσεων στους συνδέσμους με εκκεντρότητα. Άλλο ένα θετικό στοιχείο της μεθόδου αυτής είναι το χαμηλό κόστος και η ευκολία της κατασκευής της. Οι συνδέσεις αυτού του τύπου διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες.

**2.β.ι) Εσωτερικοί σύνδεσμοι με άμεση σύνδεση:** Η σύνδεση γίνεται με χρήση κομβοελασμάτων στους κόμβους του πλαισίου. Η διαγώνια ράβδος συγκολλείται ή κοχλιώνεται στο γωνιακό κομβοέλασμα και αυτό, στη συνέχεια, συνδέεται κοχλιωτά ή με συγκόλληση σε γωνιακά μεταλλικά ελάσματα που είναι επικολλημένα ή αγκυρωμένα στον κόμβο δοκού- υποστυλώματος του πλαισίου οπλισμένου σκυροδέματος. Επιτυγχάνεται παράλληλα και η ενίσχυση του κόμβου, πράγμα απαραίτητο προκειμένου να παραλάβει τις σεισμικές δυνάμεις που του προκαλούν μεγάλη καταπόνηση [4].

Στο Σχήμα 11 η λεπτομέρεια της εσωτερικής σύνδεσης του μέλους του συνδέσμου με τον κόμβο του πλαισίου.

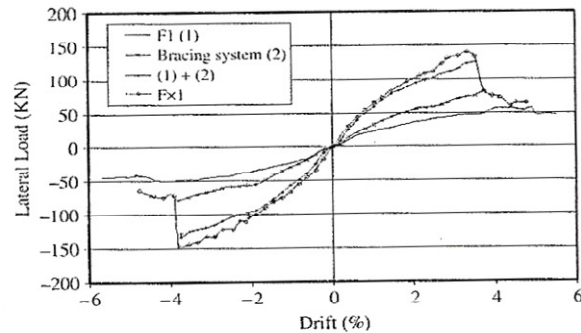


**Σχήμα 11:** Γωνιακό επικολλητό κομβοέλασμα [13]

Βασικό σημείο που χρήζει προσοχής είναι ο βαθμός στον οποίο επηρεάζει η αντοχή του άμεσα συνδεδεμένου συστήματος συνδέσμων την αντοχή του υφιστάμενου πλαισίου. Έχει παρατηρηθεί, καταρχάς, αύξηση της αντοχής ενός ενισχυμένου με δικτυωτούς μεταλλικούς συνδέσμους και ότι η αυξημένη αυτή αντοχή είναι μεγαλύτερη όχι μόνο από την αντοχή του γυμνού πλαισίου και του συστήματος δυσκαμψίας μεμονωμένα αλλά και από το άθροισμα των αντοχών τους (Σχήμα 12).

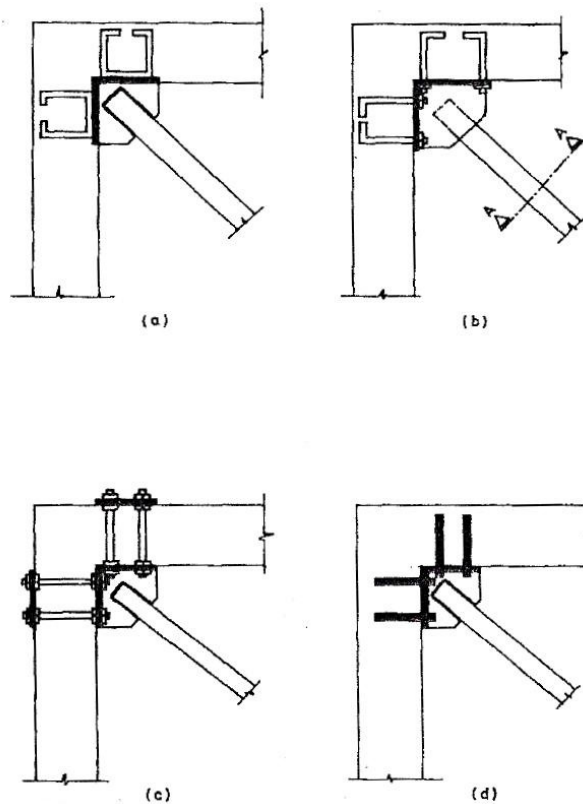


Η υπεραντοχή αυτή που προσδίδουν οι συνδέσεις με τα ελάσματα στο σύστημα πλαίσιο-δικτυωτός σύνδεσμος οφείλεται κυρίως στη μείωση που προκαλούν τα κομβοελάσματα στο ενεργό μήκος των δοκών και υποστυλωμάτων με αποτέλεσμα την παράλληλη αύξηση της δυσκαμψίας των τελευταίων [5].



