

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διδάσκων Καθηγητής
Γιάννακας Νικόλαος
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

Κεφάλαιο 3

Επισκευή και Ενίσχυση Δομικών Στοιχείων

Επισκευή και ενίσχυση υποστυλωμάτων

Υποστυλώματα

Λόγω:

1. της ιδιαίτερης σημασίας τους για τον **αντισεισμικό ανασχεδιασμό**
2. το **μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών λόγω σεισμού**, εξαιτίας κυρίως των μεγάλων **επιβαλλόμενων παραμορφώσεων** και των αυξημένων **απαιτήσεων πλαστιμότητας**

τα στοιχεία όπου επικεντρώνονται οι επεμβάσεις

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Σκοπός : αποκατάστασης των αρχικών χαρακτηριστικών της διατομής του στοιχείου

(α) Απλή Ρηγμάτωση.

Βλάβη:

απλή ρηγμάτωση ή επιφανειακή αποφλοίωση του σκυροδέματος χωρίς να παρατηρείται αποδιοργάνωση του περισφιγμένου πυρήνα της διατομής και λυγισμός των κατακόρυφων ράβδων του διαμήκου σπλισμού

Επισκευή:

- συγκόλληση των ρωγμών με εποξικής ρητίνης
- αποκατάσταση του φλοιού με επισκευαστικό κονίαμα.



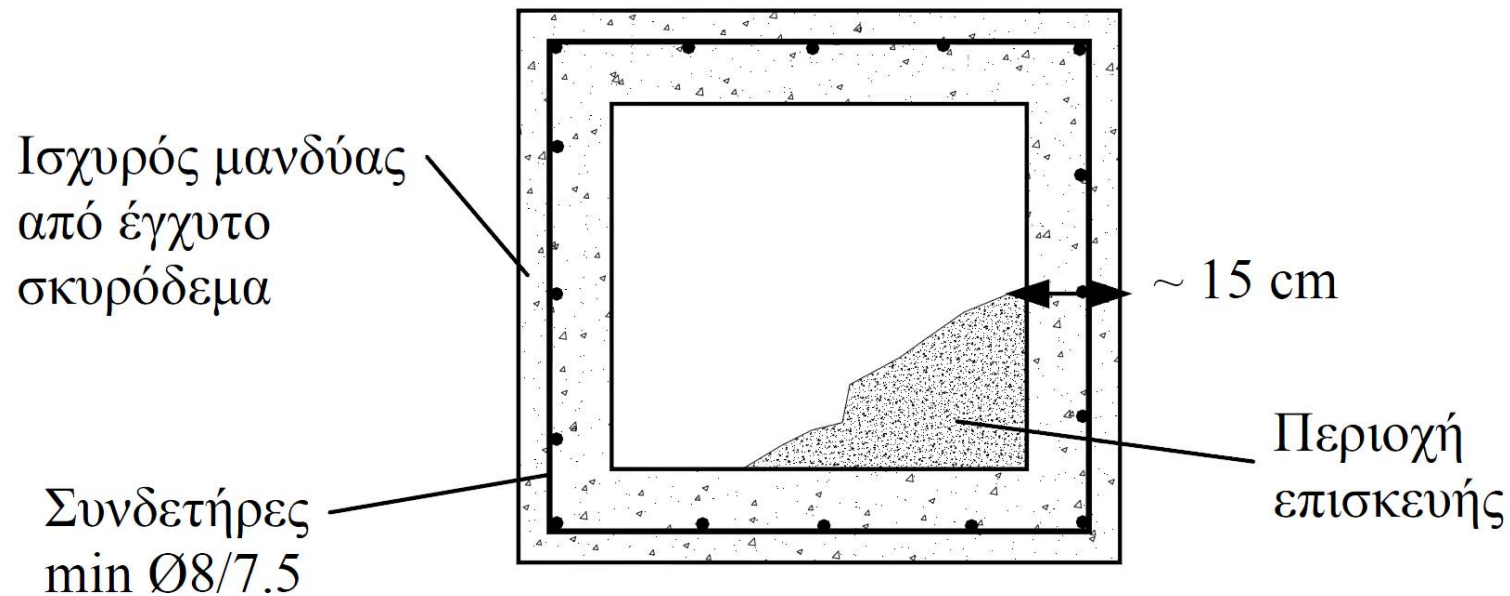
(β) Τοπική Βλάβη με Μερική Αποδιοργάνωση του Σκυροδέματος.

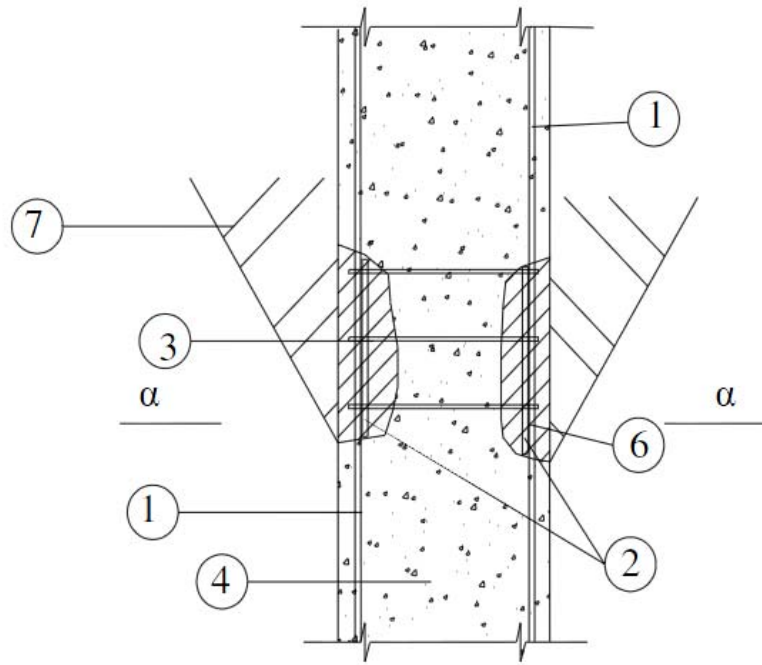
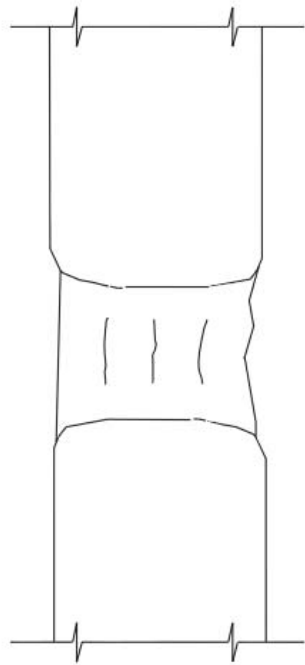
Βλάβη:

Τοπική με **μερική** αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

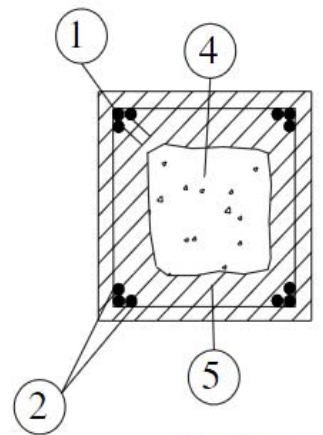
Επισκευή:

- Υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο βλαμμένο στοιχείο.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- Αποκάλυψη οπλισμών.
- Συγκόλληση νέου οπλισμού και πυκνών κλειστών συνδετήρων.
- Διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευομένου σκυροδέματος για τη δημιουργία μανδύα.
Αντί για σκυρόδεμα, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ειδικό έτοιμο κονίαμα.





1. Παλαιό σκυρόδεμα
2. Νέος οπλισμός
3. Νέοι συνδετήρες
4. Παλαιό σκυρόδεμα
5. Νέο σκυρόδεμα
6. Συγκόλληση
7. Προσωρινός ξυλότυπος



Τομή α-α

Εναλλακτικά, η διατομή μπορεί να επισκευαστεί με ενσωματωμένη μεταλλική κατασκευή από κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα και οριζόντια μεταλλικά κολάρα ή πλήρη χαλύβδινα φύλλα (μεταλλικός κλωβός).

Πλεονέκτημα της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού

1. δυνατότητα ανάληψης ενός τμήματος των κατακόρυφων φορτίων του στοιχείου
2. εξαιρετική ταχύτητα εφαρμογής της μεθόδου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης

ιδιαίτερα **ελκυστική προσωρινή λύση** για την άμεση ανάληψη **N**



(γ) Σοβαρή Βλάβη με Πλήρη Αποδιοργάνωση του Σκυροδέματος.

