



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ

ΤΟΜΟΣ Β΄



1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς προέβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύστασις Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρούμενα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τότε Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθεται σε φιλόλογους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέσει στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ.

Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρέακος**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, **Άγγελος Καλογεράς** (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, **Δημήτριος Νιάνιαν** (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, **Μιχαήλ Σπετσιέρης** (1956-1959), **Νικόλαος Βασιώτης** (1960-1967), **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Παναγιώτης Χατζηιωάννου** (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Αλέξανδρος Ι. Παππάς** (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, **Χρυσόστομος Καβουνίδης** (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Γεώργιος Ρούσσος** (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδόσιου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, **Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου** (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, **Γεώργιος Σταματίου** (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, **Σωτ. Γκλαβάς** (1989-1993), Φιλολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ

ΤΟΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΣ

ΑΡΙΣΤΕΙΔΟΥ Ν. ΔΕΪΜΕΖΗ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
Τ. ΕΠΙΜΕΛΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ
1994



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στον Πρόλογο του Α' Τόμου της Γενικής Δομικής έχει ορισθεί το αντικείμενο του μαθήματος και οι σχέσεις του με άλλα συγγενή τεχνικά μαθήματα, όπως η Οικοδομική, τα Συγκοινωνιακά Έργα, τα Υδραυλικά Έργα, τα Δομικά Υλικά, η Μηχανική κλπ.

Έχει διαιρεθεί επίσης η Γενική Δομική σε πέντε μέρη, τα εξής:

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: Θεμελιώσεις.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: Λίθινες κατασκευές.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ: Κατασκευές από σκυρόδεμα.

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ: Ξύλινες κατασκευές.

ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ: Μεταλλικές κατασκευές.

Στον παρόντα Β' Τόμο περιλαμβάνεται το τρίτο μόνο μέρος, δηλαδή οι Κατασκευές από σκυρόδεμα. Παρόλα αυτά ο Τόμος αυτός είναι ογκοδέστερος των άλλων, οι οποίοι περιλαμβάνουν από δύο μέρη ο καθένας. Αυτό είναι απόλυτα δικαιολογημένο, εάν ληφθεί υπόψη ότι το σκυρόδεμα στην εποχή μας έχει καταστεί το κυριότερο δομικό υλικό και ότι στην Ελλάδα τουλάχιστον τα περισσότερα και μάλιστα τα σημαντικότερα δομικά έργα αποτελούνται κατά μέγα ποσοστό από σκυρόδεμα. Η χρήση των λίθων και του ξύλου, που άλλοτε αποτελούσαν τα βασικά υλικά κατασκευής των δομικών έργων, έχει περιορισθεί, ενώ συγχρόνως η χρήση των μετάλλων ουδέποτε αναπτύχθη ευρέως στην Ελλάδα κυρίως λόγω ελλείψεως της πρώτης ύλης.

Ο συγγραφέας

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

13.1 Ορισμοί.

Σκυροκονιάματα ή **σκυροδέματα** καλούνται τα προϊόντα της αναμίξεως σκύρων (χαλικιών) φυσικής ή τεχνητής προελεύσεως με ένα οποιοδήποτε κονίαμα. Τα σκυροδέματα έχουν την ιδιότητα να στερεοποιούνται με την πάροδο του χρόνου και να μετατρέπονται σε τεχνητούς λίθους, οι οποίοι μπορούν να παρουσιάζουν συνεκτικότητα, αντοχή ή άλλες ιδιότητες, κατάλληλες για τη χρήση για την οποία προορίζονται, όπως μονωτική ικανότητα, στεγανότητα κλπ.

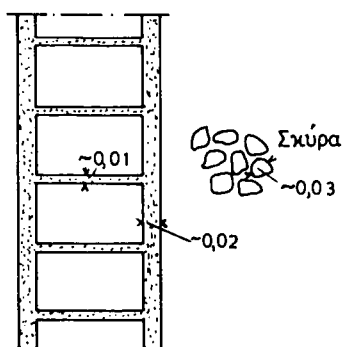
Από τον παραπάνω ορισμό αντιλαμβανόμαστε ότι υπάρχουν τόσες κατηγορίες σκυροδεμάτων όσες και κονιαμάτων. Ένα συνηθισμένο είδος σκυροδεμάτων είναι π.χ. τα ασφαλικά σκυροδέματα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα ως οδοστρώματα. Παρ' όλα αυτά, με τον όρο σκυρόδεμα εννοούμε συνήθως το προϊόν της αναμίξεως σκύρων και τσιμεντοκονιάματος. Το τσιμεντοκονίαμα είναι, όπως γνωρίζουμε, προϊόν αναμίξεως άμμου, τσιμέντου και νερού [παράγγρ. 9.4 (Α), Α' Τόμος]. Όπου λοιπόν εδώ αναφέρεται ο όρος σκυροκονίαμα ή σκυρόδεμα θα εννοείται πάντοτε το σκυρόδεμα με τσιμεντοκονίαμα, εκτός αν επεξηγείται ότι πρόκειται για διάφορο είδος σκυροδέματος.

13.2 Κύρια χαρακτηριστικά των σκυροδεμάτων.