**Σχήμα 12:** F1(1)-γυμνό πλαίσιο,(2)-σύστημα συνδέσεων, Fx1-ενισχυμένο πλαίσιο, (1)+(2)-άθροισμα [5]

Στα παρακάτω σχέδια [7] παρουσιάζονται οι πιο συνηθισμένοι τρόποι σύνδεσης που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Οι δύο πρώτοι τρόποι αφορούν σε πλαίσια στα οποία δεν έχει γίνει ακόμα σκυροδέτηση ενώ οι δύο τελευταίοι αφορούν σύνδεση σε πλαίσια που ήδη υπάρχουν.

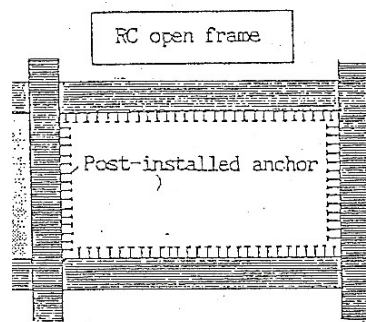


**Σχήμα 13:** Μορφές σύνδεσης δικτυωτών συνδέσεων [7]



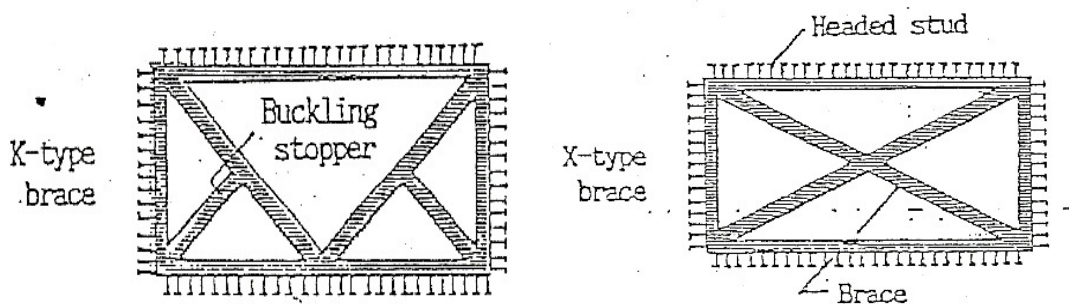
**2.β.ii) Εσωτερικοί σύνδεσμοι με έμμεση σύνδεση:** Σε αυτόν τον τρόπο σύνδεσης χαλύβδινα προκατασκευασμένα πλαίσια εισάγονται στο φάτνωμα του πλαισίου που χρειάζεται ενίσχυση και σε αυτά συνδέονται οι έκκεντροι ή κεντρικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας π.χ. με χρήση κομβοελασμάτων. Έτσι η μεταφορά των δυνάμεων γίνεται έμμεσα από το πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος στο ενσωματωμένο μεταλλικό πλαίσιο και από αυτό στα δικτυωτά μέλη [5].

Οι βασικές τεχνικές για την πραγματοποίηση της έμμεσης εσωτερικής σύνδεσης είναι δύο. Η πρώτη περιλαμβάνει διατμητική σύνδεση των μεταλλικών πλαισίων με τα στοιχεία (δοκούς, υποστυλώματα) του πλαισίου με χρήση διατμητικών ήλων που αγκυρώνονται σε οπές που βρίσκονται ανά αποστάσεις στο σκυρόδεμα και είναι γεμισμένες με εποξειδική ρητίνη (Σχήμα 14). Τα μεταλλικά πλαίσια και τα περιμετρικά στοιχεία του υφιστάμενου φορέα δρουν ως σύμμικτα στοιχεία οδηγώντας στην ανάπτυξη αξονικών αλλά και διατμητικών και καμπτικών εντάσεων στο μεταλλικό πλαίσιο [2].



Σχήμα 14: Πλαίσιο με διατμητικούς συνδέσμους [11]

Η δεύτερη τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση προκατασκευασμένων πλαισίων με συγκολλημένους διατμητικούς συνδέσμους εξαρχής. Μια δεύτερη σειρά διατμητικών συνδέσμων αγκυρώνεται με εποξειδική ρητίνη περιμετρικά στα στοιχεία σκυροδέματος και το κενό μεταξύ του εξωτερικού του χαλύβδινου πλαισίου και του σκυροδέματος γεμίζεται με μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής (Σχήμα 15). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλός βαθμός διατμητικής σύνδεσης [2].