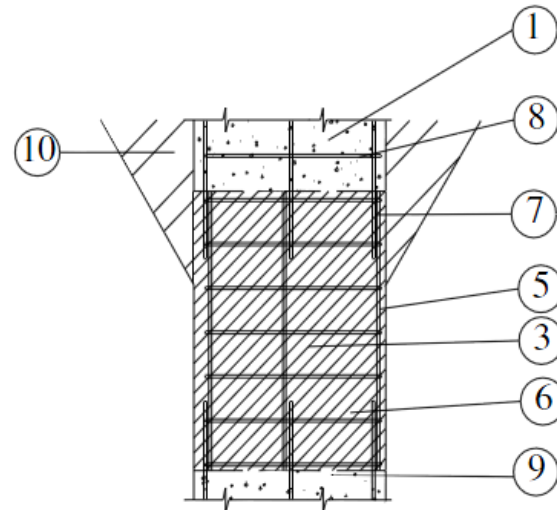
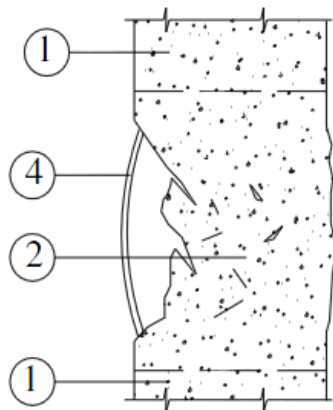
Βλάβη:

1. πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος
2. διάρρηξη των συνδετήρων
3. λυγισμό των θλιβόμενων ράβδων του διαμήκους οπλισμού

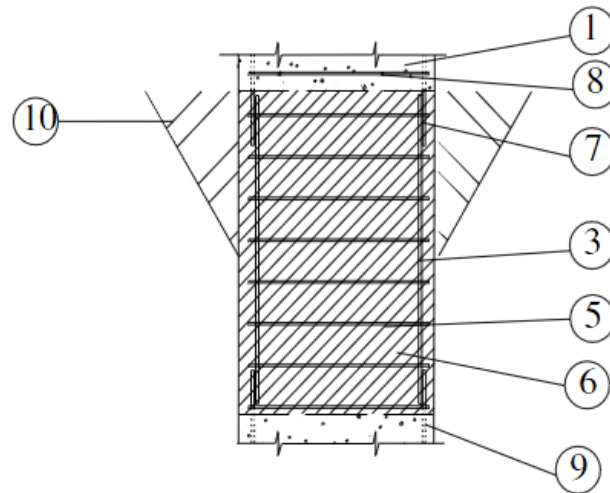
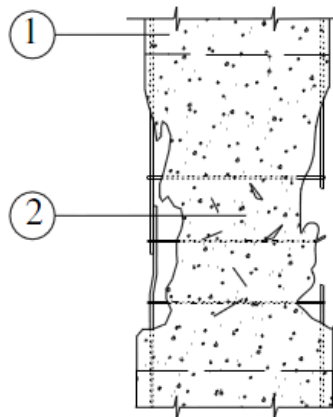
Επισκευή:

- Υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο υπόψη υποστύλωμα.
- Πλήρης καθαίρεση του αποδιοργανωμένου τμήματος του υποστυλώματος σε ύψος τουλάχιστον 30 cm
- Έλεγχος και ενίσχυση του διαμήκους οπλισμού, όπου αυτό απαιτείται.
- Προσθήκη πυκνών συνδετήρων.
- Τοποθέτηση ξυλότυπου.
- Διάστρωση έγχυτου σκυροδέματος ή ετοίμου κονιάματος.

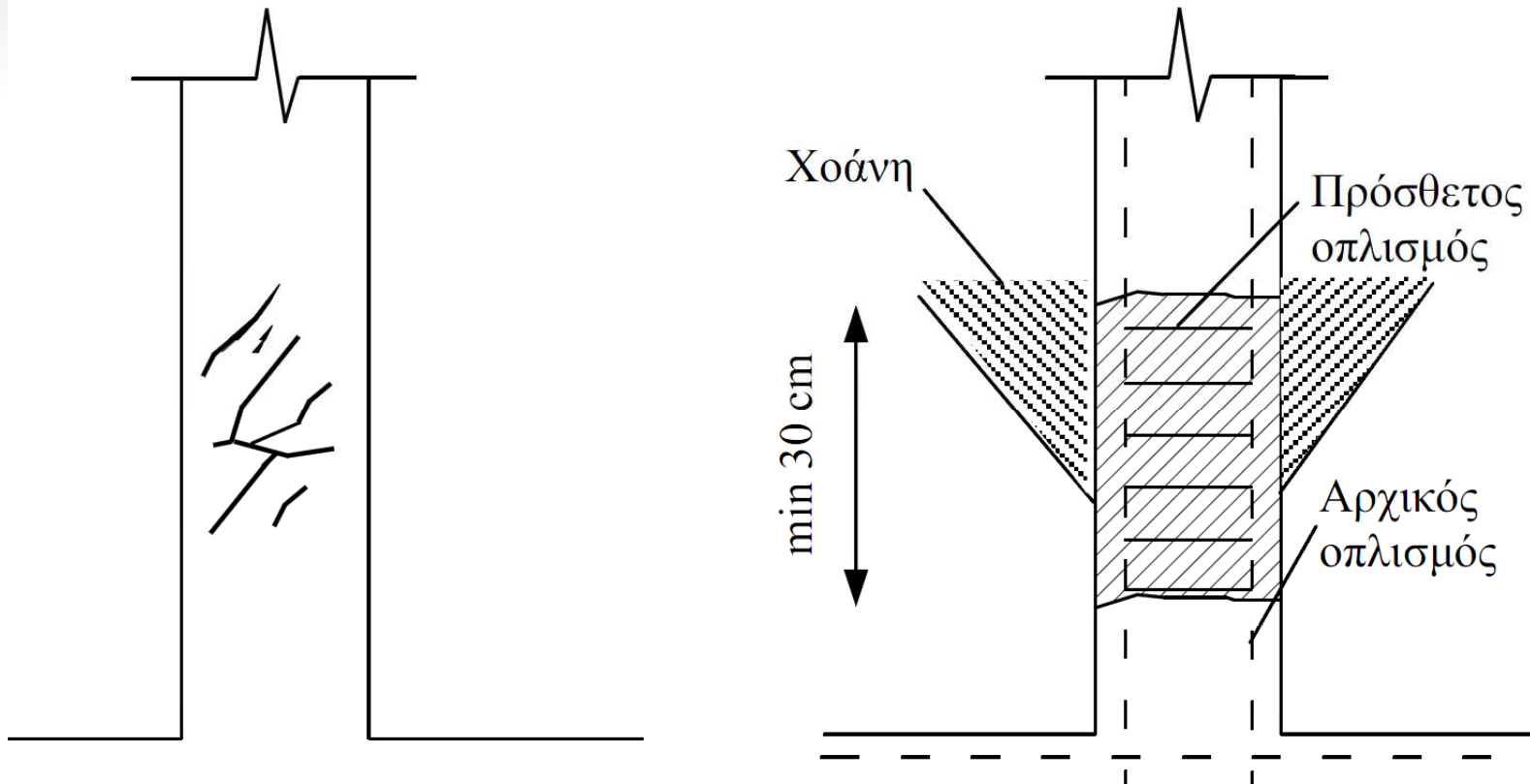




1. Παλιό σκυρόδεμα
2. Παλιό κατεστραμμένο σκυρόδεμα
3. Νέο σκυρόδεμα
4. Παλιός λυγισμένος οπλισμός
5. Νέος οπλισμός
6. Νέοι συνδετήρες
7. Συγκόλληση
8. Παλαιοί συνδετήρες
9. Παλιός οπλισμός
10. Προσωρινός ξυλότυπος



1. Παλιό σκυρόδεμα
2. Παλιό κατεστραμμένο σκυρόδεμα
3. Νέο σκυρόδεμα
4. Παλιός λυγισμένος οπλισμός
5. Νέος οπλισμός
6. Νέοι συνδετήρες
7. Συγκόλληση
8. Παλαιοί συνδετήρες
9. Παλιός οπλισμός
10. Προσωρινός ξυλότυπος



το ελάχιστο εμβαδόν διατομής του οπλισμού που πρέπει να διαπερνά την διεπιφάνεια προκύπτει από τις σχέσεις:

$$A_{s,tot}^{\delta i \epsilon \pi} \geq \frac{1}{f_{yk}} (1,3 f_{ctm} A_c - 0,7 N_d)$$

και $A_{s,tot}^{\delta i \epsilon \pi} \geq 0,0025 A_c$

A_c το εμβαδόν διατομής του υποστυλώματος

N_d το αξονικό (θλιπτικό) φορτίο σχεδιασμού του υποστυλώματος

f_{ctm} η μέση εφελκυστική αντοχή του ασθενέστερου σκυροδέματος

Εάν οι παραπάνω σχέσεις δεν ικανοποιούνται με τον υπάρχοντα οπλισμό, θα πρέπει να προστεθούν νέοι οπλισμοί που θα αγκυρωθούν στο παλιό στοιχείο και θα διαπερνούν κάθετα την διεπιφάνεια.

Προσοχή πρέπει να δίνεται στη συστολή ξηράνσεως του νέου σκυροδέματος



Χρήση σκυροδέματος με κατάλληλα χημικά **πρόσθετα** ή αντικατάσταση του τσιμέντου από **μη συρρικνούμενη κονία**.