Ως προς τη χρήση τους τα σκυροδέματα διαφέρουν από τα

κονιάματα κατά το ότι τα μεν πρώτα χρησιμοποιούνται σε στοιχεία κατασκευών, τα οποία έχουν και τις τρεις διαστάσεις τους (μήκος, πλάτος, ύψος) αρκετά μεγάλες, ενώ τα δεύτερα χρησιμοποιούνται μόνο σε στοιχεία κατασκευών, με μία τουλάχιστον διάσταση πολύ μικρή (το πολύ μερικά εκατοστά του μέτρου). Τέτοια στοιχεία είναι κυρίως οι αρμοί μεταξύ των φυσικών ή τεχνητών λίθων στις τοιχοποιίες, τα επιχρίσματα, οι επιστρώσεις δαπέδων και ταρατσών κλπ.

Είναι φανερό ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σκυροδέματα σε κατασκευές του είδους αυτού, εφ' όσον οι διαστάσεις των σκύρων είναι περίπου ίσες ή και μεγαλύτερες από τη μικρή διάσταση των στοιχείων αυτών (σχ. 13.2α).



Σχ. 13.2α.

Τα σκυροδέματα είναι ακατάλληλα ως κονιάματα για το κτίσιμο, τα επιχρίσματα κλπ., επειδή το μέγεθος των σκύρων είναι πολύ μεγάλο για τα είδη αυτά των κατασκευών.

Αντίθετα, τα κονιάματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή στοιχείων, που έχουν πολύ μεγάλες και τις τρεις διαστάσεις τους, γιατί και το κόστος τους είναι πολύ υψηλό και παρουσιάζουν συνήθως έντονη συστολή κατά την πήξη τους η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών (σκασίματα).

Για τους λόγους αυτούς και το μέγεθος των σκύρων των σκυροδεμάτων δεν είναι πάντοτε το ίδιο. Εξαρτάται από τις διαστάσεις των έργων, που πρόκειται να κατασκευασθούν με το σκυρόδεμα, και είναι άλλοτε λεπτά σκύρα (γαρμπίλι), και άλλοτε συνηθισμένα σκύρα, χονδρά σκύρα ή ακόμη και πέτρες.

13.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατασκευών από σκυρόδεμα.

Η χρήση των διαφόρων σκυροδεμάτων είναι παλαιότατη. Σχετικά είναι τα δύο παραδείγματα που ακολουθούν:

1) Οι Ρωμαίοι πριν από δύο χιλιάδες χρόνια χρησιμοποίησαν σε μεγάλη κλίμακα για χυτές κατασκευές το **κουρασάνι** [παράγρ. 9.4 (Α), Α' Τόμος]. Το δομικό αυτό υλικό ήταν πράγματι μίγμα σκύρων, άμμου, ασβέστη και νερού. Τα σκύρα όμως είχαν ειδική προέλευση, γιατί αποτελούνταν από τεμάχια κεραμικών ειδών (τούβλων, κεράμων κλπ.). Το ίδιο συνέβαινε και για την άμμο, η οποία προέρχονταν από παρόμοια αλεσμένα υλικά.

2) Επί αιώνες στο ελληνικό νησί Σαντορίνη, για την κατασκευή των οροφών, κυρίως των οικιών, δεξαμενών κλπ. χρησιμοποιούσαν σκυρόδεμα, το οποίο ήταν μίγμα σκύρων από ελαφρόπετρα (κίσσηρη), θηραϊκή γη, ασβέστη και νερό.

Η χρήση όμως των σκυροδεμάτων αναπτύχθηκε σε μέγιστο βαθμό μόνο την τελευταία εκατονταετία. Σε αυτό συνέβαλε πολύ:

α) Η βιομηχανική παραγωγή του τσιμέντου (1824) και

β) η επινόηση του οπλισμένου σκυροδέματος (1867).

Σήμερα το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε συνεχώς αυξανόμενη κλίμακα και τείνει να αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις τους φυσικούς και τεχνητούς λίθους, το ξύλο και τα μέταλλα. Έπειτα μάλιστα από την επινόηση και την εφαρμογή του προεντεταμένου σκυροδέματος κατά τις τελευταίες δεκαετίες, το πεδίο εφαρμογής του σκυροδέματος έχει διευρυνθεί ακόμα περισσότερο. Η νέα αυτή τεχνική κατέστησε το σκυρόδεμα το καταλληλότερο υλικό για την αντικατάσταση των μετάλλων στους φέροντες οργανισμούς των δομικών έργων.

Με το σκυρόδεμα μπορούμε να κατασκευάσουμε τα θεμέλια των δομικών έργων εφαρμόζοντας είτε βαθιές είτε αβαθείς θεμελιώσεις. Από τα στοιχεία της ανωδομής τους είναι δυνατό να κατασκευασθούν με σκυρόδεμα: πατώματα, τοίχοι, οροφές και στέγες οικοδομικών έργων, βάθρα και φορείς γεφυρών, οδοστρώματα, κρηπίδες λιμανιών, επενδύσεις διωρύγων και τάφρων, φράγματα κλπ. Ως επί το πλείστον το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται οπλισμένο, επειδή τα δομικά στοιχεία που κατασκευάζονται με αυτό, φέρουν

και μεταβιβάζουν δυνάμεις, οπότε ενδιαφέρει περισσότερο η αντοχή του. Άλλοτε πάλι χρησιμοποιείται χωρίς οπλισμό, γιατί τότε ενδιαφέρουν περισσότερο άλλες ιδιότητές του, όπως π.χ. η στεγανότητα, η ελαφρότητα, η μονωτική ικανότητα κλπ.