Σχήμα 15: μεταλλικά προκατασκευασμένα κλειστά πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας [11]

Βασικά μειονεκτήματα της έμμεσης σύνδεσης είναι το κόστος για την κατασκευή της και οι κατασκευαστικές απαιτήσεις που έχει. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη πόσο επηρεάζει η διαφορετική δυναμική συμπεριφορά που έχει το μεταλλικό πλαίσιο και το πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος [4].

## **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ**

- Με την ενίσχυση της κατασκευής εξασφαλίζεται η επιθυμητή συμπεριφορά έναντι σεισμού: μεγάλη δυσκαμψία σε περιπτώσεις μικρής κλίμακας σεισμού και μεγάλη πλαστιμότητα σε περίπτωση έντονης κίνησης του εδάφους. Μετά από πειράματα προέκυψε το συμπέρασμα ότι η σεισμική απόδοση του ενισχυμένου πλαισίου είναι καλύτερη από εκείνη του μη ενισχυμένου.[8]
- Η χρήση συνδέσμων δυσκαμψίας αυξάνει την αντοχή και την δυσκαμψία της κατασκευής. Ανάλογα με το είδος των συνδέσμων που χρησιμοποιούνται μπορεί να υπάρξει και αύξηση της πλαστιμότητας.
- Προσθήκη μικρού κατακόρυφου φορτίου εξαιτίας του μειωμένου ίδιου βάρους των μεταλλικών συνδέσμων.
- Η χρήση μεταλλικών στοιχείων είναι θετική εφόσον οι ιδιότητες τους είναι ελεγχόμενες.
- Ευκολία και ταχύτητα κατασκευής καθώς και χαμηλό κόστος συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους ενίσχυσης.
- Ευκολία επισκευής και αντικατάστασης μέλους μετά από πιθανή αστοχία. [3]
- Ευκολία κατά των έλεγχου των μελών για τυχόν αστοχία, φθορά, διάβρωση ή αλλοίωση. [3]
- Κατά την ενίσχυση της κατασκευής με μεταλλικούς συνδέσμους δεν προκαλείται μεγάλη ενόχληση και αναστάτωση ( ειδικά αν μιλάμε για χώρους κατοικίας ή εργασίας)
- Η χρήση μεταλλικών στοιχείων χαρίζει αρχιτεκτονική ευελιξία καθώς δεν παρεμβαίνει στην διαρρύθμιση και στην λειτουργικότητα του κτιρίου και δεν αλλοιώνεται η φυσιογνωμία του κτιρίου.
- Δεν εμποδίζεται ο φυσικός αερισμός και φωτισμός των εσωτερικών χώρων του κτιρίου καθώς το κλείσιμο των ανοιγμάτων είναι περιορισμένο.
- Σε περίπτωση που το φάτνωμα που πρόκειται να ενισχυθεί με μεταλλικούς συνδέσμους έχει τοιχοπλήρωση τοποθετούνται εξωτερικά του πλαισίου με κατάλληλη διάταξη χωρίς διαφοροποίηση στην συμπεριφορά τους
- Ο χάλυβας αποτελεί προϊόν 100% ανακυκλώσιμο. [3]

## **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ**

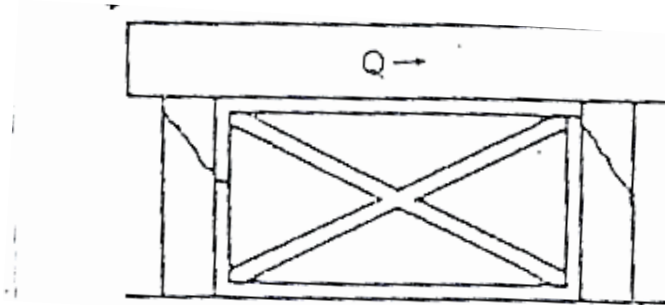
- Στην Ελλάδα, η έλλειψη εξειδικευμένων συνεργείων και η άγνοια χειρισμού οδηγεί σε λάθη κατά την εφαρμογή συνδέσμων δυσκαμψίας. [1]
- Η προτίμηση των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα κατευθύνει προς την επιλογή άλλων μεθόδων ενίσχυσης. [1]
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται κατά τη σύνδεση του υφιστάμενου πλαισίου με τους συνδέσμους δυσκαμψίας ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής μεταφορά των δυνάμεων μεταξύ των στοιχείων που προστίθενται και αυτών που υπάρχουν. [2]
- Η ανεπάρκεια των κόμβων του πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου συνδέονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα. Οι σύνδεσμοι μπορούν να φέρουν μεγάλα οριζόντια φορτία και αυτό έρχεται σε αντιδιαστολή με την ανεπάρκεια του υφιστάμενου πλαισίου . Ωστόσο το υφιστάμενο πλαίσιο πρέπει να μεταφέρει τις δράσεις στη θεμελίωση και εν συνεχεία στο έδαφος. Για να μην αστοχήσει, λοιπόν, το υποστύλωμα πρόωρα και για να εκμεταλλευτούμε την πρόσθετη αντοχή με τη χρήση των μεταλλικών στοιχείων μπορούμε να ενισχύσουμε τοπικά με μανδύα τα σημεία σύνδεσης. [3]
- Ένα αμφιλεγόμενο σημείο που αξίζει μνείας είναι η ανεπάρκεια της θεμελίωσης. Από την μία πλευρά, η χρήση μεταλλικών συνδέσμων δεν επιβαρύνει την κατασκευή με μεγάλο