Απαιτείται

- πλήρης αποφόρτιση
- απόληξη του ξυλοτύπου προς τα επάνω να έχει τη μορφή χοάνης

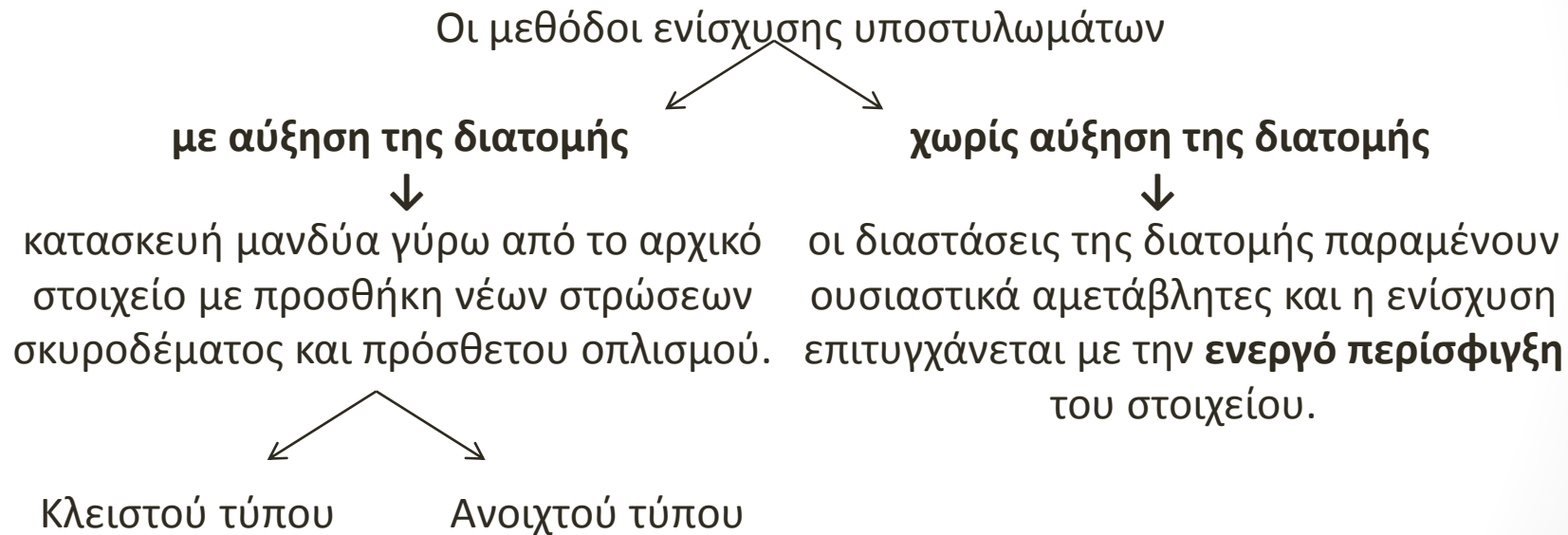
Το επιπλέον πρισματικό τμήμα σκυροδέματος που προκύπτει με τον τρόπο αυτό αφαιρείται την επόμενη μέρα της σκυροδέτησης.

Διορθωτικοί συντελεστές μονολιθικότητας $k_k = k_r = 1,0$

Ενίσχυση Υποστυλωμάτων

Η ανάγκη για ενίσχυση υφιστάμενων υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα προκύπτει όταν τα στοιχεία καλούνται να παραλάβουν φορτία τα οποία υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή τους.

Πότε? Καθ' ύψος προσθήκη ορόφων σε υπάρχουσα κατασκευή.



Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Αύξηση της Διατομής

Η τεχνική της αύξησης των διαστάσεων της διατομής με κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί τη **συνηθέστερη μέθοδο ενίσχυσης** υφιστάμενων υποστυλωμάτων που εμφανίζουν **ανεπάρκεια** όσον αφορά

- στην αντοχή
- τη δυσκαμψία και
- την πλαστιμότητά τους

Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου

- δεν μεταβάλλεται η αρχιτεκτονική όψη της ενισχυμένης κατασκευής με την προσθήκη νέων υλικών
- αυξάνεται ο βαθμός πυροπροστασίας.
- μείωση της λυγηρότητας της διατομής
- αύξηση της δυσκαμψίας της διατομής.

Η ενισχυμένη διατομή είναι σε θέση να παραλάβει **μόνο τα πρόσθετα φορτία** που θα ασκηθούν σε αυτή

η τεχνική της αύξησης της διατομής αποτελεί λύση και για την περίπτωση που το υποστυλωμα έχει ήδη υπερβεί τη φέρουσα ικανότητά του λόγω των υφιστάμενων φορτίων **εφόσον** προηγηθεί αποφόρτιση του στοιχείου που πρόκειται να ενισχυθεί.

Είδη μανδυών οπλισμένου σκυροδέματος ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος

1. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα.

Έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται όταν ο μανδύας που πρόκειται να κατασκευαστεί έχει **πάχος μεγαλύτερο από 8 cm**.

Για τη σκυροδέτηση του μανδύα απαιτείται η χρήση ξυλοτύπου.

2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

- Το συνολικό πάχος του μανδύα **δεν υπερβαίνει τα 10 cm**.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην εξασφάλιση της κατακόρυφης επιφάνειας του μανδύα (χρήση οδηγών).
- Η συστολή ξηράνσεως είναι μεγαλύτερη → μεγάλη σημασία η σωστή συντήρησή τους με εφαρμογή Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Είδη μανδυών οπλισμένου σκυροδέματος ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος

3. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα.

Το κυριότερο πλεονέκτημα η **εύκολη σκυροδέτηση** ακόμα και με πυκνό διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό.

Τοποθέτηση αδρανών σε καλούπια και στη συνέχεια την πλήρωση των μεταξύ τους κενών με υγροποιημένο τσιμέντο υπό πίεση. Τα αδρανή έχουν ελάχιστο μέγεθος κόκκων 10-15 mm.

μειώνεται σημαντικά το πρόβλημα της συστολής ξηράνσεως (τα αδρανή περιορίζουν τη συστολή ξηράνσεως στο ελάχιστο)

έλλειψης εμπειρίας εκ μέρους των τεχνικών και **υψηλό σχετικά κόστος**.

4. Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.

Με τη χρησιμοποίηση ειδικών σκυροδεμάτων ή τσιμεντοκονιαμάτων είναι δυνατόν να υλοποιηθούν **μανδύες εξαιρετικά μικρού πάχους**. Το βασικό μειονέκτημα που αποτελεί τροχοπέδη για τη διάδοση της είναι το **αυξημένο κόστος κατασκευής τους**.











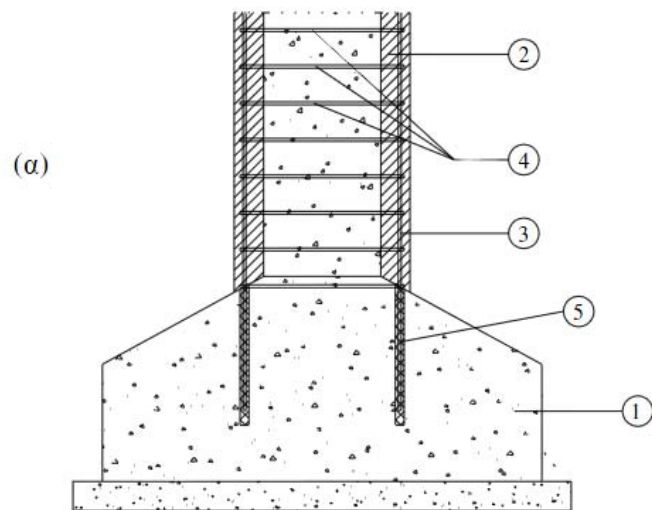
Για να εξασφαλιστεί η αποδοτικότητα της ενίσχυσης απαιτείται:

- εκτράχυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή (βάθος περίπου 6 mm)
- επιμελής καθαρισμός της εκτραχυνμένης επιφάνειας με αέρα υπό πίεση.
- Διαβροχή επιφάνειας του παλαιού σκυροδέματος/ξυλότυπος (έγχυτο σκυρόδεμα) /αδρανή (σκυροτσιμεντόπηγμα).

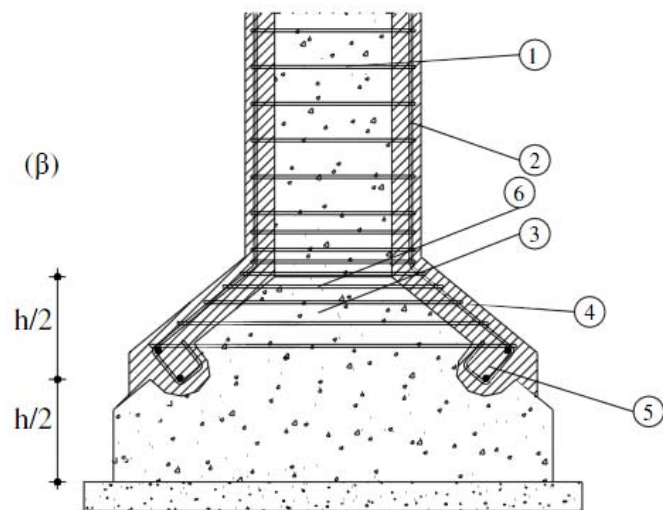
Απόσταση μεταξύ των συνδετήρων καθώς και στην αγκύρωση των διαμήκων ράβδων του μανδύα ισχύουν οι διατάξεις του κανονισμού

Γενικά οι οπλισμοί των παρειών του θα **διακόπτονται** καθ' ύψος από δοκούς που συντρέχουν στο ενισχυόμενο υποστύλωμα, ενώ θα πρέπει επίσης να διακόπτονται στις υπερκείμενες και υποκείμενες πλάκες.