Σημαντικό παράγοντα για την επικράτηση των κατασκευών από το σκυρόδεμα αποτέλεσε και η οικονομία. Από την καθαρά τεχνική άποψη όλες σχεδόν οι κατασκευές, όπου χρησιμοποιείται το σκυρόδεμα, θα μπορούσαν κάλλιστα να γίνουν από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, από ξύλο ή από μέταλλο. Το σκυρόδεμα όμως έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, από τα οποία τα κυριότερα είναι τα εξής:

α) Είναι φθηνό υλικό.

β) Με μικρή σχετικά δαπάνη σε εργατικά, μπορεί να του δοθεί το επιθυμητό σχήμα, ανάλογα με τις περιπτώσεις.

γ) Η παρασκευή του μπορεί να γίνει στον τόπο της κατασκευής του δομικού έργου.

δ) Μεταφέρεται και διαστρώνεται με σχετική ευκολία.

ε) Συνδυάζει ως ένα σημείο τις ιδιότητες των λίθων με τις ιδιότητες του ξύλου ή του μετάλλου.

ζ) Οι ιδιότητές του μπορούν να εκλέγονται κατάλληλα, ανάλογα με τις περιπτώσεις χρησιμοποίησής του, ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες που παρουσιάζονται (παραγρ. 15.2).

η) Δεν φθείρεται εύκολα, δεν γερνάει, δεν απαιτεί συντήρηση κλπ.

Όλα αυτά μεταφράζονται σε οικονομία και αυτό εξηγεί, γιατί σήμερα λέμε ότι διανύουμε, τουλάχιστον ως προς τα δομικά έργα, τον αιώνα του σκυροδέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΥΛΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

14.1 Γενικά.

Σύμφωνα με τον ορισμό του σκυροδέματος τα υλικά, που το αποτελούν, είναι:

- 1) Το τσιμέντο.
- 2) Το νερό.
- 3) Η άμμος.
- 4) Τα σκύρα (χαλίκια).

Τα δύο πρώτα είναι **ενεργά υλικά**, γιατί συμμετέχουν στις χημικές αντιδράσεις, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την πήξη και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα δύο τελευταία είναι **αδρανή υλικά**, γιατί διατηρούν και μετά την πήξη του σκυροδέματος όλες τις φυσικές και χημικές ιδιότητες που είχαν, πριν αναμιχθούν με τα άλλα υλικά.

Εκτός από αυτά τα τέσσερα κύρια υλικά μπορεί να προστεθούν στο σκυρόδεμα σε μικρές ποσότητες, και διάφορα άλλα υλικά (προσμίγματα), με σκοπό να βελτιωθούν οι ιδιότητές του (παράγρ. 14.6).

Όταν το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την κατασκευή οπλισμένων στοιχείων του έργου, μεταχειριζόμαστε ένα επί πλέον υλικό, το χάλυβα, ο οποίος όμως δεν αποτελεί συστατικό του σκυροδέματος.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με την περιγραφή των υλικών, τα οποία σχηματίζουν το σκυρόδεμα. Σε αυτήν θα θίξουμε μόνο τα κύρια σημεία γιατί περισσότερες λεπτομέρειες περιλαμβάνονται στο βιβλίο περί **Δομικών Υλικών**.

14.2 Τσιμέντο.

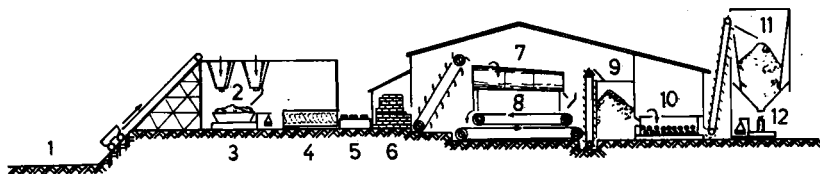
Το τσιμέντο είναι τεχνητή υδραυλική κονία, η οποία επισήμως

ονομάζεται **τεχνητή κονία Portland**. Ορθότερα, με τον όρο τσιμέντο εννοούμε μια ομάδα τεχνητών υδραυλικών κονιών [παράγρ. 9.4 (Α), Α΄ Τόμος], με την ίδια περίπου σύσταση και τις ίδιες ιδιότητες.

Το τσιμέντο προέρχεται από λεπτό άλεσμα του υλικού το οποίο προκύπτει από το ψήσιμο (όπτηση) καταλλήλων μιγμάτων αργιλικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Το ψήσιμο γίνεται μέσα σε ειδικούς περιστρεφόμενους φούρνους (κλιβάνους) σε υψηλές θερμοκρασίες (1400°C έως 1500°C), διαρκεί δε ώσπου να δημιουργηθεί φανερή επίτηξη (λιώσιμο) των κόκκων των πρώτων υλών. Με την επίτηξη αυτή οι κόκκοι ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν σβώλους γνωστούς με τη διεθνή ονομασία clinker.

Τα προϊόντα αυτά αλέθονται, έως ότου τα 80% τουλάχιστον από αυτά να περνούν από ένα κόσκινο με $70 \times 70 = 4.900$ τρύπες ανά τετραγωνικό εκατοστό (σχ. 14.2α).

Η κυριότερη ιδιότητα του τσιμέντου είναι ότι, όταν αναμιχθεί με το νερό, προσλαμβάνει μια ποσότητα από αυτό ίση περίπου με 12 έως 15% του βάρους του. Ορισμένα από τα συστατικά του τσιμέντου σχηματίζουν με το νερό χημικές ενώσεις, οι οποίες έχουν κρυσταλλική υφή. Οι κρύσταλλοι εμπλέκονται μεταξύ τους και μετατρέπουν, μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα, το μίγμα τσιμέντου - νερού σε τεχνητό λίθο. Κατά τις χημικές αντιδράσεις δεν χρειάζεται απορρόφηση στοιχείων από την ατμόσφαιρα, ούτε προ-



Σχ. 14.2α.

