



Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



Σπουδάστρια: **Ελένη Καλαμά**

Εποπτεύων Καθηγητής: **Δρ. Δημήτριος Μπάρος**

**Πάτρα, 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σαν βασικό της στόχο την παρουσίαση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος που ενισχύονται με νέες στρώσεις σκυροδέματος. Παρουσιάζονται αναλυτικά η παθολογία των δοκών , η ενίσχυση τους γενικά αλλά και πιο συγκεκριμένα με νέες στρώσεις σκυροδέματος ενώ αναλύονται και δύο παραδείγματα πάνω στην ενίσχυση δοκών με νέες στρώσεις σκυροδέματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Μπάρο Δημήτρη κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η ενίσχυση δοκών με νέες στρώσεις σκυροδέματος. Στόχος της είναι αφού παρουσιαστεί η παθολογία των δοκών να αναφερθούν οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να ενισχύσουμε τις δοκούς γενικά αλλά και πιο συγκεκριμένα με νέες στρώσεις σκυροδέματος.

Αναλυτικότερα, στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται η παθολογία των δοκών δηλαδή, οι βλάβες που εμφανίζονται σε δοκούς συνήθως μετά από έναν σεισμό καθώς και η ενίσχυση-επισκευή τους με οπλισμένο σκυρόδεμα.

Επιπρόσθετα, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύεται η ενίσχυση των δοκών με νέες στρώσεις σκυροδέματος. Γίνεται λόγος για την καμπτική ενίσχυση με νέες στρώσεις σκυροδέματος, για τη σχέση της διεπιφάνειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος ενώ παρουσιάζεται και μία πειραματική έρευνα.

Επίσης, στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται παραδείγματα σχεδιασμού επεμβάσεων σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Δύο δοκοί ενισχύονται με νέες στρώσεις σκυροδέματος με χρήση ευθύγραμμων βλήτρων ή τύπου Γ.

Τέλος, στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για την ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος.

### **Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδάστριας:**

Η κάτωθι υπογεγραμμένη σπουδάστρια, έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου, έχω δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Η σπουδάστρια:

Ελένη Καλαμά

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
Περίληψη	2
1. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ/ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	5
1.1 Τυπικές βλάβες σε δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα	5
1.2 Επισκευή και ενίσχυση δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα	6
1.3 Επισκευή δοκών μετά από σεισμό	7
1.4 Τεχνικές ενίσχυσης δοκών	13
1.4.1 Καμπτική ενίσχυση με επικολητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή	13
1.4.2 Ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή	17
1.4.3 Διατμητική ενίσχυση δοκών με εξωτερικά στοιχεία	18
1.4.4 Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος	19
2. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ/ΠΛΑΚΩΝ ΜΕ ΝΕΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	22
2.1 Καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος	22
2.2 Η σημασία της διεπιφάνειας παλαιού-νέου σκυροδέματος	24
2.3 Μηχανισμοί μεταφοράς που δρουν στη διεπιφάνεια σκυροδέματος	25
2.4 Πειραματική έρευνα της συμπεριφοράς της διεπιφάνειας	26
2.5 Αντοχή σχεδιασμού της διεπιφάνειας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ	30
2.5.1 Συνοχή μεταξύ νέου και παλαιού σκυροδέματος	31
2.5.2 Τριβή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος	32
2.5.3 Τριβή συμπεριλαμβάνοντας τη λειτουργία σφικτήρα οπλισμού	33
2.5.4 Μεταφορά δυνάμεων μέσω στρώσεως εποξειδικής κόλλας	33
2.5.5 Μεταφορά δυνάμεων μέσω από χάλυβα σε σκυρόδεμα μέσω αγκυρίων και Βλήτρων	34
3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ	38

3.1 Καμπτική ενίσχυση δοκού με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος	38
3.2 Καμπτική ενίσχυση πλάκας προβόλου με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος.	44
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
Βιβλιογραφία	51

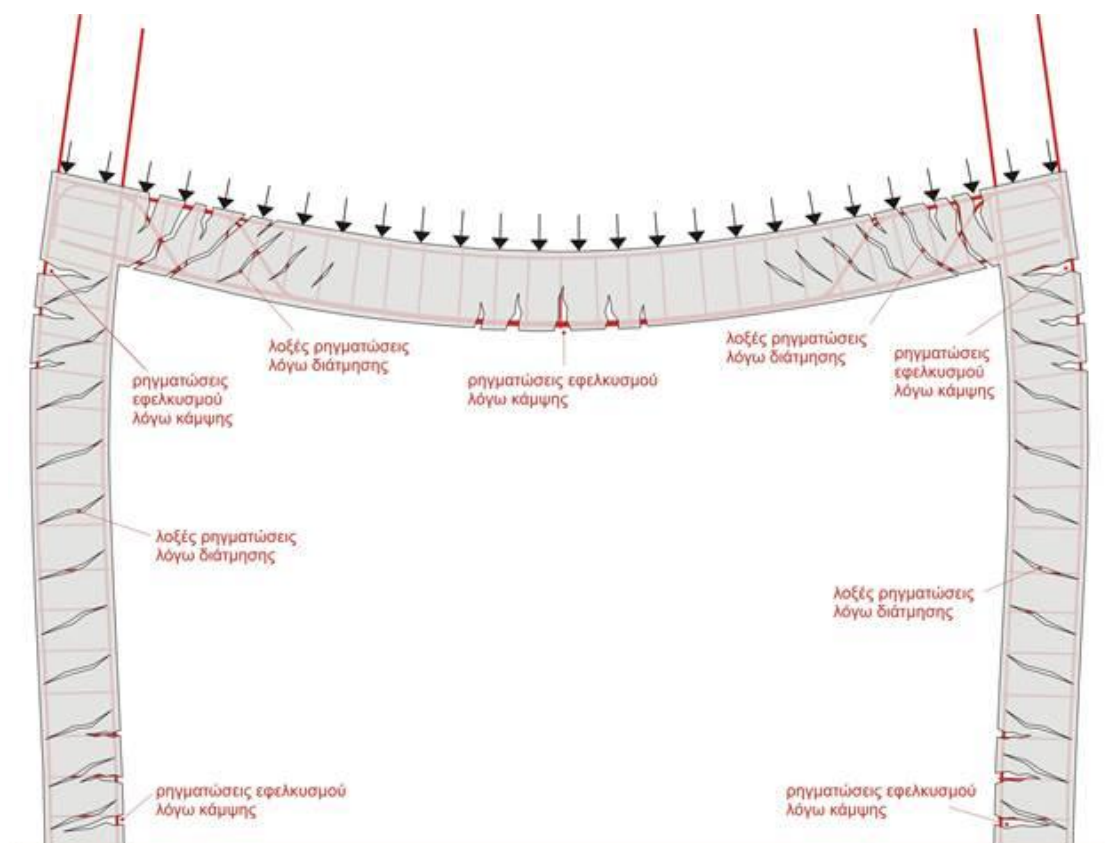
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ/ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 1.1 ΤΥΠΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

Οι βλάβες που εμφανίζονται στις δοκούς μιας κατασκευής είναι πολύ συχνές, ωστόσο μη επικίνδυνες σε ότι αφορά την ευστάθεια της κατασκευής ως σύνολο [1].

Η πιο συνηθισμένη μορφή βλαβών στις δοκούς είναι συνήθως μετά από ένα σεισμό, η εμφάνιση εγκάρσιων καμπτικών ρωγμών στο κάτω πέλμα (Σχήμα 1). Αναλυτικότερα, οι ρηγματώσεις στην εφελκυσμένη ζώνη του ανοίγματος είναι η πιο συχνά εμφανιζόμενη βλάβη. Λογιστικά, ο τύπος αυτός βλάβης δεν είναι δυνατό να αιτιολογηθεί, με δεδομένο ότι η επίδραση των σεισμικών φορτίων δεν αλλοιώνει τη ροπή κάμψεως του ανοίγματος.



Σχήμα 1.1: Τυπικές βλάβες σε πλαισιακή κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα. [7]

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης με τον επαναληπτικό χαρακτήρα της κάνει εμφανή τα τριχοειδή ρήγματα από κάμψη της εφελκυσμένης ζώνης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η εντύπωση βλάβης από σεισμό. Οι βλάβες αυτού του τύπου, στο σύνολο

σχεδόν των περιπτώσεων, δεν εγκυμονούν κινδύνους για την κατασκευή, καθώς η μεγάλη συχνότητα παρουσίας τους είναι μάλλον πλασματική, καθώς πρόκειται κυρίως για εκδήλωση φυσιολογικής ρηγμάτωσης, παρά για σεισμική βλάβη.

Η διατμητική αστοχία πλησίον στις στηρίξεις είναι η δεύτερη σε συχνότητα μορφή βλάβης στις δοκούς. Είναι σοβαρότερη από την προηγούμενη μορφή, εξαιτίας του ψαθυρού χαρακτήρα της, λίγες όμως φορές επικίνδυνη για τη γενική ευστάθεια του έργου.

Οι καμπτικές ρωγμές στις στηρίξεις στο άνω ή κάτω πέλμα της δοκού δικαιολογούνται από τη στατική προσομοίωση του σεισμικού φαινομένου με οριζόντια φορτία. Είναι πιο σπάνιες από τις διατμητικές. Η ρηγμάτωση στο κάτω πέλμα, τις πιο πολλές φορές, οφείλεται σε κακή αγκύρωση του οπλισμού κάτω πέλματος στις στηρίξεις, οπότε και εκδηλώνεται με μία ή δύο ρωγμές μεγάλου εύρους κοντά στη στήριξη.

Η διατμητική ή καμπτική αστοχία στις θέσεις εδράσεως δευτερευουσών δοκών ή φυτευτών υποστυλωμάτων εμφανίζεται αρκετά συχνά. Οφείλεται στην κατακόρυφη εναλλασσόμενη συνιστώσα της σεισμικής δράσης επί του συγκεντρωμένου φορτίου.

Αρκετά συχνά εμφανίζονται χιαστί διατμητικές ρωγμές σε κοντές δοκούς που συνδέουν τοίχια. Πρόκειται για διατμητική αστοχία όμοια με αυτή που συμβαίνει στα κοντά υποστυλώματα.

Επιπρόσθετα, παρατηρούνται αρκετές ρωγμές μεγάλου πλάτους στην περιοχή της μέγιστης ροπής κάμψης στην περίπτωση ανεπάρκειας εξαιτίας της δράσης κατακόρυφων φορτίων.

Παρόλα αυτά μία δοκός θα υποστεί τις σημαντικότερες βλάβες μετά από έναν πολύ ισχυρό σεισμό. Οι βλάβες αυτές θα είναι διατμητικές και θα εμφανιστούν στις περιοχές στήριξης.

## 1.2 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

Η μέθοδος επισκευής είναι στενά συνδεδεμένη με τη μελέτη, αλλά και με τις υπάρχουσες δυνατότητες στη συγκεκριμένη περιοχή και χρονική περίοδο. Οι λύσεις που θα προτείνει ο μελετητής πρέπει να είναι πραγματοποιήσιμες τόσο από την άποψη των υλικών και μηχανημάτων, όσο και από το εργατοτεχνικό προσωπικό και ιδιαίτερα το εξειδικευμένο.

Πρέπει να επιδιώκεται η επιλογή μεθόδων που θα εξασφαλίζουν οικονομία ωρών εργασίας, παράγοντας που θα είναι καθοριστικός του ρυθμού προόδου όλου του έργου αποκαταστάσεως των ζημιών, με τη χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων κλπ.

Επίσης, στην επιλογή της μεθόδου, πρέπει να ληφθεί υπόψη η απαιτητή ομοιογένεια μεταξύ των στοιχείων της κατασκευής και των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την επισκευή. Γενικά, πρέπει τα ελαστικά χαρακτηριστικά του νέου και του παλαιού υλικού που καλούνται να συνεργασθούν, να είναι όμοια ή τουλάχιστον παρεμφερή. Μεγάλες διαφορές στα μέτρα ελαστικότητας, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά την

υδροαπορροφητικότητα κλπ. έχουν δυσμενή επίδραση στη συμπεριφορά και τη διάρκεια ζωής των στοιχείων που επισκευάζονται. Είναι ευνόητο ότι τα υλικά της επισκευής πρέπει να είναι χημικώς αδρανή, σε σχέση με τα εν επαφή υπάρχοντα στο επισκευαζόμενο κτήριο [1].

Οποιαδήποτε μέθοδος επισκευής και αν επιλεγεί πρέπει να εκτελεσθεί με τη μεγαλύτερη δυνατή επιμέλεια, γιατί οι αντισεισμικές επισκευές από τη φύση τους δεν επιδέχονται ατέλειες ή κακοτεχνίες και η επιτυχία τους εξαρτάται από κατασκευαστικές μικρολεπτομέρειες πολύ περισσότερο από ότι σε μία νέα κατασκευή.

Για τις επισκευές των δοκών, χρησιμοποιούνται για ελαφρές βλάβες η τεχνική των ρητινενέσεων και των επισκευαστικών κονιαμάτων και για βαριές βλάβες η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής [1].

Παράλληλα, οι τεχνικές ενίσχυσης των δοκών διακρίνονται σε αυτές που αποσκοπούν:

- (α) στην αύξηση της καμπτικής αντοχής,
- (β) στην αύξηση της διατμητικής αντοχής ή
- (γ) και στα δύο.

### 1.3 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΔΟΚΩΝ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ.

Οι προτεινόμενες τεχνικές για την επέμβαση σε βλαμμένες δοκούς, εκτός από τις παραπάνω παραμέτρους, λαμβάνουν κυρίως υπόψη την κατάσταση της δοκού μετά το σεισμό. Βασική παράμετρος είναι προφανώς η έκταση της βλάβης και εάν αυτή συνοδεύεται από αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή που εξετάζεται. Μπορεί κανείς να διακρίνει τις περιπτώσεις που αναλύονται στις επόμενες υποενότητες.

#### (α) Περίπτωση απλής ρηγματώσεως.

Στην περίπτωση αυτή η δοκός επισκευάζεται με δύο μεθόδους [1]:

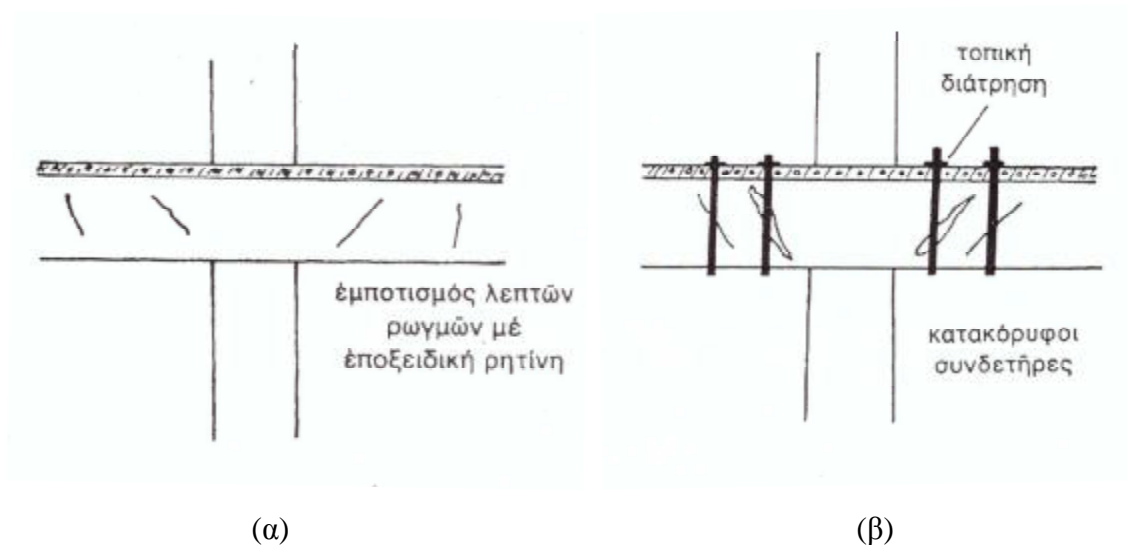
##### **Μέθοδος Α:**

Συγκόλληση των ρωγμών με χρήση εποξειδικής ρητίνης (Σχ. 1.2α).

##### **Μέθοδος Β:**

Τοποθέτηση στην περιοχή της ρηγματώσεως της δοκού εξωτερικών συνδετήρων που συσφίγγονται μέχρι αρνήσεως (Σχ. 1.2β).





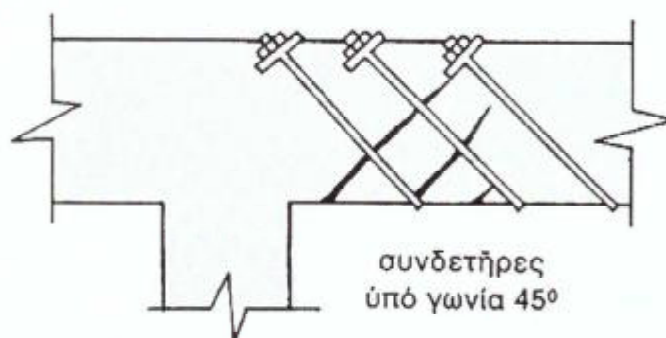
**Σχήμα 1.2:** Μέθοδοι επισκευής δοκού για την περίπτωση απλής ρηγματώσης [1].

**(β) Έντονη ρηγματώση της δοκού χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος**

Στην περίπτωση προτείνονται επίσης δύο τεχνικές επισκευής της δοκού [1]:

**Τεχνική Α:** Περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Υποστύλωση της δοκού.
- Συγκόλληση των ρωγμών με χρήση εποξειδικής ρητίνης.
- Τοποθέτηση στην περιοχή ρηγματώσεως της δοκού εξωτερικών συνδετήρων κατακόρυφων ή υπό γωνία  $45^\circ$  (Σχ. 1.3).
- Σύσφιξη των συνδετήρων μέχρι αρνήσεως.

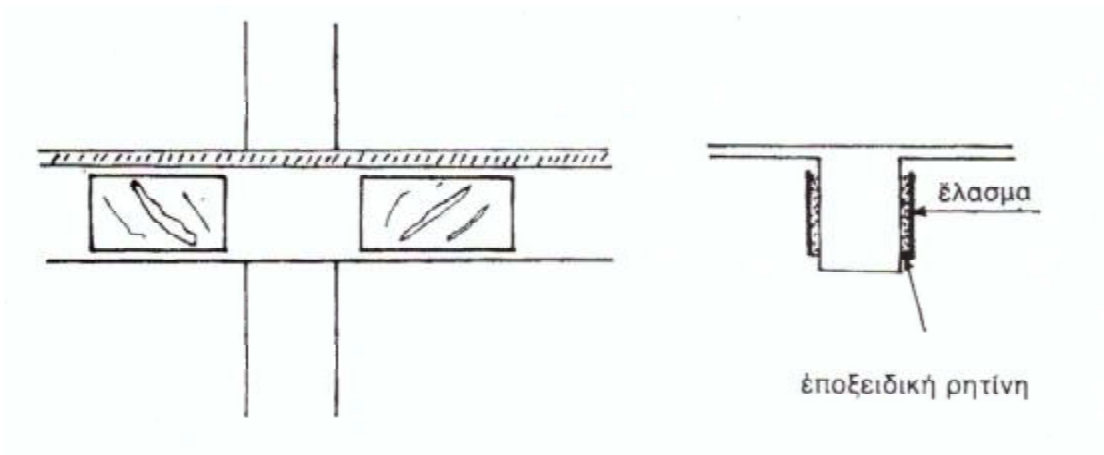


**Σχήμα 1.3:** Τοποθέτηση εξωτερικών συνδετήρων σε ρηγματωμένη δοκό [1].

**Τεχνική Β:** Ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Υποστύλωση της δοκού.
- Συγκόλληση των ρωγμών με χρήση εποξειδικής ρητίνης.