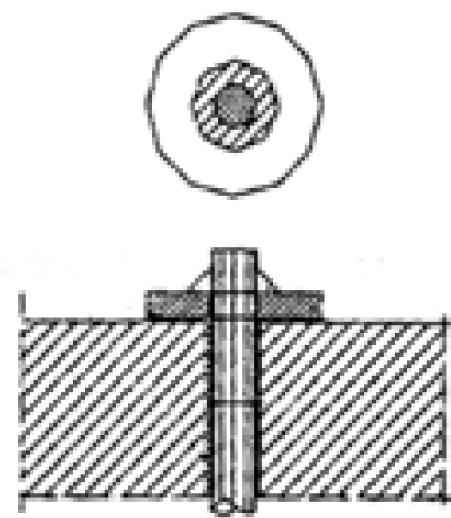
Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται **περισσότερες από τέσσερις διαμήκεις ράβδοι**, αυτές που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 15 cm από τις κορυφές συνιστάται να στηρίζονται πλευρικά. Η στηρίξη μπορεί να παρέχεται από βλήτρα τα οποία στο ένα άκρο του καταλήγουν σε άγκιστρο, ενώ το άλλο αγκυρώνεται στο σώμα του υφιστάμενου υποστυλώματος. Επίσης, στην περίπτωση που το υποστύλωμα του ανώτερου ορόφου είναι μικρότερων διαστάσεων από το υποστύλωμα που ενίσχυεται με μανδύα, ο διαμήκης οπλισμός του μανδύα αγκυρώνεται στην άνω παρειά της πλάκας

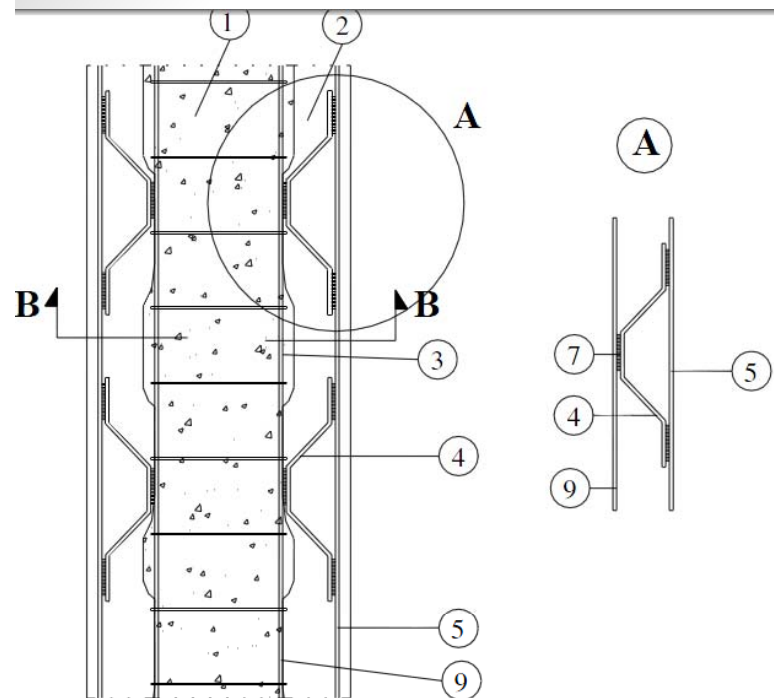


- (1) παλιό υποστύλωμα
- (2) μανδύας
- (3) διαμήκεις οπλισμοί
- (4) νέοι συνδετήρες
- (5) διατόρημα προς πάκτωση των οπλισμών με εποξειδική ρητίνη

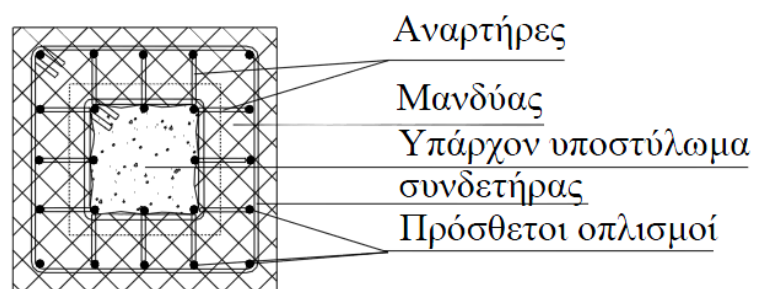


- (1) νέοι συνδετήρες $\Phi 12/10$
- (2) διαμήκεις οπλισμοί
- (3) παλιό σκυρόδεμα
- (4) νέο σκυρόδεμα
- (5) φωλιές στο παλιό σκυρόδεμα
- (6) πύκνωση συνδετήρων στην περιοχή εκτροπής διαμήκων ράβδων οπλισμού





- (1) Παλιό υποστύλωμα
- (2) Μανδύας
- (3) Κλειδί
- (4) Αναρτήρες
- (5) Πρόσθετος οπλισμός
- (6) Συνδετήρες
- (7) Συγκολλήσεις
- (8) Οκταγωνικοί συνδετήρες
- (9) Παλαιοί οπλισμοί

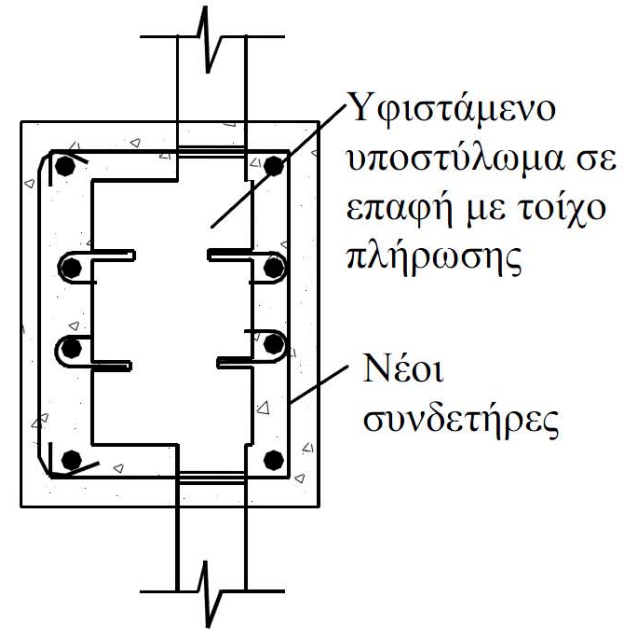
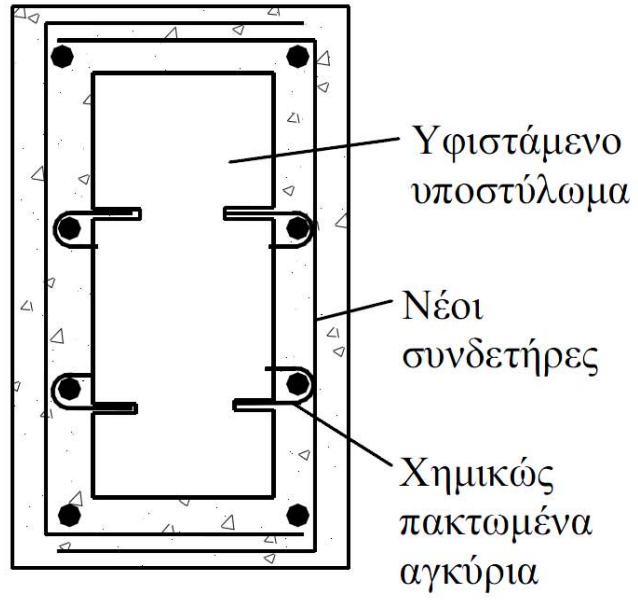


Τομή Β-Β

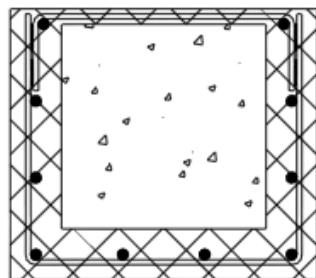


συνδετήρας

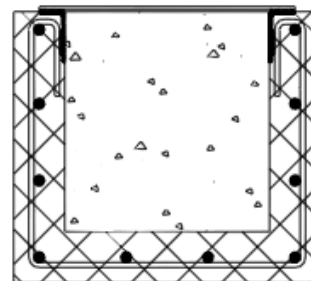
αναρτήρας



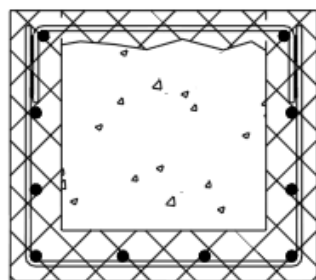
α.



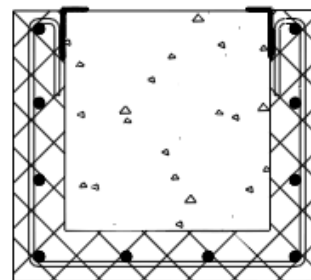
δ.



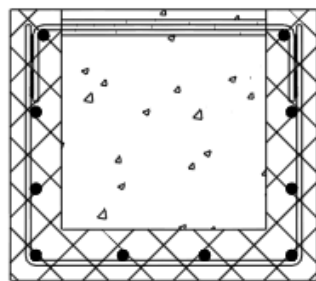
β.



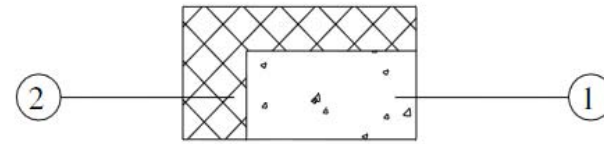
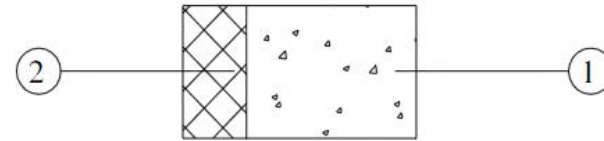
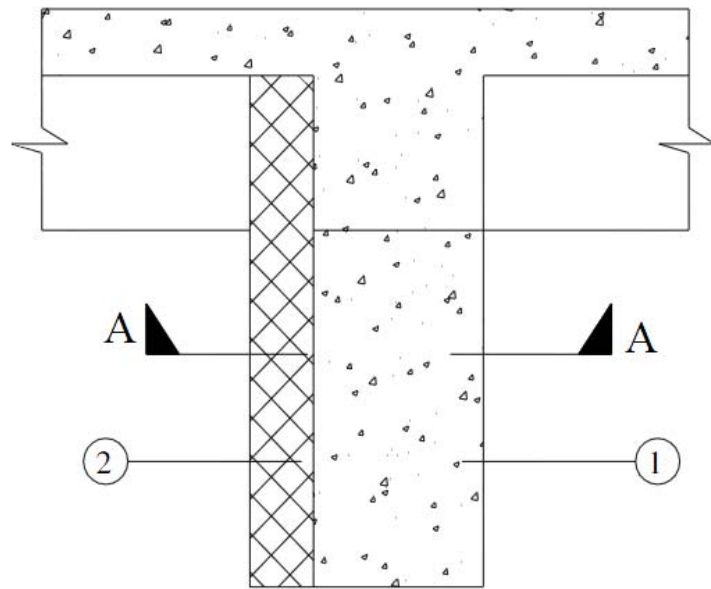
ε.