Σχηματική παράσταση εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου: 1) Λατομείο. 2) Επεξεργασία ασβεστολιθικών και αργιλικών πετρωμάτων. 3) Καθορισμός ποσοτήτων ανάλογα με το βάρος. 4) Ανάμιξη της ακατέργαστης μάζας. 5) Κατασκευή πλίνθων (μπρικετών). 6) Ξήρανση των πλίνθων. 7) Όπτηση (ψήσιμο) των πλίνθων σε περιστρεφόμενο κλίβανο μέχρι να λιώσουν. 8) Απόψυξη του υλικού. 9) Εναποθήκευση των σβώλων (clinker). 10) Λεπτή άλεση των σβώλων. 11) Εναποθήκευση του τσιμέντου σε σιλό. 12) Γέμισμα σάκων και αποστολή στο εργοτάξιο.

καλείται έκλυση αερίων. Η πήξη λοιπόν του τσιμέντου δεν εξαρτάται από την ύπαρξη ατμοσφαιρικού αέρα, όπως συμβαίνει π.χ. με την άσβεστο [παράγρ. 9.4 (Α) Α' Τόμος].

Οι χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν την πήξη του τσιμέντου, συνοδεύονται με έκλυση ενός ποσού θερμότητας. Σε περίπτωση μεγάλων όγκων, όπως π.χ. σε φράγματα από σκυρόδεμα, η έκλυση της θερμότητας αυτής μπορεί να επιφέρει σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας.

Επίσης κατά την πήξη του τσιμέντου παρατηρείται σημαντική μείωση του όγκου του μίγματος, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο περισσότερο νερό περιέχει το μίγμα, αντίθετα δε είναι τόσο μικρότερη, όσο αυξάνει το ποσοστό των αδρανών υλικών. Αυτός είναι ένας από τους λόγους, που καθιστούν απαραίτητη τη χρησιμοποίηση αδρανών υλικών στα τσιμεντοκονιάματα και τα σκυροδέματα.

Η αντίδραση τσιμέντου - νερού μπορεί να διαιρεθεί σε δύο φάσεις. Η πρώτη καλείται **πήξη**. Όταν αυτή συμπληρωθεί, το μίγμα έχει ήδη μεταβληθεί σε στερεό σώμα με σχετικά μικρή αντοχή. Εάν το στερεό αυτό σώμα σπάσει μετά τη συμπλήρωση της πρώτης φάσεως, δεν είναι πια δυνατόν να ανακτήσει τη συνοχή του. Η δεύτερη φάση καλείται **σκληρυνση**. Κατά τη διάρκεια αυτής το ήδη στερεό προϊόν σκληραίνει συνεχώς και η αντοχή του αυξάνει. Η πρώτη φάση διαρκεί από λίγα λεπτά έως λίγες ώρες, ενώ η δεύτερη διαρκεί πάρα πολύ, θεωρητικά επ' άπειρον. Πρακτικά μέσα σε 28 ημέρες το στερεό σώμα έχει αποκτήσει σχεδόν το σύνολο της αντοχής του (80%-90%).

Οι ιδιότητες των τσιμεντών διαφέρουν ποσοτικά από μια ποιότητα σε άλλη. Τα σχετικά άρθρα των κανονισμών για τη μελέτη και εκτέλεση των οικοδομικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα καθορίζουν τα όρια, μέσα στα οποία πρέπει να περιορίζονται οι διαφορές ιδιότητες του τσιμέντου, για να επιτρέπεται η χρήση του στην Ελλάδα. Στα επόμενα άρθρα του Διατάγματος καθορίζονται επίσης οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η μέτρηση και ο έλεγχος των ιδιοτήτων αυτών.

Δύο από τις ιδιότητες του τσιμέντου, η **ταχύτητα πήξεως** και η αντοχή στη θλίψη, ενδιαφέρουν περισσότερο και αποτελούν τα κριτήρια για την κατάταξη των τσιμεντών σε διάφορες κατηγορίες.

Σχετικά δίνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

1) Ταχύτητα πήξεως.

Τα τσιμέντα ως προς την πήξη διακρίνονται σε τρεις τύπους:

α) **Τσιμέντα ταχείας πήξεως**, στα οποία η πήξη συμπληρώνεται σε διάστημα μικρότερο από μισή ώρα.

β) **Συνήθη τσιμέντα** με χρόνο πήξεως που κυμαίνεται μεταξύ 6 έως 8 ώρες.

γ) **Τσιμέντα βραδείας πήξεως**, στα οποία η πήξη επέρχεται μετά από 8 ώρες.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε έργου χρησιμοποιούμε τσιμέντα του ενός ή του άλλου τύπου. Τα τσιμέντα ταχείας πήξεως είναι πλουσιότερα σε οξειδίο του αργιλίου (Al_2O_3), γι' αυτό καλούνται και αργιλικά, ενώ τα βραδείας πήξεως είναι πλουσιότερα σε οξειδίο του πυριτίου (SiO_2). Τα αργιλικά τσιμέντα παρουσιάζουν συνήθως πιο έντονη έκλυση θερμότητας και μεγαλύτερη μείωση του όγκου τους κατά την πήξη. Είναι επίσης πιθανόν να δημιουργήσουν κινδύνους οξειδώσεως του οπλισμού. Γι' αυτό οι κανονισμοί επιτρέπουν τη χρήση τους μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου ενδιαφέρει η ταχύτητα πήξεως.