- Επικόλληση λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων στις παρειές της δοκού στην περιοχή της ρηγματώσεως με εποξειδική ρητίνη (Σχ. 1.4).



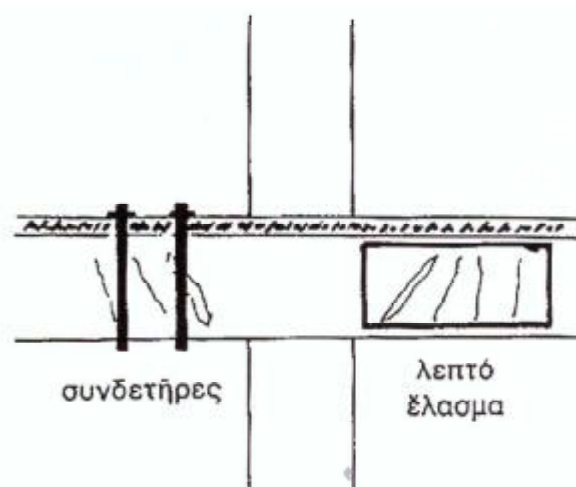
**Σχήμα 1.4:** Επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων στις παρειές δοκού στην περιοχή της βλάβης [1].

**(γ) Έντονη ρηγματώση δοκού με τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.**

Δύο διαδικασίες επέμβασης προτείνονται και για την περίπτωση αυτή [1].

**Διαδικασία Α:** Περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Υποστύλωση της δοκού.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- Τοποθέτηση στην εξωτερική παρειά της δοκού ελαφρού δομικού πλέγματος.
- Διάστρωση εκτοξευμένου, ή εγχύτου σκυροδέματος.
- Τοποθέτηση στην περιοχή της ρηγματώσεως της δοκού εξωτερικών συνδετήρων (κολάρων), ή λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων (Σχ. 1.5).

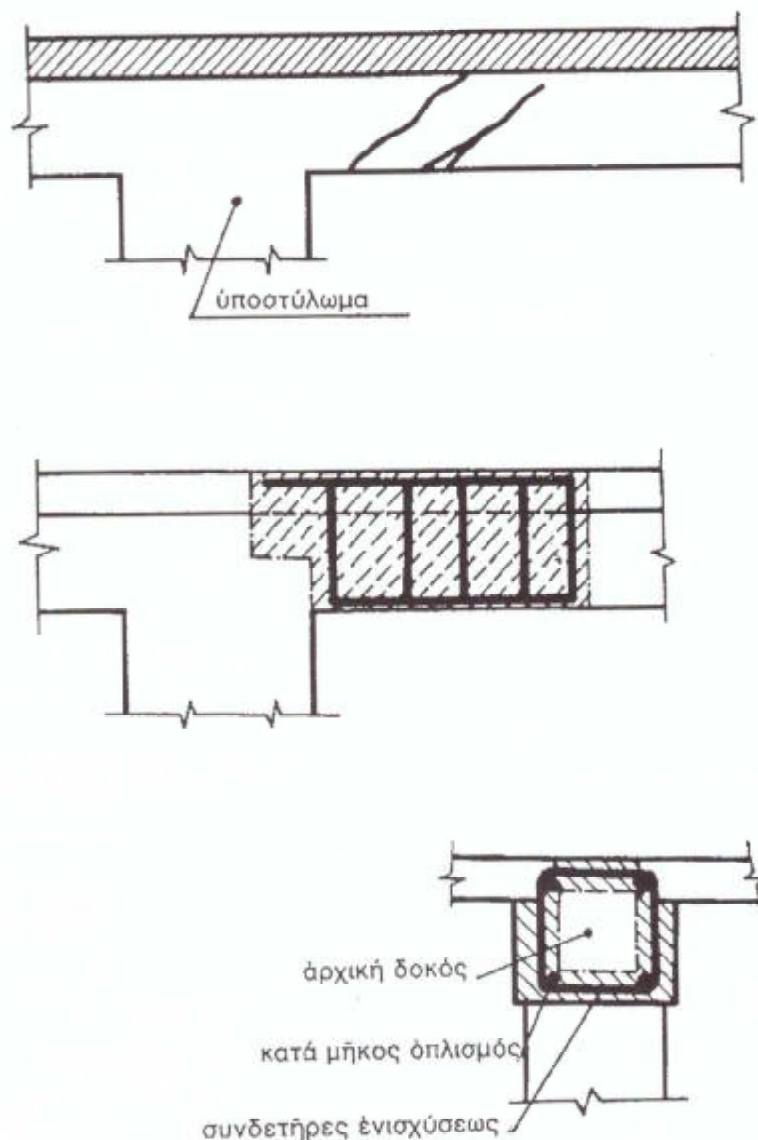


**Σχήμα 1.5:** Τοποθέτηση κολάρων χαλύβδινων ελασμάτων στην περιοχή της βλάβης [1].

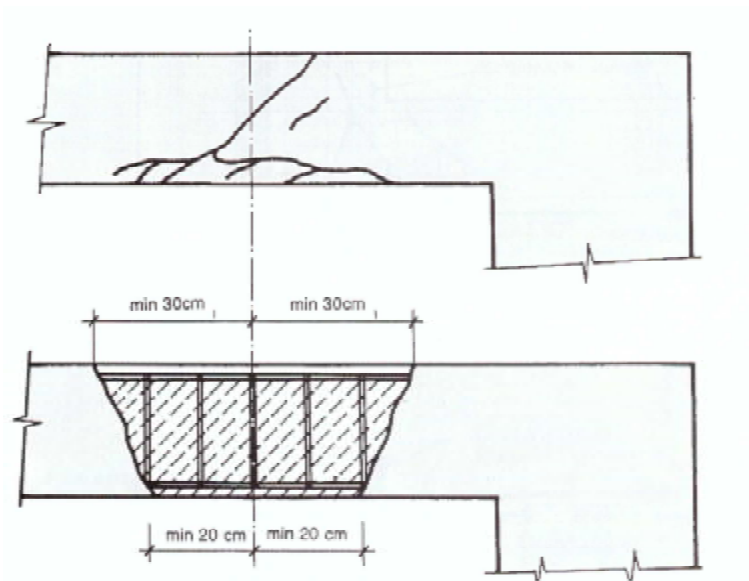
**Διαδικασία Β:** Κατασκευάζεται τοπικά μανδύας. Υλοποιείται ως εξής:

- Υποστύλωση της δοκού.
- Θραύση της πλάκας στην περιοχή που θα καθοριστεί.
- Εκτράχυνση της εξωτερικής επιφάνειας της δοκού που θα συνδεθεί με τον μανδύα.
- Τοποθέτηση κατά μήκος οπλισμού και συνδετήρων.
- Τοποθέτηση ξυλοτύπων ή δομικού πλέγματος.
- Κατασκευή μανδύα με έγχυτο, ή εκτοξευμένο σκυρόδεμα (Σχ. 1.6).

Στην περίπτωση αυτή ιδιαίτερη σημασία έχει ο σαφής καθορισμός της περιοχής στην οποία θα πραγματοποιηθεί η επέμβαση. Ενδεικτικές ελάχιστες διαστάσεις παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.7.



**Σχήμα 1.6:** Κατασκευή τοπικού μανδύα στην περιοχή βλάβης δοκού [1].



**Σχήμα 1.7:** Καθορισμός της περιοχής επέμβασης σε δοκό με βλάβες από σεισμό [1].

**(δ) Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε τμήμα της δοκού.**

Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η εξής τεχνική:

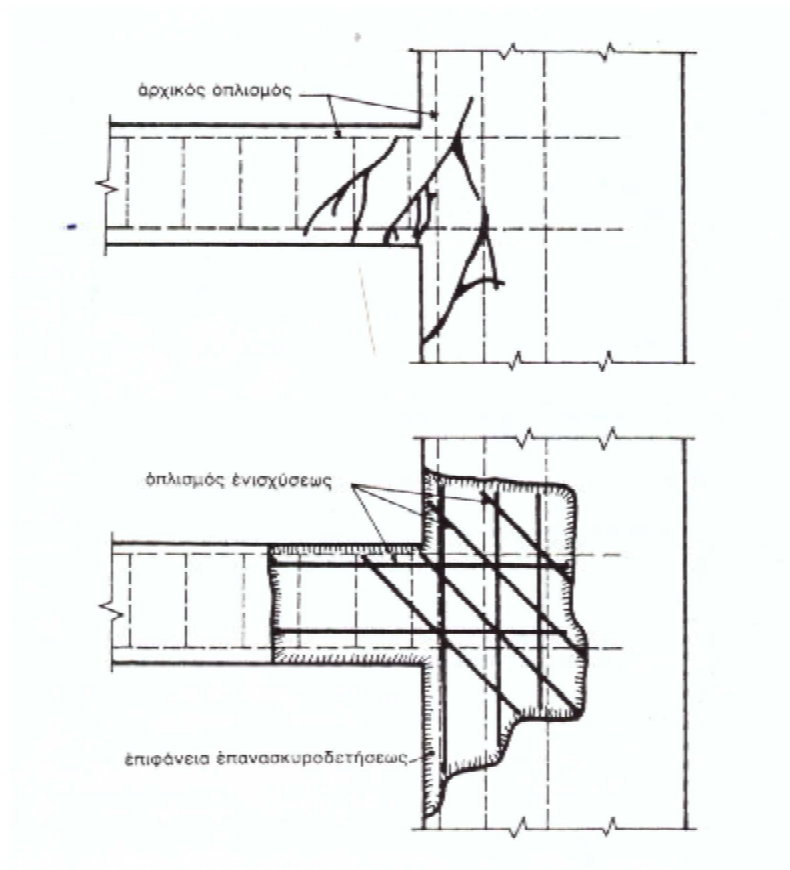
- Υποστύλωση της δοκού.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος σε ολόκληρο το τμήμα της δοκού.
- Έλεγχος του οπλισμού και ενίσχυση αυτού εάν απαιτείται.
- Διαμόρφωση των παρειών του παλιού σκυροδέματος.
- Τοποθέτηση ξυλοτύπου.
- Διάστρωση εγχύτου σκυροδέματος, ή διάστρωση εγκιβωτισμένου σκυροδέματος (Σχ. 1.8).

**(ε) Βλάβες λόγω κάμψης της δοκού.**

Οι βλάβες της κατηγορίας αυτής επισκευάζονται με δύο τρόπους:

**Τρόπος Α:** Απαιτούνται οι ακόλουθες εργασίες (Σχ. 1.9):

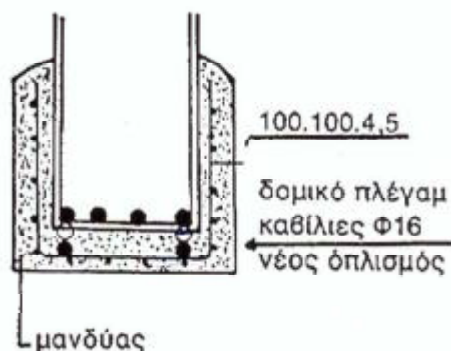
- Υποστύλωση της δοκού.
- Αποκάλυψη του υπάρχοντος οπλισμού της δοκού σε ορισμένες θέσεις.
- Συγκόλληση νέου οπλισμού κάμψεως πάνω στον παλιό μέσω παρεμβλημάτων.
- Τοποθέτηση ελαφρού δομικού πλέγματος γύρω από τη νεύρωση της δοκού.
- Διάστρωση εγχύτου ή εκτοξευμένου σκυροδέματος για τη δημιουργία μανδύα.



**Σχήμα 1.8:** Επισκευή βλαμμένης περιοχής δοκού με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος [1].

**Τρόπος Β:** Εκτελούνται οι ακόλουθες εργασίες:

- Εξομάλυνση της επιφάνειας της δοκού.
- Επάλειψη εποξειδικής ρητίνης.
- Συγκόλληση χαλύβδινων ελασμάτων στο εφελκόμενο πέλμα της δοκού, ή αν απαιτείται και στις παρειές.



**Σχήμα 1.9:** Επισκευή δοκού με βλάβες λόγω κάμψης [1].

## 1.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΔΟΚΩΝ.

### 1.4.1 Καμπτική ενίσχυση με επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή.

Η αύξηση της καμπτικής αντοχής των δοκών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) ως εξωτερικό οπλισμό στο εφελκόμενο πέλμα τους (Σχ. 1.10). Το θετικό αυτής της μεθόδου είναι πως με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της καμπτικής ακαμψίας και μείωση των παραμορφώσεων και της αναμενόμενης ρηγμάτωσης.

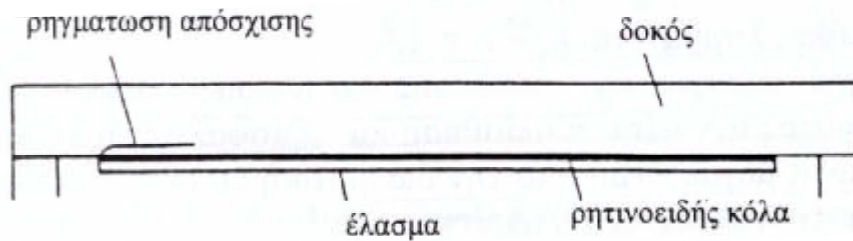


**Σχήμα 1.10:** Δοκός ενισχυμένη με εξωτερικό οπλισμό τύπου ελάσματος στο κάτω πέλμα [8]

Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής όμως, βρίσκεται στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων των φύλλων. Η υψηλή συγκέντρωση τάσεων στην περιοχή οδηγεί σε πρόωρη αστοχία των άκρων με απόσχιση στη γειτονική προς το έλασμα περιοχή σκυροδέματος και ευαισθησία διάβρωσής τους στην περίπτωση χρήσης χάλυβα (Σχ. 1.11).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως είναι εφικτοί δύο βασικοί έλεγχοι που αφορούν την περιοχή αγκύρωσης στα άκρα των επικολλητών φύλλων. Αναλυτικότερα, ο πρώτος έλεγχος στοχεύει στην εξασφάλιση επαρκούς μήκους αγκύρωσης πέραν της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση. Ο δεύτερος αφορά τον έλεγχο της συγκέντρωσης καμπτικών και διατμητικών τάσεων στην περιοχή των άκρων λόγω της ασυνέχειας του επικολλητού φύλλου. Έτσι ελέγχεται η αλληλεπίδραση των δύο εντάσεων, κάμψης και διάτμησης.





**Σχήμα 1.11:** Αστοχία δοκού ενισχυμένης με επικολλητά ελάσματα στην περιοχή αγκύρωσης [2].

Η συμπεριφορά του ενισχυμένου στοιχείου διαφοροποιείται από τη χρήση ινοπλισμένων πολυμερών αντί των χαλύβδινων ελασμάτων καθώς ο νέος οπλισμός έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τον ήδη υπάρχοντα με τον οποίο αναλαμβάνει τις εφελκυστικές δυνάμεις.

Πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα [2] δείχνουν ότι η πλαστιμότητα σε όρους καμπυλοτήτων και σε όρους ενέργειας των ενισχυμένων στοιχείων είναι σε πολλές περιπτώσεις αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη των αρχικών στοιχείων. Έτσι, λοιπόν, η παραπάνω τεχνική δεν συνιστάται για την ανάληψη σεισμικής έντασης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν εξασφαλίζεται η πλαστιμότητα του ενισχυμένου μέλους εντός των αποδεκτών ορίων σχεδιασμού.

Η διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή βασίζεται στις αρχές για τη μελέτη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα με βάση δύο σημεία:

- Στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας ο οπλισμός ενίσχυσης δεν «διαρρέει» όπως ο χάλυβας αλλά παραμορφώνεται ελαστικά φθάνοντας σε μεγάλη παραμόρφωση η οποία εξαρτάται από την ικανότητα του σκυροδέματος να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά ενώ είναι μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση των σύνθετων υλικών.
- Ο «δεσμός» σύνθετων υλικών-σκυροδέματος μπορεί να αστοχήσει πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου.

#### Διαστασιολόγηση:

Η διαστασιολόγηση δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολλητά ελάσματα γίνεται όπως και στα συμβατικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα, συνυπολογίζονται οι «παλαιοί» υπάρχοντες οπλισμοί και οι «νέοι» πρόσθετοι, χρησιμοποιώντας ένα μέσο στατικό ύψος.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διατομής ελάσματος ( $A_{sL}$ ) χρησιμοποιείται η σχέση:

$$A_{sL} = \Delta M_{d0} / z f_{yd}$$

όπου:

$\Delta M_{d0}$  είναι η πρόσθετη ροπή που καλείται να αναλάβει η ενισχυμένη διατομή πέρα της  $M_{d0}$  που ανελάμβανε η αρχική,

$z$  είναι ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων που μπορεί να ληφθεί ίσος περίπου με  $0,8d_m$  και

$d_m$  είναι το μέσο στατικό ύψος της δοκού (συνυπολογιζομένου «παλαιού» και «νέου» οπλισμού).

Έλεγχος μήκους αγκύρωσης:

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης  $l_b$  λαμβάνεται ίσο με  $\int_0^{l_b} \tau_{bL} dx \geq A_{sL} f_y$

Δηλαδή:  $\tau_m (l_b b_L) \geq f_y (b_L t_L)$  και επομένως  $l_b \geq f_y t_L / \tau_m$

Όπου:

$l_b$  το μήκος αγκύρωσης

$A_{sL} = b_L t_L$  το εμβαδόν διατομής του ελάσματος

$b_L, t_L$  το πλάτος και το πάχος του ελάσματος αντίστοιχα

$f_y$  το όριο διαρροής του χάλυβα

$\tau_m$  η μέση αντοχή συνάφειας στην περιοχή της αγκύρωσης

Αν  $\alpha$  είναι ο συντελεστής πληρότητας του διαγράμματος «τ» στην περιοχή αγκύρωσης και  $\tau_u = \tau_{max}$  είναι η μέγιστη αντοχή συνάφειας τότε:  $\tau_m = \alpha \tau_u$

Άρα:  $l_b \geq 1 f_y t_L / (\alpha \tau_u)$

Σε επίπεδο σχεδιασμού ισχύει  $l_b \geq \gamma_{Rd} f_{yd} t_L / (\alpha \tau_{ud})$

Λαμβάνεται συντηρητικά  $\alpha = 1/4$

Όπου

$\gamma_{Rd} = 1,3$  ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας λόγω της αβεβαιότητας του προσομοιώματος.

