

# ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διδάσκων Καθηγητής  
Γιάννακας Νικόλαος  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

## Κεφάλαιο 2

# Επισκευή και Ενίσχυση Δομικών Στοιχείων

Η συμπεριφορά του στοιχείου που προκύπτει με εφαρμογή μίας από τις μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την **απόκριση της διεπιφάνειας παλαιού και νέου στοιχείου**. Η απόκριση της διεπιφάνειας μεταβάλλεται ανάλογα με το **βαθμό ολίσθησης** που επιτρέπει ο τρόπος σύνδεσης των δύο στοιχείων κατά μήκος της μεταξύ τους διεπιφάνειας και εκφράζεται μέσω ενός διαγράμματος διατμητικού φορτίου-ολίσθησης.

Επειδή η **διαδικασία** για τον υπολογισμό της σχετικής ολίσθησης και κατά συνέπεια ο σχεδιασμός των σύνθετων μελών που προκύπτουν μετά την επέμβαση προϋποθέτει τη χρήση αναλυτικών προσομοιωμάτων και είναι ιδιαίτερα **πολύπλοκη**, σε συνήθη οικοδομικά έργα η συνήθης πρακτική είναι να εφαρμόζεται η απλούστερη προσεγγιστική μέθοδος της εφαρμογής κατάλληλων **συντελεστών μονολιθικότητας**.

Οι **συντελεστές μονολιθικότητας** = διορθωτικοί συντελεστές που εκφράζουν την αβεβαιότητα στην προσομοίωση των διατομών που υφίστανται την επέμβαση.

Συσχετίζουν τα πραγματικά χαρακτηριστικά απόκρισης της επισκευασμένης ή ενισχυμένης διατομής με τα αντίστοιχα μιας μονολιθικής διατομής και διακρίνονται σε συντελεστές μονολιθικότητας δυσκαμψίας  $k_k$  και συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής  $k_r$ .

Οι συντελεστές μονολιθικότητας παίζουν το ρόλο μειωτικών συντελεστών οπότε παίρνουν πάντα **τιμές μικρότερες ή ίσες της μονάδας**.

Συνήθως είναι  $k_k < k_r$ , δηλαδή η ασυνέχεια μεταξύ παλαιού και νέου στοιχείου επιδρά περισσότερο στη δυσκαμψία παρά στην αντοχή του στοιχείου.

## Συντελεστές Μονολιθικότητας Δυσκαμψίας

Αναφέρονται στην απομείωση των αδρανειακών χαρακτηριστικών της σύνθετης διατομής που προκύπτει μετά την επέμβαση ως προς τα αντίστοιχα της ίδιας διατομής θεωρούμενης ως μονολιθικής

$$k_k = \frac{\text{Δυσκαμψία σύνθετης διατομής}}{\text{ίδιας "μονολιθικής διατομής" Δυσκαμψία}} \leq 1$$

Μικροί  $k_k$  -> μείωση M,V που αναλαμβάνουν τα ενισχυμένα μέλη



αυξάνουν την ένταση στα άλλα μέλη

## Συντελεστές Μονολιθικότητας Αντοχής

Αφορούν στην απομείωση της αντοχής, δηλαδή της ικανότητας παραλαβής αξονικού, διατμητικού ή καμπτικού φορτίου, της σύνθετης διατομής ως προς την αντίστοιχη της ίδιας διατομής θεωρούμενης ως Μονολιθικής

$$k_r = \frac{\text{Αντοχή σύνθετης διατομής}}{\text{Αντοχή ίδιας "μονολιθικής διατομής "}} \leq 1$$

Οι συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής εφαρμόζονται κατά τη διαστασιολόγηση του επισκευαζόμενου ή ενισχυόμενου μέλους απομειώνοντας την αντοχή του, έτσι ώστε να ικανοποιείται η βασική ανίσωση ασφαλείας

$$S_d \leq k_r R_d$$

## Επισκευή και ενίσχυση δοκών

Συνηθισμένο αντικείμενο επέμβασης λόγω

- βλαβών που έχουν υποστεί
- λόγω πρόσθετων φορτίων που καλούνται να παραλάβουν

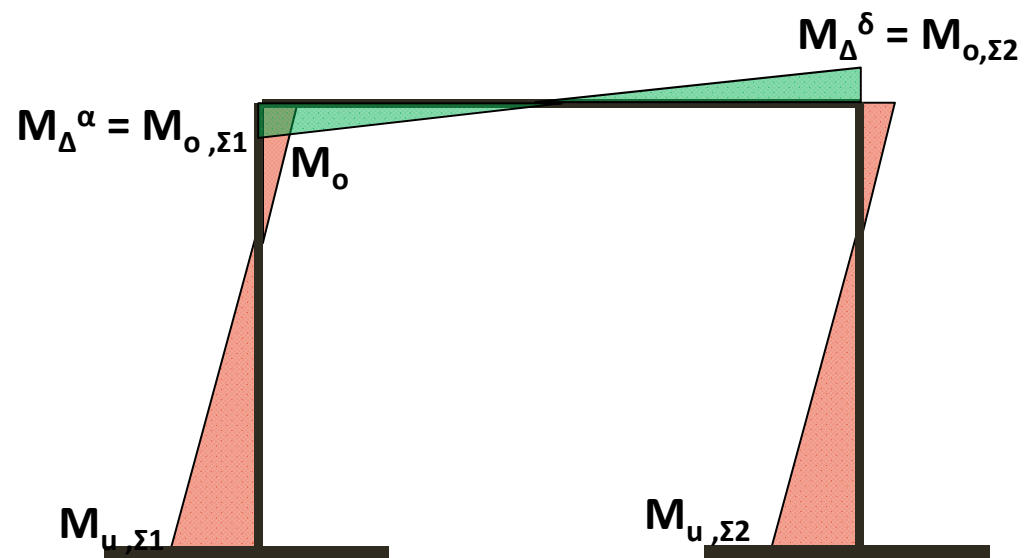
Η επέμβαση περιλαμβάνει

- μόνο την επισκευή των υφιστάμενων βλαβών, όπου αυτές υπάρχουν
- επιπλέον την ενίσχυση της δοκού (περαιτέρω βελτίωση των ιδιοτήτων της)

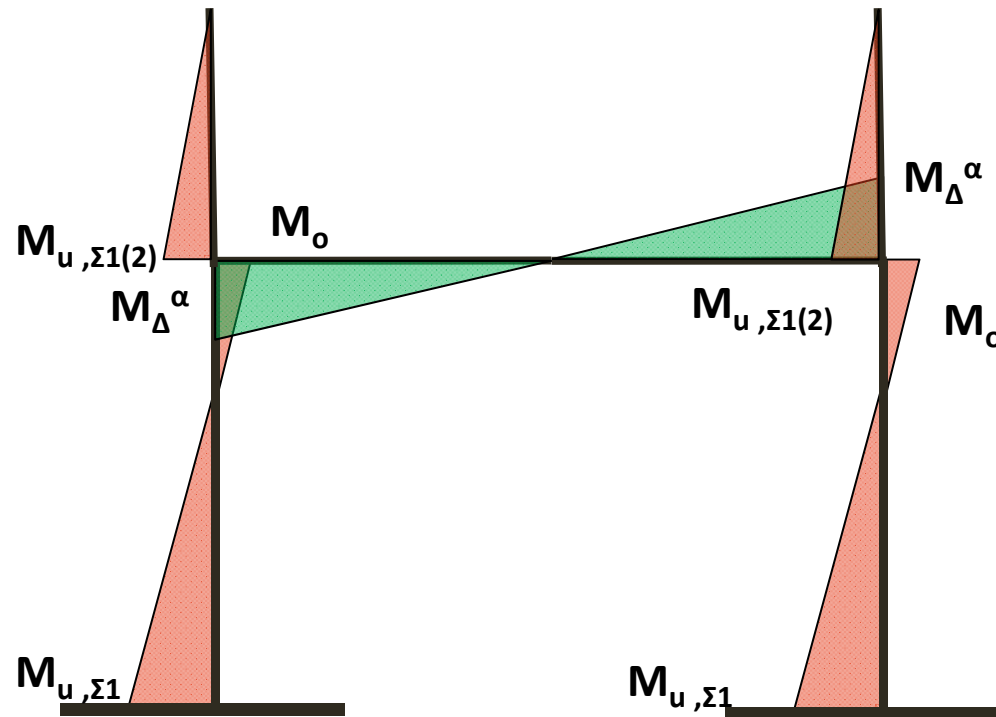
Σεισμικής καταπόνηση

οι βλάβες επικεντρώνονται κατά κανόνα στην περιοχή του κόμβου δοκού και υποστυλώματος.

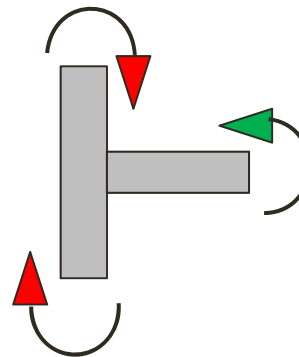
Κατά συνέπεια, στις περιπτώσεις αυτές η επέμβαση στις βλαμμένες δοκούς αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου σχεδίου επεμβάσεων που μπορεί να περιλαμβάνει τους κόμβους καθώς και τα κατακόρυφα στοιχεία που συντρέχουν σε αυτούς.





