

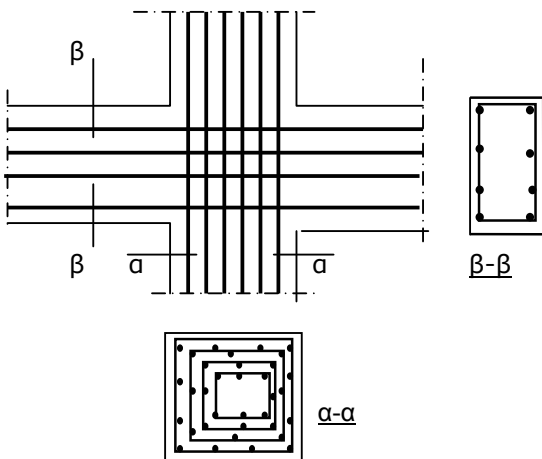
21. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΛΙΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται εναλλακτική λύση για την όπλιση των κόμβων η οποία αίρει τα κατασκευαστικά προβλήματα που αναφέρθηκαν στο κεφ. 20 και, επιπλέον, αυξάνει την ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα η οποία αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα των κατασκευών από σκυρόδεμα σήμερα.

Η όπλιση αυτή προέκυψε στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών στο εργαστήριο σκυροδέματος του ΕΜΠ και η πειραματική τεκμηρίωσή της δίνεται στο Παράρτημα.

21.1 Περιγραφή της Λύσης

Αντί της συμβατικής τοποθέτησης του διαμήκους οπλισμού στα πέλματα των δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, υιοθετείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, η εξής διάταξη του οπλισμού:



Σχ. 21. 1 Εναλλακτική όπλιση

1. Ο διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός των υποστυλωμάτων διατάσσεται διάσπαρτος σ' όλη την έκταση της διατομής τους με αποτέλεσμα ένα ομοιομορφισμένο υλικό από σκυρόδεμα και χάλυβα, εν είδει ενός **χαλυβοσκυροδέματος**.
2. Ο διαμήκης οπλισμός των δοκών διατάσσεται καθ' ύψος τους και όχι στα πέλματά τους (κατά πλάτος).
3. Η όπλιση των κόμβων διαμορφώνεται από:
 - τις διαμήκεις ράβδους των δοκών,
 - τις διαμήκεις ράβδους των υποστυλωμάτων

- τους συνδετήρες των υποστυλωμάτων.

Ο κλωβός του οπλισμού των υποστυλωμάτων συντίθεται από περισσότερους, επί μέρους, κλωβούς διαφορετικού μεγέθους οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας μέσα στον άλλο υπό μορφή ρώσικης κούκλας, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Ο διαμήκης οπλισμός ισοκατανέμεται στην περίμετρο των επί μέρους κλωβών.

❖ Το εμβαδόν του συνολικού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού παραμένει το ίδιο μ' αυτό αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση και μπορεί να προκύπτει από τις ίδιες υπολογιστικές σχέσεις.

Για τη διευκόλυνση της συναρμολόγησης του οπλισμού, καθώς και της διάστρωσης και της συμπύκνωσης του σκυροδέματος η αγκύρωση των συνδετήρων των εσωτερικών κλωβών του οπλισμού γίνεται υπό γωνία 90°. Το σημαντικό στρώμα σκυροδέματος εκατέρωθεν των συνδετήρων αυτών εμποδίζει το άνοιγμά τους και επιτρέπει την απλοποίηση αυτή.

21.2 Πλεονεκτήματα της Λύσης

Η εναλλακτική όπλιση που περιγράφηκε παραπάνω εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα συγκρινόμενη με τη συμβατική όπλιση:

- **Κατασκευαστική ευχέρεια, τυποποίηση και εκβιομηχάνιση του συνόλου του οπλισμού των υποστυλωμάτων**

Ελλείπει πυκνού άνω διαμήκους οπλισμού και κατακόρυφων συνδετήρων στην περιοχή του κόμβου, αίρονται οι κατασκευαστικές δυσχέρειες κατά τη διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος στην περιοχή αυτή.