$\tau_{ud} = 3f_{ctd}$  για  $t_L \leq 1 \text{ mm}$ , η μέγιστη τοπική αντοχή σχεδιασμού συνάφειας

$\tau_{ud} = 2f_{ctd}$  για  $t_L \leq 3 \text{ mm}$

$f_{ctd} = 0,21 f_{ck}^{2/3} / 1,5 = 0,14 f_{ck}^{2/3}$  η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Ένταση στις ακραίες περιοχές:

α) διατμητικές τάσεις απόσχισης:

Αρχικά προσδιορίζεται με παραδοχή ελαστικότητας ο ουδέτερος άξονας και η ροπή αδράνειας της ενισχυμένης διατομής. Στη συνέχεια η διατμητική τάση στη διεπιφάνεια ελασμάτων και δοκού που προκύπτει με ελαστική θεωρία είναι:

$$\tau = V_d A_y / I b_L$$

Όπου

$V_d$  η μέγιστη τέμνουσα σχεδιασμού της δοκού

$A$  το εμβαδό της διατομής του ελάσματος ανηγμένο σε σκυρόδεμα:  $A = A_L E_s / E_c$



$E_s, E_c$  τα Μέτρα Ελαστικότητας του χάλυβα του ελάσματος και του σκυροδέματος αντίστοιχα,

$y$  η απόσταση του κέντρου βάρους των ελασμάτων από τον ουδέτερο άξονα της ενισχυμένης διατομής

$I$  η ροπή αδράνειας της ενισχυμένης διατομής και

$b_L$  το πλάτος των ελασμάτων

Ακόμα, η μέγιστη διατμητική τάση στη διεπιφάνεια κοντά στα άκρα είναι ίση με:  $\tau_{\max}=2\tau$  ενώ η μέγιστη διατμητική αντοχή σχεδιασμού της διεπιφάνειας θεωρείται ίση προς  $\sqrt{2}f_{ctd}$ .

β) Αλληλεπίδραση διατμητικής και καμπτικής έντασης στις περιοχές πέρατος των ελασμάτων:

Η συγκέντρωση τάσεων στις ακραίες περιοχές ελασμάτων που εισάγονται λόγω της ασυνέχειας των ελασμάτων δημιουργεί δυνάμεις απόσχισης της επικάλυψης του σκυροδέματος που προέρχονται από υπέρβαση ενός ορίου καμπτικής ή διατμητικής έντασης ή συνδυασμού αυτών.

Προτείνεται η εξής σχέση μετά από πειραματικά αποτελέσματα [2]:

$$M_d/M_{upd} + V_d/V_{cd} \leq 1,17$$

και συγχρόνως  $M_d \leq M_{upd}$  και  $V_d \leq V_{cd}$

Όπου

$V_d$  η τέμνουσα σχεδιασμού στο θεωρούμενο πέρασ του ελάσματος

$M_d$  η ροπή σχεδιασμού στην ίδια θέση μειωμένη κατά το μέγεθος της ροπής που υφίσταται τη χρονική στιγμή που γίνεται η ενίσχυση της δοκού

$V_{cd}$  η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από το σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό διάτμησης

$M_{upd}$  τιμή σχεδιασμού για τη ροπή αντοχής σε απόσχιση του άκρου όπως προκύπτει από τη σχέση:  $M_{upd}=(EI)_{cp} f_{bd} / (0,9E_{st}L)$

Όπου:

$(EI)_{cp}$  η καμπτική δυσκαμψία της ρηγματωμένης διατομής ενισχυμένης με τα ελάσματα και προσδιορίζεται με παραδοχή εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος ίση προς μηδέν

$f_{bd}$  η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος σε διάρρηξη και μπορεί να ληφθεί:

$$f_{bd}=f_{ctd}/0,85=f_{ctk}/(0,85 \times 1,5)=0,7f_{ctm}/(0,85 \times 1,5)=(0,7 \times 0,3 \times f_{ck}^{2/3})/(0,85 \times 1,5)=0,16f_{ck}^{2/3}(\text{MPa})$$

Κατασκευαστικές διατάξεις:

Στις κατασκευαστικές διατάξεις προτείνονται τα εξής για τα επικολλητά ελάσματα:

- Το μήκος αγκύρωσης του ελάσματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το  $\max(200\text{mm}, 140/b_1, 200t_1)$  όπου  $b_1$  το πλάτος και  $t_1$  το πάχος του ελάσματος σε mm.

- Γενικά προτείνεται το πάχος των ελασμάτων ενίσχυσης να μην ξεπερνά τα 4 mm και επίσης να είναι μικρότερο από 2% του πλάτους του ελάσματος.
- Το αδιάστατο ύψος της θλιβόμενης ζώνης  $\xi=x/d$  να είναι μικρότερο από 0,40.
- Απαιτείται η χρήση κατάλληλων ειδικών διατάξεων αγκύρωσης των άκρων.
- Οι αγκυρώσεις των άκρων να είναι κοντά στις στηρίξεις. Γενικά, χρειάζεται να γίνονται κοντά στα σημεία μηδενισμού των ροπών.
- Η χρησιμοποιούμενη κόλα σύνδεσης να έχει πλάστιμη συμπεριφορά. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης.
- Ο βαθμός ενίσχυσης του στοιχείου ( $\Delta M_{d0}/M_{d0}$ ) συνιστάται να μην ξεπερνάει τη μονάδα.

#### 1.4.2 .Ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή.

Η διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή (Σχ. 1.12) λαμβάνει υπόψη τα παρακάτω:

- Στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας ο οπλισμός ενίσχυσης σύνθετων υλικών δε «διαρρέει» όπως ο χάλυβας, αλλά παραμορφώνεται ελαστικά, φθάνοντας σε μεγάλη παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή είναι κατά κανόνα μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση των σύνθετων υλικών.



**Σχήμα 1.12:** Καμπτική και διατμητική ενίσχυση δοκού ενισχυμένης με επικολητά φύλλα από Ινοπλισμένα Πολυμερή [9].

- Ο «δεσμός» σύνθετων υλικών-σκυροδέματος μπορεί να αστοχήσει πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου.

Η διαδικασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο κάμψης δοκών που έχουν ενισχυθεί με σύνθετα υλικά στο εφελκόμενο πέλμα είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό διατομών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όμως τώρα επιπλέον θα πρέπει να θεωρηθεί ότι τα σύνθετα υλικά δεν μπορούν να ξεπεράσουν μία οριακή παραμόρφωση  $\epsilon_{f,lim}$  της τάξεως του 50% της παραμόρφωσης θραύσης τους. Συχνά λαμβάνεται  $\epsilon_{f,lim}=6*1/1000$ . Επομένως, οι δύο οριακές καταστάσεις αστοχίας για διατομές σκυροδέματος  $\epsilon_{c2}=3,5*1/1000$  και  $\epsilon_{s1}=20*1/1000$  που προβλέπονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος αντικαθίστανται από τις  $\epsilon_{c2}=3,5*1/1000$  και  $\epsilon_f=6*1/1000$ .

Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει ότι τα άκρα των εξωτερικών οπλισμών εξασφαλίζονται έναντι πρόωρης αποκόλλησης. Για τον σκοπό αυτό απαιτείται επαρκές μήκος αγκύρωσης ( $l_b$ ) των εξωτερικών οπλισμών.

#### Κατασκευαστικές διατάξεις-συστάσεις:

- Στην περίπτωση ανεπάρκειας του μήκους αγκύρωσης χρησιμοποιούνται ειδικά μέτρα εξασφάλισης της αγκύρωσης ανάλογα με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα επικολλητά ελάσματα.
- Σε περίπτωση απρόβλεπτης έντονης δράσης όπως για παράδειγμα πυρκαγιά για να μην αστοχήσει εφαρμόζεται η τεχνική ενίσχυσης φύλλων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή που προϋποθέτει ότι το στοιχείο χωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς τον συνδυασμό οιονεί-μονίμων φορτίων.

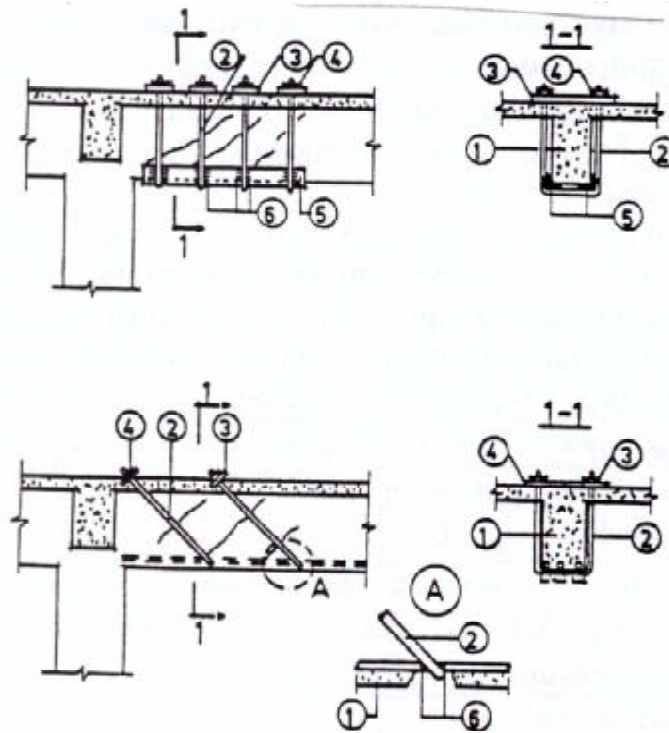
### **1.4.3 Διατμητική ενίσχυση δοκών με εξωτερικά στοιχεία.**

Διάφορες τεχνικές διατμητικής ενίσχυσης δοκών εφαρμόζονται χρησιμοποιώντας είτε μεταλλικά στοιχεία που περισφίγγουν εξωτερικά τη δοκό είτε επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή (Σχ. 1.13). Η τελευταία τεχνική εφαρμόζεται είτε με επικόλληση των φύλλων στις δύο απέναντι παρειές της δοκού είτε με τη μορφή μανδύων που συνήθως είναι ανοικτής μορφής. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται υπό την προϋπόθεση ότι το στοιχείο χωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς τον συνδυασμό των οιονεί-μονίμων φορτίων.

Η διαστασιολόγηση σε διάτμηση γίνεται με τις ίδιες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σε δοκούς με συμβατικό οπλισμό διάτμησης. Όμως τώρα θεωρείται:

$$V_{Rd3}=V_{cd}+V_{fd}$$

όπου  $V_{fd}$  είναι η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τους εξωτερικούς οπλισμούς.



1. υπάρχουσα δοκός, 2. εξωτερικός χαλύβδινος συνδετήρας, 3. χαλύβδινο έλασμα, 4. βίδα, 5. χαλύβδινη γωνιά, 6. ηλεκτροσυγκόλληση

**Σχήμα 1.13:** Κατασκευαστική διαμόρφωση διατμητικής ενίσχυσης δοκού με εξωτερικά στοιχεία [2].

Για τον προσδιορισμό της τέμνουσας χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία που είναι γνωστή για το  $V_{wd}$ . Όμως, τώρα η τάση διαρροής του χάλυβα αντικαθίσταται από μία «ενεργή» τάση που αντιστοιχεί στην μέγιστη παραμόρφωση των φύλλων τη στιγμή της διατμητικής αστοχίας του στοιχείου.

Για την περίπτωση ινοπλισμένων πολυμερών από ίνες άνθρακα η «ενεργή» παραμόρφωση  $\varepsilon_{f,e}$  δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{f,e} = \min(0,17\varepsilon_{fu}(f_{cm} \times (2/3)/E_{frf}) \times 0,3, 0,65 \times 10 \times (-3)(f_{cm} \times (2/3)/E_{frf}) \times 0,56, 0,006)$$

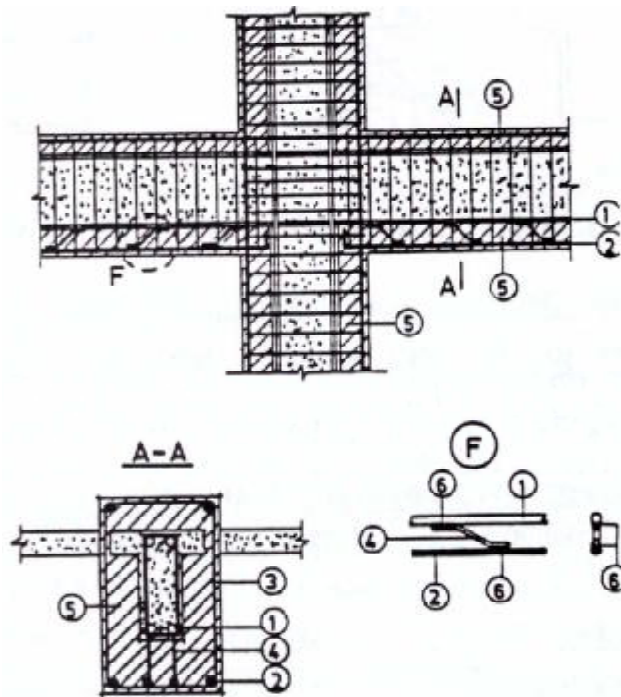
Στην παραπάνω σχέση  $f_{cm}$  είναι η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (σε MPa), το μέτρο ελαστικότητας  $E_f$  τίθεται σε GPa και  $\varepsilon_{fu}$  είναι η παραμόρφωση θραύσης των σύνθετων υλικών.

#### 1.4.4 Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.

Για να αυξηθεί η διατμητική και καμπτική αντοχή των δοκών χρησιμοποιείται η τεχνική κατασκευής μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχ. 1.14, 1.15).

Αναλυτικότερα, η τεχνική περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής της δοκού με νέο σκυρόδεμα, νέους διαμήκεις οπλισμούς και νέους συνδετήρες περιμετρικά του αρχικού

στοιχείου. Συνήθως, για κατασκευαστική ευκολία επιλέγεται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται όταν είναι αναγκαία η διατμητική ενίσχυση της δοκού ενώ για την αύξηση της καμπτικής αντοχής επιλέγεται η τεχνική της ενίσχυσης με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.

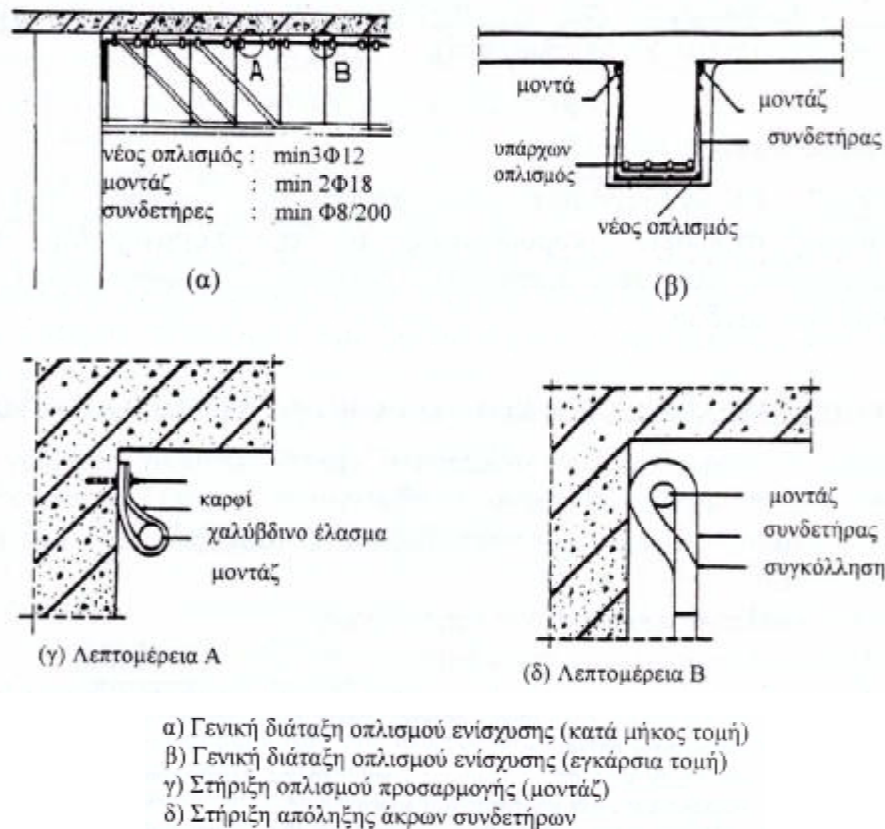


**Σχήμα 1.14:** Κατασκευή μανδύα κλειστού τύπου για την καμπτική και διατμητική ενίσχυση δοκού [2].

Στον EC8-Part 1-4 (1996) προτείνεται η αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού να είναι μικρότερη από την αρχική και η αύξηση της διατμητικής αντοχής μικρότερη από το διπλάσιο της αρχικής.

Επιπρόσθετα,

- Η διαστασιολόγηση σε κάμψη γίνεται όπως και στην περίπτωση των πρόσθετων στρώσεων σκυροδέματος θεωρώντας διορθωτικό συντελεστή μοντέλου για την αντοχή  $k_r=0,90$ .
- Ο διορθωτικός συντελεστής μοντέλου για την ακαμψία λαμβάνεται  $k_k=0,75$ .
- Η διαστασιολόγηση σε διάτμηση γίνεται με διορθωτικό συντελεστή μοντέλου για την διατμητική αντοχή  $k_v=0,80$ .
- Ο έλεγχος της συνέχειας στις οριζόντιες διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος γίνεται με τον τρόπο που γίνεται στην περίπτωση ενίσχυσης δοκών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος δηλαδή στις κατακόρυφες παρειές τοποθετούνται οι ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι.



**Σχήμα 1.15:** Κατασκευαστική διαμόρφωση ανοικτού μανδύα για την καμπτική και διατμητική ενίσχυση δοκού [2].

Κατασκευαστικές διατάξεις:

- Ισχύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις που αναφέρονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος.
- Τα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης των νέων υλικών δεν πρέπει να υπολείπονται των χαρακτηριστικών του αρχικού στοιχείου.
- Στον EC8-Part 1.4 (1996) προτείνεται όπως η αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού ή της πλάκας να μην ξεπερνάει την αρχική αντοχή του στοιχείου.
- Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στην διεπιφάνεια τοποθετούνται χαλύβδινα βλήτρα ή γίνονται ηλεκτροσυγκολλήσεις ράβδων με ίση αντίσταση που αφορούν κάθε πλευρά του μανδύα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ/ΠΛΑΚΩΝ ΜΕ ΝΕΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### 2.1 ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Η εφαρμογή πρόσθετων στρώσεων σκυροδέματος για την ενίσχυση οριζόντιων γραμμικών ή και επιφανειακών στοιχείων σε κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα είναι μία αρκετά διαδεδομένη τεχνική. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι χρησιμοποιεί τα ίδια υλικά (σκυρόδεμα και χάλυβα) και γνωστές διαδικασίες που εφαρμόζονται και κατά την κατασκευή νέων δομημάτων.

Η ενίσχυση στο εφελκόμενο πέλμα γίνεται με νέους οπλισμούς που καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με πάχος συνήθως 50-100 mm, σε όλο το πλάτος της δοκού (Σχ. 2.1). Στις ενισχύσεις στο θλιβόμενο πέλμα χρησιμοποιείται είτε εκτοξευόμενο είτε έγχυτο σκυρόδεμα καθώς μπορεί να γίνουν και χωρίς πρόσθετους οπλισμούς.