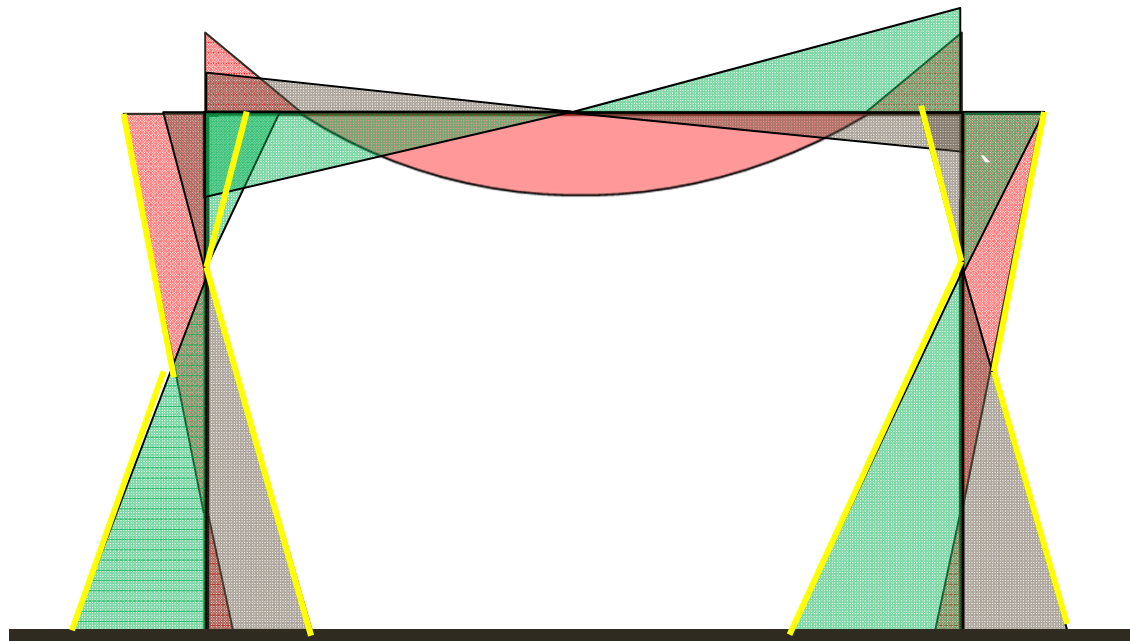


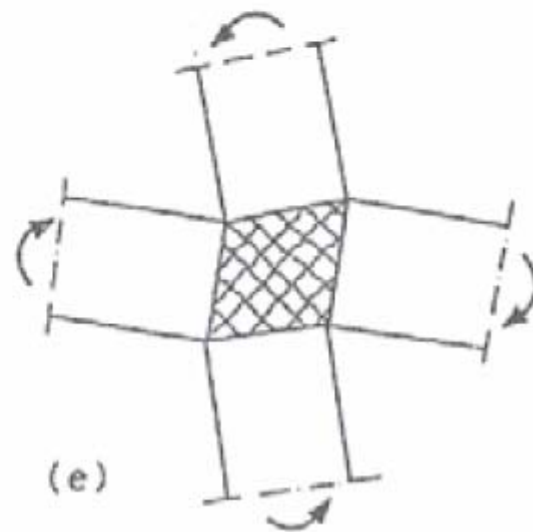
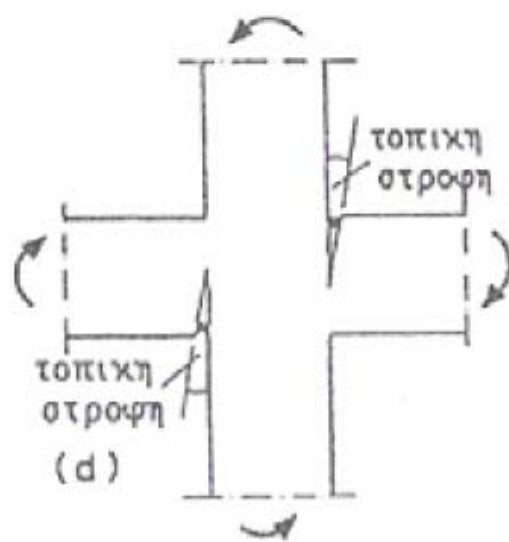
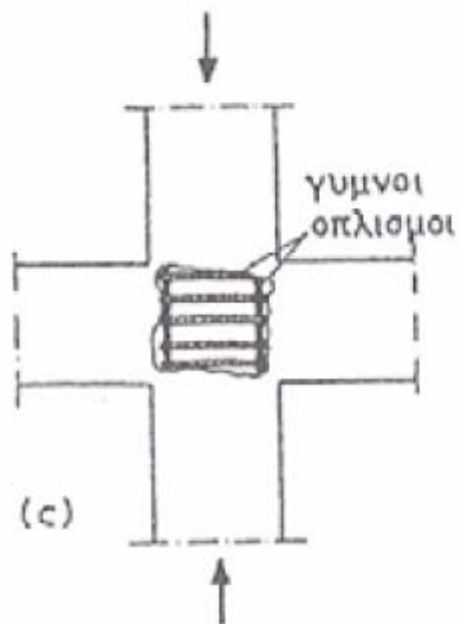
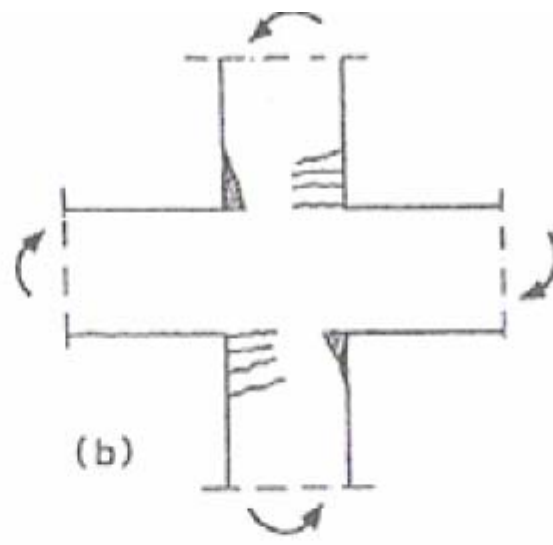
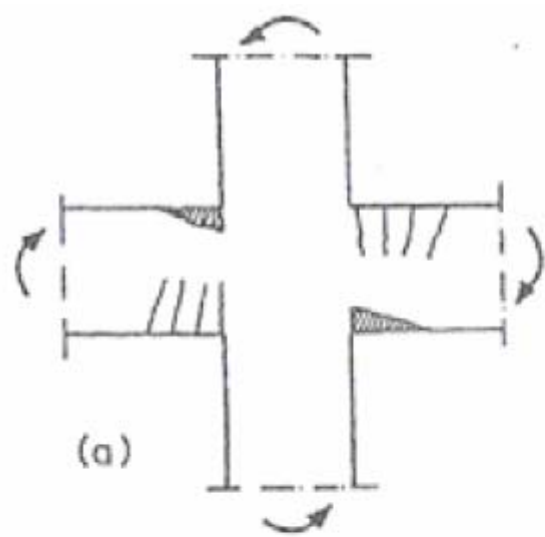
$$M_{\Delta}^{\alpha} = M_{o,\Sigma 1} + M_{o,\Sigma 1(2)}$$

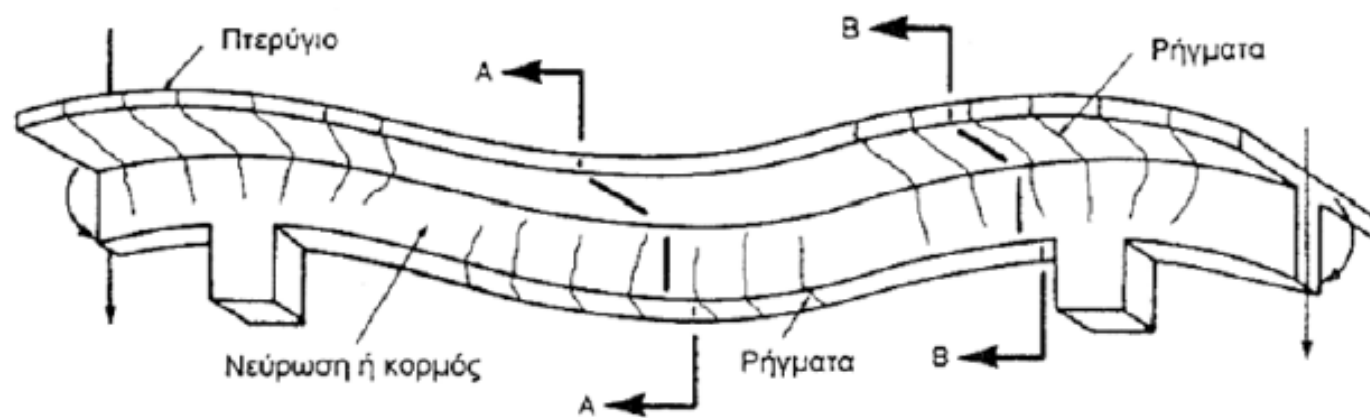


**1,35G+1,5Q**

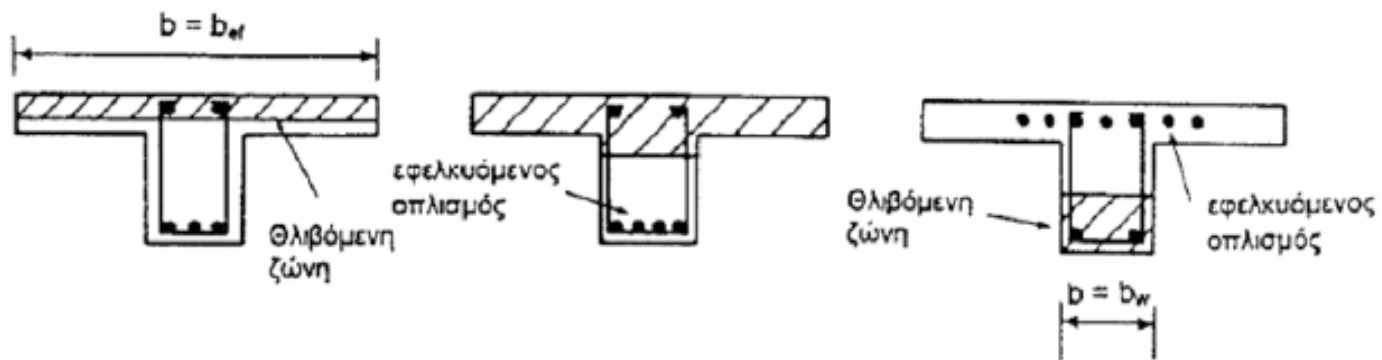
**G+0,3Q**







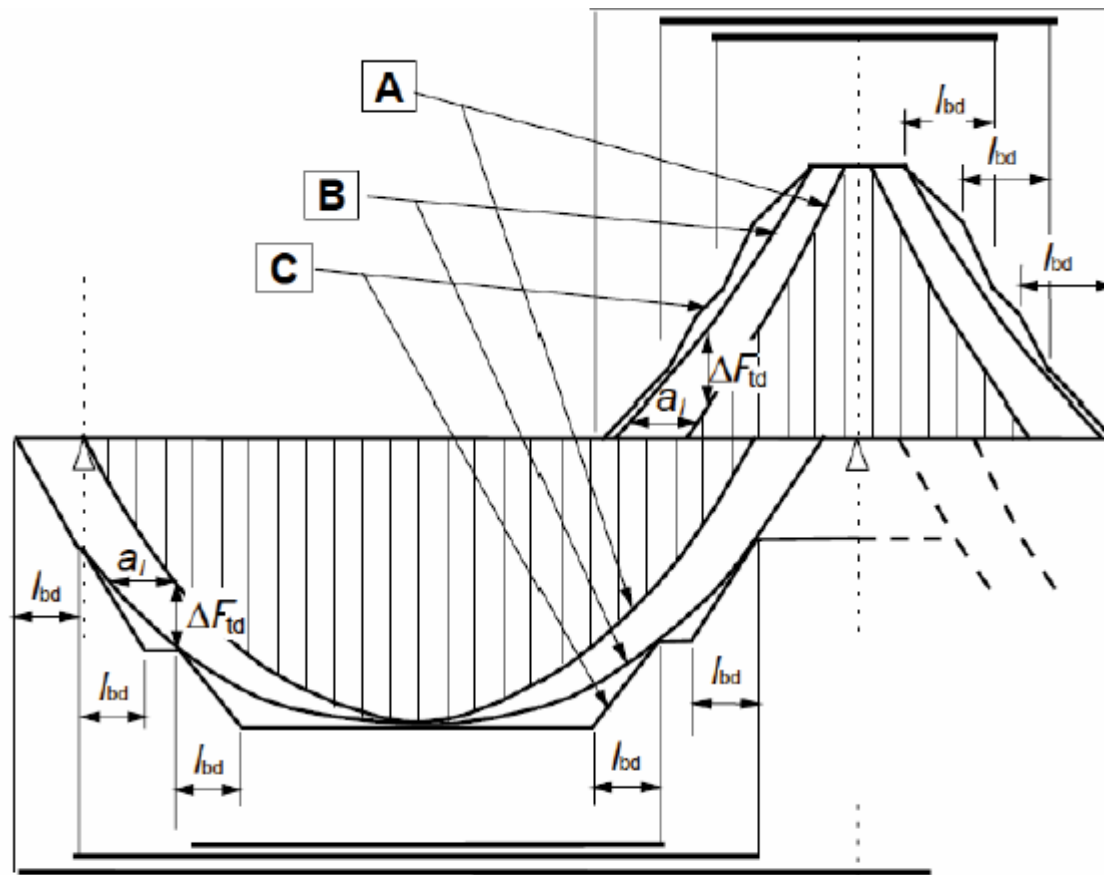
(a) Παραμορφώμενη δοκός



(b) Διατομή A - A  
(ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη)

(c) Διατομή A - A  
(θλιβόμενη ζώνη σχήματος T)

(d) Διατομή B - B  
(αρνητική ροπή)



**A**— Περιβάλλουσα των  
εφελκυστικών δυνάμεων  
 $M_{Ed}/Z + N_{Ed}$

**B**— Δρώσα εφελκυστική  
δύναμη  $F_s$

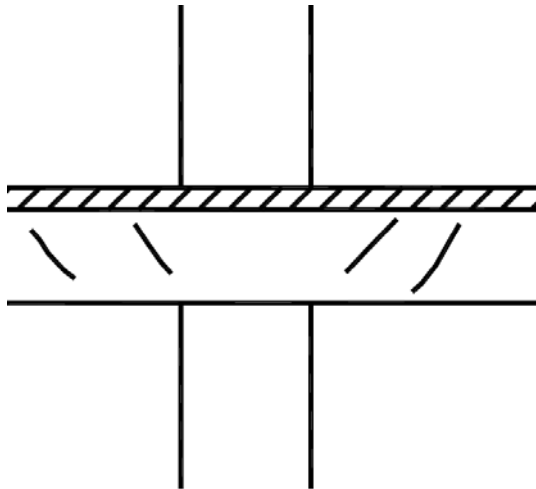
**C**— Εφελκυστική  
δύναμη αντοχής  $F_{Rs}$

## Επισκευή Δοκών

Στόχος η αποκατάσταση των **χαρακτηριστικών** που είχε πριν υποστεί τις βλάβες όσον αφορά τόσο στην **αντοχή** όσο και στη **δυσκαμψία** της.

Η επιλογή της μεθόδου επισκευής **εξαρτάται από το βαθμό της βλάβης** που έχει υποστεί η δοκός.