γ.

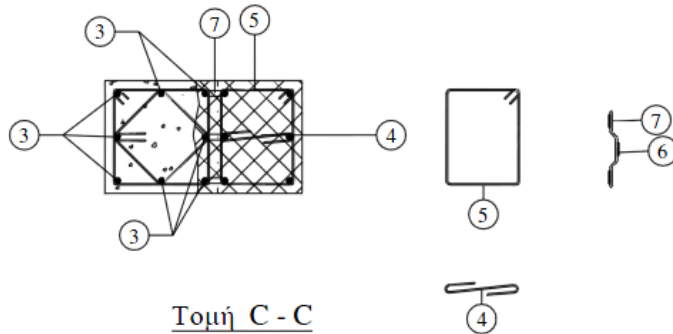
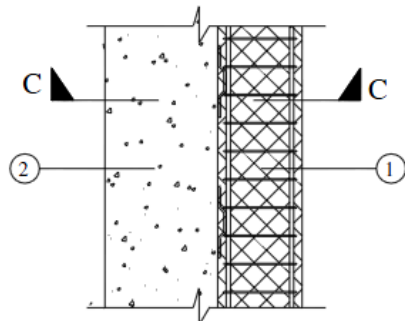
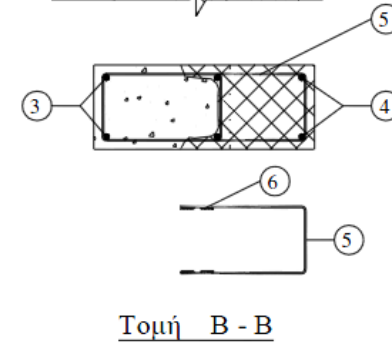
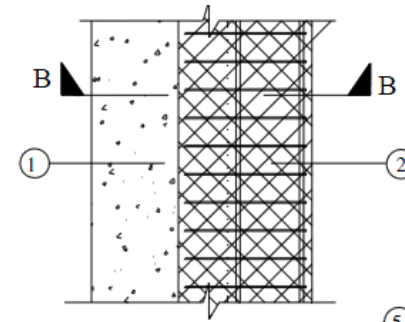
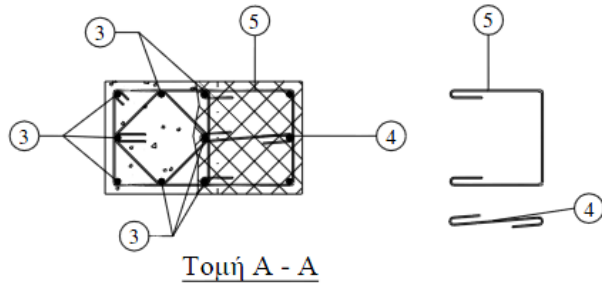
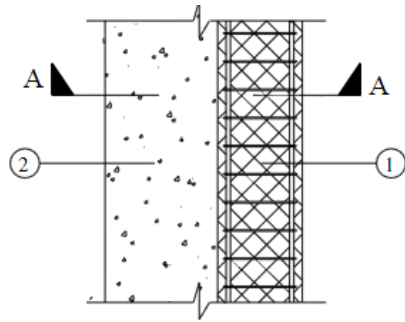


- α. Νέοι συνδετήρες με εξωτερική ράβδο ή λάμα και συγκόλληση
β,γ. Νέοι συνδετήρες με διαμπερές χάντρωμα ή τρύπα και συγκόλληση
δ. Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά (π.χ. L 50X10X5 mm) και εξωτερική λάμα
ε. Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά (π.χ. L 50X10X5 mm) στερεωμένα στο υποστύλωμα με βλήτρα.

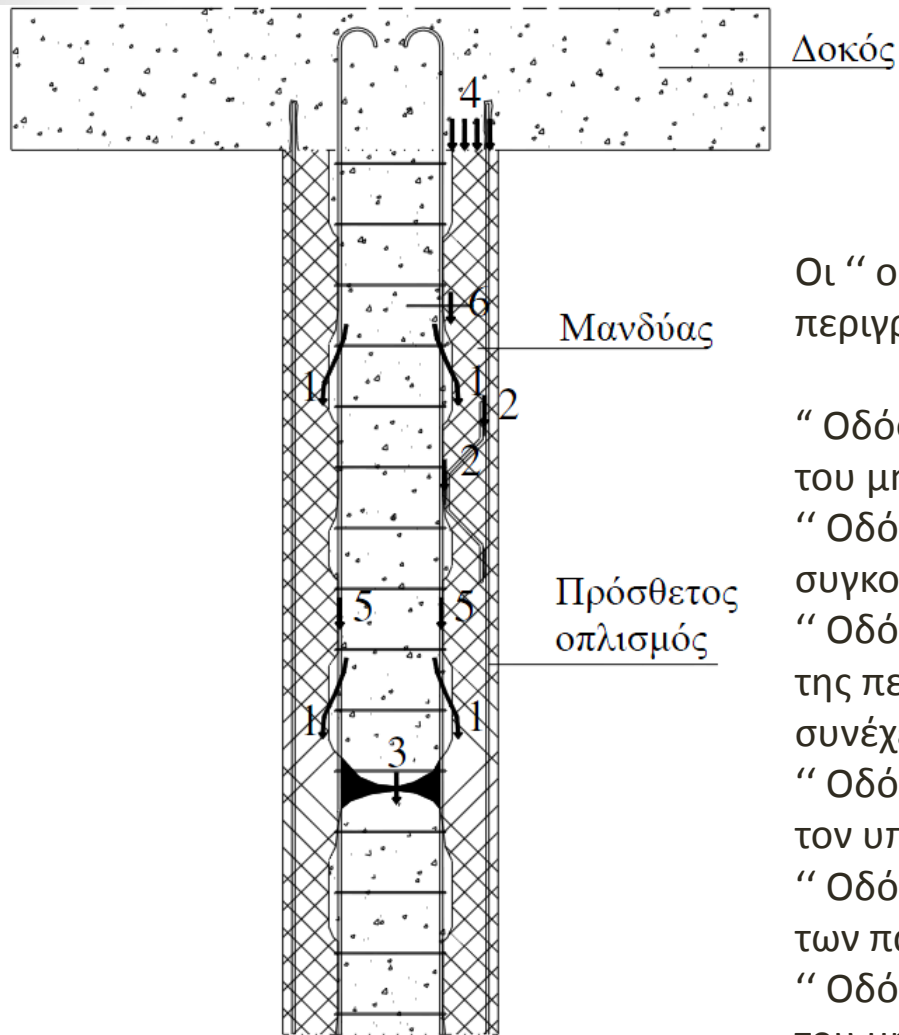


Τομή Α - Α

1. Υπάρχον υποστύλωμα
2. Επέκταση υποστυλώματος



- (1) Παλιό υποστύλωμα
- (2) Ενίσχυση
- (3) Παλιοί οπλισμοί
- (4) Πρόσθετοι οπλισμοί
- (5) Πρόσθετοι οπλισμοί
- (6) Συγκολλήσεις
- (7) Πάπιες



Οι “ οδοί” μεταφοράς δυνάμεων μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

“ Οδός” μεταφοράς 1 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού τριβής.

“ Οδός” μεταφοράς 2 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω συγκολλημένων οπλισμών.

“ Οδός” μεταφοράς 3 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω της περιοχής βλάβης μετά από αποκατάσταση της συνέχειας.

“ Οδός” μεταφοράς 4: Μεταφορά δυνάμεων από τον υπερκείμενο όροφο απευθείας στον μανδύα.

“ Οδός” μεταφοράς 5: Μεταφορά δυνάμεων μέσω των παλαιών οπλισμών.

“ Οδός” μεταφοράς 6: Μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού δράσης βλήτρου.

Το αξονικό φορτίο N_f , που μεταβιβάζεται στον μανδύα μέσω του μηχανισμού τριβής πάνω από την βλάβη, όπως επίσης και αντίστοιχα κάτω από την βλάβη, μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά:

$$\max N_f = 8 \mu f_{2t} t u_o$$

όπου:

μ είναι ο συντελεστής τριβής στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος.

