

14.3.2 Μηχανικές Ιδιότητες

Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων οι οποίες ενδιαφέρουν είναι:

- όριο διαρροής και όριο θραύσης
- η μορφή του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων
- η ολκιμότητα
- η αντοχή σε κόπωση

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων οπλισμού σε μία μελέτη βασίζεται σε κατηγορία χάλυβα που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής f_{yk} . Η αντοχή αυτή συνδέεται με το όριο διαρροής και το όριο θραύσης. Γενικά, η χαρακτηριστική αντοχή προσδιορίζεται από τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας και είναι πιστοποιημένη.

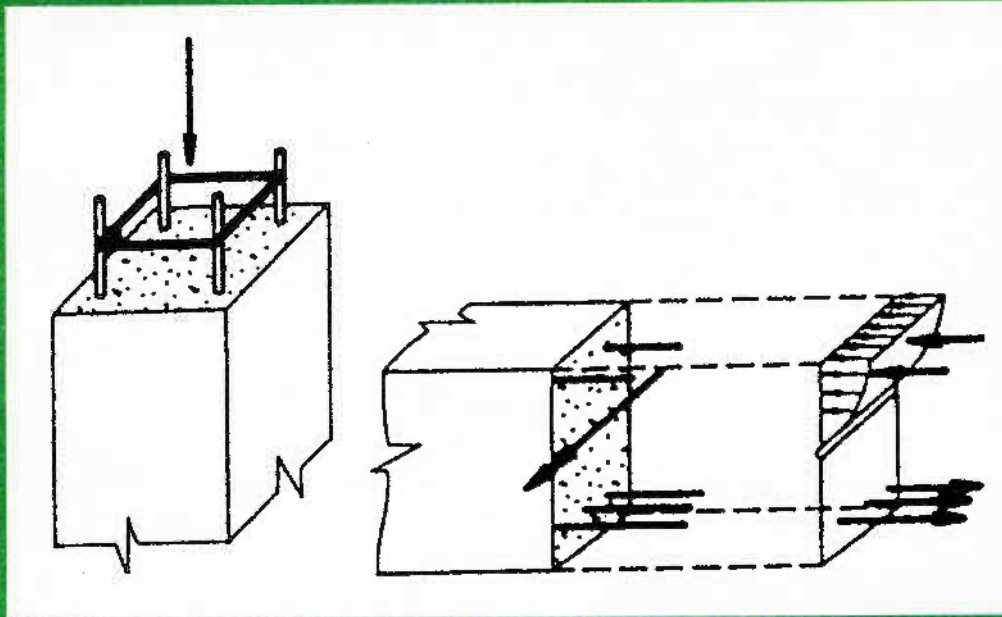
Αναλυτική αναφορά στο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων γίνεται στο μάθημα της αντοχής των υλικών.

Το ενδιαφέρον μας για την αντοχή σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση έχει δύο διαστάσεις, καθώς θα πρέπει να αντέχει και στα δύο ενδεχόμενα:

- A. εναλλασσόμενη καταπόνηση με μικρό αριθμό επαναλήψεων με μεγάλες παραμορφώσεις (περίπτωση σεισμού)
- B. μεγάλο αριθμό επαναλήψεων για μικρές ακραίες παραμορφώσεις

	5	6	8	10	12	14
Φ (mm)	16	18	20	25	32	

Πίνακας 14.5 Συνήθεις διαμέτραι ράβδων οπλισμού



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

ΟΠΛΙΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- Ισοστατικοί φορείς
- Κάμψη
- Διάτμηση
- Θλίψη
- Εφελκυσμός
- Όπλιση για συνδιασμό
Κάμψης-Διάτμησης-Θλίψης-Εφελκυσμού



ΣΚΟΠΟΣ – ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο, θα μπορείτε:

- Να κάνετε επίλυση απλών ισοστατικών φορέων και διαγράμματα N, Q, M.
- Να ξεχωρίζετε τις διάφορες εντατικές καταστάσεις όπως προκύπτουν από τα διαγράμματα N, Q, M.
- Να αντιληφθείτε πού και γιατί τοποθετείται οπλισμός.

15.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Όπως γίνεται σαφές από τα δύο προηγούμενα κεφάλαια, οι χαλύβδινες ράβδοι οπλισμού τοποθετούνται στο σκυρόδεμα για να το ενισχύσουν στα σημεία όπου εκείνο θα ρηγματωθεί. Από τις ιδιότητές του είναι φανερό ότι, ενώ το σκυρόδεμα αντέχει σε θλίψη, η αντοχή του σε εφελκυσμό είναι αμελητέα. Έτσι γίνεται ξεκάθαρο ότι τουλάχιστον όπου εμφανίζεται εφελκυσμός θα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός.

Αφού μελετηθούν οι βασικές περιπτώσεις καταπόνησης (κάμψη, διάτμηση, εφελκυσμός και θλίψη), θα γίνει ευκρινές ότι η κάμψη και διάτμηση μπορούν να αναχθούν τελικά τοπικά σε εφελκυσμό και θλίψη. Έτσι ο κανόνας τοποθέτησης οπλισμού στις εφελκυόμενες περιοχές έχει και πάλι εφαρμογή. Επίσης, όταν η θλίψη είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του σκυροδέματος, πάλι τοποθετείται οπλισμός για να ενισχύσει το σκυρόδεμα.

Πολλά χρόνια πειραματικής και θεωρητικής διερεύνησης παγκοσμίως έχουν οδηγήσει σε πολλά χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη σωστή όπλιση των δομικών στοιχείων και πλέον οι ελληνικοί κανονισμοί δίνουν σαφείς οδηγίες. Παρότι η γνώση για το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι προϊόν επιστημονικής διερεύνησης και πρακτικής εμπειρίας πολλών δεκαετιών, τα περισσότερα μπορούν να εξηγηθούν με γνώσεις απλής μηχανικής και αντοχής των υλικών. Επειδή το συγκεκριμένο βιβλίο απευθύνεται σε μαθητές που στερούνται αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο, η παρουσίαση της όπλισης δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα για διάφορες εντατικές καταστάσεις γίνεται όσο το δυνατό πιο απλά και με τους λιγότερους δυνατούς όρους και έννοιες από την τεχνική μηχανική.

Επίσης θα πρέπει να γίνει σαφές ότι η αναφορά στην επίλυση ισοστατικών φορέων και στον σχεδιασμό διαγραμμάτων N , Q , M (φορτίων διατομής) γίνεται απλώς για να γίνει δυνατή η σύνδεση αποτελεσμάτων της στατικής ανάλυσης με τον σχεδιασμό και ειδικότερα σε αυτή τη φάση με την τοποθέτηση του οπλισμού.

15.3 ΙΣΟΣΤΑΤΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ

15.3.1 Αντιδράσεις στηρίξεων και εσωτερικές δυνάμεις

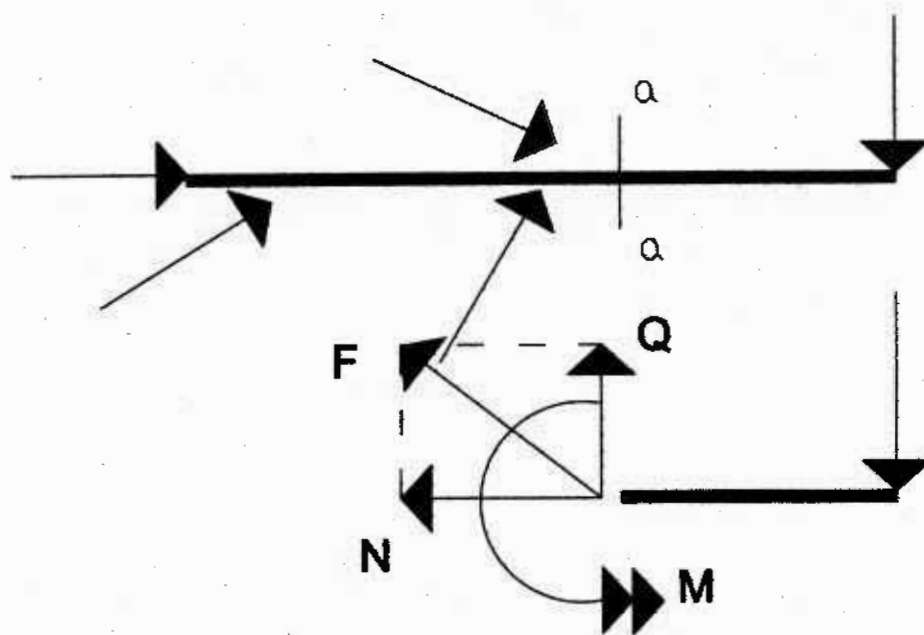
Αντικείμενο μελέτης είναι ο υπολογισμός των αντιδράσεων των στηρίξεων ενός δομικού στοιχείου ή μίας ομάδας στοιχείων (π.χ. ενός πλαισίου) και των εσωτερικών δυνάμεων.

Οι αντιδράσεις βρίσκονται σε αντιστοιχία με το είδος στήριξης (κύλιση, άρθρωση και πάκτωση) όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 13. Υπολογίζονται από εφαρμογή των εξισώσεων ισοροπίας:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M = 0 \end{cases}$$

όπου F_x και F_y οι δυνάμεις κατά τον x και y άξονα αντίστοιχα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αντί των εξισώσεων ισοροπίας δυνάμεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραπάνω από μία εξισώσεις ροπών. Ο υπολογισμός των αντιδράσεων είναι πάντα το πρώτο βήμα επίλυσης.

Οι εσωτερικές δυνάμεις εξετάζονται μακροσκοπικά ως δυνάμεις και ροπές διατομής συνολικά. Εστω παραδείγματος χάρη ο φορέας του σχήματος 15.1. Σε αυτόν επιβάλλονται διάφορες δυνάμεις. Εάν κάνουμε μία τομή α-α και εξετάσουμε το ένα τμήμα μόνο, τότε καταλαβαίνουμε ότι υπάρχουν κάποιες εσωτερικές δυνάμεις που ασκούνται στη διατομή που κόψαμε ώστε να υπάρχει ισορροπία. Όπως προκύπτει από την ανάγκη για ισορροπία, αυτές οι εσωτερικές δυνάμεις θα είναι μία δύναμη F και μία ροπή M . Η δύναμη F μπορεί να αναλυθεί σε δύο δυνάμεις Q και N . Η πρώτη είναι παράλληλη προς την εξεταζόμενη διατομή και κάθετη στον άξονα της δοκού, ενώ η N κάθετη στη διατομή και παράλληλη στον άξονα της δοκού. Έτσι προκύπτουν η αξονική δύναμη N , η διατμητική ή τέμνουσα Q και η καμπτική ροπή M . Αυτά ονομάζονται φορτία διατομής.



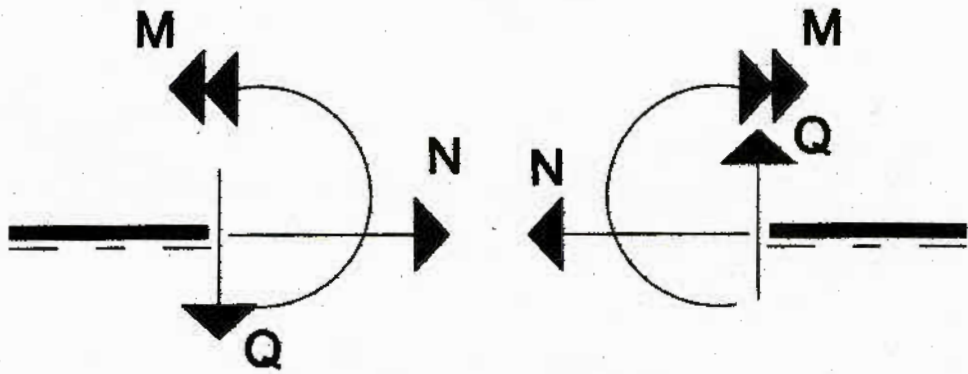
Σχήμα 15.1 Φορτία διατομής στη τομή $a-a$.

15.3.2 Προσήμανση των φορτίων διατομής

Προκειμένου να έχουμε μία ενιαία θεώρηση για τις φορές των φορτίων διατομής δίνουμε σε αυτές συμβατικά θετικά ή αρνητικά πρόσημα. Η προσήμανση αυτή γίνεται με βάση τη μία από τις δύο ακραίες ίνες, πάνω ή κάτω, της δοκού, την οποία και παίρνουμε ως ίνα αναφοράς. Κατόπιν αυτού δεχόμαστε ότι:

1. Η αξονική δύναμη N είναι θετική όταν είναι εφελκυστική, δηλαδή όταν τείνει να επιμηκύνει τη δοκό. Τούτο σημαίνει ότι η δύναμη N είναι θετική, όταν κατευθύνεται εκτός της δοκού, και αρνητική, όταν κατευθύνεται προς τη δοκό.
2. Η τέμνουσα δύναμη Q είναι θετική όταν, για το αριστερό τμήμα της δοκού κατευθύνεται προς την ίνα αναφοράς, ενώ για το δεξιό τμήμα της δοκού κατευθύνεται προς την αντίθετη πλευρά της ίνας αναφοράς.
3. Η καμπτική ροπή M είναι θετική, όταν εφελκύει την ίνα αναφοράς, και αρνητική, όταν τη θλίβει. Έτσι, για κάτω ίνα αναφοράς η ροπή M είναι θετική, όταν για το αριστερό τμήμα είναι αντιωρολογιακή και για το δεξιό ωρολογιακή, αλλιώς είναι αρνητική. Τα αντίθετα ακριβώς ισχύουν για πάνω ίνα αναφοράς.