Στην περίπτωση ελαφρών βλαβών, η επισκευή της δοκού γίνεται με συγκόλληση των ρωγμών με εποξική ρητίνη



*Ρητινερέσεις για συγκόλληση ρωγμών σε δοκό.*





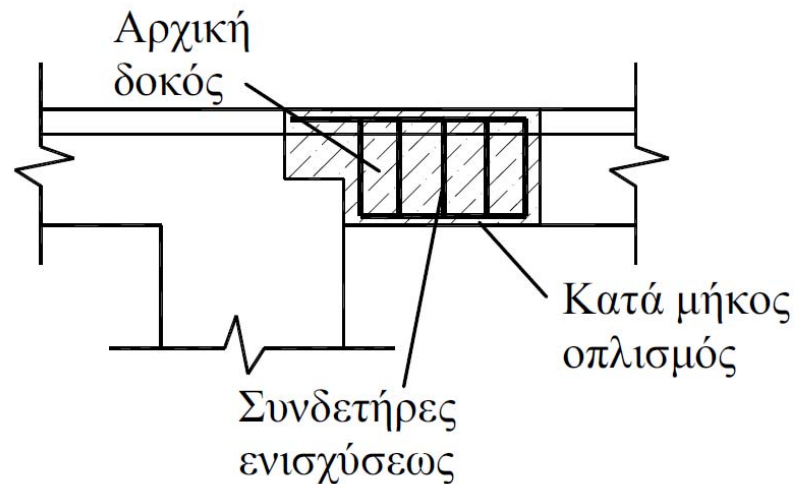
Εάν επιπλέον της ρηγμάτωσης παρατηρείται **επιφανειακή αποφλοίωση** του σκυροδέματος χωρίς όμως αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της διατομής του πυρήνα, ο φλοιός αποκαθίσταται με χρήση **επισκευαστικού κονιάματος**. Το κονίαμα που επιλέγεται έχει συνήθως **ως βάση κάποιο είδος ρητίνης**, εκτός εάν το βάθος της αποφλοίωσης είναι μεγαλύτερο, οπότε προτιμώνται **μη συρρικνούμενα κονιάματα** με βάση το τσιμέντο.





Εάν η δοκός έχει υποστεί τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε περιορισμένη έκταση, η διαδικασία που υιοθετείται για την επισκευή της περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Υποστύλωση της δοκού.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- Τοποθέτηση στην εξωτερική παρειά της δοκού ελαφρού δομικού πλέγματος (
- Διάστρωση εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος.



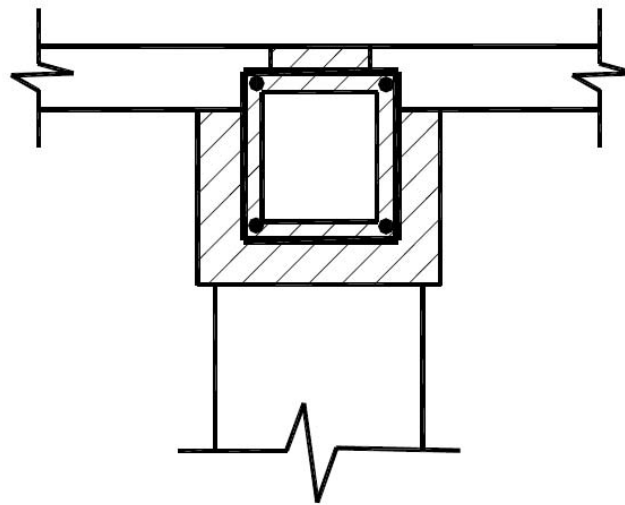
*Σχήμα 4.2.: Επισκευή δοκού με ελαφρύ δομικό πλέγμα.*

Εναλλακτικά συχνά επιλέγεται η **ταυτόχρονη ενίσχυση της δοκού με μανδύα** οπλισμένου σκυροδέματος. Πριν την κατασκευή του μανδύα απαιτείται

- **θραύση της πλάκας** στην περιοχή που θα τοποθετηθεί ο μανδύας
- **εκτράχυνση της εξωτερικής επιφάνειας της δοκού** που θα συνδεθεί με αυτόν

Στη συνέχεια τοποθετούνται **διαμήκης οπλισμοί και συνδετήρες**

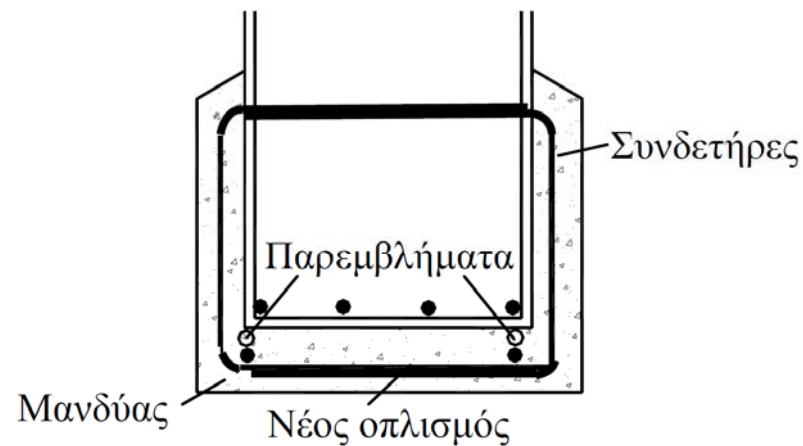
Για την κατασκευή του μανδύα χρησιμοποιείται **έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**.



*Σχήμα 4.3.: Επισκευή δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.*

Εάν οι βλάβες της δοκού **οφείλονται σε κάμψη**, πριν τη διάστρωση του σκυροδέματος για τη δημιουργία του μανδύα, γίνεται αποκάλυψη του υπάρχοντος οπλισμού της δοκού σε ορισμένες θέσεις και συγκόλληση νέου οπλισμού κάμψης πάνω στον παλιό μέσω παρεμβλημάτων (Σχήμα 4.4). Η σύνδεση του μανδύα με την υφιστάμενη διατομή από σκυρόδεμα γίνεται είτε με συνδετήρες, οι οποίοι αγκυρώνονται σε οριζόντιες οπές που διανοίγονται στον κορμό της δοκού που ενισχύεται, είτε με χημικώς πακτωμένα βλήτρα.

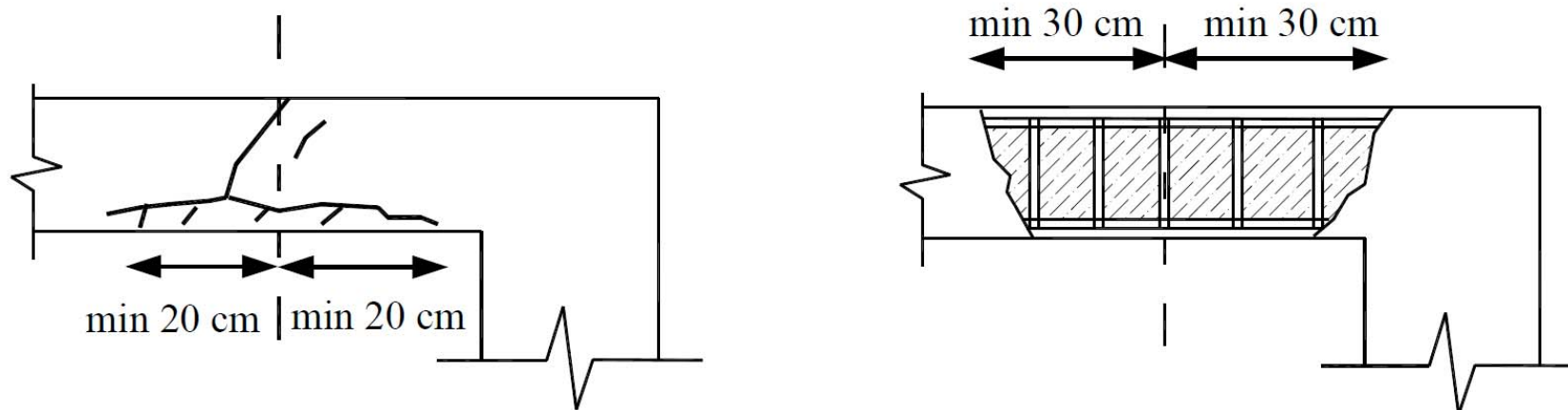
Όταν η ενίσχυση της δοκού συνοδεύεται από αύξηση του πάχους της υπερκείμενης πλάκας, οι συνδετήρες για τη σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου περικλείουν ολόκληρη την ενισχυόμενη δοκό.



**Σχήμα 4.4.:** Μανδύας για επισκευή δοκού σε κάμψη.

Όταν εμφανίζεται **πλήρης αποδιοργάνωση** του σκυροδέματος τμήματος της δοκού που συνοδεύεται από **βλάβες τόσο του διαμήκους, όσο και του εγκάρσιου οπλισμού**, η τεχνική που εφαρμόζεται η **καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής**:

- Υποστύλωση της δοκού.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος σε ολόκληρο το βλαμμένο τμήμα της δοκού και προσεκτικός καθαρισμός της εναπομένουσας διατομής.
- Έλεγχος του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού και ενίσχυση αυτού εάν απαιτείται με ηλεκτροσυγκόλληση νέων ράβδων.
- Απομάκρυνση των διαρρηγμένων και τοποθέτηση νέων πυκνών συνδετήρων
- Διαμόρφωση των παρειών του παλαιού σκυροδέματος.
- Τοποθέτηση ξυλότυπου.
- Σκυροδέτηση του καθαιρεθέντος τμήματος με έγχυτο σκυρόδεμα ή διάστρωση εγκιβωτισμένου σκυροδέματος (pre-packed concrete).



Όσον αφορά στη συμπεριφορά των επισκευασμένων δοκών, θεωρούμε ότι με σωστή εφαρμογή μίας από τις παραπάνω μεθόδους, τόσο η δυσκαμψία όσο και η αντοχή τους μπορούν να αποκατασταθούν πλήρως.

Κατά συνέπεια οι διορθωτικοί συντελεστές μονολιθικότητας  $k_k$  και  $k_r$  μπορούν να λαμβάνονται ίσοι με τη μονάδα.

## **Ενίσχυση Δοκών**

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης μίας δοκού εξαρτάται άμεσα από τον επιδιωκόμενο στόχο. Κατά κανόνα, μεταξύ του συνόλου των δοκών της κατασκευής που ανασχεδιάζεται, ενισχύονται αυτές που εμφανίζουν ανεπαρκή καμπτική ή/και διατμητική αντοχή με βάση τις απαιτήσεις και τα κριτήρια σχεδιασμού της επιλεγείσας στάθμης επιτελεστικότητας.

Επίσης, ένας άλλος συνήθης λόγος ενίσχυσης είναι η αύξηση των φορτίων που καλείται να παραλάβει η υπόψη δοκός λόγω αλλαγής χρήσης του κτιρίου.

### **Μέθοδοι ενίσχυσης δοκών**

1. Ενίσχυση σε Κάμψη με Πρόσθετες Στρώσεις Σκυροδέματος
2. Ενίσχυση με Προσθήκη Νέων Μεταλλικών Μελών
3. Ενίσχυση με Μείωση του Ανοίγματος της Δοκού
4. Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκυσμένου Οπλισμού
5. Ενίσχυση με Προσθήκη Επικολητών Χαλύβδινων Ελασμάτων
6. Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση
7. Ενίσχυση Δοκών με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

## 1. Ενίσχυση σε Κάμψη με Πρόσθετες Στρώσεις Σκυροδέματος

Εφαρμόζεται όταν η αντοχή μίας δοκού σε κάμψη δεν πληροί τα κριτήρια σχεδιασμού

Ενίσχυση του εφελκόμενου πέλματος με νέους διαμήκεις οπλισμούς που καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε όλοτο πλάτος της δοκού

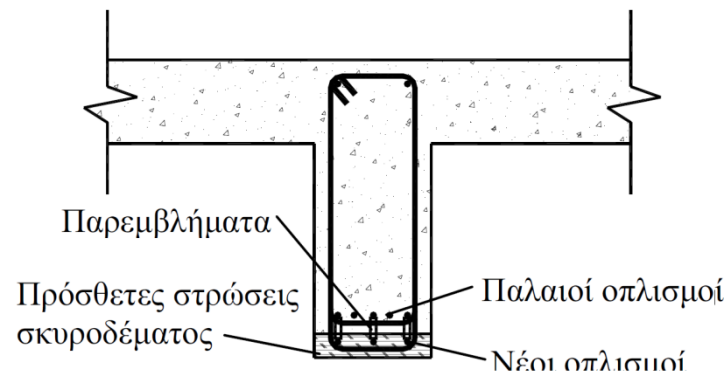
Το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι της τάξης των 7 - 10 cm

Λγότερο συνηθισμένη περίπτωση ενίσχυσης του θλιβόμενου πέλματος



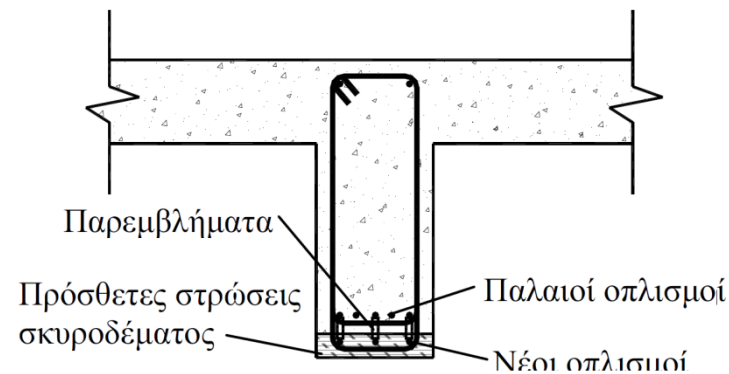
δεν είναι απαραίτητη η χρήση νέου οπλισμού