Ως εκ του τρόπου διαμόρφωσής του, είναι δυνατή η τυποποίηση και εκβιομηχάνιση ολόκληρου του σκελετού των οπλισμών των υποστυλωμάτων και όχι μόνον του κλωβού των συνδετήρων που ισχύει σήμερα.

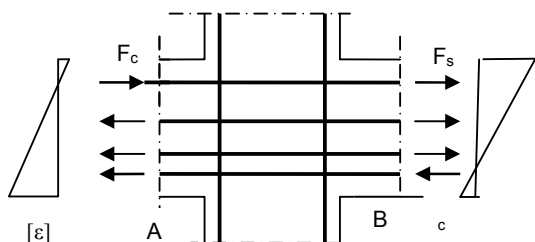
Ο οπλισμός μπορεί να προκύπτει με συνδυασμό επί μέρους συμβατικών κλωβών οπλισμού τυποποιημένων διαστάσεων και τυποποιημένου συνολικού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού.

Μια τέτοια βιομηχανική διαμόρφωση ολόκληρου του κλωβού του οπλισμού των υποστυλωμάτων, εκτός από τα προφανή πλεονεκτήματα για την οικονομία της κατασκευής, εξασφαλίζει τα στοιχεία από τοπικές αστοχίες οφειλόμενες σε κακοτεχνίες κατά τη συνα-

μολόγηση του οπλισμού επί τόπου του έργου.

➤ **Καλύτερη συνάφεια και αγκύρωση των ράβδων**

Η συνάφεια, το κατ' εξοχήν αποφασιστικό μέγεθος για την ασφάλεια των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα βελτιώνεται σημαντικά με την λύση αυτή. Λόγω του μεγαλύτερου αριθμού των ράβδων που επιτρέπει η λύση αυτή, οι διαμέτροι τόσο του διαμήκους όσο και του εγκάρσιου οπλισμού προκύπτουν σημαντικά μικρότερες απ' αυτές των αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση και είναι δυνατή η τήρηση των μικρών διαμέτρων για το διαμήκη οπλισμό που σχολιάζεται στο κεφ. 6.



Σχ. 21. 2 Εσωτερικές δυνάμεις εκατέρωθεν του κόμβου

Επί πλέον, στις ενδιάμεσες διαμήκεις ράβδους δεν αναπτύσσονται καθόλου τάσεις συνάφειας, αφού, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, η ένταση στις ράβδους αυτές παραμένει σταθερά εφελκυστική.

➤ **Μεγαλύτερη πυρασφάλεια και διάρκεια των κατασκευών και μεγαλύτερη ασφάλεια και επισκευασιμότητα των υποστυλωμάτων**

Είναι προφανής η αυξημένη πυρασφάλεια και, εν γένει, ανθεκτικότητα των στοιχείων από χαλυβοσκυρόδεμα, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού τους είναι προστατευμένο από περιβαλλοντικές προσβολές, λόγω του μεγαλύτερου πάχους της επικάλυψής τους.

21.3 Η Λογική της Λύσης

21.3.1 Η ίδια καμπτική αντοχή στοιχείων από με τη συμβατική και την εναλλακτική όπλιση

Η διάταξη των διαμήκων ράβδων καθ' ύψος των φορέων ή διάσπαρτη σε όλη τη διατομή τους έρχεται σ' αντίθεση με τη συμβατική

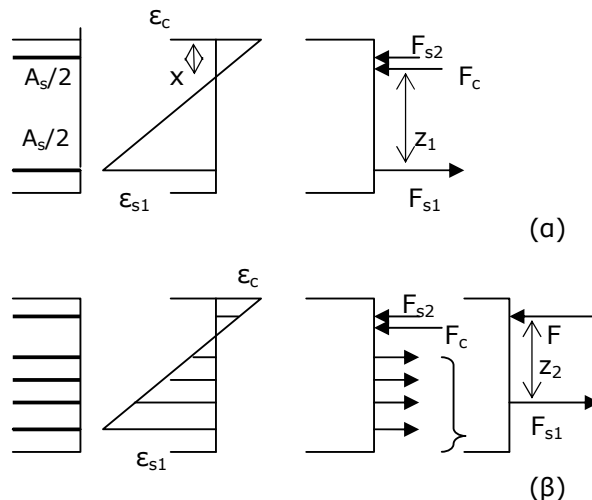
απαίτηση για διάταξη του καμπτόμενου οπλισμού στα πέλματα των στοιχείων.