**Σχήμα 2.1:** Ενισχύσεις στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με νέους οπλισμούς και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα [1],[10].

Η συνεργασία της νέας στρώσης σκυροδέματος με την δοκό γίνεται με τη χρήση διατμητικών συνδέσμων που συνήθως είναι χαλύβδινα βλήτρα ή ηλεκτροσυγκολλήσεις νέων και παλιών ράβδων οπλισμού μέσω παρεμβλημάτων. Σ' αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως η χρήση των βλήτρων συνίσταται αντί των ηλεκτροσυγκολλήσεων εφόσον έχουν αρνητικές επιδράσεις στα χαρακτηριστικά του χάλυβα. Άλλωστε, η επιφάνεια της δοκού πρέπει να έχει εκτραχυνθεί καλά με υδροβολή ή χρήση ειδικού μηχανικού εξοπλισμού ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή.

Στις περιπτώσεις αυτές η σύνθετη δοκός διαστασιολογείται σαν να ήταν μονολιθική με τους παρακάτω μειωτικούς συντελεστές μοντέλου που προτείνονται στον EC8-Part 1.4 (1996) [2]:

$$k_R=0,9 \quad \text{και} \quad k_k=0,85$$

Για πλάκες λαμβάνεται:

$$k_k=k_R=1,0.$$

Για τον έλεγχο της σύνδεσης στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος δε λαμβάνεται υπόψη η ολίσθηση και εξασφαλίζεται η διατμητική ένταση.

Όσον αφορά τις κατασκευαστικές διατάξεις ισχύουν τα ακόλουθα [2]:

- Ισχύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις που αναφέρονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος
- Τα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης των νέων υλικών δεν πρέπει να υπολείπονται των χαρακτηριστικών του αρχικού στοιχείου.
- Στον EC8-Part 1.4 (1996) προτείνεται όπως η αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού ή της πλάκας να μην ξεπερνάει την αρχική αντοχή του στοιχείου.
- Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στην διεπιφάνεια τοποθετούνται χαλύβδινα βλήτρα ή γίνονται ηλεκτροσυγκολλήσεις ράβδων με ίση αντίσταση.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ [3] κατά την ενίσχυση μίας δοκού με νέες στρώσεις σκυροδέματος θεωρείται πως παλαιά και νέα υλικά συνεργάζονται μονολιθικά και οφείλουν να ελέγχονται ώστε στη διεπιφάνεια να ισχύει η σχέση :

$$R_{id} \geq S_{id}$$

Όπου:

$R_{id}$  =η αντίσταση της υπόψη σύνδεσης στη σχετική διεπιφάνεια. Η αντίσταση αυτή αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος μέγιστης ανεκτής σχετικής μετακίνησης στην υπόψη διεπιφάνεια.

$S_{id}$ =αντίστοιχη δύναμη που δρα στην υπόψη διεπιφάνεια όπως υπολογίζεται απ' τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού τα οποία ενεργούν στην περιοχή.

Στον Κανονισμό δίνονται συνιστώμενες τιμές του “συντελεστή μονολιθικότητας”  $k$ , ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο του κρίσιμου μεγέθους συμπεριφοράς της πραγματικής σύνθετης διατομής, ως προς το αντίστοιχο κρίσιμο μέγεθος συμπεριφοράς μιας αντίστοιχης μονολιθικής διατομής (χωρίς καμία σχετική παραμόρφωση της διεπιφάνειας). Οι αβεβαιότητες στο προσδιορισμό του μεγέθους των δυνάμεων  $S_{id}$  που δρουν στην διεπιφάνεια λαμβάνονται υπόψη, ανάλογα με τον τρόπο που έχει επιλεγεί για την προσομοίωση της σύνδεσης στην διεπιφάνεια. Τέτοιες αντιστάσεις νοούνται ως θλιπτικές, εφελκυστικές ή διατμητικές (αντιστοίχως κάθετα ή παράλληλα προς την υπόψη διεπιφάνεια) που ενεργοποιούνται με αντίστοιχες σχετικές μετακινήσεις.



## 2.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΑΛΑΙΟΥ-ΝΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Στις επισκευές και τις ενισχύσεις των κατασκευών πρέπει να λαμβάνεται σχολαστική πρόνοια για την ασφαλή μεταφορά των δυνάμεων αλληλεπίδρασης, όταν ένα νέο στοιχείο έρχεται σε επαφή με τον υφιστάμενο φορέα, και απαιτούνται ειδικοί έλεγχοι που θα το επιβεβαιώνουν.

Τα παρακάτω μέτρα είναι απαραίτητα για την προετοιμασία της επιφάνειας του παλαιού σκυροδέματος:

- α) Απομάκρυνση κάθε τμήματος αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- β) Τεχνητό αγκρίσμα της επιφάνειας του σκυροδέματος με υδροβολή ή μηχανικά μέσα σε βάθος 6 mm έτσι ώστε να αποκαλύπτονται τα αδρανή.
- γ) Καλός καθαρισμός της επιφάνειας του σκυροδέματος και απομάκρυνση κάθε ξένου στοιχείου με πεπιεσμένο αέρα ή εκτόξευση νερού.
- δ) Διαβροχή του σκυροδέματος για αρκετό χρόνο πριν τη σκυροδέτηση του νέου σκυροδέματος.

Στο νέο σκυροδέμα συνιστάται η αντοχή του να ξεπερνά την αντοχή του παλαιού κατά 5 MPa.

Συνήθως, στο σχεδιασμό, θεωρείται πλήρης σύνδεση στη διεπιφάνεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Παρόλα αυτά, στην πραγματικότητα, η ολίσθηση και, σε κάποιες περιπτώσεις, η αποκόλληση στη διεπιφάνεια, δεν μπορεί να αποφευχθεί. Επομένως, καθώς η ολίσθηση επιδρά στη δυσκαμψία και την αντοχή του σύνθετου στοιχείου, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν στο σχεδιασμό [2]. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. [3] αναφέρει χαρακτηριστικά πως οι διατμητικές αντιστάσεις στις διεπιφάνειες υπολογίζονται με βάση την ανεκτή τιμή της σχετικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια. Στο σχεδιασμό, για απλοποίηση των υπολογισμών, συνήθως θεωρείται μονολιθική συμπεριφορά του σύνθετου στοιχείου και προκειμένου να ληφθεί υπ' όψιν η ολίσθηση στη διεπιφάνεια, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές μονολιθικότητας. Συγκεκριμένα ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. [3] αναφέρει πως όταν δεν διατίθενται αξιόπιστες μέθοδοι για την πρόβλεψη της σχετικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια της σύνθετης καμπτόμενης διατομής, επιτρέπεται να χρησιμοποιείται η προσεγγιστική μέθοδος συμπεριφοράς, υπό τον όρο ότι το εντατικό μέγεθος δράσης θα λαμβάνεται ως  $S_{id}/k$ , όπου  $k$ , ο αντίστοιχος συντελεστής μονολιθικότητας.

Αξίζει εξ' άλλου να σημειωθεί, πως η ολίσθηση στη διεπιφάνεια σχετίζεται άμεσα με το άνοιγμα των ρωγμών και συναρτάται με τη στάθμη επιτελεστικότητας του ενισχυμένου στοιχείου [2]. Σε κανονισμούς και προδιαγραφές για σχεδιασμό σύνθετων και προκατασκευασμένων κατασκευών, έχουν υιοθετηθεί συγκεκριμένα όρια τιμών για την ολίσθηση στη διεπιφάνεια ανάλογα με το επίπεδο επιτελεστικότητας (Πίνακας 2.1). Για παράδειγμα, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. [3], η μέγιστη τιμή ολίσθησης για στάθμη επιτελεστικότητας άμεση χρήση μετά το σεισμό είναι 0.2 mm, για προστασία ζωής 0.8 mm και για αποφυγή οιονεί κατάρρευσης 1.5 mm. Επίσης, στο FIB Bulletin 43 [2], προτείνεται, για τα προκατασκευασμένα στοιχεία, μέγιστη αποδεκτή τιμή ολίσθησης 2

mm, για την οριακή κατάσταση αστοχίας και η τιμή των 0.2 mm για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Είναι λοιπόν φανερό, πως ο προσδιορισμός της ολίσθησης στη διεπιφάνεια σύνθετων στοιχείων είναι απαραίτητος όχι μόνο για τον προσδιορισμό της αντοχής του σύνθετου μέλους και για τον έλεγχο της ικανότητας σύνδεσης στη διεπιφάνεια, αλλά και για τον έλεγχο των κριτηρίων αποδοχής της στοχευμένης στάθμης επιτελεστικότητας.

**Πίνακας 2.1:** Ορισμός των επιπέδων επιτελεστικότητας σε δοκούς [4].

Στοιχείο	Άμεση χρήση	Περιορισμός βλαβών	Προστασία ζωής	Οιονεί κατάρρευση
Δοκοί	Πολύ περιορισμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης γύρω από τους κόμβους. Πολύ περιορισμένες καμπτικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων. Καμμία μόνιμη παραμόρφωση. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακορύφων φορτίων.	Περιορισμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης γύρω από τους κόμβους. Περιορισμένες καμπτικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων. Καμμία μόνιμη παραμόρφωση. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακορύφων φορτίων.	Αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης στους κόμβους και τις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων. Καμπτικές και διατμητικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων, που επεκτείνονται και μέσα στους κόμβους. Επιμήκυνση των συνδετήρων κοντά στους κόμβους. Μόνιμες κατακόρυφες παραμορφώσεις της τάξης του L/175. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακορύφων φορτίων.	Εκτεταμένες αποκολλήσεις του σκυροδέματος επικάλυψης στους κόμβους και τις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων. Εκτεταμένες καμπτικές και διατμητικές ρηγματώσεις στις περιοχές των πλαστικών αρθρώσεων, που επεκτείνονται και μέσα στους κόμβους. Θραύση των συνδετήρων κοντά στους κόμβους. Μόνιμες κατακόρυφες παραμορφώσεις της τάξης του L/75. Διατηρείται η ικανότητα παραλαβής των κατακορύφων φορτίων.

### 2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΟΥ ΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Κατά την ενίσχυση ενός στοιχείου Ο.Σ. με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος, δημιουργείται ένα σύνθετο μέλος στη διεπιφάνεια του οποίου πραγματοποιείται μεταφορά της διατμητικής δύναμης. Η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας του σύνθετου μέλους, μπορεί να εξεταστεί πειραματικά σε μεγάλης κλίμακας μέλη όπως πλάκες και δοκοί [5]. Τρεις είναι οι μηχανισμοί μεταφοράς της δύναμης στη διεπιφάνεια, η συνοχή, η τριβή και η δράση βλήτρου.

Ως συνοχή ορίζεται η διατμητική αντίσταση της διεπιφάνειας παλαιού – νέου σκυροδέματος όταν η θλιπτική ορθή τάση που ασκείται στη διεπιφάνεια άμεσα ή έμμεσα λόγω οπλισμού που διαπερνά, είναι μηδενική. Η συνοχή είναι κυρίως αποτέλεσμα της φυσικοχημικής σύνδεσης των δύο υλικών, καθώς επίσης και της τυχόν αλληλεμπλοκής των αδρανών [5].

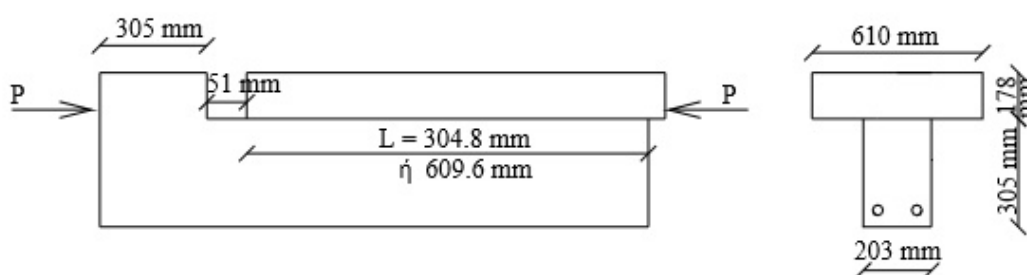
Η ανάληψη διατμητικού φορτίου στη διεπιφάνεια λόγω του μηχανισμού της τριβής προϋποθέτει την ύπαρξη ορθής θλιπτικής τάσης που μπορεί να εφαρμόζεται άμεσα στη διεπιφάνεια, ή έμμεσα εξαιτίας της παρουσίας οπλισμού που τη διαπερνά οπότε αναπτύσσεται το φαινόμενο της τριβής λόγω λειτουργίας σφιγκτήρα του οπλισμού. Τέλος, σε μια διατμητική δράση κατά μήκος μιας διεπιφάνειας, η σχετική ολίσθηση στη διεπιφάνεια παραμορφώνει τον οπλισμό που τη διαπερνά και αυτός με τη σειρά του θλίβει

το σκυρόδεμα .Αποτέλεσμα αυτού, είναι η ανάπτυξη δυνάμεων από το σκυρόδεμα, αντίθετων στην ολίσθηση, ενεργοποιώντας έτσι το μηχανισμό δράσης βλήτρου [5].

#### 2.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται επιλεγμένα αποτελέσματα από πειραματικές μελέτες της συμπεριφοράς της διεπιφάνειας παλαιού και νέου σκυροδέματος σε σύνθετα μέλη. Οι πληροφορίες προέρχονται από την εργασία << Πειραματική Μελέτη και Αναλυτική Εκτίμηση της Συμπεριφοράς Δοκών Οπλισμένου Σκυροδέματος Ενισχυμένων με Νέες Στρώσεις Σκυροδέματος , Τσιούλου Θ.Ουρανία >> [5].

Στη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος πειραματικών εργασιών που ερευνούν τη δράση μεταξύ διατμητικής τάσης  $\tau$  και ολίσθησης  $s$  στη διεπιφάνεια σκυροδέματος. Ενδεικτικά αναφέρονται τα πειράματα του Hanson (1960) έκανε μια σειρά από push-off tests, η πειραματική διάταξη των οποίων φαίνεται στο Σχ. 2.2.



**Σχήμα 2.2:** Γεωμετρία των δοκιμών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα του Hanson, 1960 για περιπτώσεις άοπλης διεπιφάνειας [5].

Στις δοκιμές αυτές εξέτασε την επίδραση του τύπου της διεπιφάνειας στη μέγιστη διατμητική τάση καθώς και στην αντίστοιχη τιμή της ολίσθησης, που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια αυτή. Οι τύποι της διεπιφάνειας που εξετάστηκαν είναι οι εξής: διεπιφάνεια με εκτράχυνση και συνοχή, μόνο με συνοχή, οδοντωτή διεπιφάνεια με συνοχή και οδοντωτή διεπιφάνεια χωρίς συνοχή [5]. Στις συγκεκριμένες δοκιμές, η εκτράχυνση έγινε ώστε να υπάρχουν ανωμαλίες στη διεπιφάνεια περίπου 9,5 mm πάνω και κάτω από το μέσο επίπεδό της.

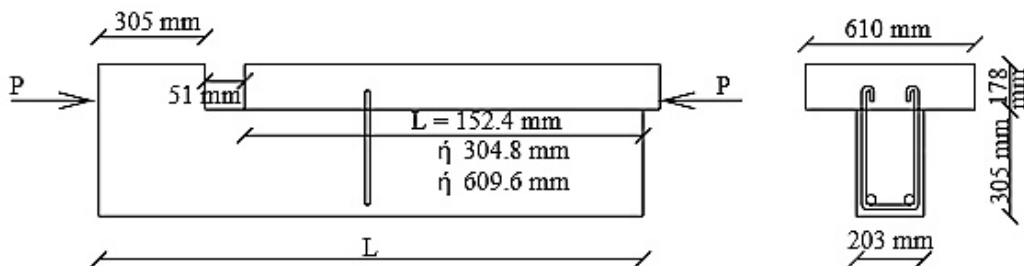
Επίσης, με τον όρο keys, περιγράφονται τα κενά τετραγωνικής διατομής με πλευρά 127 mm στο επίπεδο της διατμητικής τάσης και βάθους 63.5 mm μέσα στη δοκό, που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια της δοκού πάνω στην οποία σκυροδετείται η πλάκα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στον Πιν. 2.2.

**Πίνακας 2.2:** Αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας του Hanson, 1960, για στοιχεία με άοπλη διεπιφάνεια [5].

Δοκίμιο	Τύπος Διεπιφάνειας	Μήκος Διεπιφάνειας L (m)	Μέγιστη διατμητική τάση (MPa)	Ολίσθηση (mm)
H <sub>1</sub>	Εκτραχυμένη με συνοχή (f <sub>c</sub> = 26 MPa)	3.048	2.9	0.03
H <sub>2</sub>	Λεία (f <sub>c</sub> = 28 MPa)	3.048	0.96	0.011
H <sub>3</sub>	Οδοντωτή με συνοχή (f <sub>c</sub> = 21 MPa)	3.048	3.22	0.04
H <sub>4</sub>	Οδοντωτή χωρίς συνοχή (f <sub>c</sub> = 25 MPa)	3.048	1.7	0.036
H <sub>5</sub>	Λεία (f <sub>c</sub> = 28 MPa)	6.096	0.7	0.008

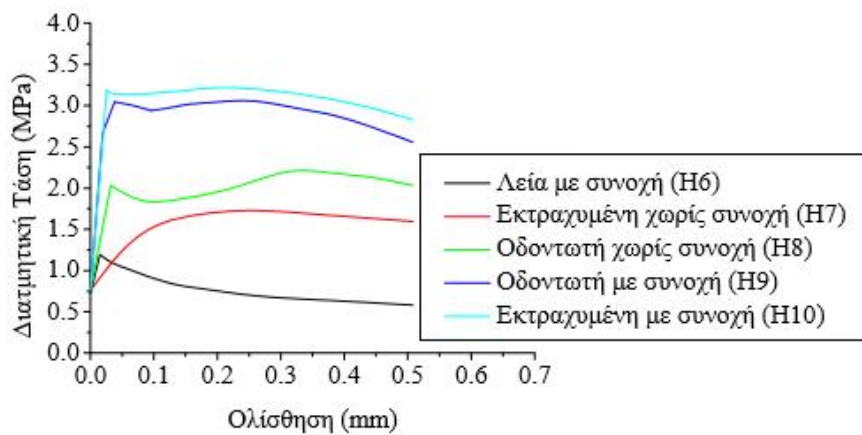
Παρατηρείται πως η εκτράχυνση δίνει μέγιστη τιμή διατμητικής τάσης 3 – 3,5 φορές μεγαλύτερη από την περίπτωση που δεν υπάρχει εκτράχυνση. Επίσης, η συνοχή δίνει περίπου διπλάσια τιμή για τη διατμητική τάση, συγκριτικά με την περίπτωση που αγνοείται, ενώ η οδοντωτή διεπιφάνεια δίνει μια πολύ μικρή αύξηση στη μέγιστη διατμητική τάση που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια. Τέλος, παρατηρείται πως αύξηση του μήκους της διεπιφάνειας οδηγεί σε εκτίμηση μειωμένων μεγεθών διατμητικής αντοχής και αντίστοιχης ολίσθησης [5].