αντί για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί **έγχυτο**

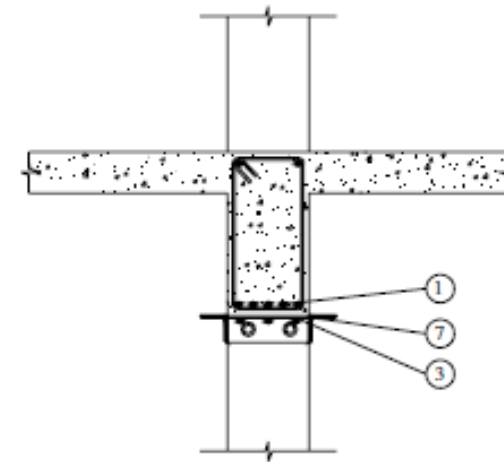
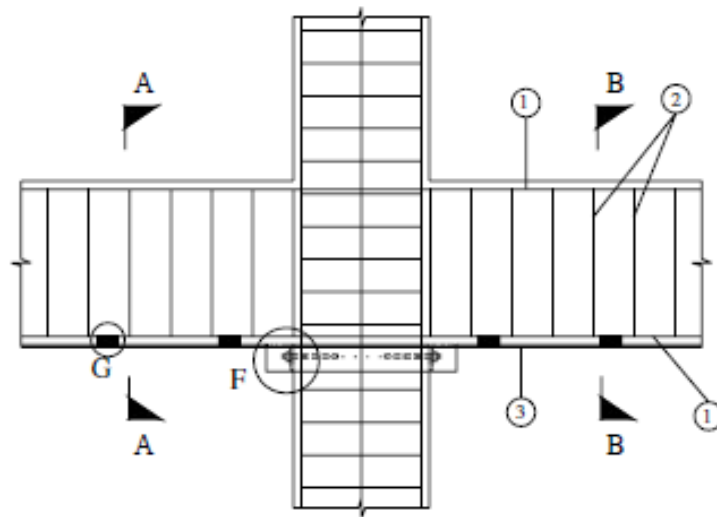


**!! Πριν την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να γίνεται αποφόρτιση της ενισχυόμενης δοκού στο μέγιστο δυνατό βαθμό**

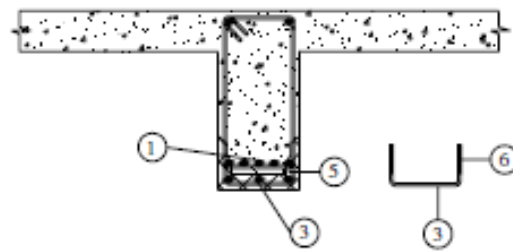
- Σύνδεση του υπάρχοντος με το νέο οπλισμό γίνεται μέσω παρεμβλημάτων
- Ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των οπλισμών, τα παρεμβλήματα μπορούν να είναι καβίλιες ή αναρτήρες.
- Όταν το πάχος της νέας στρώσης σκυροδέματος είναι μεγάλο, η σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου μπορεί να γίνει με μονότμητα ή δίτμητα βλήτρα.
- Το πλεονέκτημα της χρήσης βλήτρων είναι ότι με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι αρνητικές συνέπειες της ηλεκτροσυγκόλλησης στις ιδιότητες του χάλυβα.
- Η επιφάνεια του πέλματος που ενισχύεται πρέπει να έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί έως ότου αποκαλυφθούν τα αδρανή. Η εκτράχυνση γίνεται με υδροβολή ή κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό. Η προσεκτική προετοιμασία της διεπιφάνειας για τη σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη προκειμένου να αποφευχθεί η αποκόλληση των πρόσθετων στρώσεων σκυροδέματος όταν η ενισχυμένη δοκός κληθεί να παραλάβει τα επιπλέον φορτία.



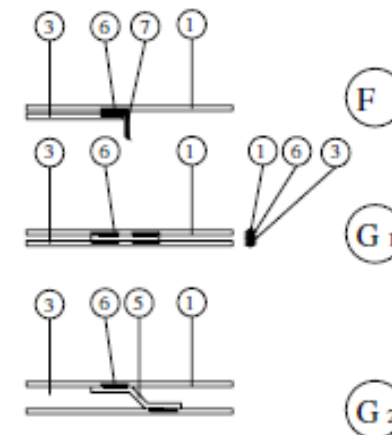




Τομή A - A



Τομή B - B



- (1) Παλαιοί οπλισμοί
- (2) Παλαιοί συνδετήρες
- (3) Πρόσθετος διαμήκης οπλισμός
- (4) Πρόσθετοι συνδετήρες
- (5) Παρεμβλήματα (καβίλια ή σχήματος Z)
- (6) Συγκόλληση
- (7) Κολλάρο απο γωνιακά

## Μειονεκτήματα

1. Το κυριότερο από αυτά είναι ότι το νέο σκυρόδεμα υπόκειται σε **συστολή ξηράνσεως** έως ότου αναλάβει πλήρως την αντοχή του, ενώ αντίθετα οι διαστάσεις του αρχικού στοιχείου παραμένουν πρακτικά αμετάβλητες.



Ρηγματώση ή αποκόλλησή του προστιθέμενου στοιχείου.

**Αντιμετώπιση του προβλήματος:** συνιστάται να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με κατάλληλα χημικά πρόσθετα ή να αντικαθίσταται το τσιμέντο από μη συρρικνούμενη κονία.

2. **Διάβρωση του νέου οπλισμού και των βλήτρων** που βρίσκονται σε επαφή με το παλαιό σκυρόδεμα λόγω ηλεκτροχημικής διάβρωσης του σκυροδέματος αυτού

Οι συντελεστές μονολιθικότητας που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διαστασιολόγηση των νέων στοιχείων είναι  $k_k = 0.85$  και  $k_r = 0.90$ .

Επίσης συνιστάται τα χαρακτηριστικά των νέων υλικών, χάλυβα και σκυροδέματος, που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση να μην υπολείπονται των χαρακτηριστικών των υφιστάμενων υλικών.

## 2. Ενίσχυση με Προσθήκη Νέων Μεταλλικών Μελών

### Προσθήκη νέων μελών

Οικονομική και αποδοτική μέθοδος ενίσχυσης δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα πρόσθετα μέλη μπορούν να τοποθετηθούν είτε μεταξύ των υφιστάμενων δοκών είτε σε επαφή με τις πλευρικές παρειές τους.

Πλεονέκτημα της τοποθέτησης των μελών στο μεσοδιάστημα μεταξύ των δοκών

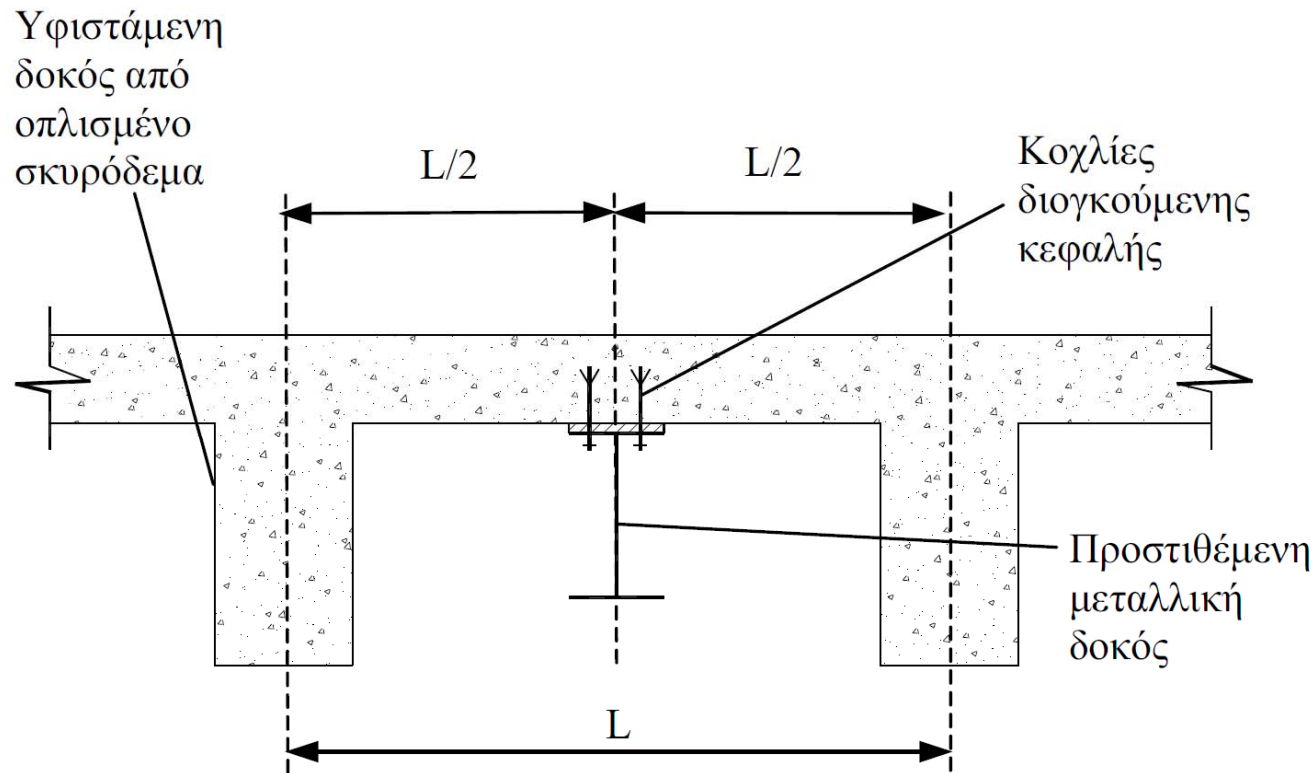


η μείωση του ανοίγματος της πλάκας στο μισό



αυξάνεται σημαντικά η φέρουσα ικανότητα τόσο της πλάκας όσο και του συστήματος των δοκών

Από την άλλη μεριά, τοποθετώντας τις νέες δοκούς στις παρειές των υφιστάμενων και εξασφαλίζοντας ότι θα λειτουργήσουν μαζί για την παραλαβή των φορτίων, δημιουργείται μία νέα σύνθετη διατομή με αυξημένη αντοχή σε σχέση με την αρχική.



*Σχήμα 4.7.: Προσθήκη μεταλλικών δοκών στο μέσο του ανοίγματος της πλάκας.*

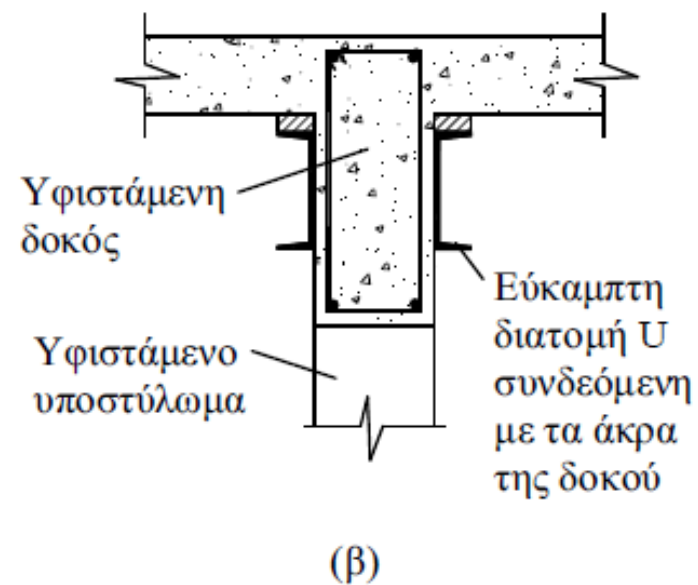
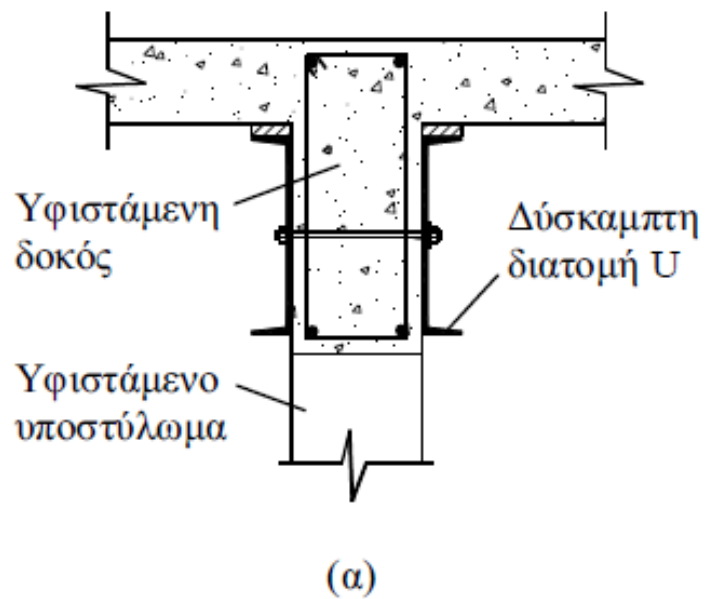
### **Παθητική προσέγγιση:**

οι νέες δοκοί παραλαμβάνουν μόνο τα πρόσθετα φορτία ενώ η υπάρχουσα πλάκα και οι δοκοί εξακολουθούν να φέρουν το ίδιο βάρος τους.

