

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- Εισαγωγή-Ιστορικά στοιχεία
- Κανονισμοί σχεδιασμού
- Βασικές αρχές σχεδιασμού
- Δομική μορφή-Φέρων οργανισμός



ΣΚΟΠΟΣ – ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο, θα μπορείτε:

- **Να περιγράψετε τη σημασία και χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος στην κατασκευή των τεχνικών έργων.**
- **Να περιγράψετε τη μορφολογία ενός κτιριακού έργου από οπλισμένο σκυρόδεμα και να ονομάσετε τα επιμέρους δομικά στοιχεία.**
- **Να έχετε μια πρώτη εικόνα-αντίληψη για τη μόρφωση των στατικών συστημάτων.**

13.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το **Οπλισμένο Σκυρόδεμα** είναι ένα σύστημα/ μία μέθοδος κατασκευής τεχνικών έργων. Αποτελείται από σκυρόδεμα (beton), το οποίο είναι ενισχυμένο (οπλισμένο) από ένα άλλο υλικό, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις από χάλυβα. Έτσι, εκεί που το σκυρόδεμα πάει να σπάσει (ρηγματωθεί) η ενίσχυση (οπλισμός) το εμποδίζει.

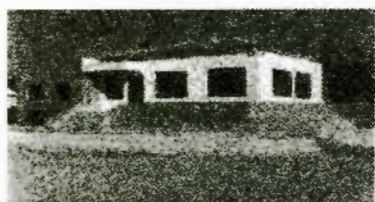
Αν και σχετικά νέο υλικό (ουσιαστικά αναπτύχθηκε στον αιώνα μας) αντικατέστησε σύντομα άλλα παραδοσιακά υλικά δόμησης (π.χ. λίθους, πλίνθους, ξύλο κ.λπ.) με αποτέλεσμα σήμερα να έχει το μεγαλύτερο φάσμα εφαρμογών.

Από τα στοιχεία της μοναδικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι και το ότι δύο τελείως διαφορετικά υλικά (χάλυβας και σκυρόδεμα) χρησιμοποιούνται και συνεργάζονται μαζί σαν ένα νέο με διαφορετικές ιδιότητες υλικό. Έτσι τα βασικά αξιώματα για τον σχεδιασμό των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος διαφέρουν σε πολλά σημεία από τα αντίστοιχα για τον σχεδιασμό με ομοιογενές υλικό.

Οι περισσότερες κατασκευές στην Ελλάδα αλλά και σε πάρα πολλές περιοχές παγκοσμίως γίνονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η κατασκευή τεχνικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει πολλά πλεονεκτήματα. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Απλοί και σύντομοι υπολογισμοί ανάλυσης και σχεδιασμού
- Απλές μέθοδοι και μέσα κατασκευής
- Μεγάλη ασφάλεια σε απλές σχετικά κατασκευές
- Οικονομία σε σύγκριση με άλλα συστήματα κατασκευής
- Μονολιθικότητα των δομικών συστημάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα
- Ελευθερία μορφολογίας και διαστάσεων των δομικών στοιχείων

Εκτός από απλά σχετικά κτηριακά έργα (κτήρια κατοικιών, βοηθητικά κτήρια κ.τ.λ.) (φωτογραφίες 13.1, 13.2 και 13.3) χρησιμοποιούμε το οπλισμένο σκυρόδεμα και για πιο πολύπλοκα τεχνικά έργα, όπως πολυώροφα κτήρια (φωτογραφίες 13.4, 13.5 και 13.6), δεξαμενές (φωτογραφία 13.7), γέφυρες (φωτογραφίες 13.8 και 13.9), πύργοι ΔΕΗ (φωτογραφία 13.10), προκατασκευασμένες κατασκευές (φωτογραφία 13.11) και πολλά άλλα.



Φωτ. 13.1. Μονώροφη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτ. 13.2. Τριώροφη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτ. 13.3. Συμβατική πολυκατοικία από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτ. 13.4. Πύργος John Hancock στη Βοστώνη, ΗΠΑ.



Φωτ. 13.5. Το κτήριο της AT & T στη Νέα Υόρκη, ΗΠΑ.



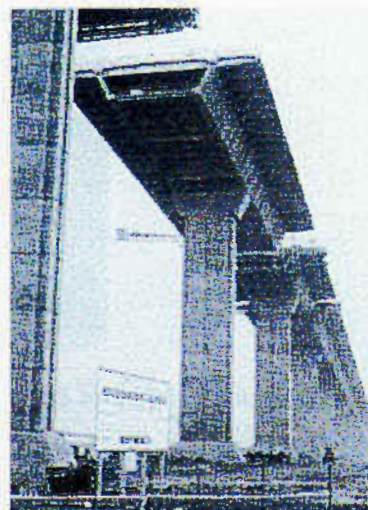
Φωτ. 13.6. Κτήριο της Seagram στη Νέα Υόρκη, ΗΠΑ.



Φωτ. 13.7. Δεξαμενές από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτ. 13.8. Γέφυρα από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτ. 13.9. Γέφυρα από οπλισμένο σκυρόδεμα στο στάδιο της κατασκευής.



Φωτ. 13.10. Πύργοι ΔΕΗ από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Φωτ. 13.11. Προκατασκευασμένη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σε μια σύντομη ιστορική αναδρομή στον χώρο του «οπλισμένου σκυροδέματος» συναντά κανείς τις πρώτες εφαρμογές του στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Πρίν όμως από τον 19ο αιώνα η ιδέα του «οπλισμού» συναντάται σε αρχαία ελληνικά δομήματα, στα οποία φαίνεται ότι οι κατασκευαστές τους ε γνώριζαν για την αύξηση της αντοχής των δομικών στοιχείων (τοιχοποιιών) με την προσθήκη οπλισμού.

- Το 1867 ο Monier (Γαλλία) κατασκευάζει δοχεία από σκυρόδεμα με χαλύβδινο οπλισμό. Τα επόμενα έτη κατασκευάζει σωλήνες, μικρές πλάκες, κ.λπ. Οι κατασκευές του βασίζονται σε καθαρά εμπειρικούς κανόνες.
- Το 1877 ο Hyatt (ΗΠΑ) δημοσιεύει πειραματικά αποτελέσματα σε δομικά στοιχεία δοκών από σκυρόδεμα. Οι δοκοί αυτές μάλιστα ήταν οπλισμένες με τον ίδιο τρόπο που κατασκευάζονται και σήμερα. Αργότερα ο ίδιος κατασκεύασε στο Λονδίνο κατοικία με δομικό σύστημα από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Το 1884 «εισάγεται» το οπλισμένο σκυρόδεμα στη Γερμανία.
- Στις αρχές του 20ου αιώνα η πρόοδος στην περιοχή του νέου αυτού υλικού είναι ταχύτατη, οπότε παρουσιάζονται εκτεταμένες μελέτες για τη μηχανική συμπεριφορά δομικών στοιχείων.
- Από τη δεκαετία του 1930 αρχίζει σημαντική έρευνα και εφαρμογή του προεντεταμένου σκυροδέματος (μίας ειδικής τεχνολογίας οπλισμένου σκυροδέματος).
- Την τελευταία 25ετία η έρευνα έχει επεκταθεί στην περιοχή της μηχανικής συμπεριφοράς και του σχεδιασμού αντισεισμικών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.



Παρατηρείτε ότι το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις κατασκευές και τα τεχνικά έργα ανεξάρτητα από το αν είναι το κύριο υλικό δόμησης ή όχι. Πάντως στην Ελλάδα σπάνιες είναι οι κατασκευές που δεν είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα.

13.3 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για τον σχεδιασμό, την κατασκευή, επισκευή και ενίσχυση των δομημάτων εφαρμόζονται ορισμένες σχετικές κανονιστικές διατάξεις (Κανονισμοί), οι οποίες μπορούν να είναι εθνικές και διεθνείς. Στη χώρα μας για τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ίσχυσαν μέχρι το 1994 οι εξής κανονισμοί:

- ΒΔ10/31-12-1945 (ΦΕΚ 325 τ.Α): «Περί Κανονισμού Φορτίσεων Δομικών Έργων».
- ΒΔ 18.2/26-7-1954 (ΦΕΚ 160 τ.Α): «Περί Κανονισμών δια την Μελέτην και Εκτέλεσιν Έργων εξ Οπλισμένου Σκυροδέματος».
- ΒΔ 19/26-2-1959 (ΦΕΚ 36 τ.Α): «Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων» όπως τροποποιήθηκε με το ΦΕΚ 239B/6-4-1984.