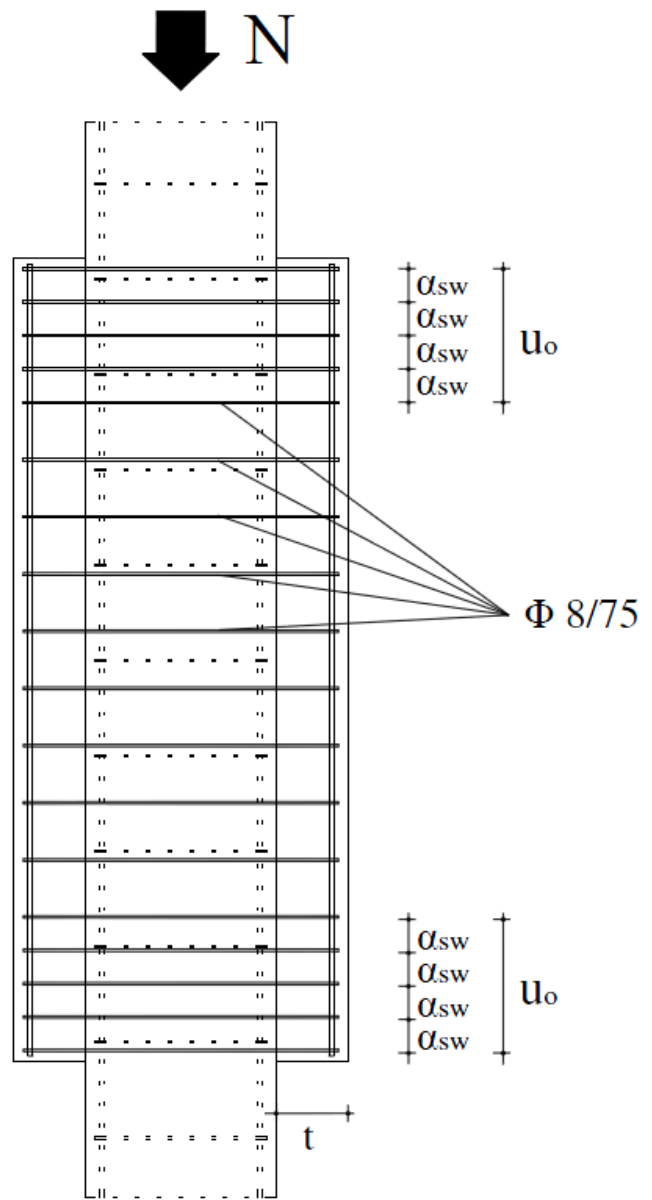
f_{2t} είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα.

u_o είναι το μήκος του μανδύα που απαιτείται για να αναπτυχθεί η $\max N_f$.

Έτσι αν:

N_u είναι το ολικό θλιπτικό φορτίο του επισκευασμένου/ενισχυμένου υποστυλώματος μετά από την αφαίρεση της υποστύλωσης και την ανακατανομή της έντασης και N_r είναι το θλιπτικό φορτίο που εξακολουθεί να φέρει το αρχικό υποστύλωμα κατά την διάρκεια της επέμβασης, το μήκος του μανδύα u_o που απαιτείται για να μεταφερθεί το φορτίο $N_u - N_r$ εξ' ολοκλήρου μέσω του μηχανισμού τριβής, μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση:

$$u_o = \frac{N_u - N_r}{8 \mu f_{2t} t}$$



Προτείνεται συντηρητικά, η εξασφάλιση της δυνατότητας μεταφοράς φορτίου από τους παλαιούς οπλισμούς προς τους νέους κατακόρυφους οπλισμούς του μανδύα, με χρήση ηλεκτροσυγκολλημένων συνδέσμων (αναρτήρων).

Πάντως αυτό κρίνεται απαραίτητο κυρίως στις περιπτώσεις ανοικτού μανδύα (ή μονόπλευρης επέκτασης του υποστυλώματος) ή όταν ο μανδύας χρειάζεται για συνεισφορά στη μεταφορά της αξονικής έντασης.

Το κατακόρυφο φορτίο (T_s) που μεταφέρεται μέσω λοξών συνδέσμων εκτιμάται από την σχέση :

$$T_s = \frac{\sum A_s \cdot E_s}{\sqrt{2} h_s} s_{cr}$$

όπου:

$\sum A_s$ είναι το εμβαδόν της συνολικής διατομής των λοξών σκελών των αναρτήρων.

E_s είναι το Μέτρο Ελαστικότητας του χάλυβα (των αναρτήρων).

$\sqrt{2} h_s$ είναι το μήκος κάθε λοξού σκέλους αναρτήρα με κλίση 45ο (Σχ.1.20).

s_{cr} είναι η κρίσιμη τιμή της ολίσθησης στην διεπιφάνεια όταν μεγιστοποιείται η αντίσταση τριβής και μπορεί να ληφθεί ίση προς 0,15 mm.

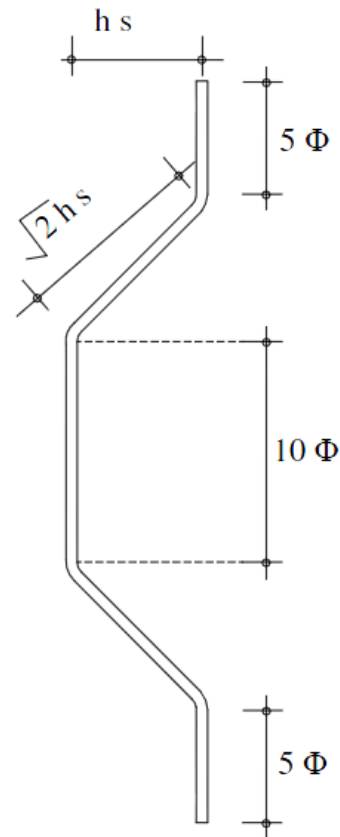
Στις ακραίες περιοχές μήκους u_0 το πλήθος των απαιτούμενων αναρτήρων (n_a) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την φέρουσα ικανότητά τους.

Στις ακραίες περιοχές μήκους u_o το πλήθος των απαιτούμενων αναρτήρων (n_a) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την φέρουσα ικανότητά τους.

$$N_u - N_r = n_a \left(14 \frac{A_s}{h_s} \right) \quad [\text{kN, mm}]$$

Πάντως η παραπάνω σχέση δίνεται στο (24), λιγότερο συντηρητικά ως:

$$N_u - N_r = n_a \left(20 \frac{A_s}{h_s} + 10 \right) \quad [\text{kN, mm}]$$



Συνδετήρες μανδύα

Στις ακραίες περιοχές μήκους u_0 πρέπει να διατάσσονται πυκνοί συνδετήρες που να αναλαμβάνουν τουλάχιστον την δύναμη που αντιστοιχεί στην εγκάρσια εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα .

Οι συνδετήρες που απαιτούνται γι' αυτό τον λόγο προσδιορίζονται από την σχέση:

$$\frac{A_{sw}^{\sigma}}{a_{sw}} \geq \frac{t \cdot f_{2t}}{f_{ywd}}$$

όπου

A_{sw}^{σ} είναι το εμβαδόν της διατομής της ράβδου του συνδετήρα

a_{sw} είναι η απόσταση των συνδετήρων

f_{ywd} είναι το όριο διαρροής των συνδετήρων

Στην σχέση αυτή ως f_{2t} λαμβάνεται $f_{2t} = f_{ctk0,95}$

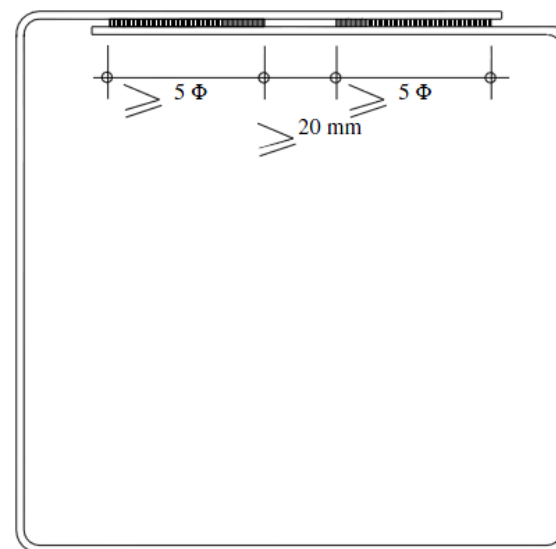
Επίσης πυκνοί συνδετήρες **Φ8/75** mm τοποθετούνται κατασκευαστικά στην περιοχή της βλάβης για να εξασφαλιστούν οι νέοι σπλισμοί από τοπικό λυγισμό

Κατασκευαστικές Διατάξεις

- Ελάχιστο πάχος μανδύα
Με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 50 mm.
Με έγχυτο σκυρόδεμα και μία σειρά νέων οπλισμών, 80-120 mm.
Με έγχυτο σκυρόδεμα και δύο σειρές νέων οπλισμών, 120 mm τουλάχιστον.

Σημειώνεται ότι για μικρά πάχη μανδυνών (π.χ. μικρότερα από 75 mm) δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι διατάξεις του Κανονισμού Σκυροδέματος για τις επικαλύψεις ράβδων οπλισμού συγχρόνως με τις διατάξεις για την μορφή των αγκίστρων στα άκρα των συνδετήρων . Έτσι για μικρό πάχος μανδύα θα πρέπει τα άκρα των συνδετήρων να **ηλεκτροσυγκολλούνται** σε εναλλασσόμενες πλευρές του υποστυλώματος.

- Στην περιοχή της βλάβης τίθενται συνδετήρες τουλάχιστον $\Phi 8/75$ mm



- Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν βλήτρα από χάλυβα B500c εμβαδού διατομής:

$$A_{sd} = \rho_{\delta, \min} A_{c\delta}$$

όπου

$$\rho_{\delta, \min} = \max(\rho_{w, \min}^{\text{οπλ. διατμ.}}, 0,12\%)$$

$\rho_{\text{οπλ. διατμ. } w, \min}$ είναι το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Κανονισμό για την Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα

$A_{c\delta}$ είναι το εμβαδόν της διατομής της διεπιφάνειας.