### **Ενεργητική προσέγγιση**

απαιτείται ανύψωση με γρύλους της πλάκας και των δοκών έτσι ώστε να αναιρεθούν οι παραμορφώσεις που οφείλονται στα φορτία βαρύτητας πριν την τοποθέτηση των νέων μελών.

**Η διαδικασία αυτή είναι επίπονη και συχνά με μικρή ωφέλεια.**



## Ενίσχυση με Μείωση του Ανοίγματος της Δοκού



Όταν ότι η καμπτική αντοχή μίας δοκού είναι ανεπαρκής, η υπόψη δοκός, υπό την προϋπόθεση ότι βρίσκεται στο **ισόγειο της κατασκευής**

Εναλλακτικά το άνοιγμα της δοκού μπορεί να μειωθεί με την τοποθέτηση διαγώνιων συνδέσμων από τη βάση των υφιστάμενων υποστυλωμάτων έως ορισμένο σημείο της κάτω παρειάς της δοκού. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η κατασκευή των πρόσθετων θεμελίων.

### **Μειονέκτημα**

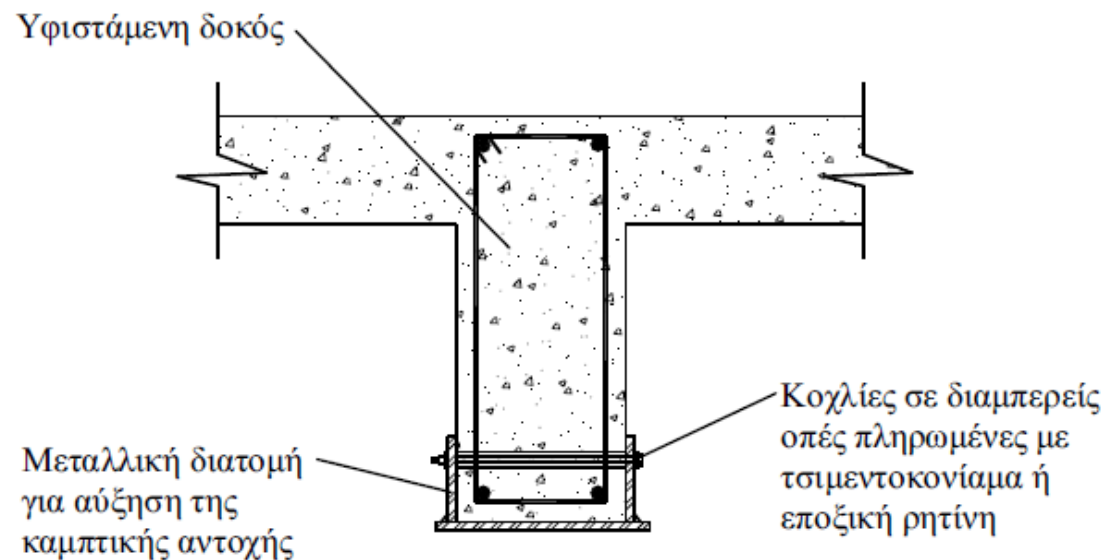
- Θυσιάζουν μέρος του ωφέλιμου χώρου κάτω από τις ενισχυόμενες δοκούς
- Τα νέα υποστυλώματα απαιτούν θεμέλια, η κατασκευή των οποίων καθιστά αναγκαία την απομάκρυνση τμήματος της πλάκας του δαπέδου.
- Το κόστος μίας τέτοιας επέμβασης ενδέχεται να είναι απαγορευτικό.

Ενδείκνυται η χρήση στοιχείων από χάλυβα  
δεν παρουσιάζει συστολή ξηράνσεως  
μπορεί να εγκατασταθεί γρήγορα και εύκολα

## Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκυσμένου Οπλισμού

Όταν η καμπτική αντοχή της υφιστάμενης δοκού δεν επαρκεί, μπορεί να ενισχυθεί επιτόπου με την προσθήκη χαλύβδινων ελασμάτων ή ακόμα και συγκολλητών μεταλλικών διατομών που κοχλιώνονται στη δοκό.

Η συγκολλητή διατομή σχήματος ανεστραμμένου Π χρησιμοποιείται στην περίπτωση που το εμβαδό του απαιτούμενου πρόσθετου οπλισμού είναι σημαντικό. Με βάση την παθητική προσέγγιση σχεδιασμού ο νέος χάλυβας παραμένει ανενεργός έως ότου το σκυρόδεμα αρχίσει να παραμορφώνεται λόγω του πρόσθετου φορτίου.









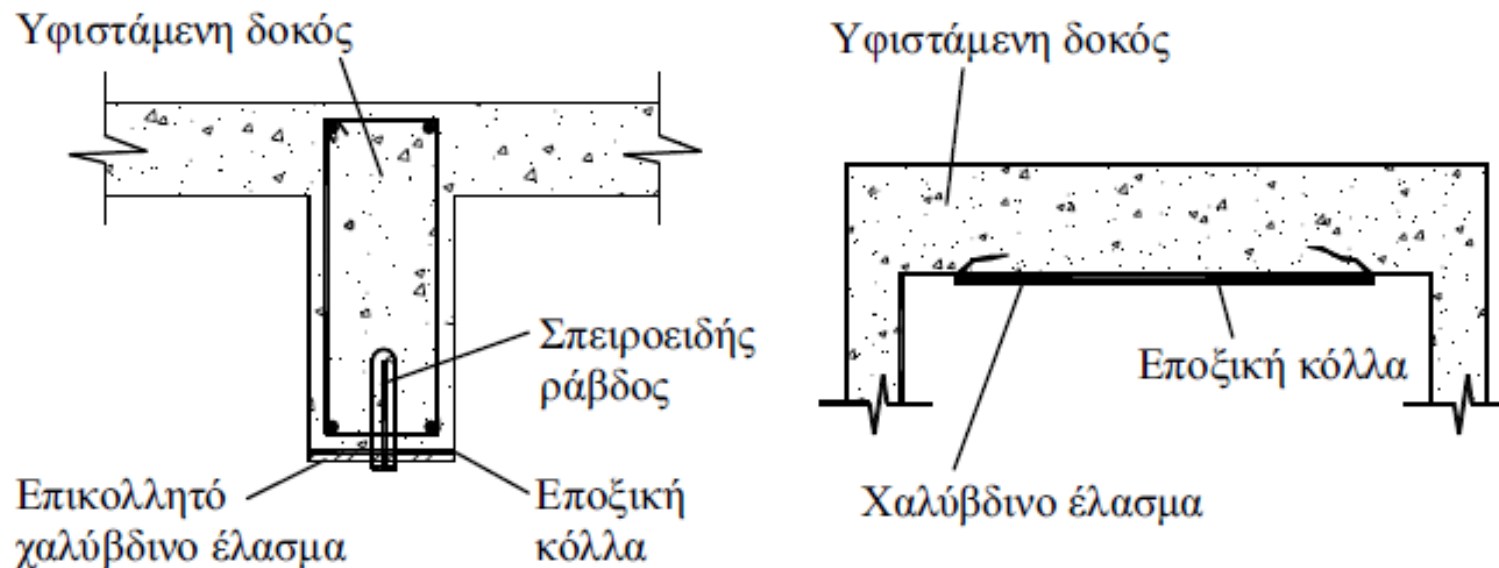
## Ενίσχυση με Προσθήκη Επικολητών Χαλύβδινων Ελασμάτων

Αντί κοχλιών τα χαλύβδινα ελάσματα επικολλούνται με εποξική κόλλα

### Πλεονεκτήματα

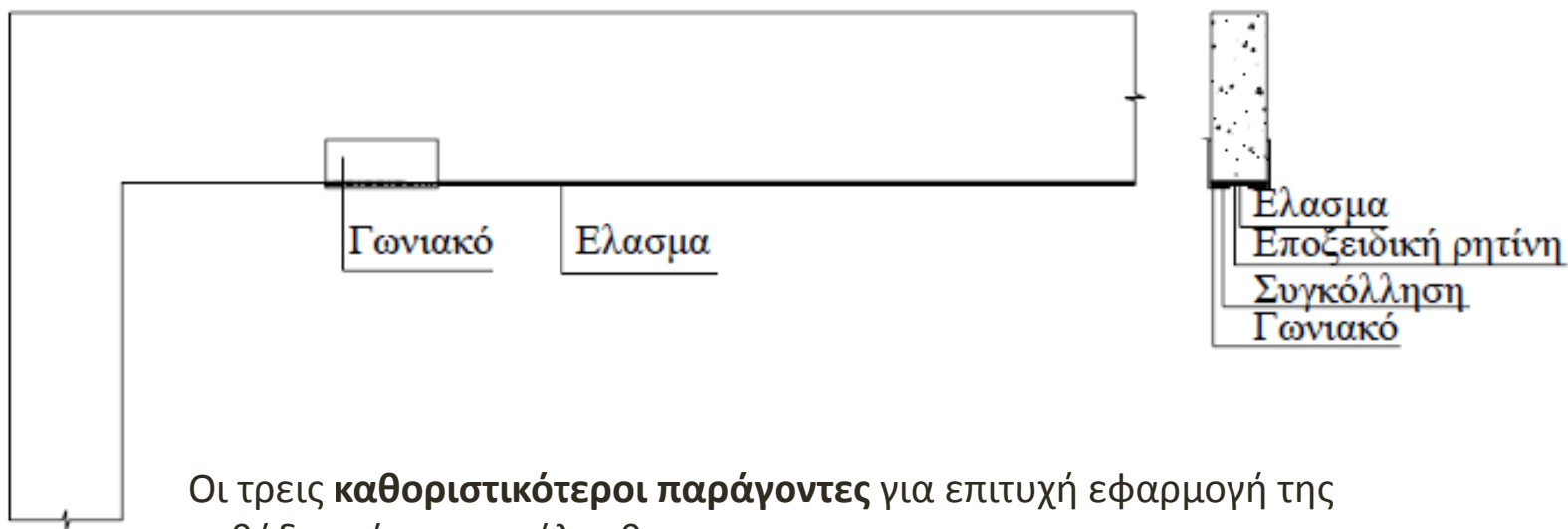
- ευκολότερη μεθοδος από τη διάνοιξη οπών και την κοχλίωσή στο σκυρόδεμα
- οι εργασίες της ενίσχυσης μπορούν να γίνουν γρήγορα
- μικρή επιβάρυνση τόσο της υφιστάμενης κατασκευής όσο και όχληση των ενοίκων.
- αύξηση της καμπτικής αντοχής και αξιοσημείωτη αύξηση της καμπτικής δυσκαμψίας.

το πάχος των ελασμάτων δεν πρέπει να ξεπερνά είτε τα **4 mm** είτε το **2% $b_1$**



## **Μειονεκτήματα**

- Σύστημα ενίσχυσης απόλυτα εξαρτημένο από την ποιότητα της εργασίας
- η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένη
- η κόλλα που χρησιμοποιείται πρέπει να μην είναι ελαττωματική και να μπορεί να ακολουθεί το ρυθμό παραμόρφωσης της δοκού
- υψηλές συγκεντρωμένες τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων των ελασμάτων. (απόσχιση σκυροδέματος)
- κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα στην περιοχή της διεπιφάνειας με το σκυρόδεμα



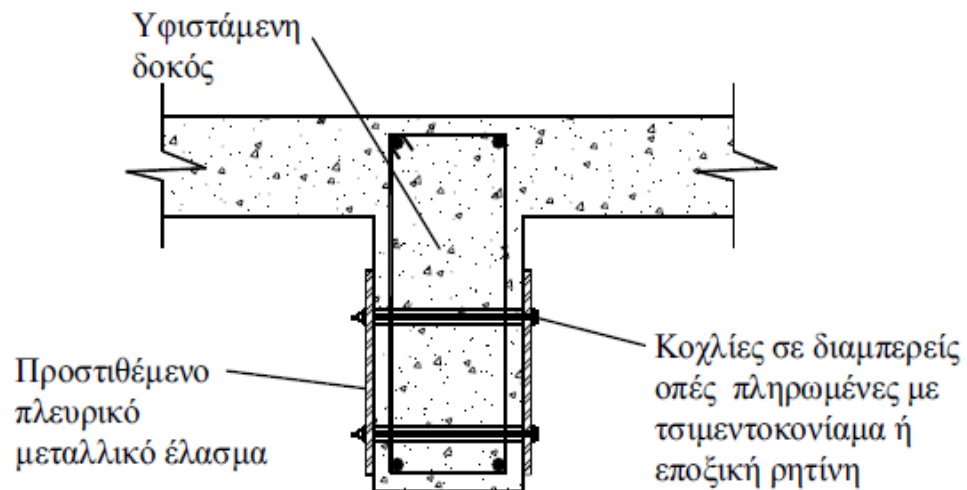
Οι τρεις **καθοριστικότεροι παράγοντες** για επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου είναι οι ακόλουθοι:

- Επισταμένη προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος (εκτράχυνση και απομάκρυνση της επιφανειακής στρώσης σκυροδέματος με υδροβολή ή κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό)
- Η αντοχή συνάφειας της εποξικής κόλλας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με αυτή του σκυροδέματος. Επίσης η κόλλα πρέπει να είναι η κατάλληλη για τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στη θέση του έργου.
- Το χαλύβδινο έλασμα πρέπει να έχει επαρκές μήκος (αγκύρωσης) και πλάτος έτσι ώστε να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία του συστήματος ενίσχυσης με αποκόλληση του ελάσματος από τη δοκό ( $l_b = \max (200 \text{ mm}, 140 / b_l, 200 t_l)$ )

## Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση

Η χρήση **δύο μεταλλικών ελασμάτων** μπορεί π.χ. να αυξήσει τη διατμητική αντοχή της δοκού, εφόσον τα δύο ελάσματα τοποθετηθούν στις πλευρικές παρειές της και συνδεθούν με αυτή **μέσω κοχλιών** που διαπερνούν εγκάρσια το σώμα της δοκού σε δύο τουλάχιστον θέσεις

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης ενίσχυσης, ελάσματα για την ενίσχυση της δοκού τόσο σε **κάμψη** όσο και σε **διάτμηση** μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές θέσεις κατά μήκος της δοκού.