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων για οπλισμένες διεπιφάνειες, η πειραματική διάταξη των οποίων φαίνεται στο Σχ. 2.3.



**Σχήμα 2.3:** Γεωμετρία των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα του Hanson, 1960, για περιπτώσεις οπλισμένης διεπιφάνειας [5].

Η παράμετρος που εξετάστηκε ήταν ο τύπος της διεπιφάνειας και οι τυπικές καμπύλες διατμητικής τάσης – ολίσθησης που προέκυψαν για ποσοστά οπλισμού μεταξύ 0,8 και 2,5%, παρουσιάζονται στο Σχ. 2.4.



**Σχήμα 2.4:** Καμπύλες διατμητικής τάσης – ολίσθησης από τα πειράματα του Hanson, 1960, για περιπτώσεις οπλισμένης διεπιφάνειας [5].

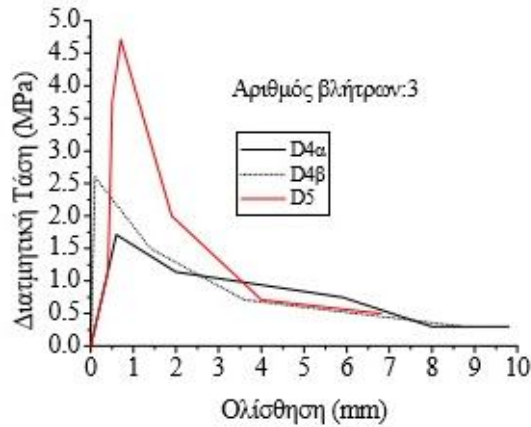
Παρατηρείται πως η εκτράχυνση, καθώς και η συνοχή οδηγούν σε αύξηση της μέγιστης τιμής της διατμητικής τάσης στη διεπιφάνεια, ενώ η παρουσία των οδοντώσεων δεν έχει σχεδόν καμία επιρροή στα αποτελέσματα [5].

Καμπύλες διατμητικής τάσης - ολίσθησης στη διεπιφάνεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος, για λεία και εκτραχυμένη οπλισμένη διεπιφάνεια, προέκυψαν και από την πειραματική εργασία των Δρίτσου κ.α. [5]. Τα πειραματικά δοκίμια της εργασίας αυτής περιγράφονται στον Πιν. 2.3.

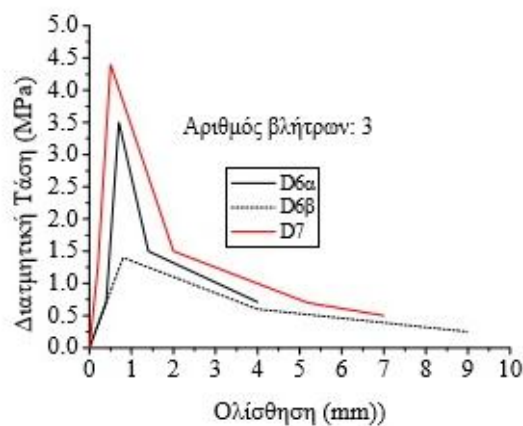
**Πίνακας 2.3:** Πειραματικά δοκίμια της μελέτης των Δρίτσου κ.α. [5].

Δοκίμιο	Τύπος διεπιφάνειας	Μήκος διεπιφάνειας L (mm)	$f_c$ (MPa)	$\rho$ (%)
D4	Λεία	150	41.49	1.13
D5	Λεία	130	41.49	1.63
D6	Εκτραχυμένη	150	34.88	1.13
D7	Εκτραχυμένη	130	34.88	1.63

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για διάφορα ποσοστά οπλισμού στη διεπιφάνεια, παρουσιάζονται στο Σχ. 2.5.



(α)



(β)

**Σχήμα 2.5:** Αποτελέσματα της μελέτης των Δρίτσου κ.α. για διάφορα ποσοστά οπλισμού και για περιπτώσεις (α) λείας και (β) εκτραχυμένης διεπιφάνειας [5].

Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως αύξηση του ποσοστού οπλισμού της διεπιφάνειας, οδηγεί σε αύξηση της τιμής της μέγιστης διατμητικής τάσης [5].

Από τις επιλεγμένες δοκιμές push-off σε διεπιφάνειες που δρα μόνο ο μηχανισμός της συνοχής δεν προέκυψαν καμπύλες αλλά μόνο τιμές της αντοχής και της αντίστοιχης ολίσθησης. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων που προηγήθηκαν περιλαμβάνουν αποτελέσματα δοκιμών είτε παρουσίας συνοχής, είτε χωρίς. Γενικά, παρατηρείται διασπορά των αποτελεσμάτων, που εξαρτάται σημαντικά από τις συνθήκες και την πειραματική διάταξη που διαφέρουν από δοκιμή σε δοκιμή [5].

Συγκρίνοντας τις πειραματικές καμπύλες διατμητικής τάσης – ολίσθησης που προέκυψαν από τις δύο κατηγορίες πειραμάτων, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα [5]:

Τα αποτελέσματα από τα πειράματα σε δοκούς Ο.Σ. ενισχυμένες με στρώσεις σκυροδέματος, είναι αρκετά διαφορετικά από τα αποτελέσματα των πειραμάτων τύπου

push – off. Οι δοκιμές στις δοκούς έδωσαν υψηλότερες τιμές της μέγιστης διατμητικής τάσης και κυρίως, πολύ υψηλότερες τιμές της αντίστοιχης ολίσθησης.

Εκτός όμως από τις παραπάνω διαφορές, οι δύο τύποι πειραμάτων οδήγησαν σε κάποια κοινά συμπεράσματα που ήταν τα εξής: Αύξηση της τραχύτητας της διεπιφάνειας οδηγεί σε αύξηση της διατμητικής της αντοχής. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγεί και η παρουσία συνοχής, καθώς και η αύξηση του ποσοστού του διερχόμενου οπλισμού [5]. Επιπλέον, αύξηση του μήκους της διεπιφάνειας οδήγησε σε μείωση της διατμητικής αντοχής και της αντίστοιχης ολίσθησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις δοκιμές τύπου push – off η διεπιφάνεια είναι αρηγμάτωτη, σε αντίθεση με τις δοκιμές σε δοκούς ενισχυμένες με νέα στρώση σκυροδέματος οι οποίες υπόκεινται σε κάμψη και όπως είναι αναμενόμενο η διεπιφάνεια ρηγματώνεται. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η ρηγμάτωση της διεπιφάνειας είναι καθοριστικός παράγοντας για τον προσδιορισμό του νόμου διατμητικής τάσης – ολίσθησης που θα ισχύει σε αυτή. Όσο μεγαλύτερη είναι η ρηγμάτωση που παρατηρείται στη διεπιφάνεια, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι αντίστοιχες ολισθήσεις που παρατηρούνται σε αυτή [5].

## 2.5 ANTOXH ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ

Η διατμητική αντοχή σχεδιασμού  $\tau_{fud}$  στη διεπιφάνεια παλαιού – νέου σκυροδέματος σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. [3], προσδιορίζεται από μία σχέση της μορφής:

$$\tau_{fud} = \beta_D \times \tau_D + \beta_F \times \tau_{fd} \quad [\text{mm, MPa}]$$

Όπου  $\beta_D$  και  $\beta_F$  οι συντελεστές συμμετοχής του μηχανισμού βλήτρου και του μηχανισμού τριβής στη φέρουσα ικανότητα της διεπιφάνειας. Οι τιμές τους εξαρτώνται από την αναμενόμενη ολίσθηση κατά μήκος της διεπιφάνειας και ενδεικτικά είναι  $\beta_D = 0,7$  και  $\beta_F = 0,4$  για ολισθήσεις μικρότερες ή ίσες από 1 mm και  $\beta_D = \beta_F = 0,6$  για αβέβαιη τιμή της ολίσθησης ή όταν η εξωτερική θλιπτική δύναμη στη διεπιφάνεια είναι σχεδόν μηδενική. Οι τιμές των  $\tau_{fd}$  και  $\tau_D$  είναι η αντίσταση του μηχανισμού τριβής και η αντίσταση του μηχανισμού βλήτρου αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. [3], για το σχεδιασμό των ενισχυμένων στοιχείων, η αντίσταση της διεπιφάνειας μπορεί να είναι είτε αντίσταση σε θλίψη είτε αντίσταση σε εφελκυσμό είτε διατμητική αντίσταση.

Αναλυτικότερα, οι αντιστάσεις διεπιφάνειας σε θλίψη υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τη θλιπτική αντοχή του ασθενέστερου υλικού εκατέρωθεν της διεπιφάνειας, υπό την προϋπόθεση ότι έχουν συμπληρωθεί όλα τα κενά ή οι ρωγμές μέσω κατάλληλης τεχνικής και υλικού.

Οι αντιστάσεις διεπιφάνειας σε εφελκυσμό υπολογίζονται βάσει των ακόλουθων κριτηρίων:

α) Υπό ορισμένες αξιόπιστες και πλήρως ελέγξιμες συνθήκες εφαρμογής και ειδικής συντήρησης, επιτρέπεται να λαμβάνεται υπόψη η εφελκυστική αντοχή αποκόλλησης του σκυροδέματος προς το πρόσθετο υλικό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας υπαγορεύεται από την εφελκυστική αντοχή του ασθενέστερου εκατέρωθεν της διεπιφάνειας υλικού.

β) Όταν δεν πληρούνται οι συνθήκες της προηγούμενης παραγράφου, η εφελκυστική αντίσταση στη διεπιφάνεια διασφαλίζεται μέσω πρόσθετων καταλλήλως αγκυρωμένων αγκυρίων. Σε συνήθεις περιπτώσεις δεν συνιστάται να λαμβάνεται υπόψη η εφελκυστική αντοχή αποκόλλησης σκυροδέματος, παρά μόνο εφόσον έχει χρησιμοποιηθεί κατάλληλο συγκολλητικό υλικό (π.χ. εποξειδική κόλλα) και οι εργασίες έχουν εκτελεσθεί σύμφωνα με σχετικές τεχνικές προδιαγραφές.

Οι διατμητικές αντιστάσεις στις διεπιφάνειες υπολογίζονται με την ακόλουθη διαδικασία [3]:

α) Για την ανεκτή τιμή σχετικής ολίσθησης στις διεπιφάνειες, υπολογίζονται οι αντιστάσεις οι οποίες επιστρατεύονται από το σύνολο των διαθέσιμων στη διεπιφάνεια μηχανισμών, δηλαδή κατά περίπτωση:

- i) Συνοχής σκυροδέματος προς σκυρόδεμα, όπου επιτρέπεται να λαμβάνεται υπόψη
- ii) Συνοχής σκυροδέματος προς ρητίνη
- iii) Τριβής σκυροδέματος προς σκυρόδεμα στην θλιβόμενη διεπιφάνεια, λαμβανομένων υπόψη:
  - των ορθών τάσεων που προέρχονται από τις εξωτερικές δράσεις φορτίων
  - των ορθών τάσεων που προκύπτουν απ' την επιστρατευόμενη αντίσταση εξόλκευσης τυχόν διαθέσιμων αγκυρωμένων εγκάρσιων οπλισμών, λόγω της κάθετης προς την διεπιφάνεια διόγκωσης η οποία προκαλείται από την αποδεκτή τιμή σχετικής ολίσθησης
- iv) Αντιστάσεων βλήτρων
- v) Αντιστάσεων συνδέσμων, μεταξύ παλαιών και νέων οπλισμών.

Η μέγιστη ανεκτή σχετική ολίσθηση στη διεπιφάνεια εξαρτάται από την σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας, μπορεί δε να λαμβάνεται ίση με 0,2 ή 0,8 ή 1,5mm, για τις στάθμες Α, Β και Γ αντίστοιχα.

### **2.5.1. Συνοχή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος [3].**

Συνοχή είναι η μέγιστη διατμητική τάση (αντοχή), η οποία μπορεί να μεταφερθεί κατά μήκος μιας διεπιφάνειας, όταν η ορθή θλιπτική τάση στην διεπιφάνεια είναι μηδενική και όταν δεν υπάρχει εκατέρωθεν καλώς αγκυρωμένος οπλισμός ο οποίος να διαπερνά την διεπιφάνεια. Η συνοχή οφείλεται κυρίως στον χημικό δεσμό του νέου με το παλιό σκυρόδεμα.

Η τιμή της αντοχής συνοχής στην διεπιφάνεια μπορεί να λαμβάνεται ίση με [3]:



- $0,25f_{ct}$ , για λείες επιφάνειες σκυροδέματος, χωρίς να έχει προηγηθεί καμία επεξεργασία (π.χ. η επιφάνεια που προκύπτει κατά την σκυροδέτηση, μετά από την εξομάλυνση με μυστρί)
- $0,75f_{ct}$ , για διεπιφάνειες οι οποίες έχουν υποστεί τεχνητή τράχυνση πριν απ' την χύτευση του νέου σκυροδέματος (μέσω αμμοβολής, υδροβολής, κλπ.)
- $1,00f_{ct}$ , όταν το νέο σκυρόδεμα εφαρμόζεται πάνω στο παλαιό με εκτόξευση ή υπό πίεση ή όταν το νέο σκυρόδεμα χυτεύεται μετά από την εφαρμογή ενός ισχυρού συνδετικού υλικού (π.χ. μιας εποξειδικής κόλλας) στην διεπιφάνεια.

Κατά κανόνα, ασθενέστερο είναι το παλαιό σκυρόδεμα.

Ως εφελκυστική αντοχή,  $f_{ct}$ , του υφιστάμενου σκυροδέματος λαμβάνεται η μέση τιμή που έχει προσδιορισθεί με βάση τις διερευνητικές εργασίες που προβλέπονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο του Κανονισμού.

Εν γένει, η συνοχή δεν λαμβάνεται υπ' όψη κατά τους ελέγχους που πραγματοποιούνται σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

Στην περίπτωση διεπιφανειών κάθετα στις οποίες ασκείται θλιπτική τάση (είτε λόγω εξωτερικού φορτίου είτε λόγω δράσεως σφικτήρα του οπλισμού που τις διαπερνά), η συνοχή δεν θα προστίθεται στην επιστρατευόμενη κατά την ολίσθηση τριβή.

### 2.5.2. Τριβή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος [3].

Η διατμητική τάση που μεταφέρεται λόγω τριβής κατά μήκος μιας ασυνέχειας σκυροδέματος, είναι συνάρτηση της σχετικής ολίσθησεως,  $s$ , των δύο επιφανειών, της ορθής θλιπτικής τάσεως,  $\sigma_0$ , στην διεπιφάνεια, καθώς και της τραχύτητας.

Η διατμητική αντοχή,  $\tau_u$ , μπορεί να υπολογίζεται πρακτικώς μέσω της σχέσεως:

$$\tau_{fu} = \mu \sigma_0$$

όπου  $\mu$  ο συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικός της τραχύτητας της διεπιφάνειας και συνάρτηση της ορθής τάσεως  $\sigma_0$ .

Στην περίπτωση μιας λείας διεπιφάνειας ο συντελεστής τριβής λαμβάνεται σταθερός και ίσος με 0,4. Έτσι, η μέγιστη αντίσταση λόγω τριβής (για μεγάλες τιμές ανεκτής ολίσθησης) υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau_{fud} = 0,4\sigma_{cd}$$

όπου  $\sigma_{cd}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της ελάχιστης συνολικής ορθής θλιπτικής τάσεως στην διεπιφάνεια.

Η μέγιστη διατμητική αντίσταση είναι ίση περίπου με  $s_{fu} = 0,15 \sigma_{cd}^{1/2}$  [mm, MPa]

Στην περίπτωση μιας τραχειάς διεπιφάνειας, η μέγιστη διατμητική τάση που μεταφέρεται λόγω τριβής μπορεί να υπολογίζεται απ' την σχέση:

$$\tau_{fud} = 0,4(f_{cd}^2 \sigma_{cd})^{1/3} \quad [\text{MPa}]$$

όπου  $f_{cd}$  η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του ασθενέστερου από τα δύο σκυροδέματα της διεπιφάνειας.

Εάν λαμβάνεται υπ' όψη η δυσμενής επιρροή της τριβής, ο συντελεστής 0,4 πρέπει να αντικαθίσταται από τον συντελεστή 0,6. Η μέγιστη διατμητική αντίσταση κατά την ανωτέρω σχέση επιστρατεύεται για σχετική ολίσθηση κατά μήκος της διεπιφάνειας,  $s_{fu}$ , περίπου ίση με 2mm. Η τιμή  $s_{fu}=2,0$  mm ισχύει όταν η αντίσταση της διεπιφάνειας οφείλεται μόνον σε τριβή. Στην συνήθη περίπτωση, κατά την οποία η αντίσταση οφείλεται σε ταυτόχρονη δράση τριβής και βλήτρου, η μέγιστη αντίσταση της διεπιφάνειας επιστρατεύεται για τιμές της ολισθήσεως οι οποίες δεν υπερβαίνουν το 1,0mm. Εάν δεν αναμένονται (ή εάν δεν επιτρέπονται) μεγάλες σχετικές ολισθήσεις κατά μήκος μιας διεπιφάνειας, η επιστρατευόμενη διατμητική αντίσταση (μικρότερη της μέγιστης) μπορεί να υπολογίζεται κατά τα επόμενα:

$$\alpha) \text{ για } s_f/s_{fu} \leq 0,5 \rightarrow (\tau/\tau_{fud}) = 1,14 \sqrt{(s_f/s_{fu})^{2/3}} \quad [\text{mm,MPa}]$$

$$\beta) \text{ για } s_f/s_{fu} \geq 0,5 \rightarrow (\tau/\tau_{fud}) = 0,81 + 0,19 s_f/s_{fu} \quad [\text{mm,MPa}]$$

όπου  $s_{fu}=2,0$  mm.

### 2.5.3. Τριβή συμπεριλαμβάνοντας τη λειτουργία σφικτήρα οπλισμού [3].

Στην περίπτωση που η διεπιφάνεια είναι οπλισμένη και για την περίπτωση μεγάλων ολισθήσεων ( $> 2$  mm), όσο αυξάνει η ολίσθηση αυξάνει η εφελκυστική αντίσταση του καλώς αγκυρωμένου οπλισμού που διαπερνά τη διεπιφάνεια. Αυτές οι τάσεις εξισορροπούνται από νέες θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα οι οποίες συμμετέχουν στη διατμητική λόγω τριβής, αντίσταση της διεπιφάνειας. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται λειτουργία σφικτήρα οπλισμού.

Θεωρείται πως ο οπλισμός που διαπερνά τη διεπιφάνεια, αναπτύσσει τάση ίση με τη διαρροή του και η συνολική διατμητική αντίσταση στη διεπιφάνεια, δίνεται από τη σχέση [3]:

$$\tau_{fud} = 0,4 \times f_{cd}^{2/3} * (\sigma_N + \rho \times f_{yd})^{1/3}$$

### 2.5.4. Μεταφορά δυνάμεων μέσω στρώσεως εποξειδικής κόλλας [3].

#### α) Θλίψη

Η θλιπτική αντοχή κάθετα σε μια διεπιφάνεια σκυροδέματος η οποία έχει πληρωθεί με κόλλα πολύ μικρού πάχους, μπορεί να λαμβάνεται ίση με την θλιπτική αντοχή του ασθενέστερου σκυροδέματος. Για μεγαλύτερα πάχη κόλλας (ενδεικτικώς, για πάχη μεγαλύτερα του 1,0mm), θα πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα υπόψη η επιρροή του πάχους της κόλλας στην αντοχή και στην παραμόρφωση της διεπιφάνειας.