Τα φορτία διατομής που θεωρούνται θετικά φαίνονται στο σχήμα 15.2.



Σχήμα 15.2 Συμβατικές θετικές φορές φορτίων διατομής.

15.3.3 Υπολογισμός των φορτίων διατομής

Προκειμένου να προσδιορίσουμε τα φορτία διατομής N , Q , M σε μία τομή $a-a$ μίας δοκού εργαζόμαστε ως εξής:

1. Υπολογίζουμε με τις εξισώσεις ισοροπίας τις αντιδράσεις στήριξης της δοκού και προσδιορίζουμε έτσι το σύνολο των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται στη δοκό.
2. Ορίζουμε τη μία από τις δύο ακραίες ίνες της δοκού ως ίνα αναφοράς.
3. Απομονώνουμε το ένα από τα δύο τμήματα, αριστερό ή δεξιό, στα οποία χωρίζεται η δοκός με την τομή $a-a$ και τοποθετούμε σε αυτό αφ' ενός τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο υπ' όψη τμήμα, αφ' ετέρου στη θέση τομής τα φορτία διατομής N , Q , M με θετική φορά. Από τα δύο τμήματα εκλέγουμε συνήθως εκείνο στο οποίο ενεργούν οι λιγότερες εξωτερικές δυνάμεις.
4. Εάν κάποιες εξωτερικές δυνάμεις δεν ενεργούν κατά τον άξονα ή κάθετα της δοκού, αλλά υπό διαφορετική γωνία, αναλύουμε αυτές κατά τους δύο άξονες. Εάν επί της δοκού ενεργούν κατανεμημένα φορτία, υπολογίζουμε τα συνιστάμενα (συγκεντρωμένα) φορτία.
5. Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις ισοροπίας υπολογίζουμε τα φορτία διατομής.



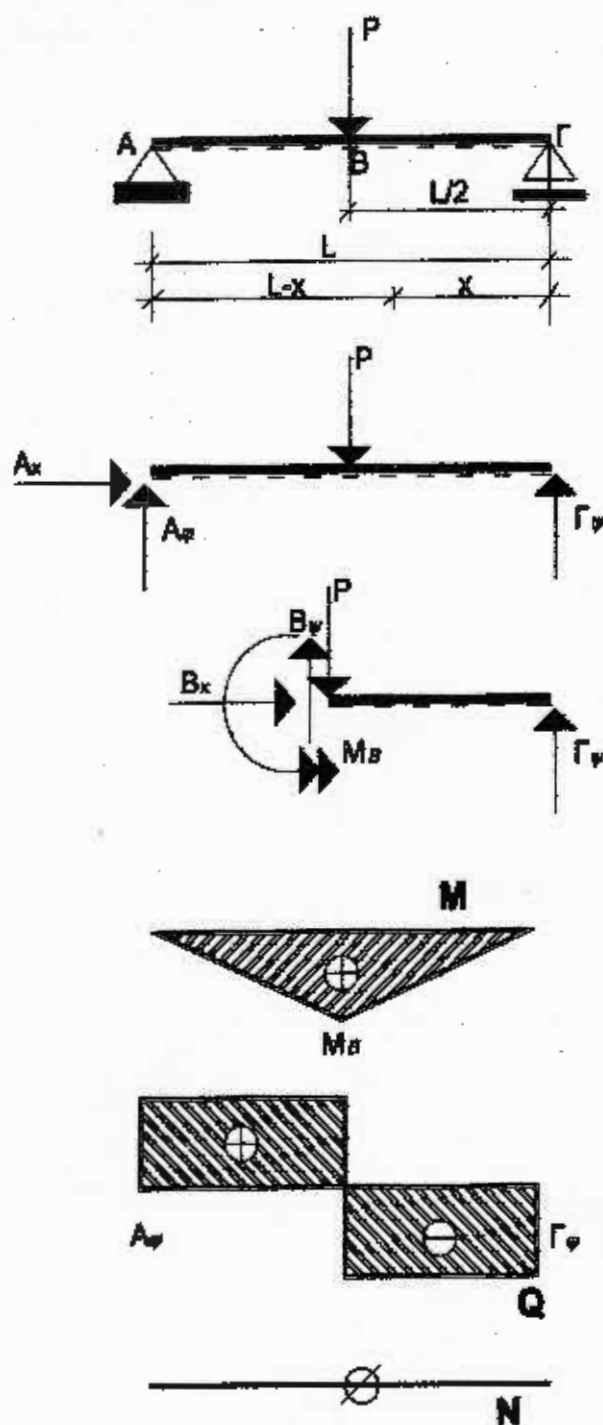
Όταν υπολογίζει κανείς τα φορτία διατομής, αρκεί να ορίσει μία φορά, η οποία για τους υπολογισμούς θα είναι θετική. Εάν προκύψει αρνητικό αποτέλεσμα, τότε η πραγματική φορά είναι η αντίθετη. Μετά κάνουμε την αναγωγή στη συμβατικά θεωρούμενη προσήμανση. Βέβαια έτσι είναι πιο πολύπλοκο. Ακολουθούν παραδείγματα.

15.3.4 Διαγράμματα N, Q, M

Οι τιμές των φορτίων διατομής N, Q, M μεταβάλλονται εν γένει από διατομή σε διατομή μίας δοκού, είναι δηλαδή συναρτήσεις της θέσης της διατομής. Η θέση μίας διατομής μπορεί να προσδιορισθεί με μία μεταβλητή τετμημένη X από κάποια αρχή αξόνων, που μετριέται πάνω στον άξονα της δοκού. Έτσι, τα φορτία διατομής N, Q, M είναι συναρτήσεις του X και ως τέτοιες μπορούν να παρασταθούν γραφικά κατά μήκος του άξονα της δοκού. Οι γραφικές παραστάσεις αυτές αποτελούν τα διαγράμματα N, Q, M.