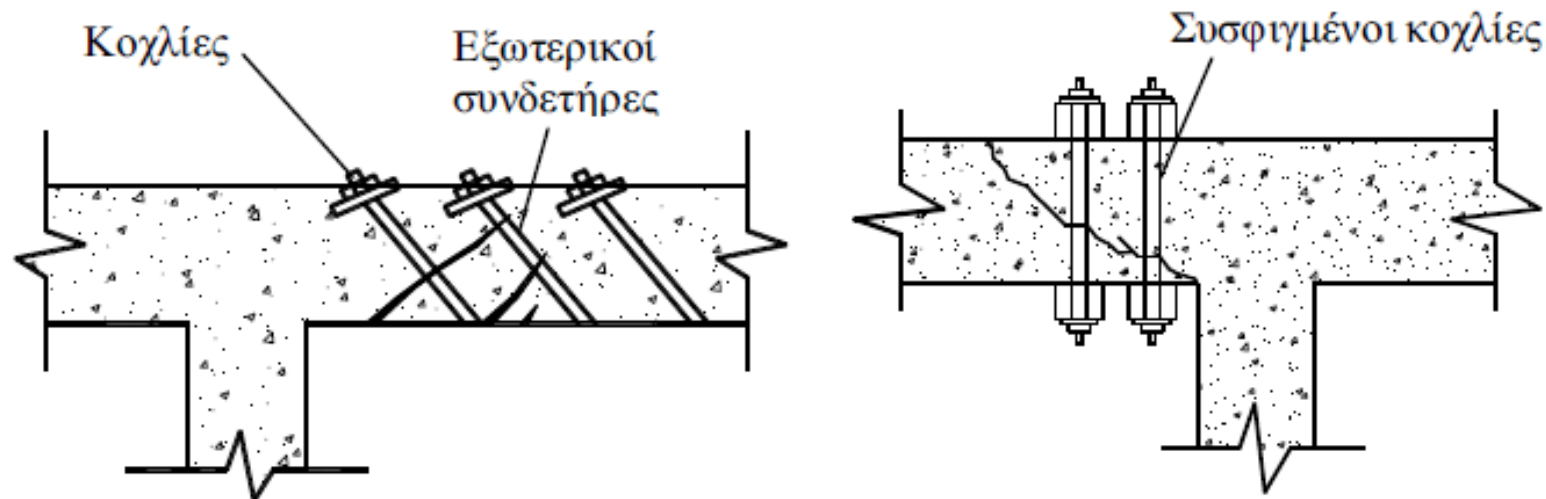
Μία άλλη μέθοδος για την αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η προσθήκη νέων χαλύβδινων συνδετήρων που περισφίγγουν **εξωτερικά τη δοκό**. Οι συνδετήρες μπορούν να είναι είτε κατακόρυφοι είτε υπό γωνία 45°

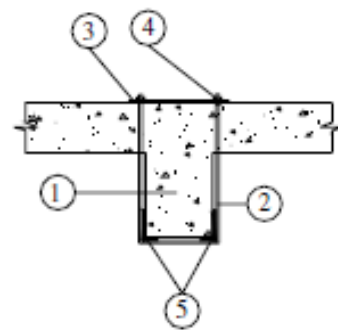
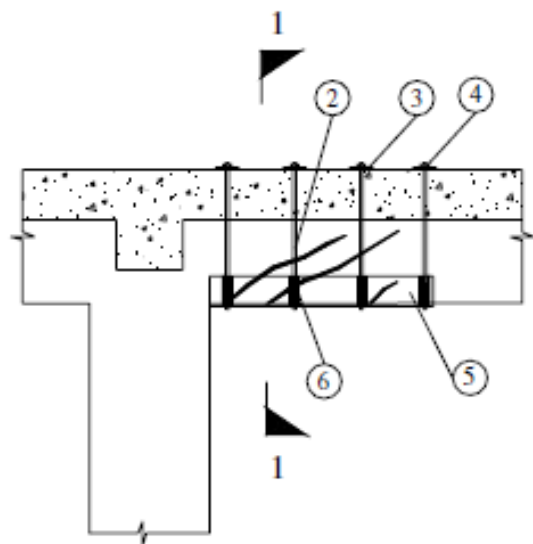
Σε ρωγμές μεγάλου εύρους ( $> 0.5 \text{ mm}$ )  $\rightarrow$  σχετική ολίσθηση παρειών των ρωγμών. Απαιτείται επιπλέον η σύσφιξη των στοιχείων ενίσχυσης.



Ζεύγη κοχλιών τοποθετούνται σε κάθε πλευρά της ρηγματωμένης δοκού και εντείνονται αποτρέποντας τη διάρρηξη του σκυροδέματος κατά μήκος της ρωγμής.

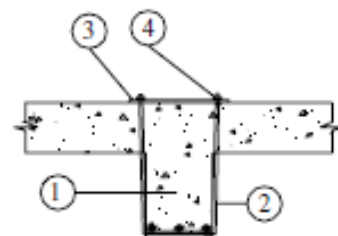
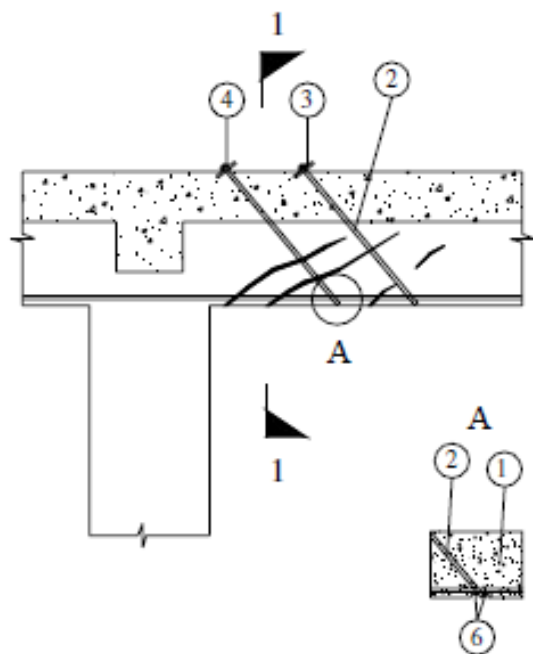
Η λειτουργία του αλληλεμπλοκής αδρανών μπορεί να αποκατασταθεί σημαντικά και με ρητινενέσεις μέσα στις ρωγμές.





Τομή 1 - 1

1. Υπάρχουσα δοκός
2. Εξωτερικός χαλύβδινος συνδετήρας
3. Χαλύβδινο έλασμα
4. Βίδα
5. Χαλύβδινη γωνιά
6. Ηλεκτροσυγκόλληση



Τομή 1 - 1



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

Όμως τώρα θεωρείται:

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

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

## Ενίσχυση Δοκών με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

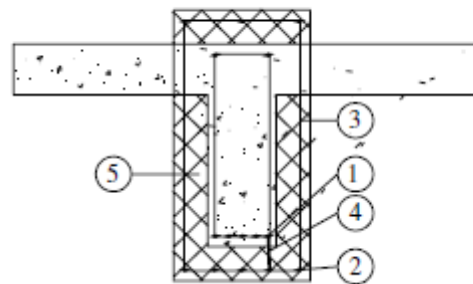
Αποτελεί τη συνηθέστερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο ενίσχυσης δοκών

αύξηση καμπτικής αντοχής  
αύξηση διατμητικής αντοχής.

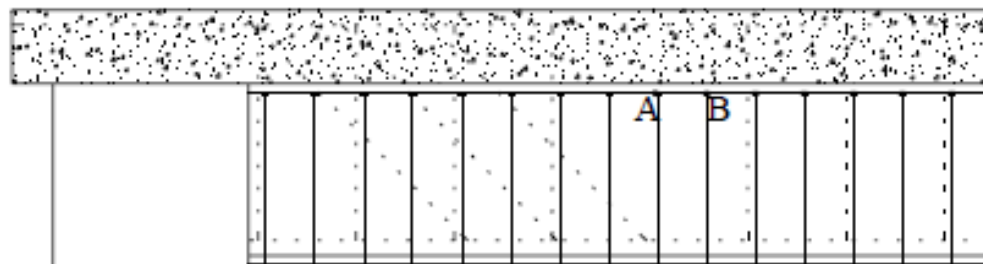
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε **έγχυτο** είτε **εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**, αν και συνήθως προτιμάται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας.

Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η θραύση της πλάκας στην περιοχή πάνω από τη θλιβόμενη παρειά της δοκού, έτσι ώστε να κατασκευαστεί κλειστός μανδύας, επιλέγεται η λιγότερο αποτελεσματική τεχνική της τοποθέτησης **ανοικτού μανδύα**. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται **εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**, ενώ ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την εξασφάλιση της επαρκούς αγκύρωσης των συνδετήρων.

Επίσης, ο διορθωτικός συντελεστής μονολιθικότητας για τη δυσκαμψία  $k_k$  μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 0.75, ενώ ο αντίστοιχος συντελεστής για την αντοχή  $k_r$  παίρνει τις τιμές 0.90 και 0.80 για διαστασιολόγηση της ενισχυμένης διατομής έναντι κάμψης και διάτμησης, αντίστοιχα.



- (1) Παλιός οπλισμός
- (2) Πρόσθετος οπλισμός
- (3) Πρόσθετοι συνδετήρες
- (4) Ράβδοι συνδέσεως
- (5) Μανδύας σκυροδέματος
- (6) Συγκόλληση



Νέος οπλισμός : min 3Φ12

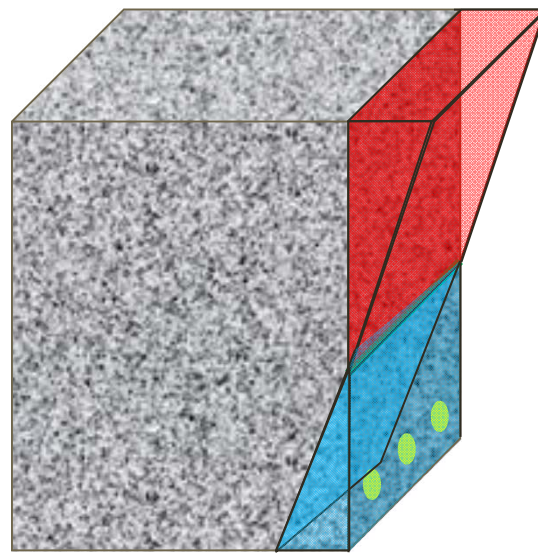
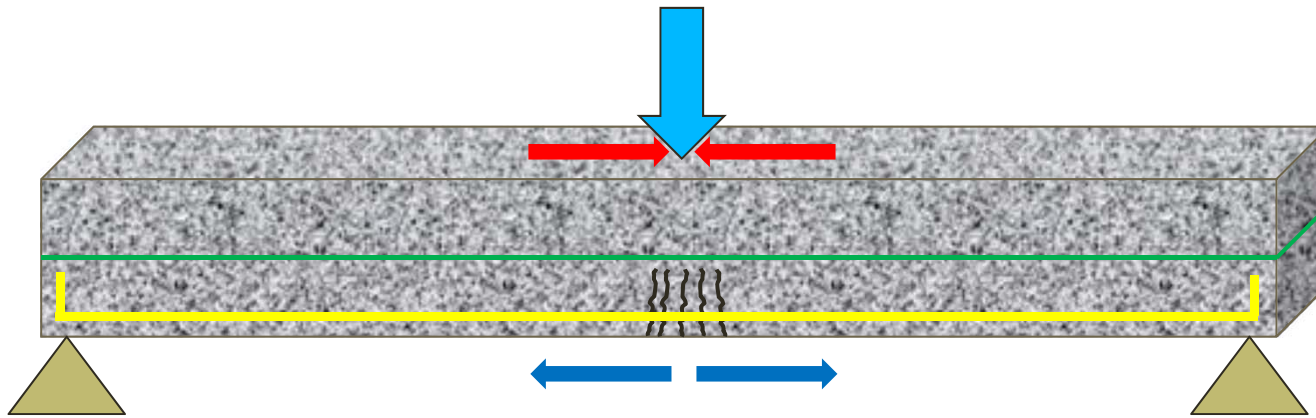
Μοντάζ : min 2Φ18