Οι παραπάνω κανονισμοί υπήρξαν πρωτοποριακοί στην εποχή έκδοσής τους. Ωστόσο παρουσιάστηκε έντονα την τελευταία εικοσαετία η ανάγκη αντικατάστασης τους με σύγχρονα κείμενα. Η ανάγκη αυτή παρουσιάστηκε κυρίως από:

- Τις αυξημένες απαιτήσεις σχεδιασμού των σύγχρονων κατασκευών (πολυώροφα κτήρια, μεγάλα ανοίγματα, μικρότερες διατομές δομικών στοιχείων κ.λπ.) οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί και δεν καλύπτονται από τους προηγούμενους κανονισμούς.
- Την αλλαγή στη φιλοσοφία σχεδιαμού των κατασκευών.
- Τις εξελίξεις στα χρησιμοποιούμενα υλικά και στις μεθόδους κατασκευής.
- Τις σημαντικές εξελίξεις στην υπάρχουσα γνώση και στη διαδικασία σχεδιασμού (π.χ. σεισμοί, χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών κ.λπ.)
- Την απαίτηση για εναρμόνιση με τη διεθνή τεχνογνωσία.
- Τους αυξανόμενους κινδύνους από την εξέλιξη της τεχνολογίας όταν δεν συνοδεύεται από σύγχρονες κανονιστικές διατάξεις.

Σε αντικατάσταση των παραπάνω κανονισμών εκδόθηκαν και ισχύουν οι εξής διατάξεις, οι οποίες και αποτελούν τους Νέους Ελληνικούς Κανονισμούς:

- **ΦΕΚ Β 1068/31-12-1991: «Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα».**
- **ΦΕΚ Β 613/12-10-92: «Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός».**

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε) εναλλακτικά με τις Εθνικές διατάξεις μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει το πλέγμα των Ευρωκωδίκων (Eurocodes). Τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα αφορούν οι εξής ευρωκώδικες:

- EC-1: «Δράσεις στις κατασκευές».
- EC-2: «Κατασκευές από σκυρόδεμα».
- EC-7: «Θεμελιώσεις».
- EC-8: «Κατασκευές σε σεισμικές περιοχές».



Παρατηρείτε ότι οι κανονισμοί που ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα είναι ο «Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα» (1991) και ο «Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός» (1992). Επιπλέον αυτοί είναι γενικά στο ίδιο πνεύμα με τους αντίστοιχους ευρωκώδικες.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε) εναλλακτικά με τις Εθνικές διατάξεις μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει το πλέγμα των Ευρωκωδίκων (Eurocodes). Τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα αφορούν οι εξής ευρωκώδικες:

- EC-1: «Δράσεις στις κατασκευές».
- EC-2: «Κατασκευές από σκυρόδεμα».
- EC-7: «Θεμελιώσεις».
- EC-8: «Κατασκευές σε σεισμικές περιοχές».



Παρατηρείτε ότι οι κανονισμοί που ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα είναι ο «Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα» (1991) και ο «Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός» (1992). Επιπλέον αυτοί είναι γενικά στο ίδιο πνεύμα με τους αντίστοιχους ευρωκώδικες.

13.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Είναι γενικότερα αποδεκτό ότι ένα δόμημα θα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες ελάχιστες βασικές απαιτήσεις ασφάλειας, λειτουργικότητας, οικονομίας και προσαρμογής στο περιβάλλον και ότι η επιτυχία του σχεδιασμού του αφορά στη δυνατότητα της βελτιστοποίησης του πλέγματος των παραπάνω απαιτήσεων. Έτσι ο «σχεδιαμός – κατασκευή» οποιουδήποτε δομήματος θα πρέπει να παρουσιάζει:

- Ασφάλεια προκειμένου κάτω από την επίδραση των διαφόρων δράσεων να μην παρουσιάζει βλάβες ή για μέγιστες πιθανές τιμές να παρουσιάζει ελεγχόμενες βλάβες σε βαθμό και έκταση, με αποφυγή οποιουδήποτε κινδύνου κατάρρευσης (απώλεια ανθρωπίνων ζωών, σημαντικό οικονομικό και κοινωνικό κόστος κ.λπ.).
- Λειτουργικότητα έτσι ώστε για τις συνήθως εφαρμοζόμενες δράσεις να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του και παράλληλα η καλή εμφάνιση και η ικανοποιητική διάρκεια ζωής του.
- Την μέγιστη δυνατή οικονομία για τον συνδυασμό των υπολοίπων απαιτήσεων και
- Τη λιγότερο δυνατή παρέμβαση μέσα στο περιβάλλον στο οποίο δομείται.

Οι παραπάνω βασικές αρχές σχεδιασμού ισχύουν και για την περίπτωση δομημάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το βασικότερο ίσως στοιχείο στο οποίο οφείλει την εκτεταμένη εφαρμογή του το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το μικρότερο κόστος το οποίο παρουσιάζει σε αντιστοιχία με δομικά συστήματα από άλλα υλικά.

Ανάλογα με τον τρόπο οπλισμού διακρίνουμε δομικά στοιχεία:

- Συμβατικά οπλισμένα
- Προεντεταμένα
- Οπλισμένα με ίνες (χαλύβδινες και συνθετικές)
- Οπλισμένα με συνδυασμό από τα παραπάνω.

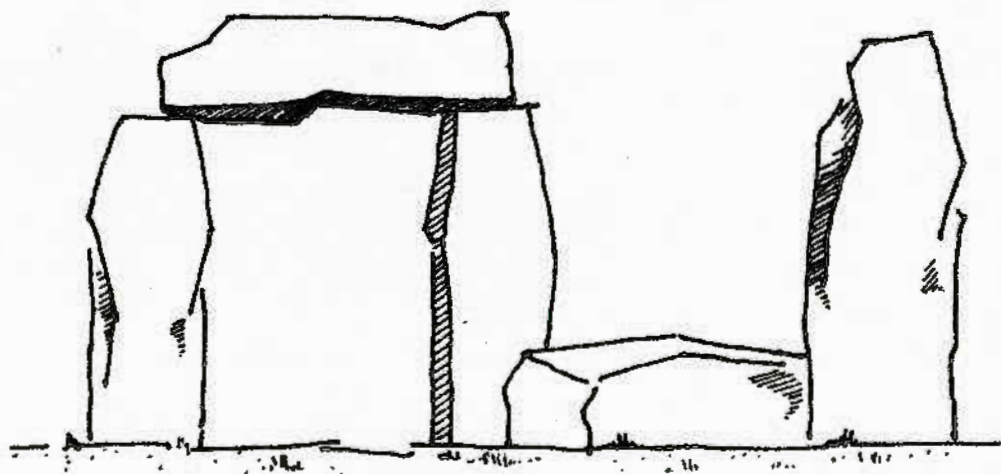
Στη συνέχεια του κειμένου η αναφορά σε δομικά στοιχεία, δομικά συστήματα ή κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος αφορά στα αντίστοιχα οπλισμένα με συμβατικό οπλισμό.

13.5 ΔΟΜΙΚΗ ΜΟΡΦΗ – ΦΕΡΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ

13.5.1 Εισαγωγή

Θα μπορούσε να ορίσει κανείς πως «φέρων οργανισμός» είναι το σύνολο των κατακόρυφων και οριζόντιων δομικών στοιχείων ενός κτίσματος που «φέρουν» τα νεκρά ή μόνιμα (ίδιο βάρος, τοιχοποιίες κ.τ.λ.) και τα ωφέλιμα φορτία του (φορτία χρήσης από τον άνθρωπο), και τα μεταβιβάζουν στη γη. Αυτό δηλαδή, το σύνολο φορέων, που συγκροτεί τον βασικό κορμό του κτίσματος και τον σχηματοποιεί στον χώρο ανάλογα με το σύστημα δόμησης και το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται. Ένα σύνολο όμως που, για να είναι οργανικό και εξυπηρετικό, πρέπει κυρίως να προσαρμόζεται στις φυσικές ιδιότητες αυτού του βασικού υλικού δομής και να μην παραβιάζει τη νομοτέλεια των κατασκευαστικών του δυνατοτήτων.