2) Αντοχή σε θλίψη.

Μετά τη σκλήρυνση το μίγμα τσιμέντου - νερού μετατρέπεται σε τεχνητό λίθο (πέτρα), ο οποίος, όπως και οι φυσικοί λίθοι, έχει σημαντική αντοχή σε θλίψη, ενώ η αντοχή του σε εφελκυσμό ή σε διάτμηση είναι πολύ μικρότερη. Κριτήριο της αντοχής του τσιμέντου είναι η αντοχή του τσιμεντόλιθου σε θλίψη. Σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς (DIN 1 164) τα τσιμέντα διακρίνονται από απόψεως αντοχής σε τρεις κατηγορίες: Z 275, Z 375 και Z 475. Το γράμμα Z είναι το αρχικό της λέξεως zement (= τσιμέντο) και ο αριθμός αντιπροσωπεύει την τάση θλίψεως σε kg/cm^2 , στην οποία πρέπει να αντέχει ο τσιμεντόλιθος.

Για να μετρηθεί η αντοχή του τσιμέντου, χρησιμοποιείται ένα κυβικό δοκίμιο με πλευρές μήκους 7 cm περίπου και ηλικίας 28 ημερών, το οποίο έχει κατασκευασθεί από ένα μέρος τσιμέντου και τρία μέρη κανονικής, δηλαδή ισόκοκκης άμμου. Οι λεπτομέρειες για την παρασκευή του δοκιμίου και τη δοκιμασία του αναφέρονται

στους ίδιους κανονισμούς DIN 1 164. Προβλέπονται επίσης και άλλες δοκιμασίες σε εφελκυσμό, κάμψη κλπ. αλλά αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως βοηθητικές.

Οι γερμανικοί κανονισμοί ισχύουν σχεδόν αυτούσιοι και στην Ελλάδα. Το Β.Δ. της 18/2/1954 "Περί κανονισμών για τη μελέτη και εκτέλεση οικοδομικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα" είναι σχεδόν κατά λέξη μετάφρασή τους. Ειδικά όμως για τις ποιότητες του τσιμέντου το Διάταγμα προβλέπει:

α) Το **κοινό τσιμέντο**. Η αντοχή σε θλίψη του τσιμεντόλιθου είναι 275 kg/cm^2 .

β) Το **τσιμέντο υψηλής αντοχής**, με αντοχή τσιμεντόλιθου σε θλίψη 400 kg/cm^2 .

γ) Τα **τσιμέντα ειδικής παραγγελίας υψηλής αντοχής** (δηλαδή με αντοχή, η οποία καθορίζεται κατόπιν ειδικής παραγγελίας).

Το Διάταγμα επίσης αναφέρει το τσιμέντο Πόρτλαντ ελληνικού τύπου, το οποίο είναι συνηθισμένο ελληνικό τσιμέντο. Αυτό διαφέρει από τα γνήσια τσιμέντα Πόρτλαντ, επειδή περιέχει συναλεσμένη θηραϊκή γη σε ποσοστό όχι μεγαλύτερο από τα 10% του βάρους του. Η θηραϊκή γη, ως αδρανές υλικό, μειώνει γενικά τις ικανότητες του τσιμέντου ως κονίας. Όμως η παρουσία της έχει ορισμένα αγαθά αποτελέσματα:

α) Βελτιώνει τη στεγανότητα των σκυροδεμάτων.

β) Επιβραδύνει την πήξη τους.

γ) Δεσμεύει την ελεύθερη άσβεστο, η οποία πιθανόν να υπάρχει στο τσιμέντο. Η παρουσία ασβέστου (CaO) μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστα αποτελέσματα στο σκυρόδεμα, επειδή διογκώνεται, όταν έλθει σε επαφή με το νερό.

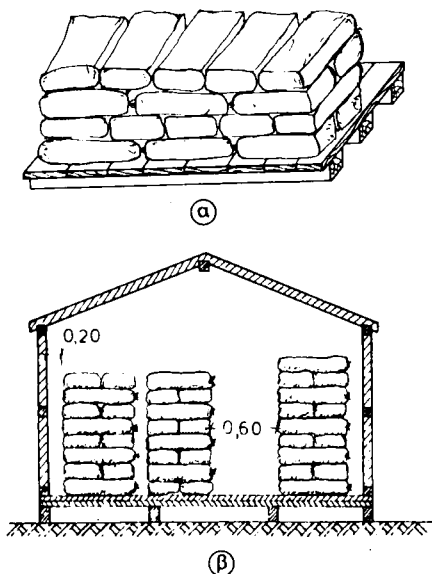
Πρέπει να προστεθεί ότι υπάρχουν και ορισμένοι τύποι τσιμέντου κατάλληλοι για ειδικές μόνο χρήσεις. Ένας από αυτούς είναι το λευκό τσιμέντο ή τσιμέντο τύπου Lafarge, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για επιχρίσματα και μωσαϊκά ή γενικά εκεί, όπου για λόγους αισθητικής δεν είναι ανεκτός ο χρωματισμός του κοινού τσιμέντου.