βάρος, πράγμα ιδανικό όταν η θεμελίωση δεν έχει επαρκή φέρουσα ικανότητα. Από την άλλη πλευρά, η θεμελίωση μετά την ενίσχυση καλείται να παραλάβει μεγαλύτερες δράσεις με αποτέλεσμα να ελέγχεται αν είναι επιθυμητή η ενίσχυση των θεμελίων. Είναι λοιπόν, ευθύνη του μηχανικού να εκτιμήσει την κατάσταση και τις δυνατότητες της θεμελίωσης ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη και ασφαλέστερη λύση. [11],[3]

### ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΡΑΒΔΟΥΣ ΔΙΚΤΥΩΣΗΣ

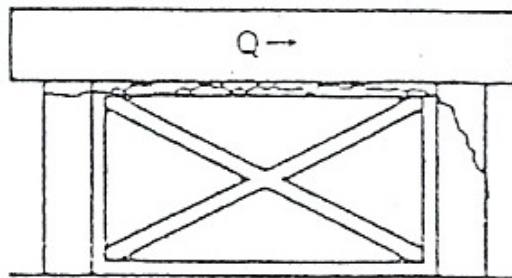
Σύμφωνα με τον κανονισμό JBDPA (1990b) υπάρχουν τρεις μηχανισμοί αστοχίας.[11]

- ❖ **Πρώτος τρόπος αστοχίας:** Τα μέλη του μεταλλικού συστήματος είτε διαρρέουν σε εφελκυσμό ή θλίψη είτε λυγίζουν λόγω θλιπτικού φορτίου, σε συνδυασμό με διατμητική αστοχία ή καμπτική διαρροή των υποστλωμάτων του υφιστάμενου πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα.



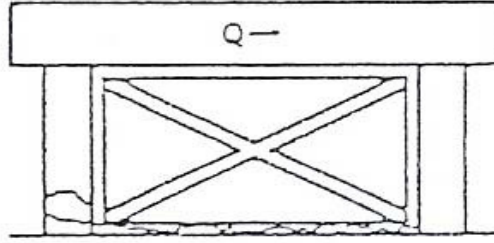
Σχήμα 16: Πρώτος τρόπος αστοχίας [11]

- ❖ **Δεύτερος τρόπος αστοχίας:** Πρόκειται για αστοχία των ενώσεων η οποία στη συνέχεια οδηγεί είτε σε διατμητική αστοχία ή σε καμπτική διαρροή των υποστλωμάτων.



Σχήμα 17: Δεύτερος τρόπος αστοχίας [11]

- ❖ **Τρίτος τρόπος αστοχίας:** Πρόκειται για εφελκυστική αστοχία του ενισχυμένου πλαισίου λόγω εφελκυστικής διαρροής ή θλιπτικής αστοχίας του υφιστάμενου υποστωλώματος.



Σχήμα 18: Τρίτος τρόπος αστοχίας [11]

### ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Οι κυριότερες βλάβες που εμφανίζονται σε διαγώνια στοιχεία των δικτυωτών συνδέσμων είναι οι εξής : [10]