Ένας από τους πρώτους φέροντες οργανισμούς θα μπορούσε να θεωρηθεί αυτός του σχήματος 13.1.



Σχήμα 13.1. Πρώτη μορφή φέροντος οργανισμού*.

Ο φέρων οργανισμός από οπλισμένο σκυρόδεμα, ιστορικά εξεταζόμενος αποτελεί τη φυσιολογική εξέλιξη του ξύλινου σκελετού. Όμως η σύγχρονη τεχνική εκμεταλλεύθηκε και αξιοποίησε όλες τις δυνατότητες του οπλισμένου σκυροδέματος ως υλικού και το χρησιμοποιεί, όπως η νομοτέλεια του επιβάλλει. Πολύ σημαντικά είναι η μονολιθικότητα,

το εύπλαστο και η οικονομία στη διαμόρφωση ενός σκελετού από οπλισμένο σκυρόδεμα, τόσο σε ό,τι αφορά την κατασκευή, όσο και τη μορφολογία του κτίσματος. Δηλαδή οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ολόσωμες, με συνεχή μέλη και άκαμπτα στοιχεία σύνδεσης (πακτώσεις – δεν επιτρέπουν την καμπύλωση των δομικών στοιχείων στον κόμβο – σύνδεση). Επιπλέον το σκυρόδεμα είναι εύπλαστο και αποτελεί – μαζί με το σίδηρο – έναν συμπαγή μονόλιθο, που μπορεί να προσαρμόζεται σε κάθε επιθυμητή μορφή.

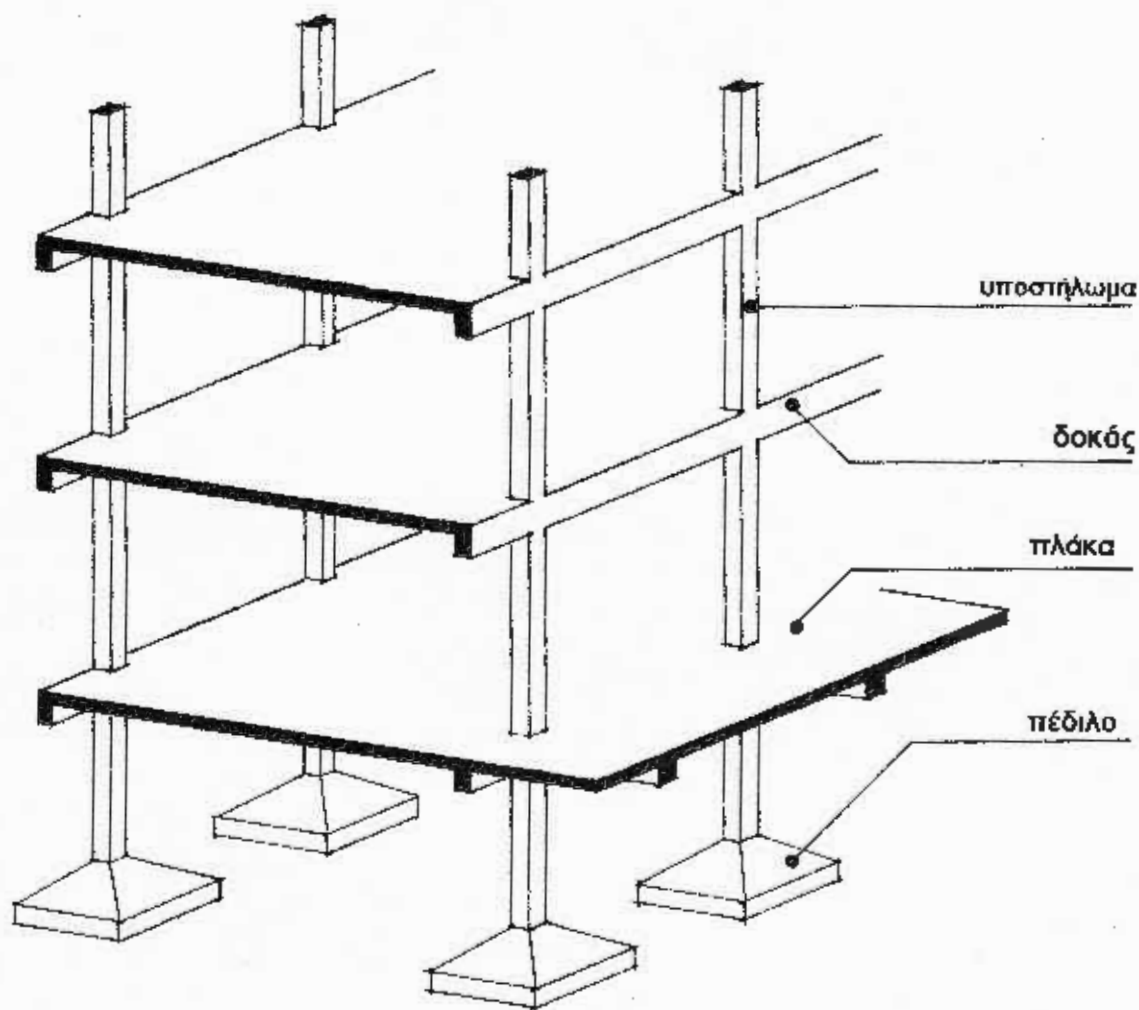
13.5.2 Γραμμικά δομικά στοιχεία

Οι φορείς μίας διάστασης είναι **δομικά στοιχεία γραμμικά**. Σ'αυτά υπάγονται ο στύλος, το τοιχίο και η δοκός και ως τέτοιο αντιμετωπίζεται για λόγους ευκολίας η αμφιέριστη και η δοκιδωτή πλάκα.

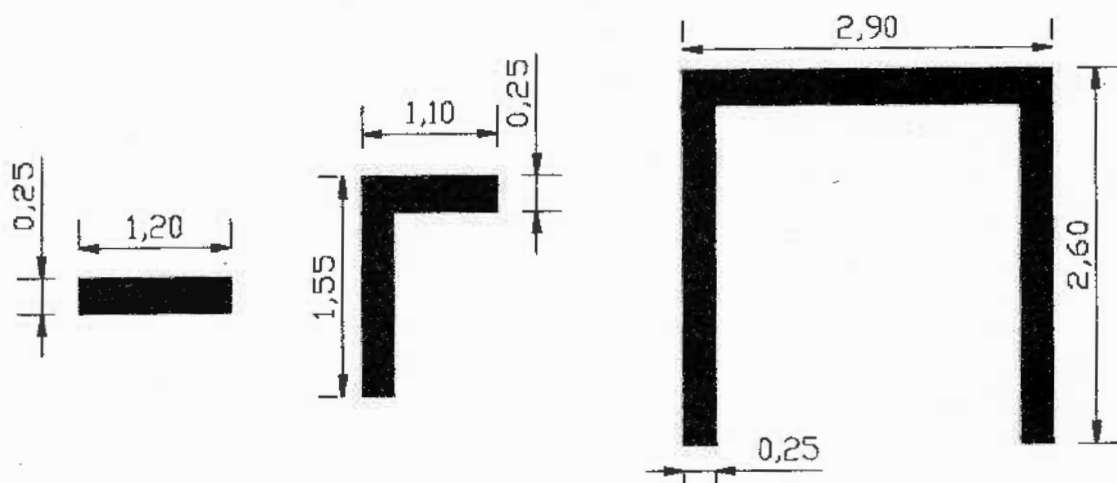
Ο στύλος ή **υποστύλωμα** (σχήμα 13.2) είναι ο κατακόρυφος μεμονωμένος εκείνος φορέας που παραλαμβάνει φορτία, για να τα μεταφέρει με τη συνεργασία του **πεδύλου** του στη γη. Χαρακτηριστικό του είναι η μικρή εγκάρσια διατομή σε σχέση με το ύψος. Το υποστύλωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα δεν παραλαμβάνει μόνο αξονικές δυνάμεις αλλά και ροπές λόγω της ολόσωμης σύνδεσής του με τα άλλα δομικά στοιχεία, όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους. Το υποστύλωμα συνήθως χρησιμοποιείται ως στήριξη, σε ειδικές περιπτώσεις όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάρτηση άλλων δομικών στοιχείων.