#### β) Εφελκυσμός

Όταν μία διεπιφάνεια σκυροδέματος, η οποία έχει πληρωθεί με κόλλα πολύ μικρού πάχους, υποβάλλεται σε εφελκυσμό, η αντοχή της θα λαμβάνεται ίση με την εφελκυστική αντοχή του ασθενέστερου σκυροδέματος, υπό την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται οι προδιαγραφές εφαρμογής του χρησιμοποιούμενου υλικού.

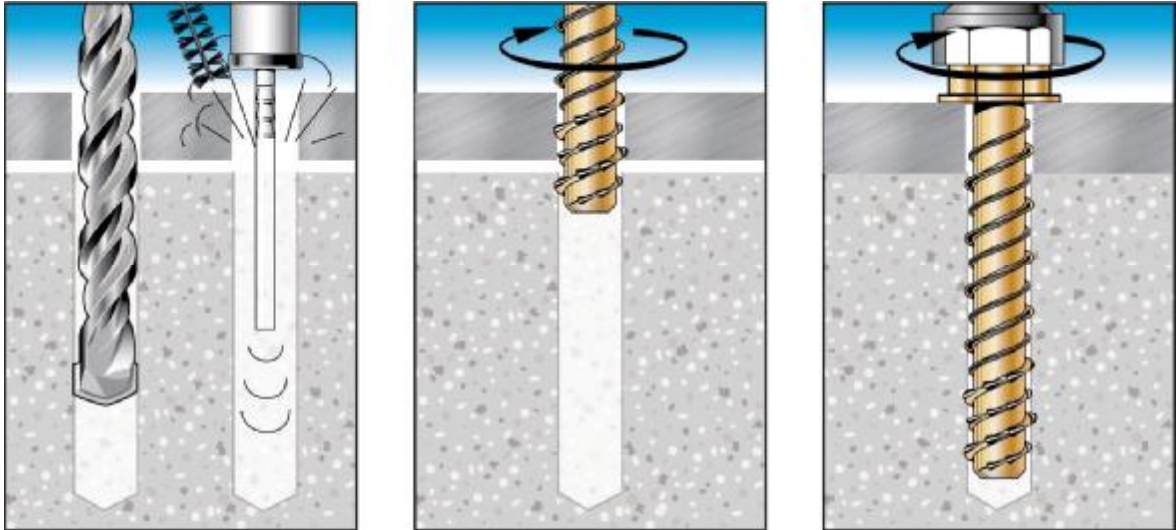
#### γ) Διάτμηση

Όταν η σύνδεση των σκυροδεμάτων μέσω κόλλας έχει πραγματοποιηθεί με τήρηση των σχετικών κανόνων και μετά από κατάλληλη προετοιμασία της διεπιφάνειας, τότε μπορεί να θεωρείται ότι η διεπιφάνεια διαθέτει συνοχή ίση με την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος. Η διατμητική αντίσταση της διεπιφάνειας προκύπτει ως άθροισμα της τριβής λόγω εξωτερικών φορτίων και της τριβής λόγω του μηχανισμού σφικτήρα.

Δεδομένης της ευαισθησίας την οποία παρουσιάζει η συνάφεια της κόλλας έναντι της υγρασίας και της θερμοκρασίας, καθώς και έναντι των συνθηκών προετοιμασίας και εφαρμογής, συνιστάται να αμελείται γενικώς η συμμετοχή της συνοχής στην διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας. Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στην περίπτωση της συνοχής σκυροδέματος με σκυρόδεμα, η συνοχή μεταξύ σκυροδέματος- κόλλας-σκυροδέματος εξακολουθεί να αναπτύσσεται ακόμη και για σημαντικές τιμές της ολισθήσεως κατά μήκος της διεπιφάνειας. Παρά ταύτα, λόγω ελλিপών στοιχείων, κατά τον υπολογισμό της διατμητικής αντίστασης της διεπιφάνειας, η συνοχή αμελείται και πάλι.

#### **2.5.5. Μεταφορά δυνάμεων μέσω από χάλυβα σε σκυρόδεμα μέσω αγκυρίων και βλήτρων [3].**

Χαλύβδινα στοιχεία εγκαθίστανται (συνήθως, κάθετα) σε διεπιφάνειες, με σκοπό την μεταφορά εφελκυστικών ή/και διατμητικών δυνάμεων μεταξύ παλαιού σκυροδέματος και προστιθέμενου σκυροδέματος ή χαλύβδινου στοιχείου. Γι' αυτόν τον σκοπό, χρησιμοποιούνται είτε βιομηχανικά αγκύρια ή βλήτρα διαφόρων τύπων, είτε τεμάχια ράβδων οπλισμού (χάλυβας με νευρώσεις), αγκυρούμενα στο σκυρόδεμα μέσω κόλλας (Σχ. 2.6 και 2.7). Όταν χρησιμοποιούνται τεμάχια ράβδων οπλισμού για την σύνδεση παλαιού σκυροδέματος με νέο, η συμπεριφορά των αγκυρίων ή βλήτρων θα υπαγορεύεται εν μέρει από την συνήθη συμπεριφορά μηχανισμού βλήτρου ή/και εξολκεύσεως και εν μέρει από την συμπεριφορά του εκ των υστέρων εγκαθιστάμενου αγκυρίου. Η μέγιστη (ορθή ή διατμητική) δύναμη, την οποία μπορεί να μεταφέρει ένα τέτοιο χαλύβδινο στοιχείο θα είναι η μικρότερη απ' τις δυνάμεις που είναι δυνατόν να μεταφερθούν μέσω του τμήματος της ράβδου που είναι πακτωμένο στην μία ή στην άλλη πλευρά της διεπιφάνειας.



**Σχήμα 2.6:** Τοποθέτηση βλήτρου σε στοιχείο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα [11].



**Σχήμα 2.7:** Βλήτρα (τμήματα ράβδων) τοποθετημένα σε προετοιμασμένη επιφάνεια στοιχείου Οπλισμένου Σκυροδέματος, πριν τη σκυροδέτηση της νέας στρώσης [12].

Ως βλήτρα χαρακτηρίζονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι, όταν καταπονούνται με διατμητικό φορτίο (V) ενώ ως ακύρια χαρακτηρίζονται, όταν καταπονούνται με αξονικό (συνήθως εφελκυστικό) φορτίο (N). Όταν ένας μεταλλικός σύνδεσμος καταπονείται συγχρόνως με αξονικό και διατμητικό φορτίο, τότε προφανώς ασκείται συνδιασμένη δράση ακυρίου και βλήτρου.

Τρεις είναι οι πιθανοί τύποι αστοχίας από τη δράση του βλήτρου .

Ο πρώτος (Α) τύπος αφορά την περίπτωση που αστοχεί ο χάλυβας του βλήτρου στη θέση της διεπιφάνειας.

Ο δεύτερος (Β) τύπος αφορά την περίπτωση που αστοχεί το σκυροδέμα στο περιβάλλον του βλήτρου λόγω της πλευρικής πίεσης που ασκεί το βλήτρο στην κατεύθυνση του διατμητικού φορτίου και λόγω διαρροής της ράβδου-βλήτρου.

Τέλος, ο τρίτος (Γ) τύπος αστοχίας αφορά την περίπτωση αστοχίας του σκυροδέματος με τη μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου λόγω μικρών αποστάσεων του βλήτρου από τα όρια του στοιχείου αγκύρωσης [3].

Ο μηχανισμός δράσης βλήτρου επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους όπως:

- **Η διάμετρος του βλήτρου  $d_b$ .**

Η αύξηση της διαμέτρου του βλήτρου αυξάνει τη διατμητική αντίσταση στη διεπιφάνεια, ανεξάρτητα από τον τύπο αστοχίας.

- **Η επικάλυψη σκυροδέματος** στην κατεύθυνση του διατμητικού φορτίου ( $c_p$ ) ως επίσης και οι πλευρικές επικαλύψεις κάθετες προς τη διεύθυνση του διατμητικού φορτίου  $c_1$  και  $c_2$ .

Μεγάλες επικαλύψεις μειώνουν την πιθανότητα δημιουργίας ενός πλευρικού κώνου αστοχίας του σκυροδέματος (Γ τύπος αστοχίας).

- **Η αντοχή του σκυροδέματος ( $f_c$ ).**

Η καλή ποιότητα του σκυροδέματος μειώνει την πιθανότητα αστοχίας του σκυροδέματος που περιβάλλει το βλήτρο (Β τύπος αστοχίας) και τη δημιουργία ενός πλευρικού κώνου αστοχίας (Γ τύπος αστοχίας).

- **Το όριο διαρροής του χάλυβα ( $f_y$ ).**

Όσο μεγαλύτερο είναι το όριο διαρροής του χάλυβα τόσο περισσότερο αυξάνει η αντίστασή του σε διατμητικό φορτίο. Αυτό έχει σαν συνέπεια να αυξάνεται το οριακό φορτίο αστοχίας Α και Β τύπου.

- **Το μήκος αγκύρωσης του βλήτρου  $l_b$ .**

Το μήκος αγκύρωσης του βλήτρου φαίνεται να εκφράζει το οριακό φορτίο στην περίπτωση αστοχίας με τη μορφή ενός πλευρικού κώνου σκυροδέματος. Μεγάλα μήκη αυξάνουν τη διατμητική αντοχή, η σχέση όμως δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη. Συνιστάται όπως τα μήκη αγκύρωσης είναι της τάξεως του  $10d_b$  και πάντως όχι λιγότερο από  $5d_b$ .

- **Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος και η ύπαρξη εγκάρσιου οπλισμού.**

Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος μειώνει τη διατμητική αντίσταση λόγω δράσης του βλήτρου ενώ η ύπαρξη οπλισμού κάθετου προς την κατεύθυνση του διατμητικού φορτίου την αυξάνει. Επειδή ο βαθμός ρηγμάτωσης του σκυροδέματος στην περιοχή του βλήτρου δεν είναι αξιόπιστα γνωστός ενώ η συμβολή του εγκάρσιου οπλισμού δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθεί, συνήθως οι παραπάνω παράγοντες αγνοούνται στους υπολογισμούς θεωρώντας ότι οι επιρροές τους αλληλοαναιρούνται.

- **Η ανακύκλιση της φόρτισης.**

Η ανακύκλιση της φόρτισης μειώνει τη διατμητική αντίσταση του βλήτρου όμως αυτό εξαρτάται από τον πιθανό τύπο αστοχίας και το μέγεθος των επιβαλλομένων ολισθήσεων κατά μήκος της διεπιφάνειας.

- **Η γωνία κλίσης του βλήτρου ως προς τη διεπιφάνεια, και η θέση του βλήτρου σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδέτησης.**

Βλήτρα που δεν είναι κάθετα στη διεπιφάνεια έχουν μειωμένη συνεισφορά στη διατμητική αντίσταση. Εξάλλου η επίδραση της θέσης του βλήτρου σε σχέση με την κατεύθυνση της σκυροδέτησης δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθεί. Έτσι στην πράξη τα βλήτρα τοποθετούνται κάθετα προς τη διεπιφάνεια και οι δύο παραπάνω επιρροές αγνοούνται, στους υπολογισμούς.

Για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής του βλήτρου σε επίπεδο σχεδιασμού εξετάζονται ξεχωριστά οι τρεις πιθανοί τύποι αστοχίας. Αν  $V_{ud,a}$ ,  $V_{ud,b}$  και  $V_{ud,c}$  είναι οι τιμές σχεδιασμού της αντοχής του βλήτρου για τους τύπους αστοχίας Α, Β και Γ αντίστοιχα, ισχύει προφανώς η σχέση:

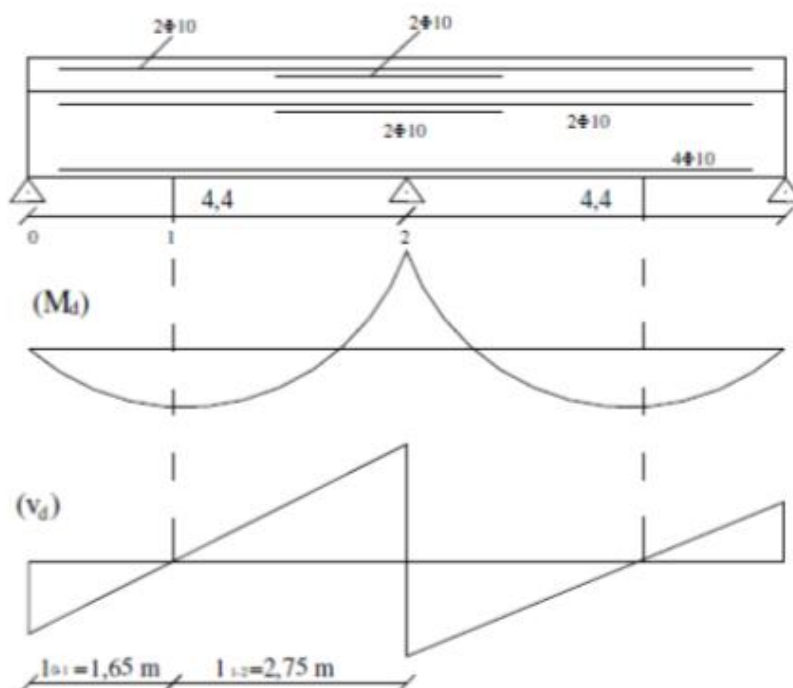
$$V_{ud} = \min(V_{ud,a}, V_{ud,b}, V_{ud,c})$$

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

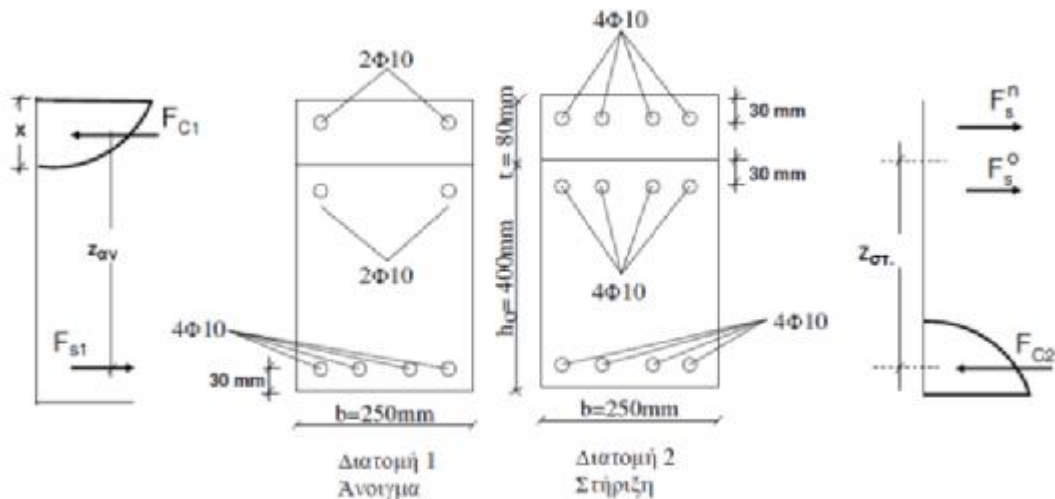
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

### 3.1 ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Στο πρώτο παράδειγμα εξετάζεται η ενίσχυση μιας δοκού δύο ανοιγμάτων με προσθήκη στρώσης σκυροδέματος και νέου οπλισμού (Σχ. 3.1, Σχ. 3.2). Τα υλικά είναι σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας οπλισμού S500 με διατομή ράβδων  $\Phi 10$ . Το άνοιγμα της δοκού είναι  $l_{0-2}=l_{2-3}=4.40\text{m}$ . Τα γεωμετρικά στοιχεία είναι: πλάτος δοκού  $b=250\text{ mm}$ , πλάτος στήριξης,  $b_{στ}=250\text{ mm}$ , ύψος αρχικής δοκού:  $h_0=400\text{ mm}$ , πάχος πρόσθετης στρώσης σκυροδέματος  $t_{στ}=80\text{ mm}$ , επικάλυψη οπλισμού:  $d_1=30\text{ mm}$ . Η ενίσχυση γίνεται με στόχο την αύξηση της αντοχής στη στήριξη και ζητούμενο του σχεδιασμού είναι να υπολογισθούν οι ροπές αντοχής στο άνοιγμα και τις στηρίξεις και να γίνει ο έλεγχος διεπιφάνειας για φόρτιση  $1,35G + 1,5Q$ , όταν στο άνοιγμα και στις παρειές στήριξης αναπτυχθούν οι μέγιστες ροπές αντοχής.



Σχήμα 3.1: Η δοκός που εξετάζεται στο πρώτο παράδειγμα διαστασιολόγησης [6]



**Σχήμα 3.2:** Οι διατομές της δοκού που μελετάται στο άνοιγμα και τη στήριξη [6]

### Προσδιορισμός ροπής αντοχής

Προσεγγιστικά για τη μονολιθική διατομή θα ισχύει:

#### **Στο άνοιγμα**

$$M^{\text{μονολ.}}_{Rd,av} = F_{s1} \cdot z_{av} = (4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 / 4 \cdot 500 / 1,15 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,9 \cdot 0,45 = 136,5 \cdot 0,9 \cdot 0,45 = 55,28 \text{ KN}$$

$$\text{Επομένως για την ενισχυμένη } M^{\text{ενισχ.}}_{Rd,av} = k_R \cdot M^{\text{μονολ.}}_{Rd,av} = 0,85 \cdot 55,28 = 47,0 \text{ KN}$$

#### **Στη στήριξη**

$$D_{στ} = (0,45 + 0,37) / 2 = 0,41 \text{ m}$$

$$M^{\text{μονολ.}}_{Rd,στηρ.} = (F_s^n + F_s^o) \cdot z_{στ} = (8 \cdot 3,14 \cdot 10^2 / 4 \cdot 500 / 1,15 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,9 \cdot 0,41 = 273 \cdot 0,9 \cdot 0,41 = 100,74 \text{ KN}$$

$$\text{Επομένως, } M^{\text{ενισχ.}}_{Rd,στηρ.} = 0,85 \cdot 100,74 = 85,63 \text{ KN}$$

Ο ακριβέστερος προσδιορισμός MR της μονολιθικής διατομής προφανώς μπορεί να γίνει κατά τα γνωστά για διαστασιολόγηση διατομών οπλισμένου σκυροδέματος. Αν δεν είναι δεδομένα αποτελέσματα εσωτερικών δυνάμεων από κατάλληλο λογισμικό.