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων N, Q, M ως άξονας των X λαμβάνεται ο άξονας της δοκού, ενώ στον άξονα των Ψ λαμβάνονται ως τεταγμένες οι τιμές των N, Q, M. Έχει καθιερωθεί για εποπτικούς λόγους, στην περίπτωση της αξονικής δύναμης N και της τέμνουσας Q το θετικό ημιεπίπεδο των αξόνων να λαμβάνεται στην αντίθετη πλευρά της ίνας αναφοράς, ενώ στην περίπτωση της καμπτικής ροπής M το θετικό ημιεπίπεδο να λαμβάνεται προς το μέρος της ίνας αναφοράς. Τα διαγράμματα κατασκευάζονται πάντοτε σε κλίμακα.

Εφαρμογή 1 / Κεφ. 15



Εστω η αμφιέριστη δοκός του σχήματος. Η άρθρωση στο A ισοδυναμεί με τις δύο αντιδράσεις A_x και A_y , ενώ η κύλιση στο Γ με την αντίδραση Γ_y . Από τις εξισώσεις ισοροπίας έχουμε:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \Rightarrow A_x = 0 \\ \sum F_y &= 0 \Rightarrow A_y + \Gamma_y - P = 0 \Rightarrow \\ A_y + \Gamma_y &= P \quad (1)\end{aligned}$$

Ός προς το A έχουμε:

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \Rightarrow PL/2 - \Gamma_y L = 0 \Rightarrow \\ \Gamma_y &= P/2 \text{ και από την (1) έχουμε:} \\ A_y &= P/2\end{aligned}$$

Αντίστοιχα κάνοντας την επίλυση για μεταβαλλόμενο μήκος τμήμα X της δοκού έχουμε:

α. για $x < L/2$:

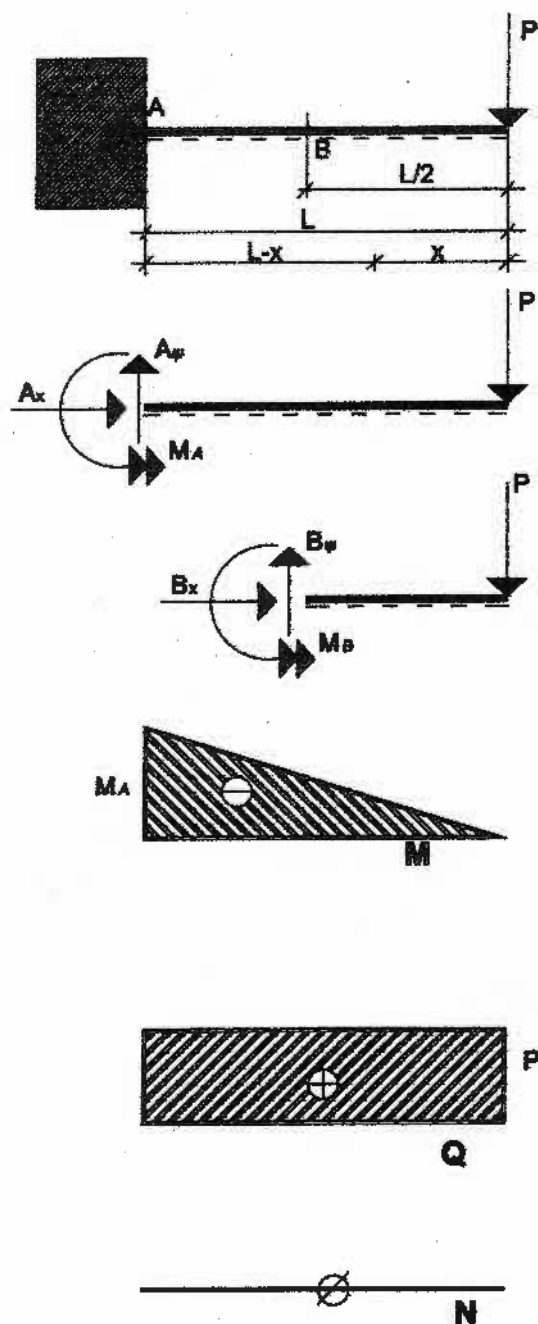
$$\begin{aligned}M &= xP/2 \\ Q &= -P/2 \\ N &= 0\end{aligned}$$

β. για $x \geq L/2$:

$$\begin{aligned}M &= P/2 \cdot L/2 - P(x - L/2) \Rightarrow \\ M &= 3PL/4 - Px \\ Q &= P/2 \\ N &= 0\end{aligned}$$

και έτσι προκύπτουν τα διαγράμματα N , Q , M .

Εφαρμογή 2 / Κεφ. 15



Στη στήριξη (πάκτωση) του προβόλου του σχήματος αντιστοιχούν οι αντιδράσεις A_x , A_y και M_A . Από τις εξισώσεις ισορροπίας έχουμε:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow A_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A_y - P = 0 \Rightarrow A_y = P$$

Ός προς το A:

$$\sum M = 0 \Rightarrow M_A - PL = 0 \Rightarrow M_A = PL$$

Αντίστοιχα για τμήμα X έχουμε:

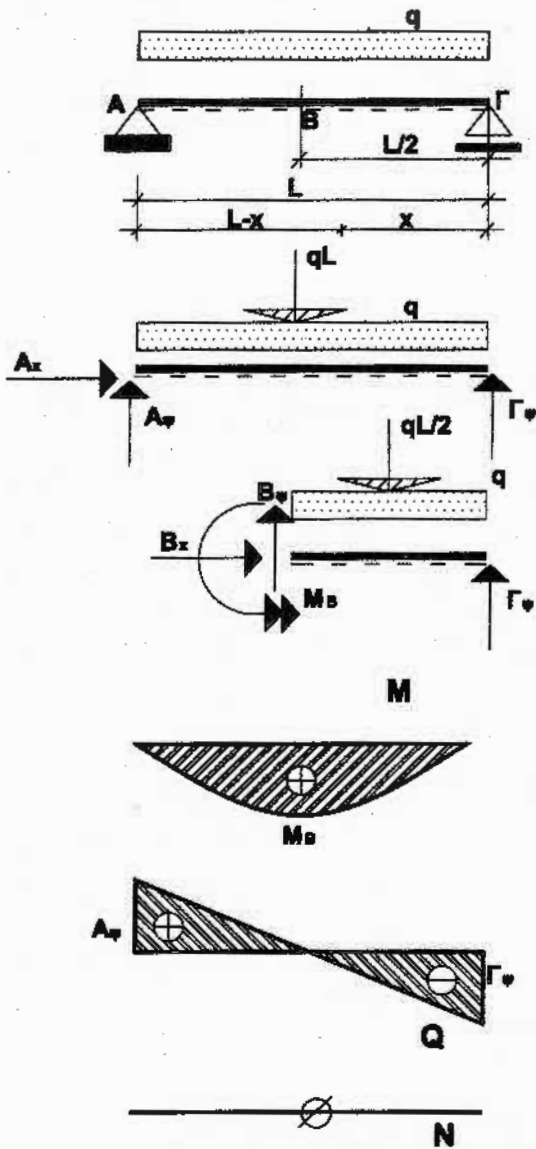
$$M = -xP$$

$$Q = P$$

$$N = 0$$

και έτσι προκύπτουν τα εικονιζόμενα διαγράμματα N, Q, M.