Το **τοιχίο** δουλεύει σαν το υποστύλωμα. Η διαφορά είναι ότι η μία διάσταση της εγκάρσιας διατομής του είναι μικρή σε σχέση με τα υπόλοιπα γεωμετρικά στοιχεία. Τυπικό «πάχος» είναι τα είκοσι πέντε ή τριάντα εκατοστά. Ένα τυπικό τοιχίο ελάχιστων διαστάσεων είναι το 1.20 X 0.25 m. Άλλη περίπτωση τοιχίων είναι οι πυρήνες μέσα στους οποίους κινείται ο ανελκυστήρας. Μερικές τυπικές διατομές παρουσιάζονται στο σχήμα 13.3.

Η **δοκός** (σχήμα 13.2) είναι ο γραμμικός, σε οριζόντια έννοια, φορέας, του οποίου τα άκρα εδράζονται είτε στα κατακόρυφα στοιχεία του φέροντος οργανισμού, δηλαδή στα υποστυλώματα ή τοιχία, είτε σε άλλες δοκούς. Στη δεύτερη περίπτωση, πρωτεύουσες και δευτερεύουσες δοκοί συνεργάζονται και συγκροτούν μία εσχάρα δοκών. Η κτηριολογική σημασία της δοκού είναι πολύ μεγάλη καθώς με αυτή γίνεται η γεφύρωση των ανοιγμάτων. Όπως και με το υποστύλωμα, έτσι και της δοκού χαρακτηριστική είναι η μικρή εγκάρσια διατομή σε σχέση με το μήκος της, δηλαδή το μήκος του ανοίγματος που γεφυρώνει. Το δε ύψος της διατομής της είναι τυπικά αρκετά μεγαλύτερο από το πλάτος της και ο λόγος για τον οποίο γίνεται αυτό θα αναλυθεί διεξοδικά στο μάθημα της αντοχής των υλικών.



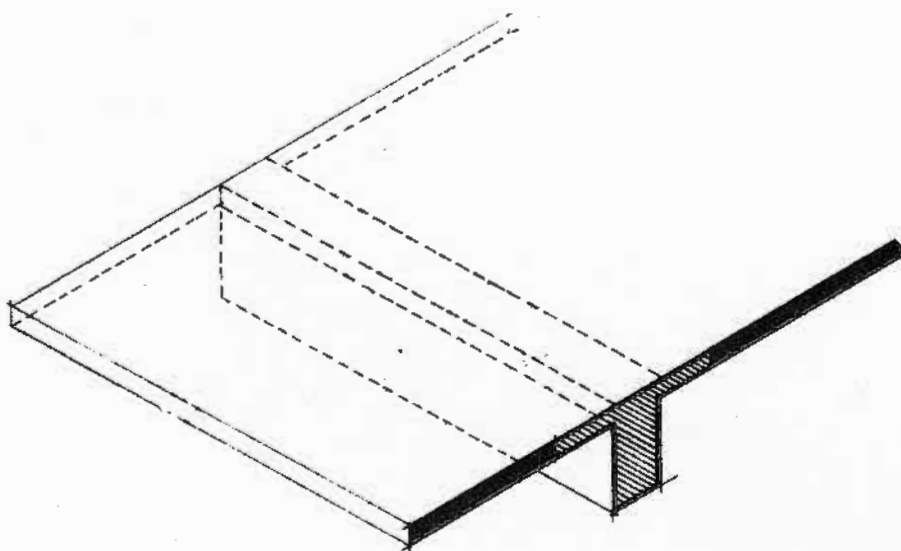
Σχήμα 13.2. Απλοποιημένος φέρων οργανισμός από οπλισμένο σκυρόδεμα*.



Σχήμα 13.3. Ενδεικτικές διατομές τοιχίων.

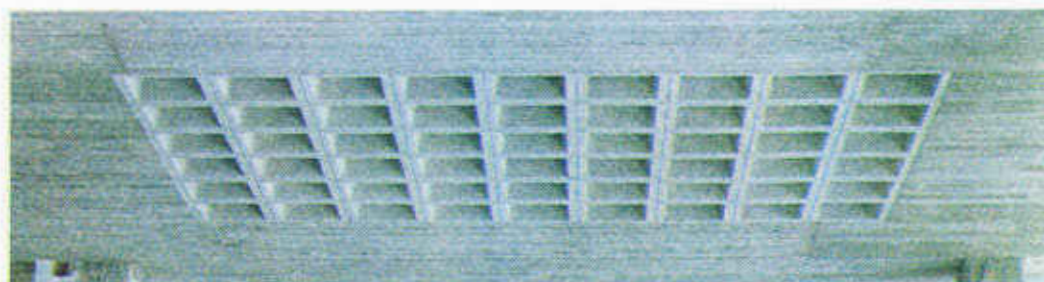
Οι πλάκες (σχήμα 13.2) είναι επιφανειακά δομικά στοιχεία, όμως οι **αμφιέριστες πλάκες** (πλάκες με λόγο μεγαλύτερης πλευράς προς μικρότερη μεγαλύτερο του 1.5) θεωρείται ότι λειτουργούν σαν δέσμη δοκών. Γενικά, όλες οι πλάκες στηρίζονται σε δοκούς.

Στην πραγματικότητα πλάκα και δοκός συνεργάζονται στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τη συνεργασία αυτή εξασφαλίζει η ιδιότητα του οπλισμένου σκυροδέματος να είναι μονολιθικό και έτσι κάνουμε τη παραδοχή ενός νέου δομικού στοιχείου, της **πλακοδοκού**. Αυτή έχει σχήμα T (σχήμα 13.4).



Σχήμα 13.4. Σχηματική αναπαράσταση πλακοδοκού.

Εαν θεωρηθεί πως η δέσμη των υποθετικών δοκών αραιώσει, και αντιμετωπίσουμε κάθε μία από αυτές τις αραιωμένες πια δοκίδες, μαζί με το συνεργαζόμενο τμήμα της πλάκας τους, σαν πλακοδοκό, διαπιστώνουμε ότι ένα τμήμα του πάχους της πλάκας είναι ουσιαστικά περριτό υλικό. Αφαιρώντας αυτή τη περιττή μάζα σκυροδέματος διαπιστώνουμε τότε πως δημιουργείται έτσι μία **πλάκα με νευρώσεις**. Το περιττό σκυρόδεμα μπορεί να αφαιρεθεί τελείως ή να αντικατασταθεί με ελαφρύτερο υλικό. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει αντίστοιχα η δοκιδωτή πλάκα (σχήμα 13.5) ή πλάκα Zollner ή Sandwich (σχήμα 13.6). Η διαφορά μεταξύ Zollner και Sandwich είναι ότι στην πρώτη το υλικό που αντικαθιστά το σκυρόδεμα είναι εμφανές, όταν την κοιτάξει κάποιος από κάτω, ενώ στη δεύτερη υπάρχει στο κάτω μέρος μία λεπτή πλάκα από σκυρόδεμα.



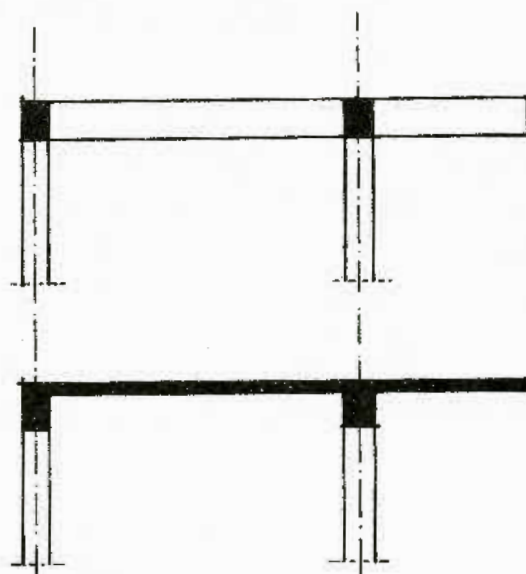
Σχήμα 13.5. Δοκιδωτή πλάκα.