Η απαίτηση αυτή αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο του καμπτικού σχεδιασμού των δομικών στοιχείων, όπως αυτός αναγράφεται στα κλασσικά εγχειρίδια οπλισμένου σκυροδέματος και προδιαγράφεται στους σύγχρονους κανονισμούς.

Σύμφωνα με την κλασσική αυτή αντίληψη, η φέρουσα ικανότητα των στοιχείων με την εναλλακτική διάταξη του διαμήκους οπλισμού αναμένεται να είναι σημαντικά μειωμένη, λόγω του μειωμένου μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων.

Προσεκτικότερη, όμως, εξέταση αποκαλύπτει ότι η φέρουσα ικανότητα των στοιχείων αυτών δεν υστερεί αυτής αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση.

Στο Σχ. 3 δίνονται τα διαγράμματα παραμορφώσεων και εσωτερικών δυνάμεων καθ' ύψος της διατομής στην κατάσταση αστοχίας (α) για στοιχεία με τον διαμήκη οπλισμό στα πέλματά τους και (β) για στοιχεία με μέρος του διαμήκους οπλισμού ενδιάμεσα του ύψους τους.



$$M_{Rdu}^{(a)} = A_s/2 \cdot f_{sd} \cdot Z_1$$

$$M_{Rdu}^{(b)} = 3A_s/4 \cdot f_{sd} \cdot Z_2$$

Σχ. 21. 3 Εσωτερικές δυνάμεις σε κατάσταση αστοχίας για (α) συμβατική όπλιση και (β) εναλλακτική όπλιση

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, επειδή το βάθος x της θλιβόμενης ζώνης είναι μικρό στην περίπτωση στοιχείων με συμμετρικό οπλισμό, οι ενδιάμεσες ράβδοι εφελκύνονται το ίδιο με τις ακραίες ράβδους στα πέλματα των στοιχείων και, γι αυτό, η συμβολή τους στην καμπτική αντοχή δεν είναι αμελητέα.

Η συμβολή των ενδιάμεσων ράβδων στην αύξηση της (συνισταμένης) εφελκυστικής δύναμης F_{s1} στοιχείου με καθ' ύψος διάταξη του διαμήκους οπλισμού εξισορροπεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, τον μειωμένο μοχλοβραχίονα z των εσωτερικών δυνάμεων με αποτέλεσμα η αναλαμβανόμενη ροπή να είναι ίδια μ' αυτήν αντίστοιχου στοιχείου με τον διαμήκη οπλισμό στα πέλματα του στοιχείου.

Η γενικευμένη πεποίθηση του τεχνικού κόσμου για υποχρεωτική διάταξη του καμπτικού οπλισμού στα πέλματα των στοιχείων φαίνεται να πηγάζει από την παραδοχή ότι ο ουδέτερος άξονας των καμπτόμενων φορέων είναι στην περιοχή του μέσου της διατομής και, γι' αυτό, οι ενδιάμεσες ράβδοι είναι ανενεργές.

Η παραδοχή αυτή φαίνεται να έχει την προέλευσή της σε περιόδους κατά τις οποίες:

- Ο σχεδιασμός των στοιχείων γινόταν σε κατάσταση λειτουργικότητας (με τη μέθοδο των επιτρεπομένων τάσεων) και, γι' αυτό, λόγω της μικρής τιμής της ροπής σχεδιασμού (που ήταν η ροπή των φορτίων λειτουργίας και όχι η ροπή αστοχίας), το βάθος της θλιβόμενης ζώνης προέκυπτε σημαντικό.
- Ο θλιβόμενος οπλισμός των στοιχείων περιοριζόταν σ' αυτόν της συναρμολόγησης των συνδετήρων (οπλισμός montage), και το πλάτος των δομικών στοιχείων ήταν σχετικά μικρό.

Στο σύγχρονο σχεδιασμό των κατασκευών ο θλιβόμενος οπλισμός και το πλάτος των στοιχείων έχουν σημαντικά αυξηθεί για λόγους πλαστιμότητας και, γι' αυτό, το βάθος της θλιβόμενης ζώνης έχει μειωθεί περαιτέρω.