Μέτρα προστασίας. Το τσιμέντο είναι ενεργό υλικό, υφίσταται δηλαδή χημικές αλλοιώσεις, μόλις έλθει σε επαφή με το νερό. Πρέπει επομένως να προστατεύεται, έως ότου χρησιμοποιηθεί από την

επίδραση του νερού ή της υγρασίας, γιατί υπάρχει κίνδυνος να αρχίσει να πήζει. Κατά δεύτερο λόγο οι κανονισμοί υποδεικνύουν να αποφεύγονται ισχυρά ρεύματα αέρα και υπερβολική θερμοκρασία.

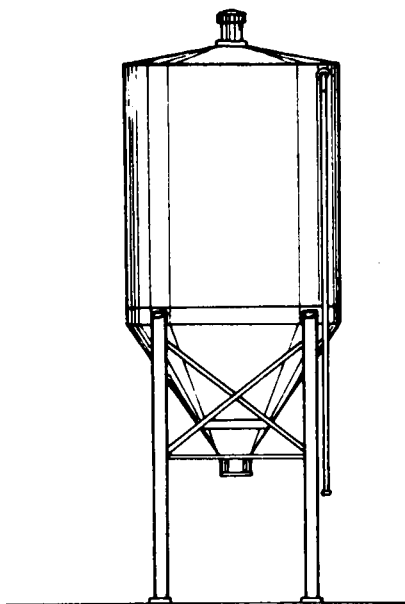
Τσιμέντο, το οποίο έχει πήξει, είναι άχρηστο και πρέπει να απορρίπτεται. Υπάρχουν περιπτώσεις, που η υγρασία επιδρά στο τσιμέντο, αλλά όχι τόσο, ώστε να προκαλείται πήξη. Είναι δυνατόν τότε να αυξηθεί η συνάφεια των κόκκων του τσιμέντου και να μετατραπεί από σκόνη σε ένα σύνολο στερεών όγκων (σβώλων). Το τσιμέντο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εφ' όσον οι στερεοί αυτοί όγκοι τριφτούν και μεταβληθούν πάλι σε σκόνη, με απλή πίεση των δακτύλων.

Για να περιορισθούν οι κίνδυνοι πήξεως του τσιμέντου, πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευσή του στην ύπαιθρο, καθώς και η τοποθέτησή του απ' ευθείας επάνω στο έδαφος ή το δάπεδο. Είναι σκόπιμο να τοποθετείται επάνω σε σχάρα από σανίδες ή καδρόνια, ώστε από κάτω να κυκλοφορεί ελεύθερα ο αέρας (σχ. 14.2β).



Σχ. 14.2β.

Αποθήκευση σάκων τσιμέντου:
α) Στην ύπαιθρο. β) Σε παράπηγμα.



Σχ. 14.2γ.

Σιλό εργοταξίου, για την αποθήκευση τσιμέντου χύμα.

Τα πιο πάνω ισχύουν, εφ' όσον το τσιμέντο φέρεται σε σάκους ιδίως, όταν οι σάκοι είναι κατασκευασμένοι από γιούτα, όπως συνέβαινε άλλοτε στην Ελλάδα. Σήμερα οι σάκοι κατασκευάζονται κατά κανόνα από πολλαπλά φύλλα χάρτου, τα οποία εμποδίζουν σχετικά το νερό και την υγρασία να εισχωρήσουν στο εσωτερικό του. Τελευταία άρχισαν να χρησιμοποιούνται και στην Ελλάδα, τουλάχιστον για μεγάλα έργα, μεταλλικά δοχεία (silos) με μεγάλη χωρητικότητα, μέσα στα οποία τοποθετείται το τσιμέντο χύμα (σχ. 14.2γ).

Ένα στόμιο, το οποίο ανοίγει και κλείνει με ειδική δικλείδα και βρίσκεται στο κατώτατο μέρος του δοχείου, επιτρέπει τη ροή του τσιμέντου. Με τη χρήση των μεταλλικών αυτών δοχείων οι κίνδυνοι πρόωρης πήξεως και απώλειας (φύρας) του τσιμέντου περιορίζεται στο ελάχιστο.

14.3 Νερό.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε νερό οποιασδήποτε προελεύσεως για την παρασκευή σκυροδέματος. Όμως οι διάφορες ξένες ουσίες που υπάρχουν μέσα σε αυτό, είτε διαλυμένες είτε αιωρούμενες, μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές επιθυμητές ή όχι, στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Γι' αυτό καλύτερα είναι να χρησιμοποιούμε καθαρό νερό και, όποτε θέλουμε να μεταβάλλουμε μια ιδιότητα του σκυροδέματος, να προσθέτουμε το κατάλληλο πρόσμιγμα, για να επιτύχουμε τη μεταβολή.

Με αυτόν τον τρόπο και το είδος και η αναλογία του προσμίγματος καθορίζονται και ελέγχονται από τον κατασκευαστή του έργου.

Με τον όρο **καθαρό νερό** δεν εννοούμε βέβαια νερό απεσταγμένο. Καθαρό θεωρείται το νερό, όταν δεν περιέχει αισθητές ποσότητες αιωρουμένων ουσιών και έχει μικρό ποσοστό διαλυμένων ουσιών, όταν δηλαδή είναι κατάλληλο για να το πιούμε (προς πόση). Η χρήση του θαλασσινού νερού δεν προκαλεί σημαντικές μεταβολές στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Επιτρέπεται επομένως η χρήση του για λόγους οικονομίας σε έργα, που εκτελούνται μέσα ή κοντά στη θάλασσα. Εννοείται ότι τα άλατα μπορούν να παρουσιασθούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος μετά τη συμπλήρωση της κατασκευής και να εμφανισθούν ως λεκέδες ή επανθίσματα. Επομέ-

νως επιτρέπεται να χρησιμοποιείται το θαλασσινό νερό μόνο, όταν τα ελαττώματα αυτά δεν θεωρούνται απαράδεκτα από την αισθητική άποψη.