Οι πλάκες με νευρώσεις δίνουν μεγάλη οικονομία υλικού και μείωση του ίδιου βάρους της πλάκας. Ταυτόχρονα γίνεται δυνατό να καλυφθούν χώροι πολύ πιο μεγάλοι από ό,τι με μία απλή πλάκα, καθώς με τις νευρώσεις η αντοχή αυξάνεται σημαντικά.



Σχήμα 13.6. Τομή πλακών Zollner, Sandwich και δοκιδωτής.

Ο **πρόβολος** (σχήμα 13.7) είναι στοιχείο του φέροντος οργανισμού, άλλοτε γραμμικό και άλλοτε επιφανειακό, ανάλογα με τη θέση του και τη σύνδεσή του με τα υπόλοιπα μέλη του σκελετού. Συνδέεται και στηρίζεται με το ένα του άκρο σε άλλους φορείς, ενώ το υπόλοιπο μέρος του προβάλλει μέσα στον χώρο. Ο πρόβολος μπορεί να είναι πλάκα ή η επέκταση μίας δοκού πέρα από το σημείο στήριξής της.



Σχήμα 13.7. Πρόβολος. Επάνω πρόβολος ως προεξέχουσα δοκός και κάτω ως πλάκα*.



Συμπερασματικά, γραμμικά δομικά στοιχεία είναι το υποστύλωμα, το τοίχιο και η δοκός. Σαν τέτοιο δομικό στοιχείο αντιμετωπίζονται η αμφιέριστη πλάκα και οι δοκιδωτές πλάκες.

13.5.3 Επιφανειακά δομικά στοιχεία

Οι φορείς δύο ή τριών διαστάσεων είναι **δομικά στοιχεία επιφανειακά**, γιατί συγκροτούνται από φέρουσες επιφάνειες. Είναι η τετραέριστη και μυκητοειδής πλάκα και τα κελύφη.

Οι **τετραέριστες πλάκες** (σχήμα 13.7) είναι πλάκες που θεωρούμε ότι «δουλεύουν» και στις δύο διευθύνσεις, αντίθετα από την αμφιέριστη που θεωρούμε ότι δουλεύει μόνο κατά τη μικρότερη διεύθυνση. Ως γεωμετρικό χαρακτηριστικό έχουν λόγο πλευρών μικρότερο ή ίσο του 1.5. Οι τετραέριστες πλάκες είναι πλάκες που επιλύονται και στις δύο διαστάσεις. Με την αντιμετώπιση αυτή καταργούνται οι δοκοί στη μία διεύθυνση που είχαν χρησιμοποιηθεί για την αμφιέριστη πλάκα και εισάγονται δύο κάθετες σειρές πεπλατυσμένων δοκών, που φέρουν κατά τις δύο διευθύνσεις.

Η τετραέριστη πλάκα μπορεί και να εδράζεται απ' ευθείας στους στύλους δίχως την παρεμβολή δοκών και τότε λέγεται **μυκητοειδής**. Συνδέεται τότε με τον φέροντα οργανισμό όχι με γραμμικά στοιχεία αλλά με έδραση περιορισμένης επιφάνειας, όσο η

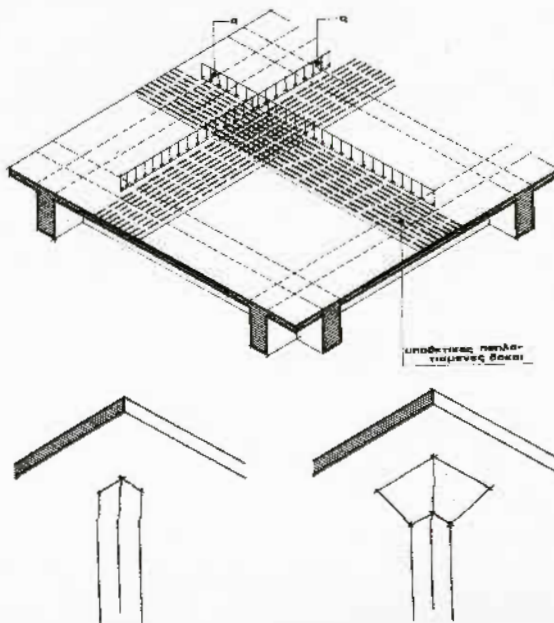
διατομή του στύλου, ή λίγο μεγαλύτερη αν δημιουργηθεί κιονόκρανο. Η πλάκα έτσι συνεχεται με τον στύλο, για να διαμορφώσει τη μυκητοειδή πλάκα, μία κατασκευή που με την εμφάνισή της έδωσε καινούργιες δυνατότητες αισθητικής διαμόρφωσης των χώρων και νέες αντιλήψεις περί στατικού αισθήματος, με εφαρμογές που πολλές φορές φτάσανε σε άριστα μορφολογικά αποτελέσματα. Πάντως σήμερα σπάνια πλέον εφαρμόζεται η λύση του κιονόκρανου.



Ανάλογα με τον λόγο της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη πλευρά, οι πλάκες χωρίζονται σε αμφιέριστες και τετραέριστες. Η αμφιέριστη έχει λόγο πλευρών μεγαλύτερο του 1.5, ενώ η τετραέριστη μικρότερο ή ίσο.

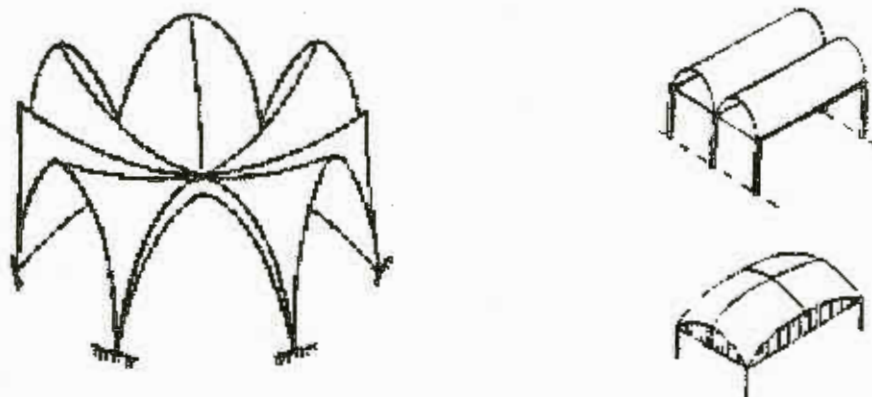
Ένα δομικό στοιχείο που αντιμετωπίζεται ως κεκλιμένη πλάκα είναι η **σκάλα** και μπορεί να στηρίζεται σε άλλα δομικά στοιχεία με διάφορους τρόπους.

Το **κέλυφος** (σχήμα 13.8) είναι το αποτέλεσμα της προσπάθειας να χρησιμοποιηθεί μία φερόμενη επιφάνεια και σαν φέρουσα με βασικό στόχο να κατακτηθεί το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα με τη μικρότερη ανάλωση της ύλης. Για να αντιληφθεί κανείς την ιδιοτυπία, το κέλυφος προκύπτει από μεγάλο αριθμό γραμμικών φορέων που διασταυρώνονται στον χώρο και δημιουργούν μία μεμβράνη. Όταν η μεμβράνη αυτή αποκτήσει μια σχετική ακαμψία, θεωρείται κέλυφος. Δημιουργείται έτσι ένας φορέας τριών διαστάσεων, που μπορεί να στεγάσει χώρους έχοντας πάχος ελάχιστο σε σχέση με το άνοιγμα των χώρων αυτών. Έχει δηλαδή την ίδια σχέση ανοίγματος προς πάχος, που υπάρχει στο κέλυφος του αυγού και λειτουργεί ακριβώς σαν μεμβράνη με μειωμένη τοπική ακαμψία, αλλά αυτοφερόμενη.



Σχήμα 13.7. Τετραέριστη πλάκα με σχηματική αναπαράσταση των υποθετικών δοκών. Κάτω πλάκα εδραζόμενη απευθείας σε υποστυλώμα χωρίς και με κιονόκρανο*.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι τα **τοιχεία** που έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 13.5.2 από άποψη πραγματικής συμπεριφοράς είναι επιφανειακά στοιχεία, αλλά η ανάλυσή τους γίνεται έτσι πολύ πιο πολύπλοκη και χρειάζεται εξελιγμένες υπολογιστικές μεθόδους. Για λόγους απλοποίησης στους στατικούς υπολογισμούς τα θεωρούμε γραμμικά. Τον τελευταίο καιρό με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχουν αρχίσει να αντιμετωπίζονται σαν επιφανειακοί φορείς.