Εφαρμογή 3 / Κεφ. 15



Έστω η αμφιέριστη δοκός με ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο q σε όλο το μήκος.

Αντιστοιχούμε τις στηρίξεις με τις αντιδράσεις τους. Στο σχήμα απεικονίζεται και η ισοδύναμη του κατανομημένου φορτίου συγκεντρωμένη δύναμη ίση με qL .

Από τις εξισώσεις ισορροπίας έχουμε:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow A_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A_y + \Gamma_y - qL = 0 \Rightarrow$$

$$A_y = qL - \Gamma_y \quad (1)$$

Ως προς το A

$$\sum M = 0 \Rightarrow qL \cdot L/2 - \Gamma_y L = 0 \Rightarrow$$

$$\Gamma_y = qL/2$$

και από την (1)

$$A_y = qL/2$$

Αντίστοιχα για τμήμα X της δοκού έχουμε:

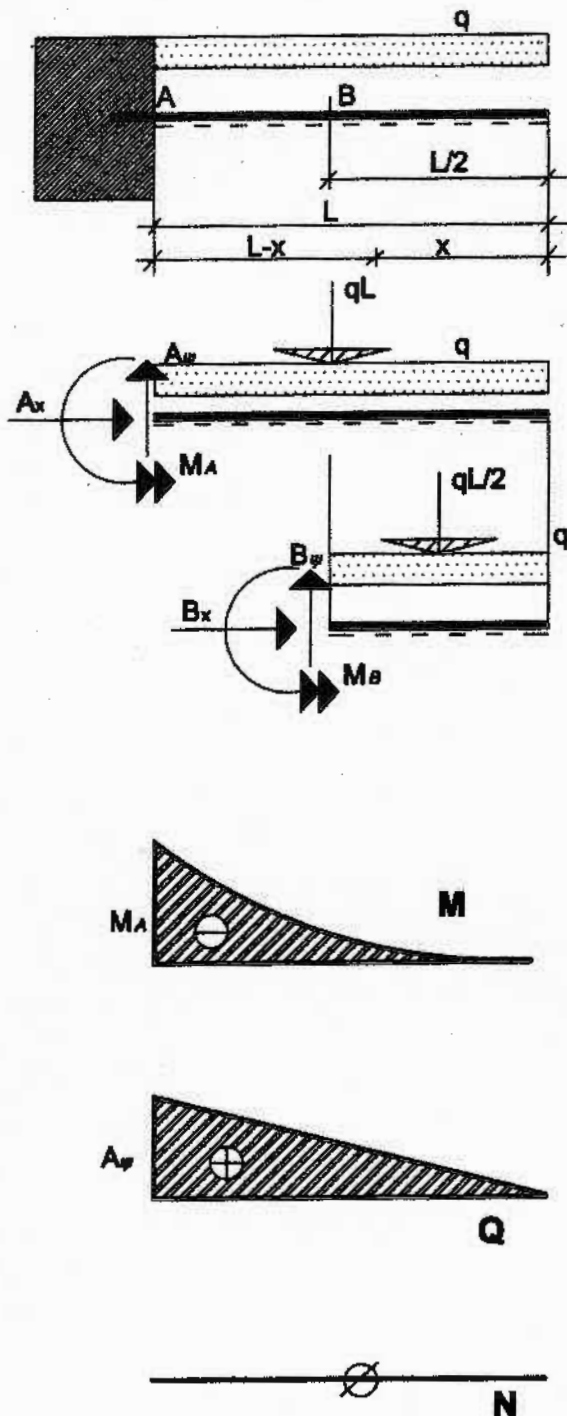
$$N = 0$$

$$Q = qL/2 - qx$$

$$M = qL/2 \cdot x - qx^2/2$$

και έτσι προκύπτουν τα εικονιζόμενα διαγράμματα.

Εφαρμογή 4 / Κεφ. 15



Επιλύουμε τον πρόβολο με ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο q . Από τις εξισώσεις ισορροπίας έχουμε:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow A_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A_y - qL = 0 \Rightarrow A_y = qL$$

$$\sum M = 0 \Rightarrow M_A - qL \cdot L/2 = 0 \Rightarrow$$

$$M_A = qL^2/2$$

Αντίστοιχα επιλύουμε για τμήμα της δοκού X και υπολογίζουμε τα N , Q , M .

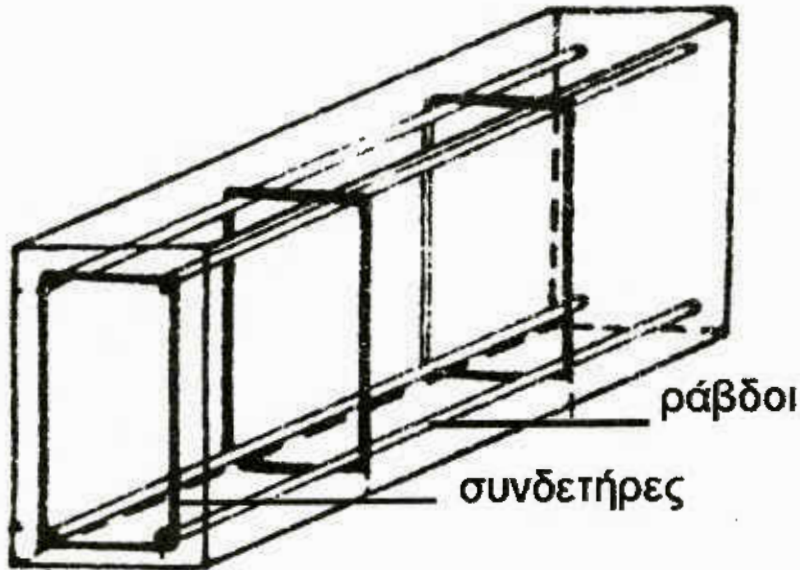
$$N = 0$$

$$Q = qx$$

$$M = -qx^2/2$$

15.4 ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

α. Είδη οπλισμών



Σχήμα 15.3 Ενδεικτική δοκός. Διακρίνονται οι ράβδοι και οι συνδετήρες οπλισμού.