### Προσεγγιστικός προσδιορισμός εσωτερικών δυνάμεων

#### **Προσδιορισμός ύψους θλιβόμενης ζώνης και προσδιορισμός εσωτερικών δυνάμεων\**

$$\text{- Διατομή 1: } F_{s1} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 / 4 \cdot 500 / 1,15 \cdot 10^{-3} = 136,5 \text{ KN}$$

$$\text{Και } F_{c1} = F_{s1} = 136,5 \text{ KN}$$

$$F_{c1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \Rightarrow 0,8 \cdot x = 38,5 \text{ mm} < t_{επ} = 80 \text{ mm}$$

Επομένως όλη η θλιπτική δύναμη  $F_{c1}$  κατανέμεται στην επίστροψη

$$\text{Έτσι: } F^{\text{επ.}}_1 = F_{c1} = 136,5 \text{ KN}$$



Διατομή 2 (παρειά στήριξης) :  $F_{επ.2}=F_{ns}=4*3,14*102/4*500/1,15*10^{-3} =136,5 \text{ KN}$

**Διατμητική δύναμη στη διεπιφάνεια και ισορροπία δυνάμεων**

Επομένως,  $V^{\text{διεπ.}}_{0-1}=\Delta F^{\text{επ}}_{0-1}=F^{\text{επ}}_0-F^{\text{επ}}_1=0-(-136,5)=136,5 \text{ KN}$

$V^{\text{διεπ.}}_{1-2}=\Delta F^{\text{επ}}_{1-2}=F^{\text{επ}}_1-F^{\text{επ}}_2=-136,5-136,5=-273 \text{ KN}$

D) Επίλυση με χρήση ευθύγραμμων βλήτρων

**A) αγνοώντας τριβή και συνοχή**

**Απαιτούμενοι διατμητικοί σύνδεσμοι**

Αν χρησιμοποιηθούν ευθύγραμμα βλήτρα πρέπει κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ το μήκος εντός στρώσης ενίσχυσης και εντός υποστρώματος να είναι τουλάχιστον 8db για να αναλάβουν την πλήρη διατμητική τους αντίσταση  $V_{ud}$ .

Δηλαδή επειδή  $t=80 \text{ mm} \geq 8db + \text{επικάλ.}$   $\varnothing db=8 \text{ mm}$  πολύ μικρό

$t=80 \text{ mm} \geq 6db + \text{επικάλ.}$   $\varnothing db=12 \text{ mm}$  αλλά με διατμητική αντίσταση  $V'_{ud}=0,75 V_{ud}$

**Έχουν επιλεγεί ευθύγραμμα βλήτρα  $\Phi 12 \text{ S500}$**

**Η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού κάθε βλήτρου προκύπτει:**

$V_{ud}=1,30/\gamma_{Rd} * db^2 \sqrt{(f_{cd} * f_{yd})} = (1,65/\gamma_{Rd}) * A_s \sqrt{(f_{cd} * f_{yd})} = (1,65/1,3) * 1,13 * 10^4 * \sqrt{((25000/1,5) * (500000/1,15))} = 12,21 \text{ KN}$

$V_{ud}' = 0,75 V_{ud} = 0,75 * 12,21 = 9,16 \text{ KN}$

Στο τμήμα από 0-1 το πλήθος των απαιτούμενων βλήτρων είναι :  $n_{0-1} = 136,5/9,16 = 15$  βλήτρα  $\Phi 12 \text{ S500}$

Ενώ στο τμήμα από 1-2 το πλήθος των απαιτούμενων βλήτρων είναι :  $n_{1-2} = 273/9,16 = 30$  βλήτρα  $\Phi 12 \text{ S500}$

**Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού**

Απαιτείται ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού διεπιφάνειας για την εξασφάλιση αξιόπιστης διατμητικής αντοχής:

$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} = 0,3 * 25^{2/3} = 2,56 \text{ MPa}$

$R_{δ, \text{min}} = 0,20 * f_{ctm} / f_{yk} = 0,20 * 2,56 / 500 = 0,103\% \geq 0,12\%$

$R_{δ, \text{min}} = 0,12\%$

$R_{δ, \text{min}} = A_{s\delta \text{min}} / A_{c\delta}$  με  $A_{c\delta}^{0-1} = 10-1 * b$  και  $A_{c\delta}^{1-2} = 11-2 * b$  είναι το εμβαδό της διεπιφάνειας που διαπερνά ο εγκάρσιος οπλισμός για τα τμήματα 0-1 και 1-2 αντίστοιχα.

Άρα, ο ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός είναι:

Για το τμήμα 0-1  $\rightarrow A_{s\delta \text{min}} = 0,12/100 * 1650 * 250 = 495 \text{ mm}^2$

Για το τμήμα 0-2  $\rightarrow A_{s\delta\min}=0,12/100*2750*250=825 \text{ mm}^2$

### Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού

$A_{s\delta}^{0-1} = 15 * A_s(\phi 12) = 15 * 113 = 1695 \text{ mm}^2 > 495 \text{ mm}^2$  για το τμήμα 0-1

$A_{s\delta}^{1-2} = 30 * 113 = 3390 \text{ mm}^2 > 825 \text{ mm}^2$

### Διάταξη βλήτρων

Τα βλήτρα τοποθετούνται στον άξονα της δοκού. Το 1<sup>ο</sup> βλήτρο πρέπει να απέχει από το ελεύθερο άκρο :

$C = \min(7 * db, 100 \text{ mm}) = \min(7 * 12 = 84, 100 \text{ mm}) = 84 \text{ mm} > 5db = 60 \text{ mm}$

Τα βλήτρα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις  $s$  ενώ η απόσταση από τη θέση 1 είναι  $s/2$

Στο τμήμα 0-1 ισχύει :  $s_{0-1} = 10 - 1 - c / n_{0-1} - 0,5 = 108 \text{ mm}$

Στο τμήμα 1-2 ισχύει :  $s_{1-2} = 11 - 2 / n_{1-2} = 92 \text{ mm}$

Και στα δύο τμήματα θα πρέπει να τηρούνται οι ελάχιστες και οι μέγιστες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών βλήτρων να ισχύει δηλαδή  $s_{\min} < s_{0-1}, s_{1-2} < s_{\max}$

Όπου  $s_{\min} = 5 * db = 60 \text{ mm}$  και  $s_{\max} = \min(6 * h_{\min}, 800 \text{ mm}) = 480 \text{ mm}$

**Τελικά τοποθετούνται στο τμήμα 0-1 : 15φ12/108 mm και στο τμήμα 1-2 : 30φ12/92 mm**

### B) Λύση με συνυπολογισμό της συνοχής

Οι μέσες τιμές των διατμητικών τάσεων στα τμήματα 0-1 και 1-2 προκύπτουν:

$T_{0-1}^{\delta\epsilon\pi} = V_{0-1}^{\delta\epsilon\pi} / b * 10 - 1 = 330,9 \text{ KN/m}^2 = 0,331 \text{ MPa}$

$T_{1-2}^{\delta\epsilon\pi} = V_{1-2}^{\delta\epsilon\pi} / b * 11 - 2 = -397,1 \text{ KN/m}^2 = -0,397 \text{ MPa}$

Επομένως,  $\tau_0^{\delta\epsilon\pi} = 2 * \tau_{0-1}^{\delta\epsilon\pi} = 0,662 \text{ MPa}$  και  $\tau_2^{\delta\epsilon\pi} = 2 * \tau_{1-2}^{\delta\epsilon\pi} = -0,794 \text{ MPa}$

**Ας υποθέσουμε ότι η επιφάνεια έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί**

$F_{ctd} = 1,2 \text{ MPa}$

$T_{cud} = 0,75 f_{ctd} = 0,9 \text{ MPa}$

$T_{\max} = 0,794 \text{ MPa} < t_{cud} = 0,9 \text{ MPa}$

Άρα δεν απαιτείται υπολογισμός διατμητικών συνδέσμων

**Τοποθετούνται τα ελάχιστα βλήτρα ομοίως με πριν φ12 S500 και υπολογίζονται ως εξής:**

$A_{s\delta\min} = \rho_{\delta\min} * A_{c\delta} = 1320 \text{ mm}^2$

Ενώ η απόσταση του 1<sup>ου</sup> βλήτρου από το ελεύθερο άκρο είναι ίση με 84 mm

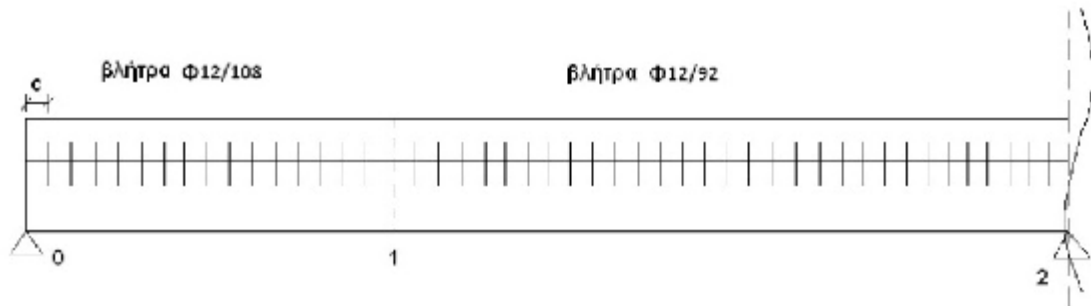
**Συνεπώς τα απαιτούμενα βλήτρα είναι  $n_{0-2} = 12$**

Και οι αποστάσεις μεταξύ τους θα είναι :  $s_{0-2}=l_{0-2} - c/n_{0-2} - 0,5 = 375 \text{ mm}$

Όμως θα πρέπει να ισχύει :  $S_{\min}=60 \text{ mm} < s_{0-2} < s_{\max}=480 \text{ mm}$

Άρα τελικά  $s_{0-2}=375 \text{ mm}$

**Επομένως στο τμήμα 0-2 τοποθετούνται τα ελάχιστα βλήτρα  $\phi 12/480 \text{ mm}$  , S500**



**Σχήμα 3.3:** Πρώτη λύση ενίσχυσης της δοκού με χρήση ευθύγραμμων βλήτρων [6].

## II) Εναλλακτική επίλυση με χρήση βλήτρων σχήματος Γ

### A) Αγνοώντας τριβή και συνοχή

#### Απαιτούμενοι διατμητικοί σύνδεσμοι

Έχει προταθεί να χρησιμοποιούνται βλήτρα μορφής Γ θεωρώντας ότι αναλαμβάνουν την πλήρη διατμητική αντίσταση  $V_{ud}$  εφόσον το επίπεδο που ορίζουν τα δύο σκέλη του βλήτρου είναι κάθετο προς την δρώσα διατμητική δύναμη. Γι' αυτό εδώ επιλέγονται βλήτρα  $\phi 14$  S500 μορφής Γ με ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος  $5 \cdot d_b = 5 \cdot 14 = 70 \text{ mm}$   $< t = 80 \text{ mm}$

Η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού κάθε βλήτρου προκύπτει :

$$V_{ud} = (1,30/\gamma_{Rd}) \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f_{cd} \cdot f_{yd}} = 16,64 \text{ KN}$$

Το πλήθος των απαιτούμενων βλήτρων στο τμήμα 0-1 είναι  $n_{0-1} = 8$  βλήτρα  $\phi 14$  S500

Το πλήθος των απαιτούμενων βλήτρων στο τμήμα 1-2 είναι  $n_{1-2} = 16$  βλήτρα  $\phi 14$  S500

#### Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού

Για την εξασφάλιση αξιόπιστης διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας απαιτείται ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού διεπιφάνειας:  $\rho_{d,\min} = 0,12\%$

Επομένως για το τμήμα 0-1 ο ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός είναι  $A_{s\delta\min} = 495 \text{ mm}^2$

Και για το τμήμα 1-2 είναι  $A_{s\delta\min} = 825 \text{ mm}^2$

#### Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού

$$A_{s\delta_{0-1}} = 8 \cdot A_s(\phi 14) = 1232 \text{ mm}^2 > 495 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\delta_{1-2}} = 2464 \text{ mm}^2 > 825 \text{ mm}^2$$

### Διάταξη βλήτρων

Τα βλήτρα τοποθετούνται στον άξονα της δοκού. Η απόσταση του 1<sup>ου</sup> βλήτρου από το ελεύθερο άκρο είναι  $c = \min(7 \cdot db, 100 \text{ mm}) = 100 \text{ mm} > 5 \cdot db = 70 \text{ mm}$

Οι αποστάσεις μεταξύ των βλήτρων είναι  $s$  ενώ η απόσταση από τη θέση 1 είναι  $s/2$ .

Έτσι για το τμήμα 0-1 είναι  $s_{0-1} = 207 \text{ mm}$  και για το τμήμα 1-2 είναι  $s_{1-2} = 172 \text{ mm}$

Και στα δύο τμήματα θα πρέπει να τηρούνται οι ελάχιστες και οι μέγιστες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών βλήτρων δηλαδή να ισχύει:  $s_{\min} < s_{0-1}, s_{1-2} < s_{\max}$

Όπου  $s_{\min} = 5 \cdot 14 = 70 \text{ mm}$  και  $s_{\max} = \min(6 \cdot 80 \text{ mm}, 800 \text{ mm}) = 480 \text{ mm}$

### Διάταξη βλήτρων

**Τοποθετούνται τελικά στο τμήμα 0-1 8φ14/207 mm και στο τμήμα 1-2 16φ14/172 mm S500**

### Β) Λύση με συνυπολογισμό της συνοχής

Οι μέσες τιμές των διατμητικών τάσεων στα τμήματα 0-1 και 1-2 προκύπτουν:

$$T_{0-1}^{\text{διεπ}} = 330,9 \text{ KN/m}^2 = 0,331 \text{ MPa}$$

$$T_{1-2}^{\text{διεπ}} = -397,1 \text{ KN/m}^2 = -0,397 \text{ MPa}$$

$$\text{Επομένως, } \tau_0^{\text{διεπ}} = 2 \cdot \tau_{0-1}^{\text{διεπ}} = 0,662 \text{ MPa}, \tau_2^{\text{διεπ}} = 2 \cdot \tau_{1-2}^{\text{διεπ}} = -0,794 \text{ MPa}$$

**Έστω ότι η επιφάνεια έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί**

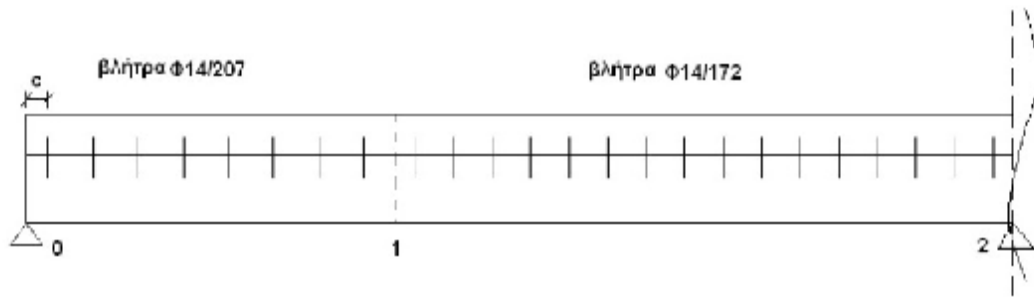
$$f_{ctd} = 1,2 \text{ MPa} \text{ άρα, } \tau_{cud} = 0,75 \cdot 1,2 = 0,9 \text{ MPa}$$

Άρα δεν απαιτείται υπολογισμός διατμητικών συνδέσμων

Τοποθετούνται τα ελάχιστα βλήτρα ομοίως με πριν φ14 S500 σχήματος Γ. Τα ελάχιστα που θα τοποθετηθούν κατά μήκος όλου του τμήματος 0-2 υπολογίζονται ως  $A_{s\text{dmin}} = \rho_{d,\text{min}} \cdot A_{c\text{d}} = 1320 \text{ mm}^2$  ενώ η απόσταση του 1<sup>ου</sup> βλήτρου από το ελεύθερο άκρο έχει προσδιοριστεί ίση με 100 mm. Οπότε, το πλήθος των βλήτρων είναι  $n_{0-2} = 1320/154 = 9$  και οι αποστάσεις μεταξύ τους θα είναι  $s_{0-2} = 506 \text{ mm}$ .

Θα πρέπει να ισχύει και  $s_{\min} = 70 \text{ mm} < s_{0-2} < s_{\max} = 480 \text{ mm}$  επομένως  $s_{0-2} = 480 \text{ mm}$

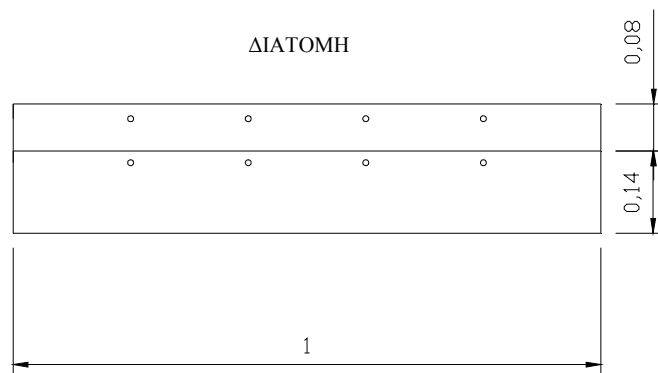
**Τελικώς στο τμήμα 0-2 τοποθετούνται βλήτρα φ14/480mm, S500**

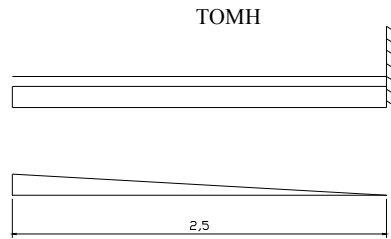


**Σχήμα 3.4:** Δεύτερη λύση ενίσχυσης της δοκού με χρήση βλήτρων μορφής Γ [6].

### 3.2 ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΚΑΣ ΠΡΟΒΟΛΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Στο δεύτερο παράδειγμα εξετάζεται η ενίσχυση μιας πλάκας προβόλου με προσθήκη στρώσης σκυροδέματος και νέου οπλισμού στο άνω πέλμα (Σχ. 3.1, Σχ. 3.2). Τα υλικά είναι σκυρόδεμα C20/25 και χάλυβας οπλισμού B500C με διατομή ράβδων  $\Phi 10$  για τους διαμήκεις οπλισμούς. Το μήκος του προβόλου είναι 2.50m. Τα γεωμετρικά στοιχεία είναι: πάχος πλάκας  $h_0=160$  mm, πάχος πρόσθετης στρώσης σκυροδέματος  $t_{\text{επ}}=80$  mm, επικάλυψη οπλισμού:  $d_1=25$  mm στη νέα στρώση. Η ενίσχυση γίνεται με στόχο την αύξηση της αντοχής στη στήριξη για την ανάληψη επιπλέον ωφέλιμου φορτίου  $Q = 10$  kN/m<sup>2</sup> λόγω αλλαγής χρήσης. Ζητούμενο του σχεδιασμού είναι να υπολογισθούν η ροπή αντοχής στη στήριξη και να γίνει ο έλεγχος διεπιφάνειας για φόρτιση  $1,35G + 1,5Q$ .