Συνδετήρες : min Φ8/200

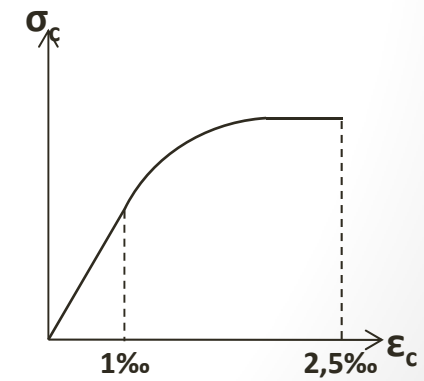
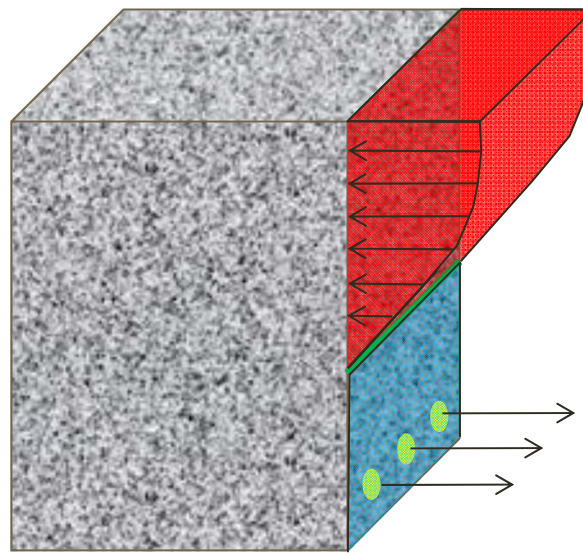
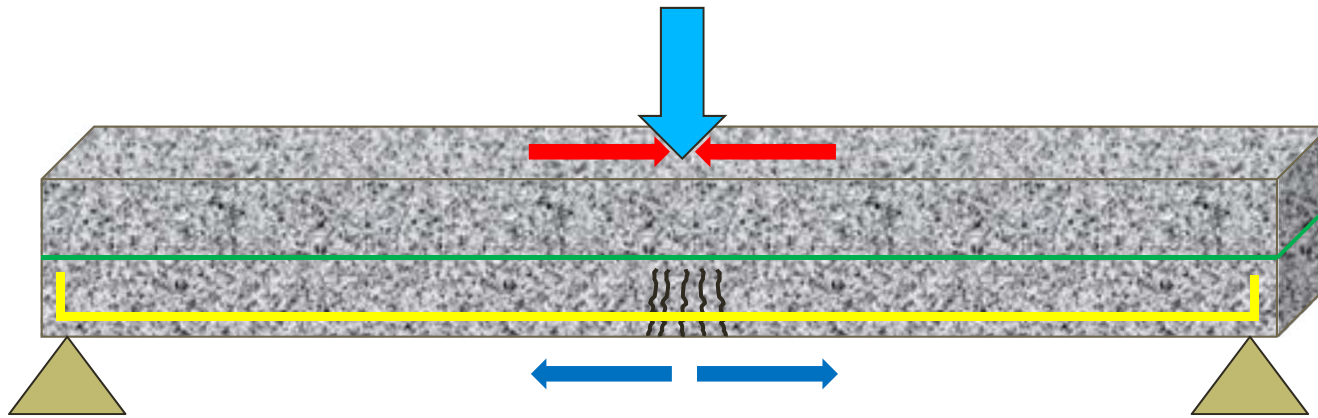




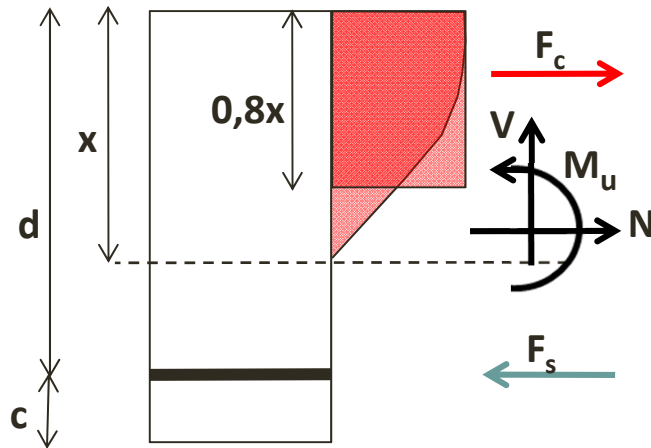
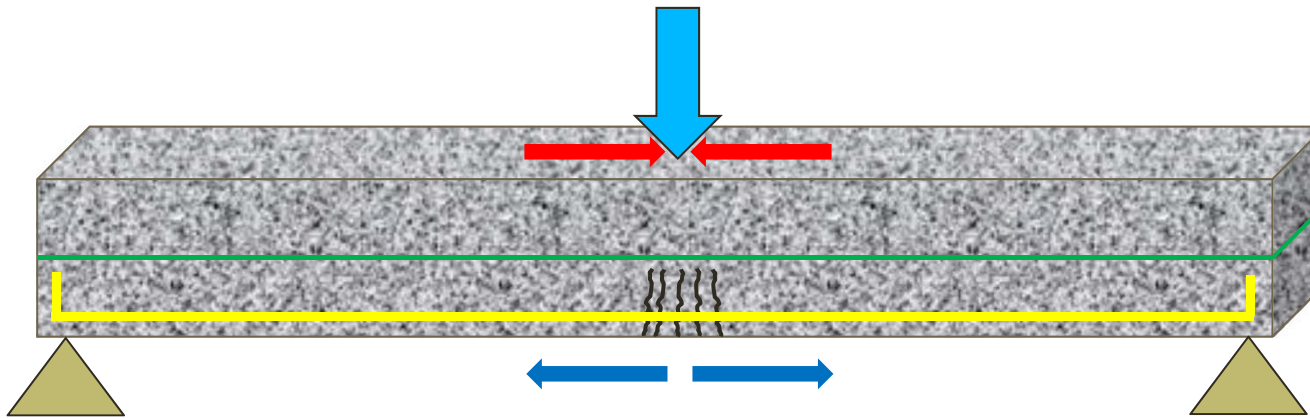
## Υπολογισμός Δοκών σε κάμψη



# Υπολογισμός Δοκών σε κάμψη



## Υπολογισμός Δοκών σε κάμψη



Καθαρή κάμψη ( $N=0$ )

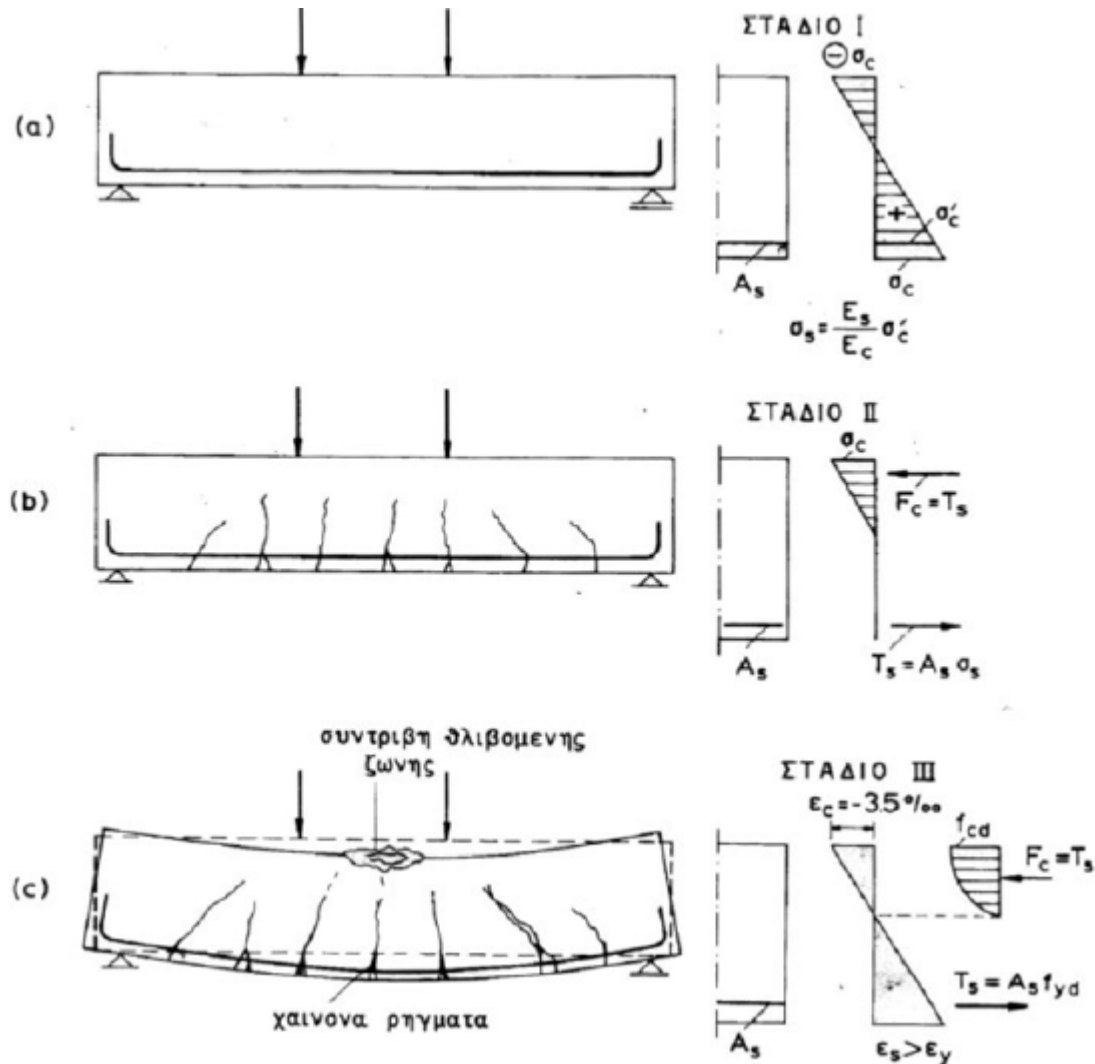
$$M_u = A_s \cdot f_y \cdot z$$

Κάμψη με αξονική δύναμη ( $N \neq 0$ )