Επικίνδυνη είναι η χρήση νερού, που περιέχει εν διαλύσει θειικά, θειώδη ή θειούχα άλατα, γιατί αυτά ενώνονται χημικά με το τσιμέντο και δημιουργούν προϊόντα διαλυτά ή πολύ μικρής αντοχής. Επίσης πρέπει να μην χρησιμοποιούμε νερό που περιέχει εν αιωρήσει άργιλο σε σημαντική ποσότητα ή οργανικά υπολείμματα, γιατί αυτά περιβάλλουν τους κόκκους των αδρανών υλικών και μειώνουν τη συνάφειά τους με το τσιμέντο και έτσι μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος.

Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες που απέχουν αισθητά από τα σημεία πήξεως (0°C) και βρασμού (100°C). Εάν το νερό έχει πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή θερμοκρασία, πρέπει να θερμαίνεται ή να ψύχεται. Δύσκολα θα συναντήσουμε στην πράξη περίπτωση, που να πρέπει να ψυχθεί το νερό. Η θέρμανσή του όμως είναι απαραίτητη, όταν η θερμοκρασία του είναι κάτω από 5°C , ιδίως όταν η χαμηλή θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αποκλείει την πιθανότητα θερμάνσεώς του με φυσικό τρόπο μετά την προσθήκη του στο παρασκευαζόμενο σκυρόδεμα.

14.4 Άμμος.

Άμμος, στην περίπτωση των σκυροδεμάτων, καλείται το υλικό, που αποτελείται από κόκκους με μέγιστη διάσταση μικρότερη από 7 mm και μεγαλύτερη κατά κανόνα από 0,2 mm.

Οι κόκκοι αυτοί προέρχονται από φυσικό ή τεχνητό κατακερματισμό πετρωμάτων. Κατ' επέκταση, ως άμμος μπορεί να θεωρηθεί και κάθε υλικό, που αποτελείται από κόκκους αυτών των διαστάσεων, έστω και εάν ο τρόπος παραγωγής του είναι διαφορετικός, αρκεί να παρουσιάζει ιδιότητες παρόμοιες με εκείνες της πραγματικής άμμου. Στην κατηγορία αυτή των ειδικών άμμων υπάγονται διάφορες σκωρίες (υποπροϊόντα μεταλλουργείων), κόκκοι από διογκωμένη άργιλο και άλλα παρόμοια υλικά, τα οποία χρησιμεύουν για την παρασκευή ειδικών σκυροδεμάτων.

Ιδιότητες της άμμου, οι οποίες επιδρούν στην ποιότητα του σκυροδέματος, είναι οι εξής:

α) Το είδος του ορυκτού ή των ορυκτών, από τα οποία προέρχονται οι κόκκοι.

β) Η αντοχή των κόκκων.

γ) Το σχήμα των κόκκων.

δ) Το ποσοστό και το είδος των ξένων προσμίξεων (**καθαρότητα** της άμμου).

ε) Το μέγεθος των διαφόρων κόκκων (**κοκκομετρική σύνθεση** της άμμου).

Όσον αφορά στο είδος των ορυκτών, μπορούμε να πούμε ότι ένα ορυκτό είναι γενικά κατάλληλο, όταν έχει την τάση να κατακερματισθεί με φυσικό ή τεχνητό τρόπο σε κόκκους ίσους με τις διαστάσεις των κόκκων της άμμου. Στην περίπτωση αυτή και η αντοχή των κόκκων είναι επαρκής. Τα ορυκτά με μικρή αντοχή έχουν την τάση να θρυμματισθούν σε κόκκους με πολύ μικρότερες διαστάσεις. Σπάνια λοιπόν χρειάζεται να δοθεί προσοχή στις δύο πρώτες ιδιότητες. Μόνον όταν πρόκειται να κατασκευασθεί ένα εξαιρετικά σκληρό σκυρόδεμα, με υψηλή αντοχή στην επιφανειακή τριβή, πρέπει να εκλέγεται άμμος από κατάλληλο υλικό με μεγάλη αντοχή και σκληρότητα, π.χ. χαλαζιακή, γρανιτική, σμύριδα κλπ.

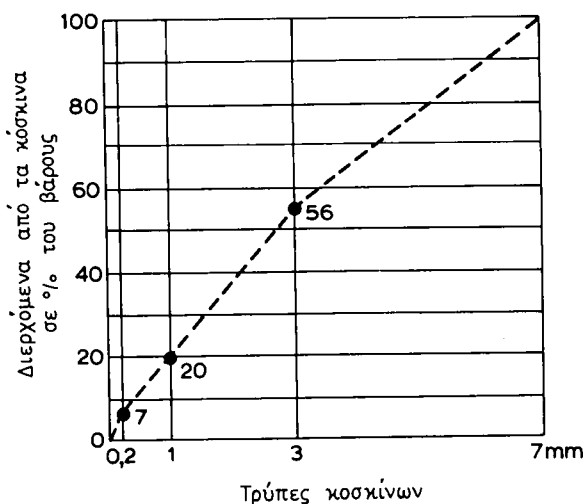
Όσον αφορά στο σχήμα των κόκκων, πρέπει να αποφεύγεται η άμμος, που αποτελείται από κόκκους φανερά βελονοειδείς ή πλακοειδείς. Και αυτό όμως συμβαίνει σπάνια σε ορυκτά, τα οποία όταν κατατρίβονται, τείνουν να μετατραπούν σε άμμο.