Οι αποστάσεις (S) των βλήτρων πρέπει να ικανοποιούν την σχέση:

$$S \leq \min(6h_{\min}, 800 \text{ mm}) \text{ όπου}$$

h_{\min} είναι το μικρότερο από τα πάχη των δύο στοιχείων που έρχονται σε επαφή.

Πειραματικοί έλεγχοι σε υποστυλώματα που είχαν ενισχυθεί με κλειστούς μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος έδειξαν ότι το ενισχυμένο στοιχείο συμπεριφέρεται **σχεδόν πανομοιότυπα με το αντίστοιχο μονολιθικό** όσον αφορά τόσο στη δυσκαμψία όσο και στην αντοχή του. Παρόλ' αυτά, λόγω **αβεβαιοτήτων** που υπεισέρχονται στην **ποιότητα κατασκευής** του μανδύα και κατ' επέκταση στο **βαθμό συνεργασίας παλαιού και νέου** σκυροδέματος, συνιστάται, οι αντίστοιχοι συντελεστές μονολιθικότητας να λαμβάνουν τιμές $k_k = 0.70 \sim 1.00$ και $k_r = 0.80 \sim 1.00$.

Απαραίτητες προϋποθέσεις εφαρμογής

- να έχει αποκατασταθεί η συνέχειά του με συγκόλληση νέου οπλισμού
- οι διαμήκεις ράβδοι του μανδύα να είναι καλά αγκυρωμένες στον υπάρχοντα φορέα
- εμβαδόν του μανδύα να είναι μικρότερο από το διπλάσιο του εμβαδού του αρχικού στοιχείου

η διαστασιολόγηση του μανδύα μπορεί να γίνεται με βάση τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από δύο αναλύσεις

Στην πρώτη ανάλυση λαμβάνεται υπόψη μόνο η διατομή του μανδύα και αγνοείται πλήρως το υπάρχον στοιχείο είτε η δυσκαμψία των ενισχυμένων στοιχείων εκτιμάται με χρήση $k_r = 0.70$, ενώ στη δεύτερη ανάλυση θεωρείται πλήρως μονολιθική σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου οπότε λαμβάνεται $k_k = 1.00$.

Εναλλακτικά μπορούν να γίνουν ηλεκτροσυγκολλήσεις των διαμήκων ράβδων με την προϋπόθεση ότι η διατμητική αντίσταση είναι ίδιου μεγέθους με αυτήν των ελαχίστων βλήτρων.

- Η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι τουλάχιστον μία κατηγορία μεγαλύτερη αυτής του παλαιού υποστυλώματος.
- Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το διπλάσιο το εμβαδού της διατομής του αρχικού υποστυλώματος ($A_{c2} \leq 2A_{c1}$).
- Τα όρια του μανδύα πρέπει να φθάνουν σε απόσταση από τα όρια της βλάβης τουλάχιστον μιάμιση φορά την μεγαλύτερη διάσταση του παλαιού υποστυλώματος.
- Στην περίπτωση που απαιτείται επισκευή του υποστυλώματος κοντά στον κόμβο, εξετάζεται η δυνατότητα επέκτασης του μανδύα στον γειτονικό όροφο.

Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Περίσφιγξη

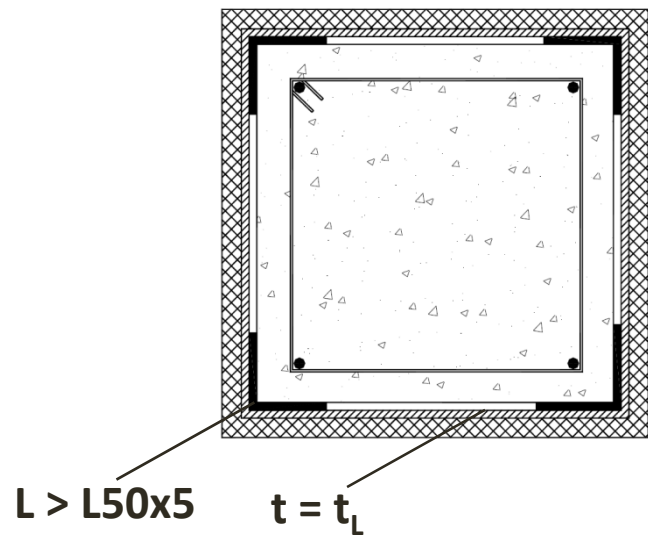
Ο συνηθέστερος τρόπος:

περίσφιγξη με χρήση επικολλητών χαλύβδινων διατομών.

Τεχνική του μεταλλικού κλωβού

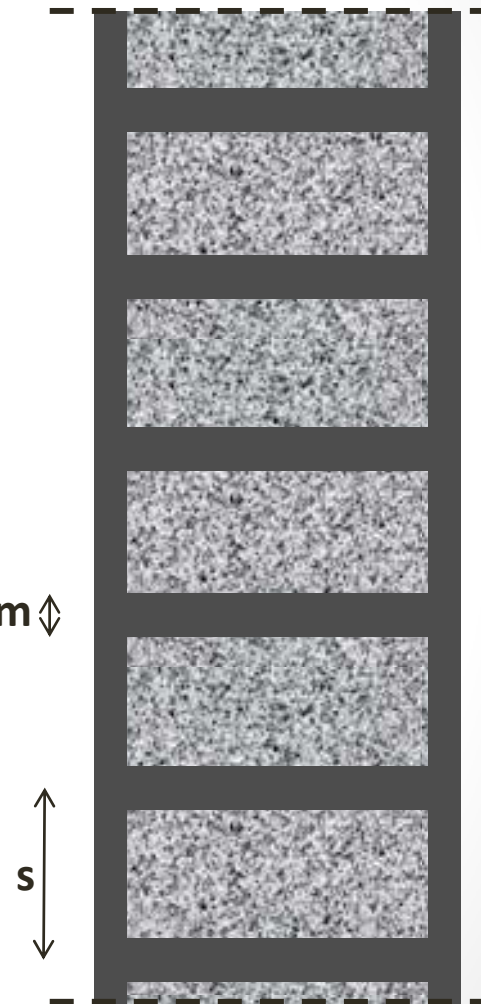
- Προσαρμογή τεσσάρων μεταλλικών γωνιακών στις κορυφές του υποστυλώματος
- Σύσφιξη γωνιακών με ειδικά κλειδιά (περίσφιγξη)
- Σύνδεση γωνιακών με το υποστύλωμα με συγκόλληση ή κοχλιωτά με χρήση κατάλληλων χημικώς πακτωμένων αγκυρίων.
- Πάνω στα γωνιακά συγκολλούνται οριζόντια μεταλλικά ελάσματα
- Το κενό μεταξύ του μεταλλικού κλωβού και του σκυροδέματος πληρώνεται συνήθως με μη συρρικνούμενη κονία.
- Η διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας γίνεται με ισχυρή τσιμεντοκονία οπλισμένη με ελαφρύ δομικό πλέγμα.

Εάν το ύψος του υποστυλώματος είναι σχετικά μικρό ($h/d \leq 3$), αντί για μεταλλικά ελάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλήρη χαλύβδινα φύλλα.



$b = 25 \sim 60 \text{ mm} \updownarrow$

$s < \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \min\{b, h\} \\ 15 \text{ cm} \end{array} \right.$









Εναλλακτικά, αντί για χρήση μεταλλικού κλωβού, η επιβολή εξωτερικής περίσφιξης μπορεί να επιτευχθεί με επικολλητά χαλύβδινα κολλάρα με σύνηθες πάχος 1-2 mm, εντός των οποίων εγκιβωτίζεται ολόκληρη η διατομή του ενισχυόμενου υποστυλώματος



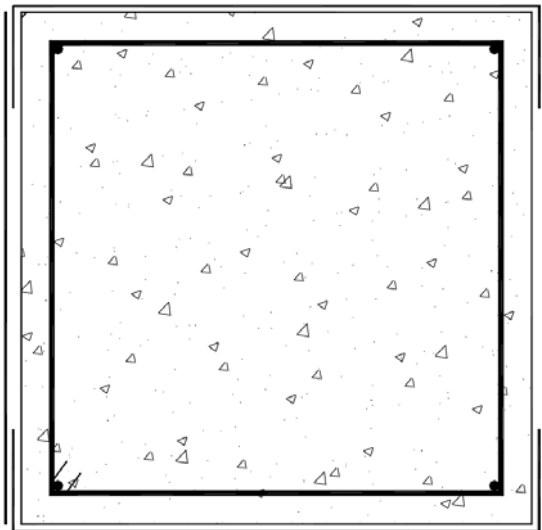
Κατασκευή ολόσωμου μεταλλικού μανδύα

κυρίως σε κυκλικές διατομές μεταξύ του μανδύα και του υποστυλώματος υπάρχει μικρό δακτυλιοειδές κενό, το οποίο πληρώνεται με τσιμεντένεμα