Σχήμα 13.8. Μερικά ενδεικτικά σχήματα κελυφών.



Συμπερασματικά, επιφανειακά δομικά στοιχεία είναι οι πλάκες και τα κελύφη. Και αυτά μπορούν να επιλυθούν τις περισσότερες φορές σαν σύνολο γραμμικών στοιχείων αλλά η συμπεριφορά τους είναι στην πραγματικότητα τριδιάστατη και πιο πολύπλοκη.



Επισκεφθείτε κτηριακά έργα υπό κατασκευή και εξετάστε τη δομή του φέροντος οργανισμού τους. Επιπλέον ονομάστε κάθε ένα δομικό στοιχείο του σκελετού.

13.5.4 Στατικό σύστημα - Πλαισιακή λειτουργία

α. Φορτία

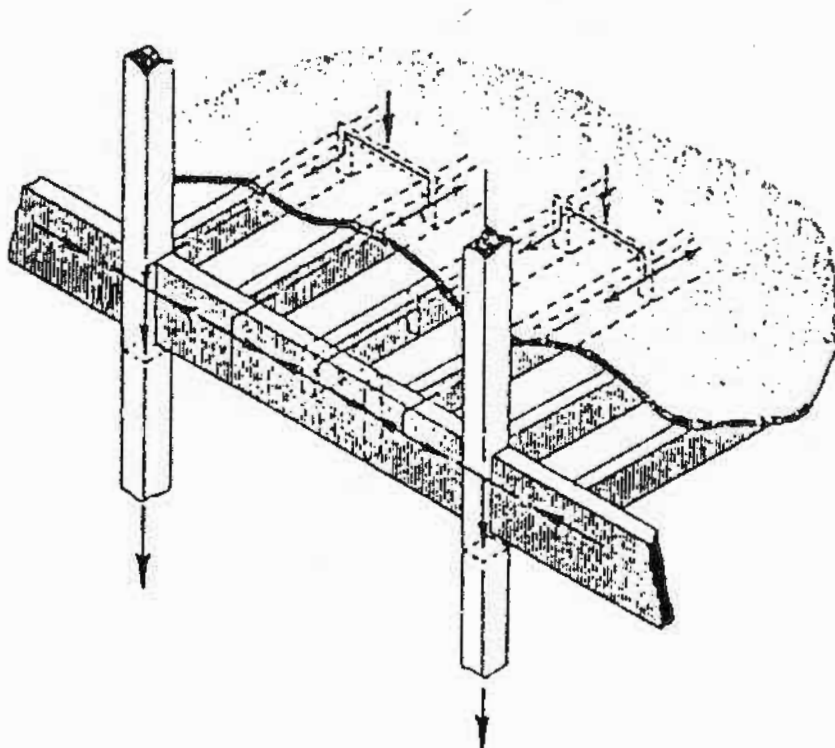
Μόνιμα ή νεκρά: ίδιο βάρος φέροντος οργανισμού, τοιχοποιίες, επικαλύψεις (π.χ. μάρμαρα, πλακίδια), μηχανήματα κ.τ.λ.

Κινητά: φορτία που έχουν σχέση με τη χρήση του χώρου, γενικά έχουν μικρό χρόνο επιβολής (άνθρωποι και άλλα φορτία χρήσης). Επίσης φορτία που έχουν σχέση με περιβαλλοντική επίδραση (χιόνι, άνεμος, θερμοκρασία κ.τ.λ.)

Ατυχηματικά: φορτία που επιβάλλονται σε σπάνιες περιπτώσεις – ατυχήματα, π.χ. πρόσκρουση αυτοκινήτου σε υποστυλώμα σε χώρο στάθμευσης. Πολύ σημαντική φόρτιση, ειδικά για τη χώρα μας, σε αυτή την κατηγορία είναι αυτή του σεισμού.

Οι τιμές και οι συντελεστές ασφαλείας των φορτίων καθορίζονται από τον αντίστοιχο κανονισμό.

β. Μεταβίβαση φορτίων μεταξύ δομικών στοιχείων

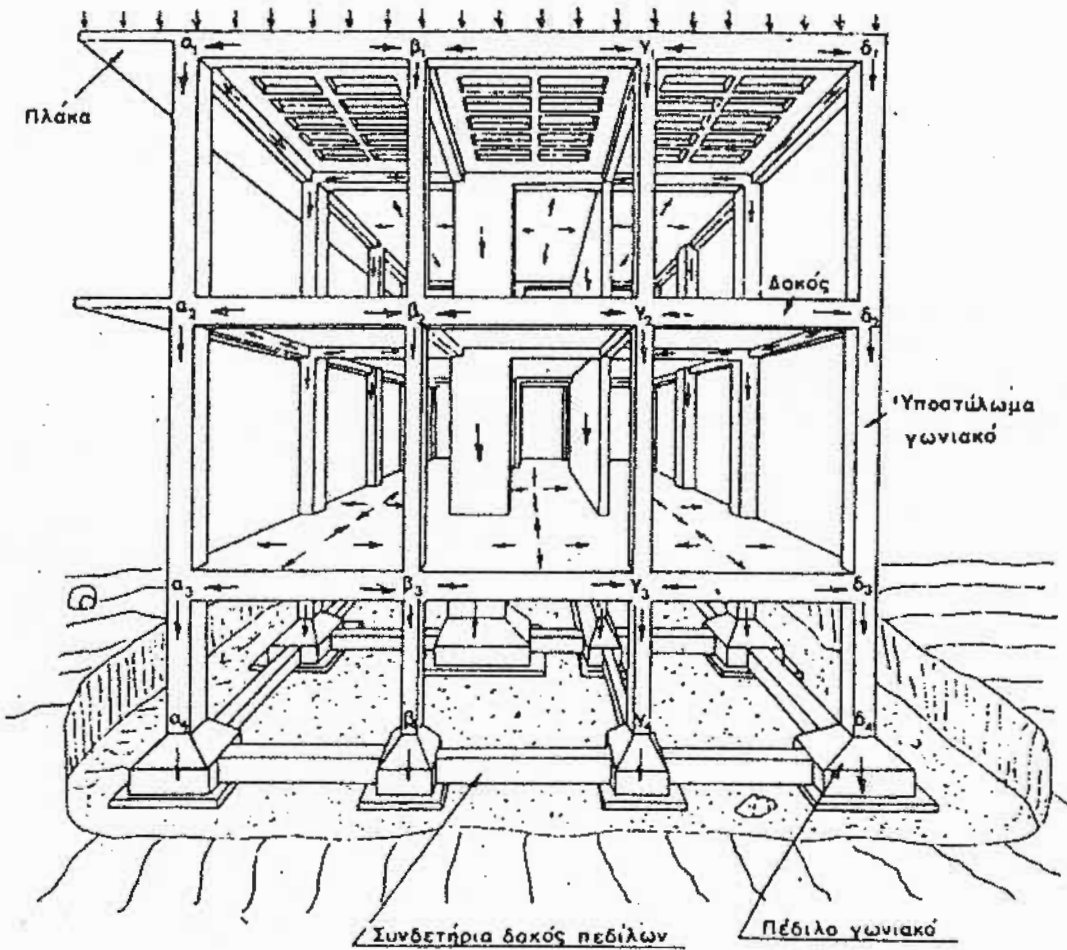


Σχήμα 13.9. Μεταβίβαση φορτίων από την πλάκα στα δοκάρια και υποστυλώματα.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 13.9, τα συνήθη φορτία επιβάλλονται αρχικά στην πλάκα και κατανέμονται στις γειτονικές δοκούς. Κάθε δοκός, καθώς εδράζεται σε υποστυλώματα, μεταφέρει τα φορτία στα υποστυλώματα, τα οποία με τη σειρά τους μέσω των πεδίων τα μεταβιβάζουν στη γη.