### Αρχικοί υπολογισμοί:

$$h=0,24 \text{ m}$$

$$d_n=240-25=215=21,5 \text{ cm}$$

$$d_0=14 \text{ cm}$$

$$d_{στ}=(d_0+d_n)/2=28,5 \text{ cm}=0,285 \text{ m}$$

$$g=0,24*25*1=6 \text{ KN/m}$$

$$1,35g+1,5q=1,35*6+1,5*10=23,1 \text{ KN/m}^2$$

$$M=ql^2/8=23,1*2,5^2/8=18,05 \text{ KN/m}$$

$$\mu_{sd}=Msd/bd^2f_{cd} = 18,05/1*0,215^2*20000/1,5=0,029 \text{ \u0391\u03c1\u03b1 \u03b4\u03b5 \u03c7\u03c1\u03b5\u03b9\u03ac\u03b6\u03b5\u03c4\u03b1\u03b9 \u03b8\u03bb\u03b9\u03b2\u03cc\u03bc\u03b5\u03bd\u03cc\u03c3 \u03c9\u03c0\u03bb\u03b9\u03c3\u03bc\u03cc\u03c3}$$

$$w=(1/1,2)*(1-\sqrt{(1-2,4*0,029)})=0,030$$

$$\rho=w_1f_{cd}/f_{yd}=0,030*((20/1,5)/(500/1,15))=0,00092$$

$$A_s=\rho hb=0,00029*240*1000=220,8 \text{ mm}^2$$

$$3\phi 10 =236 \text{ mm}^2 \text{ (1}\phi 10=0,79) \text{ \u03b4\u03b7\u03bb. } \phi 10/12$$

### Προσεγγιστικός προσδιορισμός εσωτερικών δυνάμεων

$$F_2^{στ}=F_s^n = 3*3,14*10^2/4*500/1,15*10^{-3} = 102,4 \text{ KN}$$

$$F_{s1}=F_{c1}=102,4 \text{ KN}$$

### Επίλυση με χρήση ευθύγραμμων βλήτρων

**A) Αγνοώντας τριβή και συνοχή**

**Απαιτούμενοι διατμητικοί σύνδεσμοι**

$$t=80 \text{ mm} \geq 6 \cdot 10 + 20 \quad \text{για } d_b=10 \text{ mm}$$

$$t=80 \text{ mm} \geq 80 \text{ mm}$$

Η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού κάθε βλήτρου προκύπτει:

$$\begin{aligned} V_{ud} &= (1,30/\gamma_{Rd}) \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f_{cd} \cdot f_{yd}} = \\ &= (1,65/1,3) \cdot 7,9 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{((20000/1,5)/(500000/1,15))} = \\ &= 7,63 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V'_{ud} = 0,75 \cdot V_{ud} = 5,73 \text{ KN}$$

### **Πλήθος απαιτούμενων βλήτρων**

$$n = 102,4/5,73 = 18 \text{ βλήτρα}$$

### **Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού**

$$\rho_{dmin} = 0,20 \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 0,20 \cdot 0,3 \cdot 20^{2/3}/500/1,15 = 0,00101 = 0,101\% \geq 0,12\%$$

$$\rho_{dmin} = 0,12\%$$

$$A_{s\delta min} = (0,12/100) \cdot 2500 \cdot 1000 = 3000 \text{ mm}^2$$

$$\pi \cdot 10^2/4 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\delta} = 18 \cdot A_s(\phi 10) = 18 \cdot 78,5 = 1413 \text{ mm}^2 < \rho_{min} \text{ άρα ελάχιστα}$$

### **Βάζω 3 σειρές βλήτρων**

$$18/3 = 16 \text{ βλήτρα}$$

Απόσταση 1<sup>ου</sup> βλήτρου από ελεύθερο άκρο

$$c = \min(7d_b, 100\text{mm}) = \min(7 \cdot 10, 100\text{mm})$$

$$c = 70 \text{ mm} > 5 \cdot 10 = 50\text{mm}$$

### **Αποστάσεις μεταξύ βλήτρων**

$$s = (2500 - 70)/6 = 2430/6 = 405\text{mm}$$

Πρέπει να ισχύει:  $s_{min} < s < s_{max}$

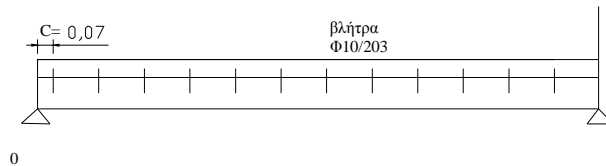
$$\text{Όπου } s_{min} = 5 \cdot d_b = 5 \cdot 10 = 50 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(6 \cdot h_{min}, 800\text{mm}) = \min(6 \cdot 80, 800\text{mm})$$

$$s_{max} = 480\text{mm}$$

$$\text{Άρα, } 50 \text{ mm} < 405 \text{ mm} < 480 \text{ mm}$$

**Οπότε B500C 12φ10/203 mm**



### **Β)Λύση με συνυπολογισμό της συνοχής**

Μέση τιμή των διατμητικών τάσεων

$$\tau = 102,4/2,5=41 \text{ kn/m}^2 = 0,041 \text{ MPa}$$

$$\tau_2^{\delta\epsilon\pi}=2*0,041=0,082 \text{ MPa}$$

**Έστω ότι η επιφάνεια έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί**

$$\tau_{\text{cud}}= 0,75*f_{\text{ctd}}$$

$$f_{\text{ctd}}=f_{\text{ctk}}0,05/1,5=0,7*f_{\text{ctm}}/1,5=1,03 \text{ MPa}$$

$$\text{Επομένως, } \tau_{\text{cud}}=0,75*1,03=0,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{max}}=0,794 < \tau_{\text{cud}}=0,8 \text{ MPa}$$

Άρα δεν απαιτείται υπολογισμός διατμητικών συνδέσμων

**Υποθέτω ομοίως με πριν φ10 B500C.**

(ελάχιστα βλήτρα που θα τοποθετηθούν)

$$A_{s\delta,\text{min}}= \rho_{\delta\text{min}}*A_{c\delta}=(0,12/100)*2500*1000=3000 \text{ mm}^2$$

Η απόσταση 1<sup>ου</sup> βλήτρου από το ελεύθερο άκρο έχει προσδιοριστεί ίση με 70 mm.

Συνεπώς, το πλήθος των απαιτούμενων βλήτρων είναι  $n = 3000/78,5=39$

Και οι αποστάσεις μεταξύ τους θα είναι  $s=(2500-70)/(39-0,5)=2430/38,5=63,1 \text{ mm}$

Όμως θα πρέπει να ισχύει και

$$s_{\text{min}}=50 \text{ mm} < s=63,1 \text{ mm} < s_{\text{max}}=480 \text{ mm}$$

### **Εναλλακτική επίλυση με χρήση βλήτρων σχήματος Γ**

**A)Αγνοώντας τριβή και συνοχή**



Επιλέγω βλήτρα φ14 B500C μορφής Γ με ελάχιστο μήκος 5 db όπου  $5db=5*14=70 \text{ mm} < t=80 \text{ mm}$

Η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού κάθε βλήτρου προκύπτει:

$$V_{ud}=(1,30/\gamma_{Rd})*db^2*\sqrt{(f_{cd}*f_{yd})}=(1,65/\gamma_{Rd})A_s*\sqrt{(f_{cd}*f_{yd})}=(1,65/1,3)*1,54*10^4*\sqrt{((20000/1,5)*(500000/1,15))}=14,88 \text{ KN}$$

$$n=102,4/14,88=7 \text{ βλήτρα } \phi 14 \text{ B500C}$$

### Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού

Για την εξασφάλιση αξιόπιστης διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας απαιτείται ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού διεπιφάνειας.

$$\rho_{d,\min}=0,20 f_{ctm}/f_{yk}=0,20*0,3 \cdot 20^{2/3}/500=0,00088=8,8\% > 0,12\%$$

$$\rho_{d,\min}=0,12\%$$

$$\text{Και } \rho_{d,\min}=A_{s\delta\min}/A_{c\delta}$$

$$\text{Με } A_{s\delta\min}=(0,12/100)2500*1000=3000 \text{ mm}^2$$

### Έλεγχος ελάχιστου ποσοστού

$$A_{s\delta}=7*A_s(\phi 14)=7*154=1078 \text{ mm}^2$$

### Διάταξη βλήτρου

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

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

$$s=(2500-100)/(7-0,5)=370 \text{ mm}$$

$$\text{Πρέπει } s_{\min} < s < s_{\max}$$

$$\text{Όπου } s_{\min}=5db=5*14=70 \text{ mm}$$

$$s_{\max}=\min(6*h_{\min},800\text{mm})=\min(6*80\text{mm},800\text{mm})=480 \text{ mm}$$

$$\text{Άρα } 70 \text{ mm} < 370 \text{ mm} < 480 \text{ mm}$$

$$\text{Άρα } 7\phi 14/370 \text{ mm}$$

### B) Λύση με συνυπολογισμό της συνοχής

Η μέση τιμή των διατμητικών τάσεων προκύπτει:

$$\tau^{\delta\text{ιε}\pi}=102,4/(1*2,5)=40,96 \text{ KN/m}^2=0,041 \text{ MPa}$$

$$\tau^{\delta\text{ιε}\pi}=2*0,041=0,082 \text{ MPa}$$

**Έστω ότι η επιφάνεια έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί**

$$f_{ctd}=1,03 \text{ MPa}$$

$$\tau_{cud}=0,75 \cdot f_{ctd}=0,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max}=0,794 \text{ MPa} < \tau_{cud}=0,8 \text{ MPa}$$

Άρα δεν απαιτείται υπολογισμός βλήτρων

Τοποθετούνται τα ελάχιστα βλήτρα υποθέτοντας ομοίως με πριν βλήτρα φ14 B500C σχήματος Γ. Τα ελάχιστα που θα τοποθετηθούν είναι:

$$A_{s\delta, \min} = \rho_{\delta, \min} \cdot A_{c\delta} = (0,12/100) \cdot 2500 \cdot 1000 = 3000 \text{ mm}^2$$

Ενώ η απόσταση 1<sup>ου</sup> βλήτρου από το ελεύθερο άκρο έχει προσδιοριστεί ίση με 100 mm.

Άρα,  $n = 3000/154 = 20$  βλήτρα

Και οι αποστάσεις μεταξύ τους θα είναι

$$S = (2500 - 100) / (20 - 0,5) = 123 \text{ mm}$$

Όμως θα πρέπει και να ισχύει  $s_{\min} = 70 \text{ mm} < s = 123 \text{ mm} < s_{\max} = 480 \text{ mm}$

Οπότε τελικά  $s = 480 \text{ mm}$

**Άρα τοποθετούνται φ14/480 mm, B500C .**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν και παρουσιάστηκαν οι τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης γραμμικών στοιχείων (δοκών) οπλισμένου σκυροδέματος, με έμφαση στην καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος. Από την μελέτη της βιβλιογραφίας και την πρακτική εφαρμογή των κανόνων διαστασιολόγησης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. προκύπτουν ενδιαφέρονται και χρήσιμα συμπεράσματα.

Πλέον είναι διαθέσιμες στο μηχανικό πολλές τεχνικές και διαφορετικά υλικά για την επέμβαση σε δοκούς υφιστάμενων κατασκευών. Η επιλογή του υλικού και του τύπου της επέμβασης εξαρτάται από το είδος και τη σοβαρότητα της βλάβης (όταν γίνεται επισκευή) και το στοχευόμενο αποτέλεσμα (για τις ενισχύσεις).

Γενικά η επισκευή των δοκών που έχουν βλάβες από σεισμό βασίζεται στην αποκατάσταση της διατομής τους με τοπικού χαρακτήρα επεμβάσεις. Ωστόσο στις ενισχύσεις, εκτός από την προσθήκη νέου οπλισμού και σκυροδέματος με τη μορφή ανοικτού ή κλειστού μανδύα, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης νέων υλικών όπως τα Ινοπλισμένα Πολυμερή, σε μορφή ελασμάτων ή υφασμάτων που πετυχαίνουν τη ζητούμενη αύξηση της αντοχής με μικρότερες παρεμβάσεις στο στοιχείο που ενισχύεται.

Όσον αφορά την προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος και οπλισμού στην εφελκυόμενη ζώνη δοκών, όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία που εξετάστηκε και τους Κανονισμούς, μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την απόδοση της επέμβασης είναι η συμπεριφορά της διεπιφάνειας παλαιού και νέου σκυροδέματος.

Τα στοιχεία από πειραματικές έρευνες που παρουσιάστηκαν αποδεικνύουν ότι η κατάλληλη προετοιμασία της διεπιφάνειας οδηγεί σε αύξηση της τριβής και της συνοχής, των μηχανισμών δηλαδή που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της που είναι και το ζητούμενο. Για το λόγο αυτό οι σύγχρονοι Κανονισμοί προτείνουν την κατάλληλη προετοιμασία («αγρίεμα» με μηχανικά μέσα) της διεπιφάνειας.

Σημαντική είναι τέλος η συμβολή του οπλισμού της διεπιφάνειας (βλήτρα) που απαιτείται σύμφωνα με τους Κανονισμούς. Από τα πρακτικά παραδείγματα που παρουσιάστηκαν προκύπτει ότι η διαδικασία διαστασιολόγησης των βλήτρων είναι απλή στην εφαρμογή της.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η χρήση βλήτρων μορφής «Γ» πρέπει να προτιμάται, καθώς, αν και δε μειώνει σημαντικά το απαιτούμενο εμβαδόν του οπλισμού, οδηγεί σημαντικά μικρότερο αριθμό βλήτρων (τεμάχια) κάνοντας τελικά ευκολότερη και οικονομικότερη την κατασκευή (πιο γρήγορα εφαρμογή, εξοικονόμηση εργατοωρών).

Τέλος σημειώνεται ότι στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν κρίσιμο προέκυψε το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού, καθώς οι προετοιμασμένες διεπιφάνειες είχαν επαρκή διατμητική αντοχή. Το ποσοστό αυτό, για την περίπτωση της πλάκας που μελετήθηκε, πιθανόν είναι αρκετά συντηρητικό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ροβήλος Αθανάσιος, Μετασεισμικός Έλεγχος σε Κτίρια- Σεισμική Παθολογία Κτιρίων- Οδηγίες και Μέθοδοι Επισκευών Κτιρίων με Βλάβες από Σεισμό, Αθήνα 2001
- [2] Σ. Η. Δρίτσος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα 2002
- [3] ΚΑΝ.ΕΠΕ. - ΚΑΝονισμός ΕΠΕμβάσεων, Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, 2012
- [4] Ιστοσελίδα- [file:///E:/kanepe\\_mpardakis\\_1.pdf](file:///E:/kanepe_mpardakis_1.pdf)
- [5] Τσιούλου Θ. Ουρανία, Πειραματική Μελέτη και Αναλυτική Εκτίμηση της Συμπεριφοράς Δοκών Οπλισμένου Σκυροδέματος Ενισχυμένων με Νέες Στρώσεις Σκυροδέματος, Πάτρα 2010
- [6] Σ. Η. Δρίτσος, Καμπτική Ενίσχυση Δοκού με Πρόσθετη Στρώση Σκυροδέματος (αριθμητική εφαρμογή)
- [7] Ιστοσελίδα  
[https://www.google.gr/search?biw=1304&bih=677&tbm=isch&sa=1&q=%CE%84%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%82+%CE%B2%CE%BB%CE%B1%CE%B2%CE%B5%CF%82+%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CF%89%CE%BD&oq=%CE%84%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%82+%CE%B2%CE%BB%CE%B1%CE%B2%CE%B5%CF%82+%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CF%89%CE%BD&gs\\_l=psy-ab.3...14836.22903.0.23307.23.23.0.0.0.150.2899.0j21.21.0...0...1.1.64.psy-ab..2.0.0....0.TNnsCre2kvo](https://www.google.gr/search?biw=1304&bih=677&tbm=isch&sa=1&q=%CE%84%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%82+%CE%B2%CE%BB%CE%B1%CE%B2%CE%B5%CF%82+%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CF%89%CE%BD&oq=%CE%84%CE%BF%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%82+%CE%B2%CE%BB%CE%B1%CE%B2%CE%B5%CF%82+%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CF%89%CE%BD&gs_l=psy-ab.3...14836.22903.0.23307.23.23.0.0.0.150.2899.0j21.21.0...0...1.1.64.psy-ab..2.0.0....0.TNnsCre2kvo)
- [8] Ιστοσελίδα  
[https://www.google.gr/search?biw=1304&bih=677&tbm=isch&sa=1&q=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1&oq=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1&gs\\_l=psy-ab.3...4720.8379.0.9465.12.11.1.0.0.181.1537.0j11.11.0...0...1.1.64.psy-ab..0.3.335...0.0.nHSurEdTshI#imgrc=iUdiUqJ3T6UHxM:](https://www.google.gr/search?biw=1304&bih=677&tbm=isch&sa=1&q=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1&oq=%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1&gs_l=psy-ab.3...4720.8379.0.9465.12.11.1.0.0.181.1537.0j11.11.0...0...1.1.64.psy-ab..0.3.335...0.0.nHSurEdTshI#imgrc=iUdiUqJ3T6UHxM:)
- [9] Ιστοσελίδα  
[https://www.google.gr/search?biw=1304&bih=677&tbm=isch&sa=1&q=%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1+%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B7&oq=%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1+%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B7&gs\\_l=psy-](https://www.google.gr/search?biw=1304&bih=677&tbm=isch&sa=1&q=%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1+%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B7&oq=%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1+%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B7&gs_l=psy-)

[ab.3...400841.409116.0.410240.42.27.0.0.0.0.235.3368.0j15j4.20.0....0...1.1.64.psy-ab..24.9.1714.0..0j0i24k1j0i10i24k1.178.ojwpnIOFZXI#imgrc=A3Hb\\_CZhze4yAM:](http://ab.3...400841.409116.0.410240.42.27.0.0.0.0.235.3368.0j15j4.20.0....0...1.1.64.psy-ab..24.9.1714.0..0j0i24k1j0i10i24k1.178.ojwpnIOFZXI#imgrc=A3Hb_CZhze4yAM:)

[10] Ιστοσελίδα

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CF%85%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CF%8C%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwilpYXX2tnWAhXIAMAKHar5Dw0Q\\_AUICigB&biw=1304&bih=677#imgrc=0qvHSh\\_8cMx70M:](https://www.google.gr/search?q=%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CF%85%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CF%8C%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwilpYXX2tnWAhXIAMAKHar5Dw0Q_AUICigB&biw=1304&bih=677#imgrc=0qvHSh_8cMx70M:)

[11] Ιστοσελίδα

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B1+%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwidzeTf2dnWAhUmK8AKHaPbCpMQ\\_AUICigB&biw=1304&bih=677#imgrc=z7rjri3QnNycGM:](https://www.google.gr/search?q=%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B1+%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwidzeTf2dnWAhUmK8AKHaPbCpMQ_AUICigB&biw=1304&bih=677#imgrc=z7rjri3QnNycGM:)

[12] Ιστοσελίδα

[https://www.google.gr/search?q=%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B1+%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwidzeTf2dnWAhUmK8AKHaPbCpMQ\\_AUICigB&biw=1304&bih=677#imgdii=O36I9SbUU4jH1M:&imgrc=mwc1G\\_TipWr-1M:](https://www.google.gr/search?q=%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B1+%CE%B1%CE%B3%CE%BA%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwidzeTf2dnWAhUmK8AKHaPbCpMQ_AUICigB&biw=1304&bih=677#imgdii=O36I9SbUU4jH1M:&imgrc=mwc1G_TipWr-1M:)