Για παράδειγμα, σ' ένα στοιχείο με διατομή 300X300 mm και συμμετρικό οπλισμό 4Φ14, ποιότητας S500 το βάθος της θλιβόμενης ζώνης για το φορτίο αστοχίας προκύπτει ίσο με 3,5 cm.

21.3.2 Πλεονεκτήματα στη Διατμητική Συμπεριφορά

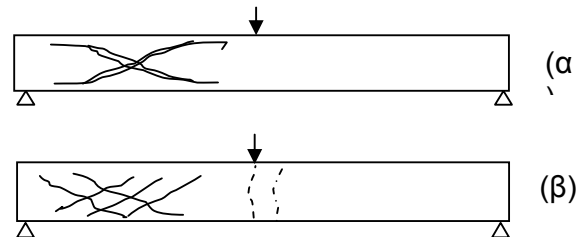
Οι διαμήκεις ράβδοι ενδιάμεσα του ύψους των στοιχείων δρουν για τη διατμητική ρηγμάτωση με τον ίδιο τρόπο που δρουν οι ακραίες διαμήκεις ράβδοι για την καμπτική ρηγμάτωση.

Με την εμφάνιση της πρώτης τριχοειδούς (λοξής) διατμητικής ρωγμής ενδιάμεσα του ύψους των στοιχείων ενεργοποιούνται οι ενδιάμεσες διαμήκεις ράβδοι παρεμποδίζοντας την ανεξέλεκτη διεύρυνση και επέκταση της

ρωγμής αυτής, επιτρέποντας έτσι την εμφάνιση κι άλλων διατμητικών ρωγμών.

Με τον τρόπο αυτό:

- Αυξάνει η διατμητική αντοχή των στοιχείων, καθώς ενεργοποιούνται περισσότεροι συνδετήρες.
- Η διατμητική αστοχία αποκτά πλαστικό χαρακτήρα.



Σχ. 21.4 Διατμητική ρηγμάτωση στοιχείων με διαμήκεις ράβδους (α) στα πέλματα και (β) καθ' ύψος των στοιχείων

Σ' αντίθεση με τους συνδετήρες, η διατμητική απόδοση των οποίων εξαρτάται σημαντικά από τη σχετική θέση τους ως προς τη μη επακριβώς καθορισμένη θέση της διατμητικής ρωγμής, η διατμητική απόδοση των ενδιάμεσων ράβδων είναι ανεξάρτητη από τη θέση εμφάνισης της διατμητικής ρωγμής, καθώς οι διαμήκεις ράβδοι εκτείνονται σ' όλο το μήκος των στοιχείων.

Επιπρόσθετα:

- Λόγω των μεγαλύτερων τιμών των εσωτερικών δυνάμεων, το βάθος της θλιβόμενης ζώνης προκύπτει μεγαλύτερο και, γι' αυτό, είναι μεγαλύτερη η διατμητική συμβολή του σκυροδέματος της θλιβόμενης ζώνης.
- Λόγω του μεγαλύτερου βάθους της θλιβόμενης ζώνης αποφεύγεται ή καθυστερείται η αστοχία συνάφειας κατά μήκος του θλιβόμενου οπλισμού η οποία χαρακτηρίζει τη διατμητική συμπεριφορά των συνήθων στοιχείων, καθώς οι θλιπτικές τάσεις της θλιβόμενης ζώνης κλείνουν τη διατμητική ρωγμή.
- Λόγω της συνύπαρξης των ορθών εφελκυστικών τάσεων των ενδιάμεσων (καθ' ύψος) ράβδων, η κλίση της κύριας εφελκυστικής τάσης στην περιοχή του μέσου του ύψους του στοιχείου διατηρείται σταθερή, όπως φαίνεται στο σχήμα, με αποτέλεσμα να καθυστερείται η οριζοντίωσή της που παρατηρείται στα συνήθη στοιχεία λόγω απώλειας συνάφειας των ακραίων διαμήκων ράβδων και να ενεργοποιούνται περισσότεροι συνδετήρες για την ανάληψη της δρώσας τέμνουσας.