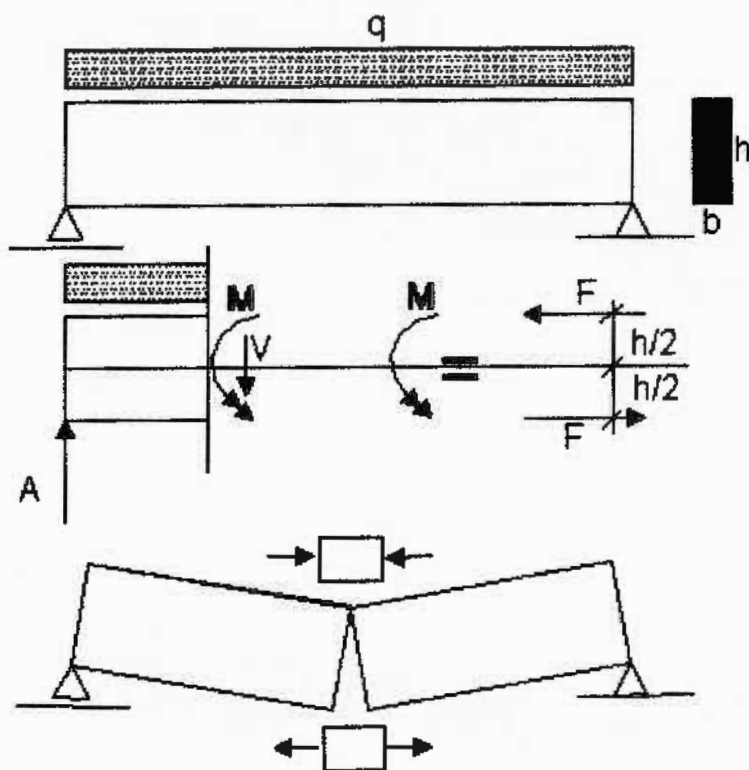
ράβδοι διαμήκους οπλισμού

Οι ράβδοι οπλισμού τοποθετούνται κατά μήκος της δοκού, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.3. Οι ράβδοι οπλισμού μπορεί να είναι εφελκόμενοι ή θλιβόμενοι, ενώ μπορεί να τοποθετούνται για κατασκευαστικούς λόγους (οπλισμοί montage που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο).

συνδετήρες

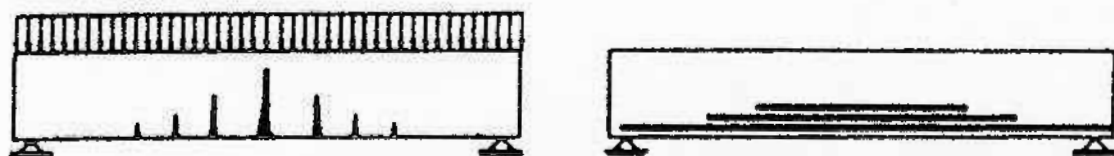
Οι συνδετήρες τοποθετούνται στην εγκάρσια διεύθυνση. Έχουν γενικά το σχήμα της διατομής του δομικού στοιχείου του οποίου τον οπλισμό εγκιβωτίζουν. Ο εγκιβωτισμός αυτός είναι πολύ σημαντικός για την αντοχή των δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα ακόμα και σε περίπτωση που το σκυρόδεμα ρηγματωθεί. Επιπλέον, οι συνδετήρες παραλαμβάνουν τη διάτμηση, όπως θα δούμε στις αμέσως επόμενες παραγράφους.

β. Κάμψη

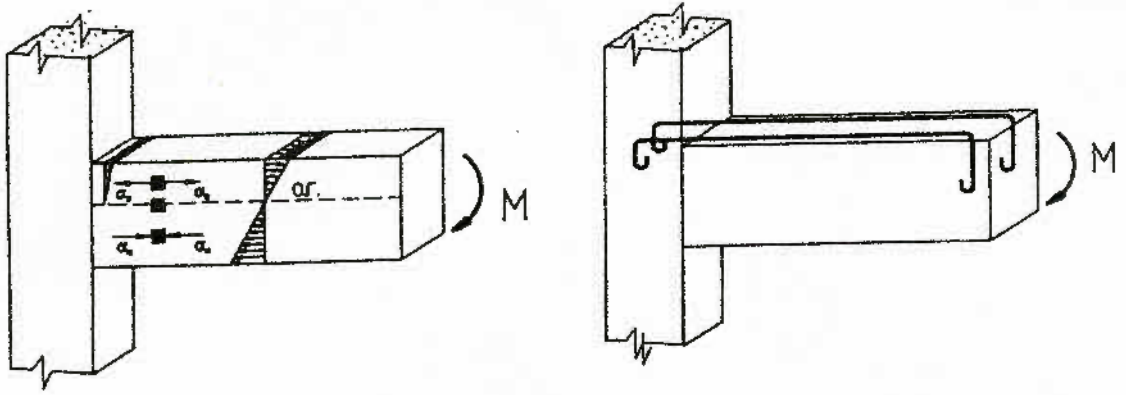


Σχήμα 15.4. Αμφιέριστη δοκός σε κάμψη.

Εστω μια αμφιέριστη δοκός με ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο σαν αυτή του σχήματος 15.4. Εάν κάνουμε μία κατακόρυφη τομή, στη διατομή εξασκούνται η εσωτερική δύναμη V και εσωτερική ροπή M . Αυτό μπορεί να εξακριβωθεί από τις εξισώσεις ισορροπίας. Όπως γνωρίζουμε από τη φυσική, η ροπή ισοδυναμεί με ένα ζεύγος δυνάμεων. Η προσομοίωση της ροπής με ζεύγος δυνάμεων δεν είναι ικανοποιητική σε αυτή τη περίπτωση, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή απλοποιητικά, για να γίνει κατανοητό ότι σε κάθε διατομή εξασκούνται δύο δυνάμεις. Η μία δύναμη είναι εφελκυστική, ενώ η άλλη θλιπτική. Η δύναμη που θλίβει παραλαμβάνεται γενικά από το σκυρόδεμα (αφού αυτό έχει ικανοποιητική αντοχή σε θλίψη), ενώ η δύναμη που εφελκύει από τον εγκάρσιο οπλισμό (δεδομένου ότι η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρή). Έτσι, όταν η ροπή M είναι θετική, ο οπλισμός τοποθετείται στη μεριά της ίνας αναφοράς, ενώ όταν είναι αρνητική, ο οπλισμός τοποθετείται στην άλλη μεριά της ίνας. Έτσι στην αμφιέριστη δοκό ο οπλισμός τοποθετείται κάτω (σχήμα 15.5), ενώ στον πρόβολο τοποθετείται πάνω (σχήμα 15.6).