Αντίστοιχα, σε ένα πύο πολύπλοκο κτιριακό έργο όπως αυτό του σχήματος 13.10, βλέπουμε ενδεικτικά τα επιβαλλόμενα κινητά φορτία στο πάνω μέρος του κτηρίου. Όπως δείχνουν τα βελάκια, στις πλάκες αυτά κατανέμονται στις δοκούς και οι δοκοί με τη σειρά τους μεταφέρουν τα φορτία στα υποστυλώματα. Τα υποστυλώματα καταλήγουν σε πέδιλα, τα οποία μεταφέρουν τα φορτία τελικά στο έδαφος. Τα πέδιλα συνδέονται μεταξύ τους με συνδετήριες δοκούς, οι οποίες διασφαλίζουν το κτήριο από τον κίνδυνο ανόμοιας συμπεριφοράς του εδάφους κάτω από τα πέδιλα. Επίσης βοηθάνε στην καλύτερη

συμπεριφορά στο ενδεχόμενο σεισμού.



Σχήμα 13.10. Μεταβίβαση φορτίων σε πλήρες πολυώροφο κτίριο.

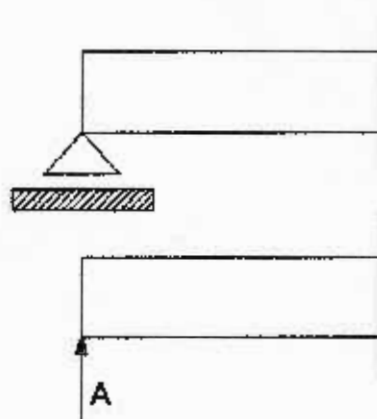
γ. Στατικό μοντέλο του φέροντος οργανισμού

Για να επιλυθεί ο φέρων οργανισμός δημιουργούμε ένα στατικό μοντέλο. Για τη δημιουργία αυτού του μοντέλου γίνονται διάφορες παραδοχές. Έτσι έχουμε:

α. στηρίξεις

i. Κύλιση

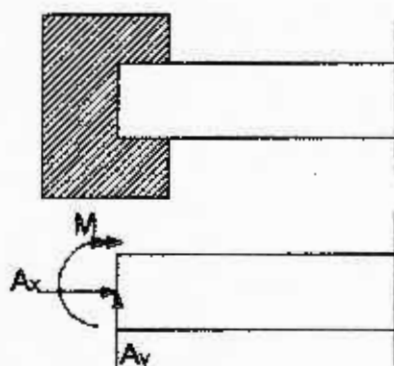
Η κύλιση (σχήμα 13.11) είναι η πιό απλή μορφή στήριξης. Ισοδυναμεί με δέσμευση σημείου του φορέα, ώστε να μην κινηθεί σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ μπορεί να κινηθεί στην άλλη και να περιστραφεί. Έτσι η αντίδραση είναι μία μόνο δύναμη. Η πιό συνηθισμένη μορφή κύλισης είναι η απλή έδραση.



Σχήμα 13.11. Συμβολισμός κλίσης και αντιστοίχηση με αντιδράσεις.

ii. Άρθρωση

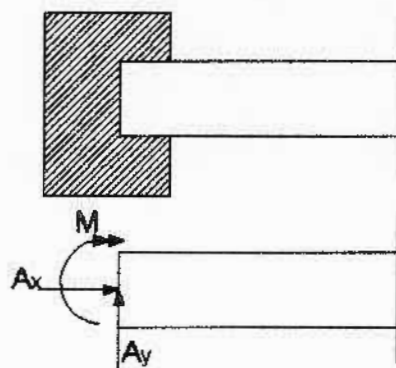
Η άρθρωση (σχήμα 13.12) εμποδίζει την κίνηση στις δύο διευθύνσεις αλλά επιτρέπει την περιστροφή. Έτσι οι αντιδράσεις που ισοδυναμούν με την άρθρωση είναι δύο (κάθετες μεταξύ τους) δυνάμεις. Μία χαρακτηριστική άρθρωση που όλοι γνωρίζουμε είναι ο μεντεσές στις πόρτες.



Σχήμα 13.12. Συμβολισμός άρθρωσης και αντιστοίχηση με αντιδράσεις.

iii. Πάκτωση

Η πάκτωση (σχήμα 13.13) εμποδίζει τόσο την κίνηση σε οποιαδήποτε διεύθυνση όσο και την περιστροφή. Έτσι οι αντιδράσεις είναι δύο κάθετες μεταξύ τους δυνάμεις και μία ροπή. Οι κόμβοι (δοκών-υποστυλωμάτων) και οι στηρίξεις στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα συνήθως θεωρούνται πακτώσεις.



Σχήμα 13.13. Πάκτωση και αντιστοίχιση με αντιδράσεις.

β. στατικά συστήματα

i. ισοστατικοί φορείς

Οι ισοστατικοί φορείς είναι αυτοί που επιλύονται πλήρως με τις εξισώσεις ισορροπίας που γνωρίζουμε από τη φυσική. Έτσι η επίλυση μπορεί να γίνει εύκολα με το χέρι. Οι συνηθισμένες μορφές είναι η αμφιέριστη δοκός (αρθρωμένη στο ένα άκρο και με κύλιση στο άλλο) και ο κλασικός πρόβολος (δοκός πακτωμένη). Γενικά οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω της μονολιθικότητας είναι υπερστατικοί φορείς. Περισσότερες πληροφορίες για τους ισοστατικούς φορείς δίνονται στο κεφάλαιο 15.

ii. υπερστατικοί φορείς

Οι υπερστατικοί φορείς έχουν μεγαλύτερο αριθμό στηρίξεων από τους ισοστατικούς φορείς και οι εξισώσεις ισορροπίας δεν επαρκούν για την πλήρη επίλυση καθώς οι άγνωστοι (αντιδράσεις στηρίξεων) είναι περισσότεροι από τις εξισώσεις. Ο αριθμός των επιπλέον αγνώστων λέγεται βαθμός υπερστατικότητας. Έτσι η επίλυση ακόμα και σχετικά απλών υπερστατικών φορέων γίνεται αρκετά πολύπλοκη εκτός εάν αυτοί είναι ή μπορούν να αναχθούν σε κάποιους που η λύση τους υπάρχει σε πινακοποιημένη μορφή. Με την πρόοδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών η επίλυση τους έχει γίνει πλέον πολύ εύκολη ανεξάρτητα από τον βαθμό υπερστατικότητας. Το πλεονέκτημα των υπερστατικών φορέων είναι ότι ακόμα και εάν κάποιο δομικό στοιχείο αστοχήσει (σπάσει – ρηγματωθεί) η όλη κατασκευή μπορεί να μην καταρρεύσει. Συνήθως οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι υπερστατικοί λόγω της μονολιθικότητας που έχουν.

iii. μηχανισμός

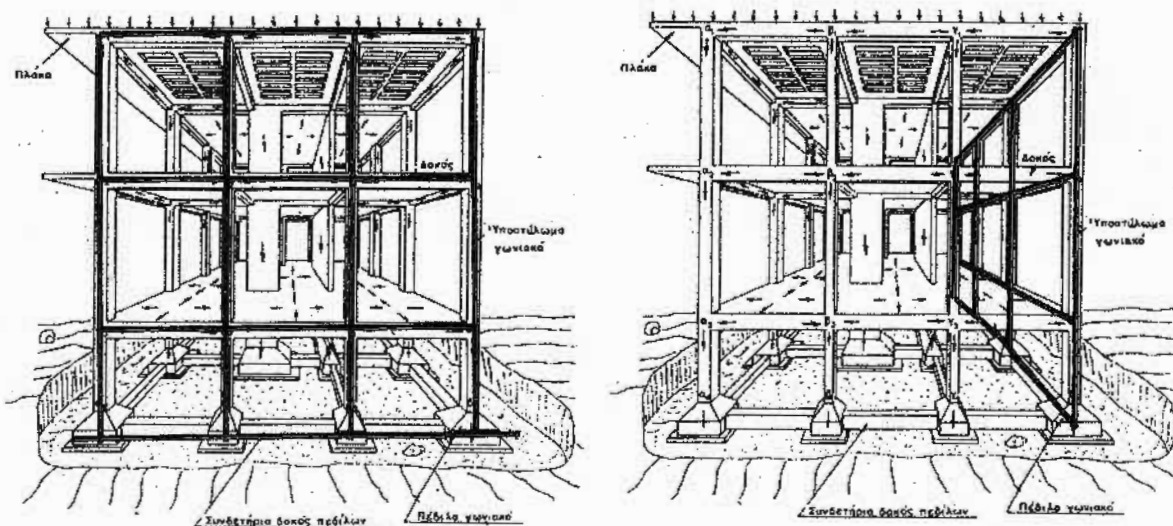
Μηχανισμός ονομάζεται ένας φορέας ο οποίος δεν ισορροπεί. Είναι δηλαδή στατικά

αόριστος. Ένα απλό παράδειγμα είναι οι πόρτες, που ενώ είναι αρθρωμένες στην άκρη είναι ελεύθερες να περιστραφούν σε σχεδόν κάθε επιβολή δύναμης (φορτίου).