$$M_u = 0,8bd^2(x/d)(1-0,4(x/d))f_c$$

# Υπολογισμός Δοκών σε κάμψη

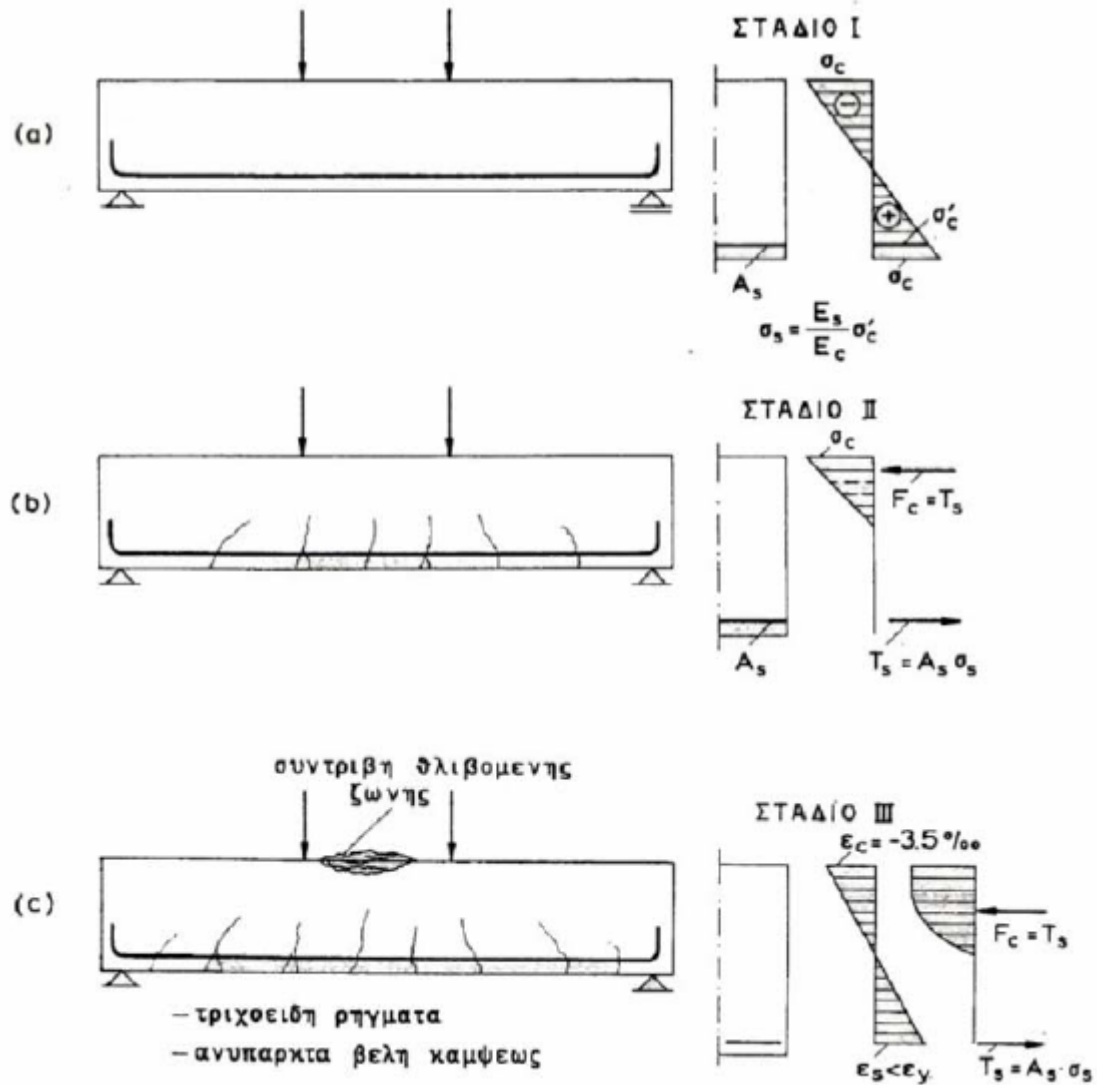
## Κανονικά οπλισμένη δοκός

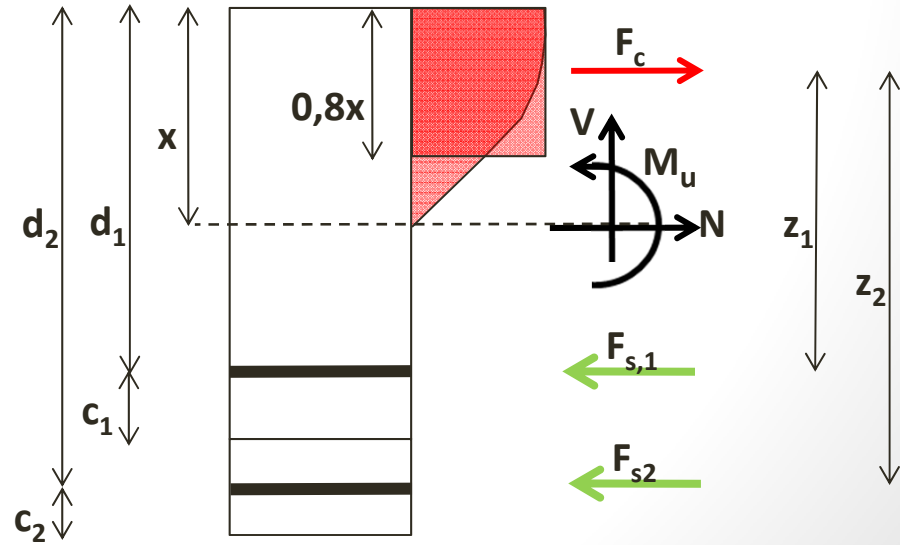
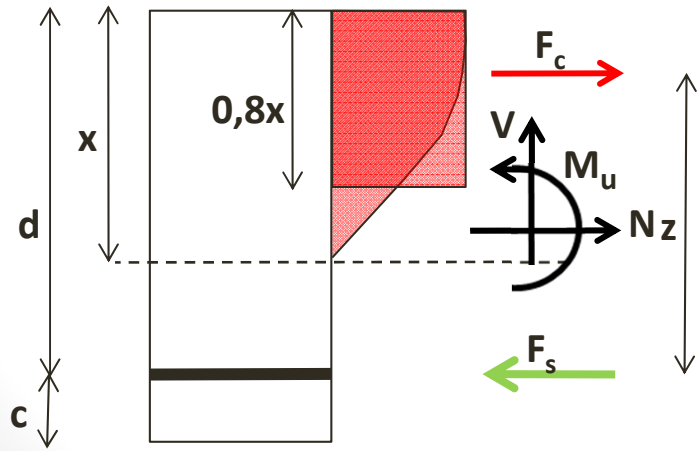
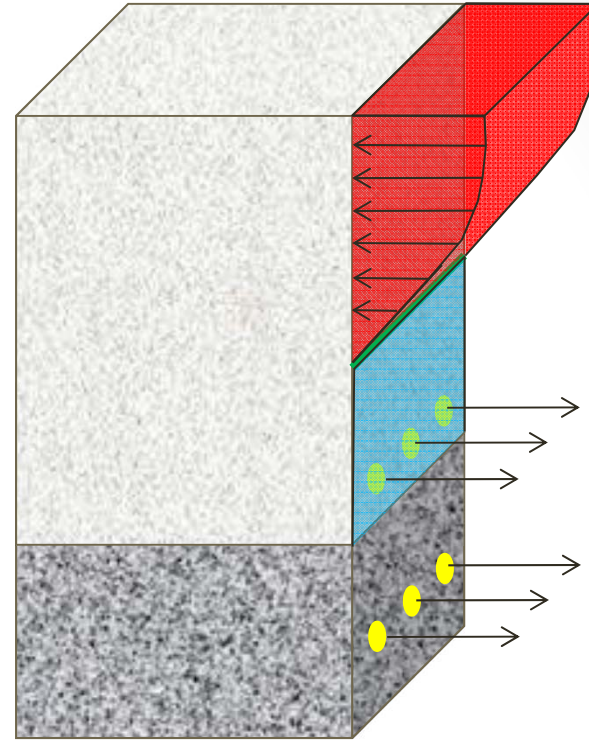
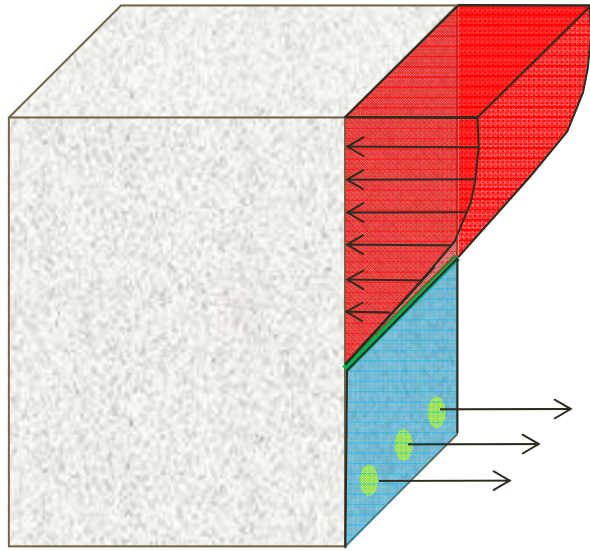




# Υπολογισμός Δοκών σε κάμψη

## Ισχυρά οπλισμένη δοκός





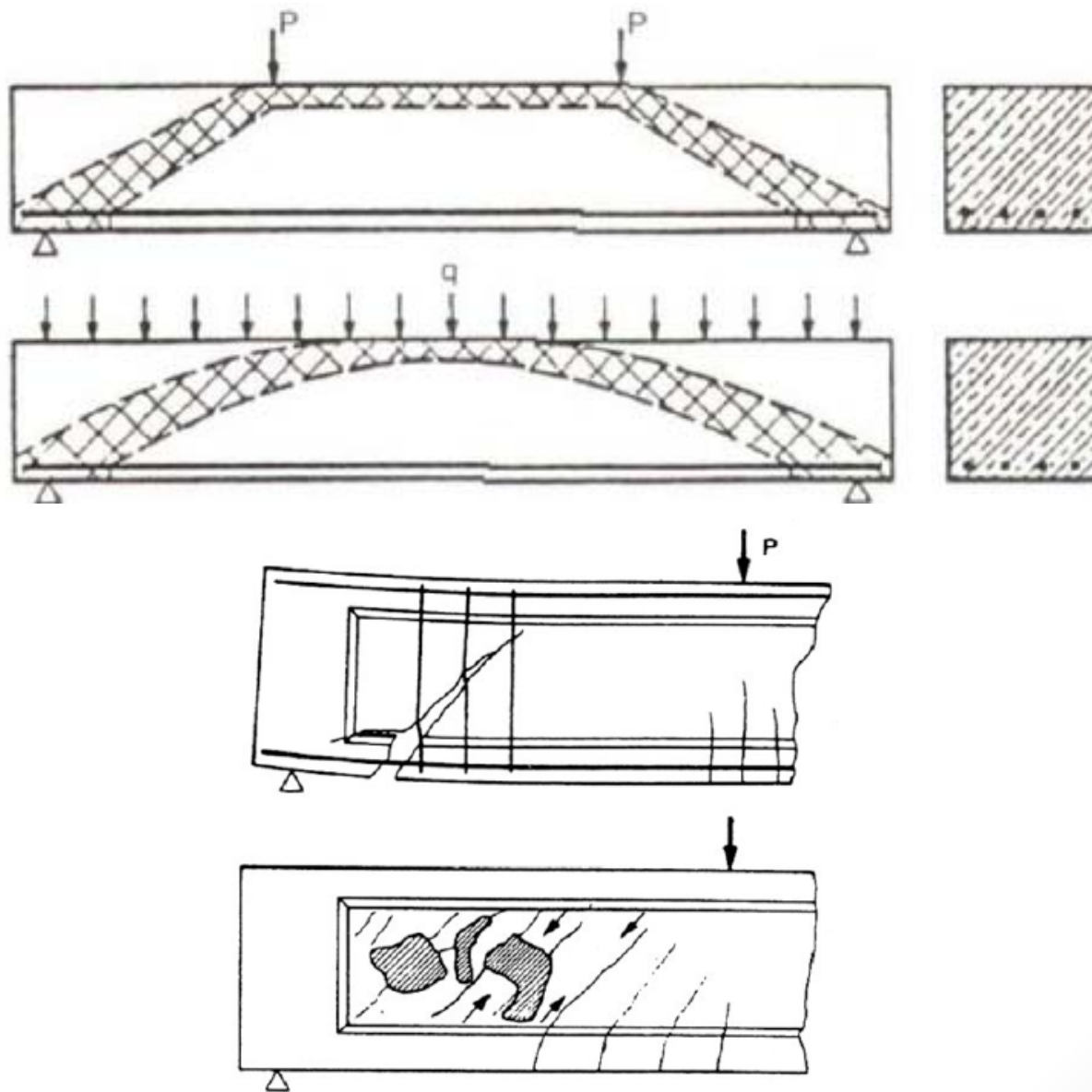
Σε φάση προμελέτης

$$S_d \leq k_r R_d$$

Αντοχή σε κάμψη

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = k_r (A_{s1} \cdot f_{yd,1} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot f_{yd,2} \cdot z_2)$$
$$= 0,9k_r (A_{s1} \cdot f_{yd,1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot f_{yd,2} \cdot d_2)$$

## Μηχανισμοί Διατμητικής Αντοχής



## Αντοχή σε διάτμηση

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd,1} + V_{wd,2}$$

### ΕΚΩΣ:

$$V_{cd} = V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k(1,2 + 40\rho_l) + 0,15\sigma_{cp}] b_w d \geq V_{Sd}$$

$$k = 1,6 - d \geq 1,0 \text{ με } d \text{ σε } m$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w d$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed} / A_c$$

### Θλιπτήρες:

$$V_{Rd2} = 1/2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \geq V_{Sd}$$

$$v = 0,70 - f_{ck}/200 \geq 0,5 \text{ και } f_{ck} \text{ σε } MPa$$

### Οπλισμός Διάτμησης:

$$V_{wd} = (A_{sw}/s) 0,90 \cdot d \cdot f_{ywd} (1 + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha$$

### ΕC2:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k(100f_{ck}\rho_l)^{1/3} + k_1\sigma_{cp}] b_w d \geq$$

$$(v_{\min} + k_1\sigma_{cp}) b_w d \geq V_{Sd}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c \text{ ή από εθνικό προσάρτημα}$$

$$k = 1 + v(200/d) \text{ με } d \text{ σε } mm$$

$$k_1 = 0,15 \text{ ή από εθνικό προσάρτημα}$$

$$v_{\min} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}$$

### Θλιπτήρες:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) \geq V_{Sd}$$

$$\alpha_{cw} = 0,85 \text{ (εθνικό προσάρτημα)}$$

$$v_1 = 0,6 \text{ για } f_{ck} < 60 MPa$$

$$1 \leq \cot\theta \leq 2,5$$

### Οπλισμός Διάτμησης:

$$V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) z \cdot f_{ywd} \cot\theta$$

$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$\tau_{Rd}$	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.48