Σχήμα 15.5. Ρηγμάτωση σε κάμψη αμφιέριστης δοκού και τοποθέτηση οπλισμού.



Σχήμα 15.6. Πρόβολος σε καθαρή κάμψη. Ρηγμάτωση και τοποθέτηση οπλισμού.

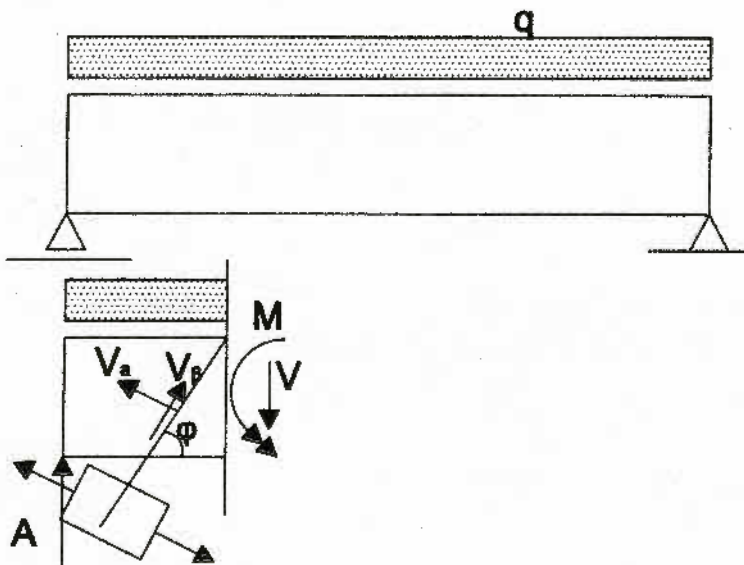


Συμπερασματικά, ο οπλισμός κάμψης τοποθετείται από τη μεριά της ίνας αναφοράς, όταν η ροπή στο διάγραμμα M είναι θετική.



Στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας μια δοκό από ψαθυρό υλικό, επιβάλετε διάφορα φορτία και παρατηρήστε τις ρωγμές λόγω κάμψης.

γ. Διάτμηση

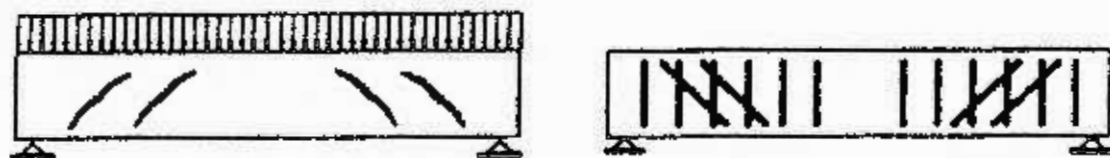


Σχήμα 15.7. Αμφιέριστη δοκός σε κάμψη και διάτμηση. Η δύναμη V αναλύεται, για τομή σε γωνία φ , σε δύο συνιστώσες.

Εστω πάλι ότι μελετάμε το ίδιο αμφιέρειστο δοκάρι του σχήματος 15.7, το οποίο φορτίζεται με ομοιόμορφο φορτίο q . Εστω ένα τμήμα του μόνο και οι εξωτερικές, εσωτερικές δυνάμεις και ροπές καθώς και η αντίδραση της στήριξης ώστε να βρίσκεται σε ισορροπία. Έτσι εξωτερική δύναμη είναι το φορτίο q που επιβάλλεται στο μήκος της δοκού που μελετάμε, αντίδραση είναι η δύναμη A και εσωτερικές είναι η δύναμη V και η ροπή M στη διατομή που κόβουμε τη δοκό. Εκτός λοιπόν από τη ροπή, που οι επιπτώσεις της μελετήθηκαν στην κάμψη, υπάρχει η εσωτερική δύναμη V , που ονομάζεται τέμνουσα. Η τέμνουσα θα μπορούσε να ονομαστεί πολύ απλοποιητικά και δύναμη διάτμησης. Η καταπόνηση από τη δύναμη αυτή δεν φαίνεται να εμπίπτει στον κανόνα για τοποθέτηση οπλισμού καθώς δεν δημιουργεί εφελκυσμό.

Εστω τώρα ότι αντί για κατακόρυφη τομή κάνουμε μία τομή υπό γωνία φ . Τότε, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.7, η δύναμη V μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες, μία κάθετη και μία παράλληλη προς το επίπεδο τομής. Η συνιστώσα V_{φ} , που είναι κάθετη στο επίπεδο τομής, είναι δύναμη εφελκυστική. Έτσι η δοκός που μελετάμε θα ρηγματωθεί στο επίπεδο που η V_{φ} γίνεται μέγιστη. Η εξήγηση αυτή είναι πάλι απλοποιητική. Για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι σε γωνία 45° μηδενίζονται οι διατμητικές τάσεις και μεγιστοποιούνται οι ορθές τάσεις, που σε αυτό το επίπεδο είναι κύριες. Στο μάθημα της αντοχής των υλικών θα μάθετε τι ακριβώς σημαίνει αυτό.

Τελικά, διαπιστώνεται ότι σε γωνία 45° , έχουμε εφελκυσμό λόγω διάτμησης. Έτσι, σε αυτή τη γωνία ανοίγουν ρωγμές, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.8. Για να παραληφθεί αυτός ο εφελκυσμός, θα έπρεπε να τοποθετήσουμε οπλισμό κάθετα στις ρωγμές. Όμως η γενικευμένη τοποθέτηση οπλισμού υπό γωνία είναι κατασκευαστικά δύσκολη. Η λύση είναι να τοποθετηθεί οπλισμός κατακόρυφος με μορφή συνδετήρων. Προσθέτως, κάποιες ράβδοι οπλισμού, που τοποθετήθηκαν για να παραλάβουν την κάμψη, μπορούν κοντά στη στήριξη να «σπάσουν» υπό γωνία 45° , αφού η κάμψη μειώνεται στην αμφιέρειστη δοκό κοντά στις στηρίξεις. Η πιο σύγχρονη αντίληψη είναι το σύνολο της διάτμησης να παραλαμβάνεται από συνδετήρες, εφόσον αυτό είναι δυνατό.



Σχήμα 15.8 Δοκός ρηγματωμένη λόγω διάτμησης και ο οπλισμός που θα την παραλάβει.