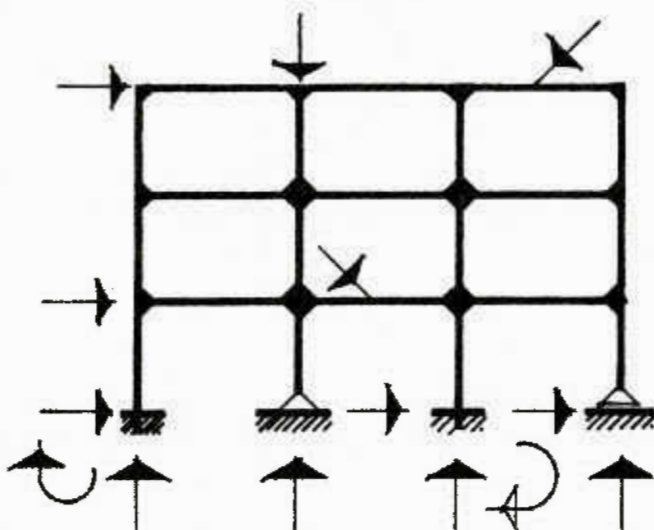
γ. πλαισιακή λειτουργία

Ως **πλαίσιο** το υποστύλωμα και η δοκός συνεργάζονται και συγκροτούν μαζί ένα άκαμπτο, αδιαίρετο σύνολο, που το ονομάζουμε **πλαισιωτή κατασκευή**. Με τη θεώρηση αυτή εκφράζεται σωστά η φύση του υλικού και αξιοποιούνται πληρέστερα οι κατασκευαστικές δυνατότητές του, αφού με τον τρόπο αυτό μεταβιβάζονται ροπές από τις δοκούς στα υποστυλώματα μέσω των άκαμπτων κόμβων (πάκτωση δοκών με υποστυλώματα).

Όπως φαίνεται και στο **σχήμα 13.14**, τα υποστυλώματα και τα δοκάρια σχηματίζουν επίπεδα πλαίσια ως προς τις δύο διευθύνσεις. Κάθε πλαίσιο έχει τη μορφή του πλαισίου του σχήματος 13.15. Έτσι μία κατασκευή σαν αυτή του σχήματος 13.14 αποτελείται από πολλά πλαίσια σε κάθε διεύθυνση και κάθε υποστύλωμα συμμετέχει στα δύο πλαίσια που δισταυρώνονται σε αυτό.



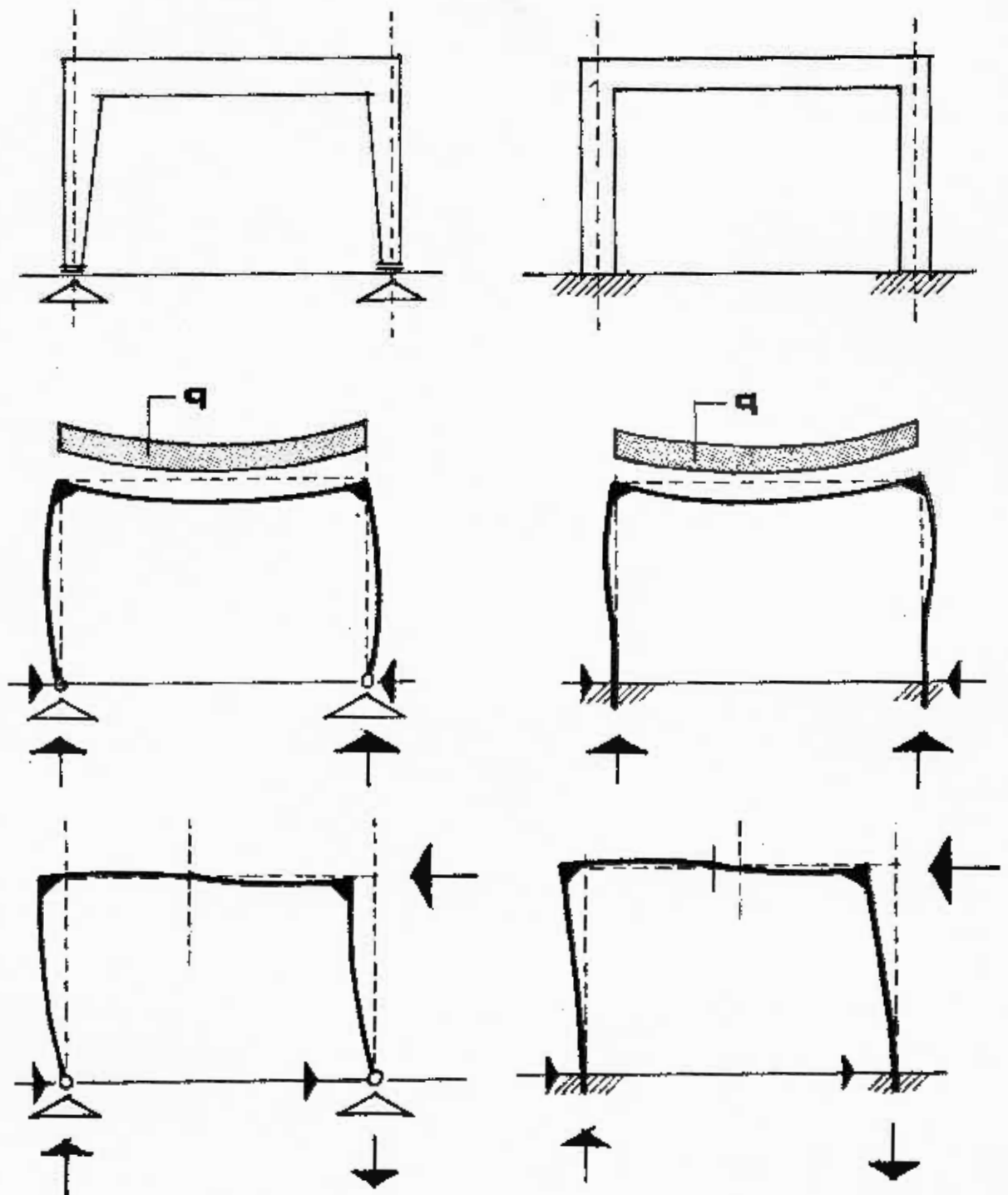
Σχήμα 13.14. Ενδεικτικός σχηματισμός πλαισίων στις δύο διευθύνσεις.



Σχήμα 13.15. Ενδεικτικό τριώροφο επίπεδο πλαίσιο τριών ανοιγμάτων.



Επισκεφθείτε κτιριακά έργα υπό κατασκευή και αφού έχετε κατανοήσει τη δομή του φέροντος οργανισμού τους, μελετήστε τη μεταβίβαση φορτίων από το ένα δομικό στοιχείο στο άλλο. Στο εργαστήριο φτιάξτε μοντέλα ισοστατικών φορέων και πλαισίων, ώστε να εξετάσετε τη συμπεριφορά τους σε διάφορες φορτίσεις.



Σχήμα 13.16. Ενδεικτικές παραμορφώσεις αμφιρθρωτού (αριστερά) και ποκτώμένου (δεξιά) πλαισίου για κατακόρυφο κατανεμημένο φορτίο q και οριζόντιο συγκεντρωμένο φορτίο*.

* σχήμα από το βιβλίο Ά. Αθανασίουπουλος, "Κυλιωμένη κερύκη σύνθεσης και τεχνολογία". Γ' έκδοση