- ☒ Αποκόλληση του κομβοελάσματος είτε από το ζύγωμα είτε από το υποστύλωμα του πλαισίου. Η συγκόλληση πρέπει να επαναληφθεί με ραφή μεγαλύτερου πάχους και να ακολουθήσει ενίσχυση του κομβοελάσματος με εγκάρσιες νευρώσεις.
- ☒ Θραύση του κομβοελάσματος. Το στοιχείο απομακρύνεται, αντικαθιστούμε με άλλο κομβοέλασμα μεγαλύτερου πάχους και επανατοποθετούμε το στοιχείο.
- ☒ Θραύση των κοχλιών σύνδεσης του στοιχείου στο κομβοέλασμα. Αντικαθιστούμε τους κοχλίες με κοχλίες τριβής και πραγματοποιούμε πρόσθετες ραφές συγκόλλησης.
- ☒ Ολίσθηση των κοχλιών τριβής. Ανάλογα με την τιμή ολίσθησης συνίσταται είτε η δημιουργία πρόσθετων ραφών συγκόλλησης ή η αντικατάσταση των προεντεταμένων κοχλιών.
- ☒ Διαρροή του διαγώνιου στοιχείου. Εάν η πλαστική παραμόρφωση δεν είναι μεγάλη δεν απαιτείται αντικατάσταση του στοιχείου.
- ☒ Αστοχία του διαγώνιου στοιχείου λόγω θραύσης όταν καταπονείται σε εφελκυσμό ή λυγισμό και αδυναμία επαναφοράς στην ευθεία θέση όταν καταπονείται σε θλίψη. Το στοιχείο σε αυτή την περίπτωση πρέπει να αντικαθίσταται.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενίσχυση ενός υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα με τη χρήση μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας θεωρείται μια επιλογή που φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής. Ανάλογα με το είδος των συνδέσμων που θα επιλεγεί μπορεί να διαπιστωθεί και σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας. Με τους μεταλλικούς συνδέσμους βελτιώνουμε τη σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου αυξάνοντας την αντοχή του σε πλευρική φόρτιση.

Η ενίσχυση της κατασκευής με αυτήν τη μέθοδο μπορεί να επιτευχθεί σε μικρό χρονικό διάστημα και χωρίς να αποτελέσει τροχοπέδη στην λειτουργία του κτιρίου.

Αν και υπάρχουν διάφοροι τρόποι ενίσχυσης μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα (τοιχώματα, χρήση μανδύων, ενίσχυση θεμελίωσης) ο μηχανικός είναι υπεύθυνος ώστε μετά από εξέταση της κατάστασης και των απαιτήσεων του κτιρίου να προσδιορίσει τον βέλτιστο τρόπο ενίσχυσης.

Η διάταξη και ο αριθμός των δικτυωτών συνδέσμων που θα χρησιμοποιηθούν, η ύπαρξη συνδέσμων καθ' ύψος της κατασκευής καθώς και η ύπαρξη συνδέσμων και στις δυο διευθύνσεις είναι καθοριστικές για τη συμπεριφορά της ενισχυμένης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Στέφανος Η. Δρίτσος, «Ενισχύσεις- Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος», Πάτρα 2009
- [2] Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, «Σύμμικτες Κατασκευές», Πάτρα 2010
- [3] Τσάμπρας Γεώργιος, «Επισκευές Υφιστάμενων Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Μεταλλικούς Συνδέσμους Δυσκαμψίας», 15<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα Φεβρουάριος 2009
- [4] Θυμιανίδου Μαγδαληνή, «Ενίσχυση Πλαισίων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Μεταλλικούς Ράβδους Δικτύωσης», Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009
- [5] Mahmoud R. Maheri, H. Ghaffarzadeh, «Connection overstrength in steel- braced RC frames», Engineering Structures 30, 2008,pp 1938-1948
- [6] A. Ghobarah, H. Avou Elfath, « Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing», Engineering Structures 23, 2001,pp 745-755
- [7] M.R.Maheri, A.Sahebi, «Use of steel bracing in reinforced concrete frames», Engineering Structures, Vol.19, No 12, pp 1018-1024,1997
- [8] Ferraioli, M., Avossa, A.M., Malangone, P., «Performance- based Assessment of R.C. Buildings Strengthened with Steel Braces», Federation Internationale Du Beton, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Congress, 2006, Naples, Italy
- [9] Modern Steel Construction, «Braced for the Big One», August 2007
- [10] Κωνσταντίνος Σπυράκος, «Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία», ΤΕΕ, 2004
- [11] Yasutoshi Yamamoto, «Strength and Ductility of Frames Strengthened with Steel Bracing», Department of Technology, Tokyo
- [12] Viswanath K.G., Prakash K.B., Anant Desai, «Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames», International Journal of Civil and Structural Engineering, Vol.1, No 1, 2010
- [13] T. El-Amoury and A. Ghobarah, «Retrofit of RC Frames Using FRP Jacketing or Steel Bracing», JSEE: Summer 2005, Vol.7, No2
- [14] Saif Hussain, Paul Van Benschoten ,Mohamed Al Satari, Silian Lin, «Buckling Restrained Braced Frame(BRBF) Structures: Analysis, Design and Approvals Issues», Coffman Engineers, Los Angeles