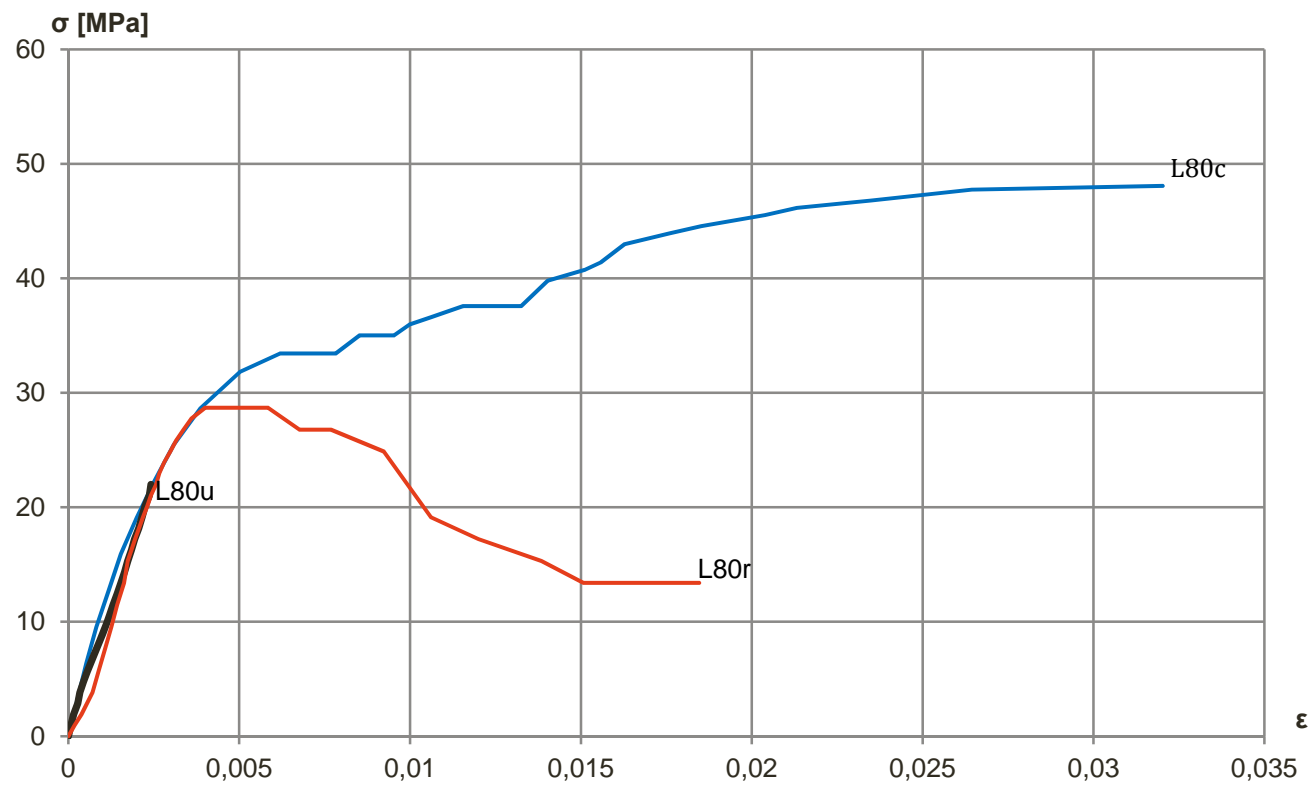
Με τη χρήση μεταλλικού μανδύα επιτυγχάνεται

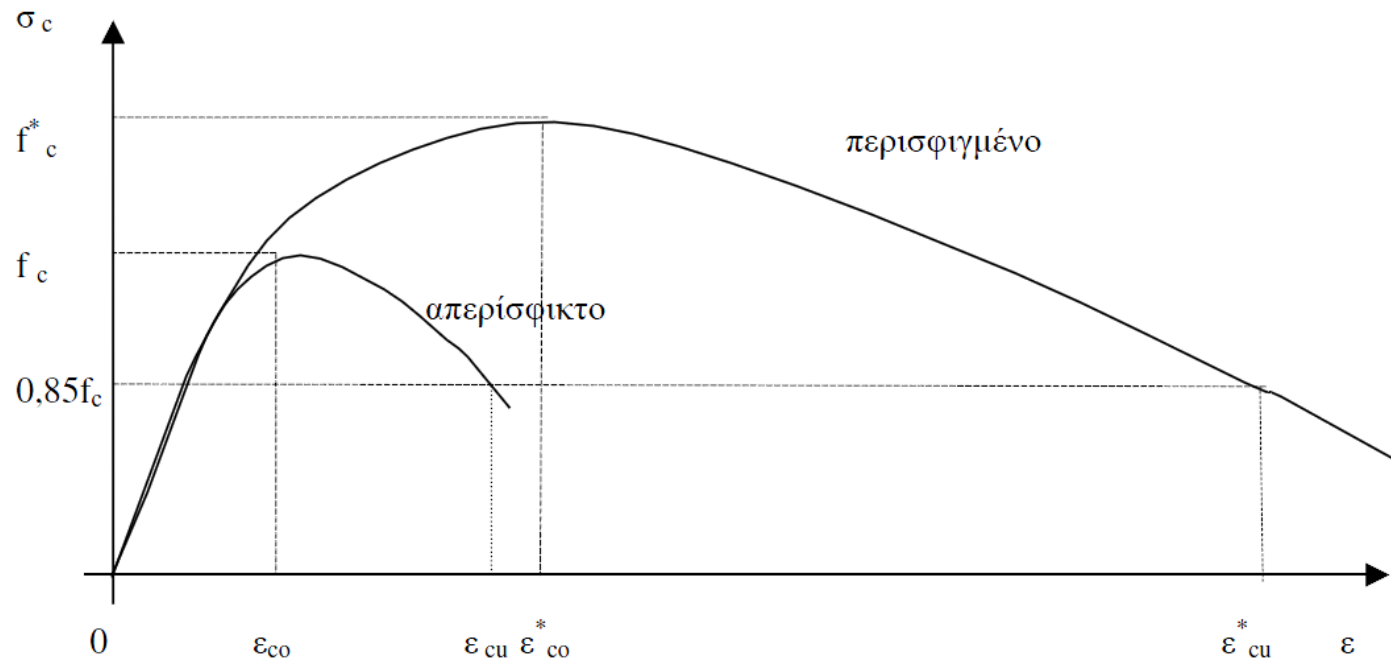
- Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος
- Αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής του στοιχείου
- Σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος

Το κυριότερο μειονέκτημά της είναι το **υψηλό εργατικό κόστος** και η ανάγκη χρήσης **ειδικού μηχανολογικού εξοπλισμού** για τη μεταφορά και εγκατάσταση των μανδυνών.









Ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις για την περίσφιγξη σκυροδέματος με συμβατικούς συνδετήρες.

$$f_c^* = \beta f_c$$

$$\varepsilon_{co}^* = \beta^2 \varepsilon_{co}$$

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,0035 + 0,1\alpha \omega_{wd}$$

όπου:

f_c^* , f_c είναι η αντοχή του περισφιγμένου και του απερίσφικτου σκυροδέματος αντιστοίχως.
 ε_{co}^* , ε_{co} είναι οι παραμορφώσεις στην κορυφή του διαγράμματος σ^* - ε^* και σ - ε
 αντιστοίχως ($\varepsilon_{co} = 0,002$).

ε_{cu}^* , ε_{cu} είναι οι παραμορφώσεις στις οποίες θεωρείται ότι συμβαίνει η αστοχία στο
 περισφιγμένο και στο απερίσφικτο σκυρόδεμα αντιστοίχως.

$$\beta = \min(1 + 2,5 \alpha \omega_{wd}, 1,125 + 1,25 \alpha \omega_{wd})$$

$\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_n$ είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης.

Σημειώνεται ότι:

(α) στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού η τιμή του συντελεστή α_s πλησιάζει την μονάδα λόγω της σχετικά μεγάλης δυσκαμψίας των γωνιακών ελασμάτων. Για συνήθεις εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί $\alpha_s = 0,9$.

(β) στην περίπτωση ενίσχυσης κυκλικών υποστυλωμάτων με λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή ή με χαλύβδινα ελάσματα ο συντελεστής α_n είναι ίσος με μονάδα ενώ αν χρησιμοποιηθεί ολόσωμος μανδύας λαμβάνεται $\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_n = 1,0$.
 ω_{wd} είναι το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό των “συνδετήρων”- κολλάρων.

Παράδειγμα:

Στύλος **40x40** με Σκυρόδεμα ποιότητας C16

Μεταλλικός κλωβός: λάμες $t = 5\text{mm}$ $b = 50\text{mm}$ $L = 400\text{mm}/150\text{mm}$ $f_y = 235\text{MPa}$

$$\alpha_n = 1 - \Sigma(b_i^2 / (6A_o)) = 1 - 4 \times 40 / (6 \times 40 \times 40) = 0,98$$
$$\alpha_s = 0,90$$
$$\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_n = 0,98 \cdot 0,9 = 0,882$$

$$\omega_{wd} = [\text{όγκος κολλάρων}] / [\text{όγκος περισφιγ. Σκυρ/τος}] \times f_{yd} / f_{cd}$$
$$= [4 \times (5 \times 40 \times 0,5)] / [15 \times 40 \times 40] \times 235 \times 1,5 / (16 \times 1,15) = 0,32$$

$$\beta = \min \begin{cases} 1 + 2,5 \alpha \omega_{wd} = 1 + 2,5 \cdot 0,882 \cdot 0,32 = 1,706 \\ 1,125 + 1,25 \alpha \omega_{wd} = 1,125 + 1,25 \cdot 0,882 \cdot 0,32 = \mathbf{1,478} \end{cases}$$
$$f_c^* = \beta f_c = 1,478 \times 16 = 23,6$$

Διαστασιολόγηση

Ανεξάρτητα από την ειδικότερη τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση, κύρια δράση είναι η **τριαξονική θλίψη** που εισάγεται με την συμβολή της περισφιγξης.

Ως εκ τούτου επιτυγχάνεται ιδιαίτερα **σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας του υποστρώματος** ενώ συγχρόνως αυξάνεται και η **θλιπτική του αντοχή**.

Το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του περισφιγμένου σκυροδέματος μπορεί να προκύψει από τις ίδιες ακριβώς σχέσεις που ισχύουν για την περισφιγξη του σκυροδέματος με συμβατικούς συνδετήρες.