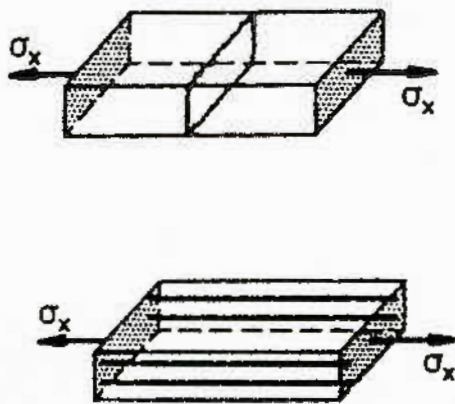


Επομένως, η διάτμηση παραλαμβάνεται κυρίως από τους συνδετήρες. Μέρος της διάτμησης μπορεί να παραληφθεί από οπλισμό υπό γωνία 45° . Αυτό μπορεί να γίνεται είτε γιατί οι συνδετήρες μπορεί να μην επαρκούν ή γιατί μπορεί να υπάρχουν ράβδοι οπλισμού που θα «σπάσουν» υπό γωνία και έτσι παραλαμβάνουν και τη διάτμηση.



Χρησιμοποιώντας δοκούς διαφόρων διαστάσεων, επιβάλετε συγκεντρωμένα φορτία και προσπαθήστε να εντοπίσετε τις συνέπειες της διάτμησης.

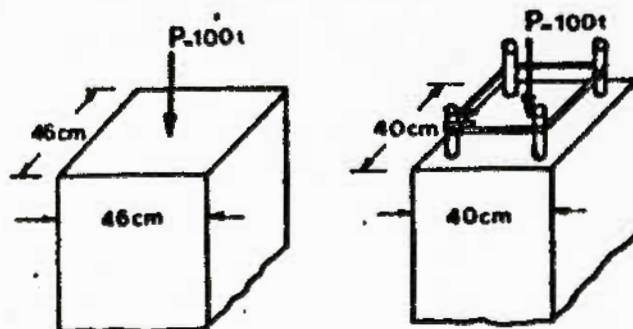
δ. Εφελκυσμός



Σχήμα 15.9. Στοιχείο σε εφελκυσμό, ρηγμάτωση και τοποθέτηση οπλισμού.

Όπως ξέρουμε, η αντοχή του σκυροδέματος θεωρείται αμελητέα για τον σχεδιασμό στοιχείων σε εφελκυσμό. Έτσι, σε ένα εφελκυσόμενο δομικό στοιχείο σαν αυτό του σχήματος 15.9 τοποθετούνται ράβδοι οπλισμού παράλληλα προς τις εφελκυστικές δυνάμεις, έτσι ώστε να παραλάβουν πλήρως τον εφελκυσμό.

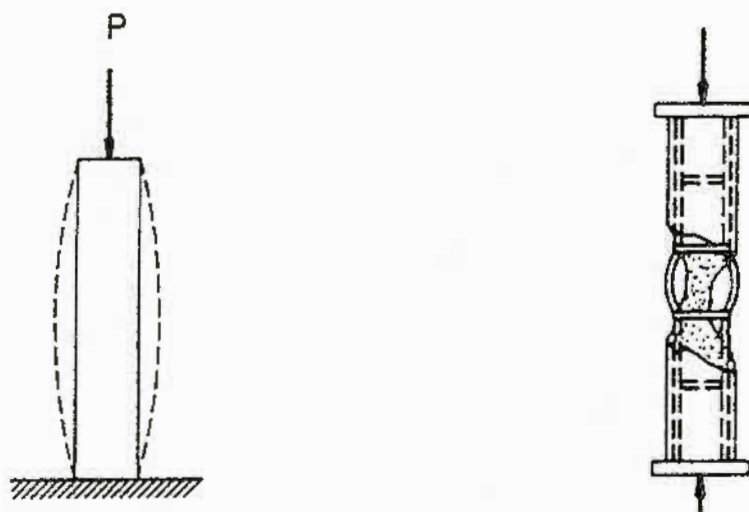
ε. Θλίψη



Σχήμα 15.10. Στοιχείο (υποστύλωση) σε καθαρή θλίψη. Μείωση διαστάσεων με την τοποθέτηση οπλισμού.

Εχοντας κάποιος υπόψη του ότι το σκυρόδεμα αντέχει σε θλίψη, θα θεωρούσε ότι δομικά στοιχεία όπως τα υποστυλώματα που είναι κυρίως θλιβόμενα δεν χρειάζονται καθόλου οπλισμό. Αυτό δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και αναφέρουμε μερικούς λόγους ενδεικτικά:

- με τη τοποθέτηση οπλισμού μειώνεται το μέγεθος του υποστυλώματος (σχήμα 15.10)
- το σκυρόδεμα είναι ψαθυρό υλικό και από τη στιγμή που θα ρηγματωθεί δεν έχει καμία ουσιαστική αντοχή, αντίθετα ο χάλυβας, ακόμα και εάν πάρει μεγάλες παραμορφώσεις, συνεχίζει να αντέχει και μπορεί να μην καταρρεύσει η κατασκευή (σχήμα 15.11)
- το θλιβόμενο στοιχείο αυξάνει διαστάσεις κάθετα στο θλιπτικό φορτίο (σχήμα 15.11), ενώ με την τοποθέτηση οπλισμού αυτό εμποδίζεται και αυξάνει η αντοχή του σκυροδέματος (δηλαδή το σκυρόδεμα είναι περισφυγμένο)
- όλα τα δομικά στοιχεία βρίσκονται σε κάμψη, έστω και εάν λόγω της έντονης θλίψης δεν εμφανίζεται εφελκυσμός, αλλά μπορεί σε μία ειδική περίπτωση (π.χ. στην περίπτωση σεισμού) να εμφανισθεί εφελκυσμός



Σχήμα 15.11 Αριστερά, υποστυλώμα σε θλίψη και η αύξηση της διατομής, ενώ δεξιά ρηγματωμένο υποστυλώμα ικανό να φέρει ακόμα μικρό φορτίο.



Συμπερασματικά, στα υποστυλώματα τοποθετείται τόσο διαμήκης όσο και εγκάρσιος οπλισμός (συνδετήρες). Και οι δύο μορφές οπλισμού είναι εξίσου σημαντικές για την αντοχή του υποστυλώματος, οι συνδετήρες δε είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι σε περίπτωση σεισμού.



Στο εργαστήριο κάντε το εξής πείραμα: Εχοντας μία ραβδο από αφρολέξ ή παρόμοιο υλικό, εξετάστε τη μεταβολή της αντοχής του υλικού σε θλίψη όταν ασκείται ή όχι θλιπτική δύναμη περιμετρικά της ράβδου, όταν δηλαδή υπάρχει περισφύξη ή όχι.