Επομένως η προσοχή πρέπει να στρέφεται κυρίως στις δύο τελευταίες ιδιότητες, εκτός εάν πρόκειται για ειδικές κατασκευές, όπου και οι άλλες ιδιότητες είναι δυνατόν να παίζουν σημαντικό ρόλο.

Η καθαρότητα της άμμου ελέγχεται πρακτικά με δύο συνήθως τρόπους: Ο πρώτος είναι να συμπίεσμε στην παλάμη μας μικρή ποσότητα υγρής άμμου. Αυτή, όταν απομακρυνθεί, δεν πρέπει να αφήνει ίχνη χρώματος ή λάσπης. Ο δεύτερος τρόπος είναι να προστεθεί μια ποσότητα άμμου μέσα σε δοχείο, κατά προτίμηση με διαφανή τοιχώματα, το οποίο να περιέχει νερό. Ταράζομε έντονα το νερό με την άμμο και το αφήνομε να ηρεμήσει, οπότε, αφού κατακαθήσει η άμμος, το νερό πρέπει να παραμείνει απόλυτα διαυγές. Και οι δύο αυτοί τρόποι είναι εντελώς πρόχειροι (εργοταξιακοί), υπάρχουν όμως και άλλοι για τον ακριβή εργαστηριακό έλεγχο.

Η κοκκομετρική σύνθεση μιας άμμου, δηλαδή η διαβάθμιση των κόκκων της κατά μέγεθος, ελέγχεται με επανειλημμένα κοσκινίσματα από κόσκινα με τρύπες διαφορετικού μεγέθους. Σε κάθε κοσκίνισμα ζυγίζεται η ποσότητα της άμμου, που διέρχεται από το κόσκινο και υπολογίζεται το ποσοστό της συνολικής ποσότητας, που αντιπροσωπεύει η ποσότητα αυτή της άμμου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τοποθετούνται ως σημεία σε ένα διάγραμμα. Στον ένα άξονα του διαγράμματος αναγράφουμε τις διαστάσεις που έχουν οι τρύπες του κόσκινου, συνεπώς και των κόκκων της άμμου, και στον άλλο τα διερχόμενα ποσοστά. Για να είναι τα διαγράμματα αυτά πιο ευανάγνωστα, χρησιμοποιούμε συνήθως τη λογαριθμική κλίμακα για τον άξονα των διαστάσεων. Όταν ενώσουμε τα σημεία, προκύπτει μια τεθλασμένη γραμμή, η οποία αντιστοιχεί στην κοκκομετρική σύνθεση της άμμου που δοκιμάζουμε. Η γραμμή αυτή ονομάζεται **κοκκομετρικό διάγραμμα** της άμμου (σχ. 14.4α).

Οι ελληνικοί κανονισμοί, οι οποίοι σε αυτήν την περίπτωση συμφωνούν απόλυτα με τους γερμανικούς, δίνουν τρεις τυπικές τεθλασμένες, την Α, την Β και την Γ (σχ. 14.4β). Εάν ολόκληρη η τεθλασμένη, η οποία αντιστοιχεί στην υπό δοκιμή άμμο, βρίσκεται



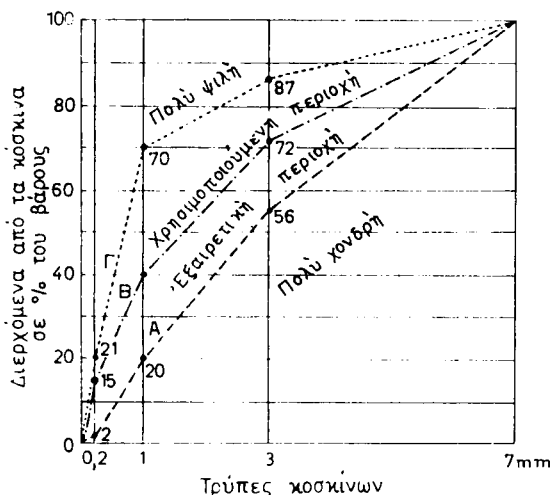
Σχ. 14.4α.

Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης άμμου.

μεταξύ της Α και της Β, τότε η άμμος θεωρείται πάρα πολύ καλή. Εάν βρίσκεται μεταξύ της Α και της Γ, αλλά ένα μέρος της ή και ολόκληρη βρίσκεται μεταξύ Β και Γ, η άμμος εξακολουθεί να είναι ανεκτή. Εάν η τεθλασμένη βγαίνει έξω από την περιοχή, που περικλείουν οι τεθλασμένες Α και Γ, τότε η άμμος είναι ακατάλληλη τουλάχιστον για την παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος.

Μία άλλη ιδιότητα, η οποία παίζει σοβαρό ρόλο, είναι η ομοιομορφία της ποιότητας της άμμου. Είτε φυσική είτε και τεχνητή η άμμος είναι ένα υλικό, του οποίου η τυποποίηση είναι δύσκολη και με τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα σχεδόν ανύπαρκτη. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να παρακολουθούμε συνεχώς, τουλάχιστον μακροσκοπικά, δηλαδή χωρίς τη χρήση ειδικών οργάνων, την ποιότητα της άμμου. Πρέπει μάλιστα να εκτελούμε δοκιμές από καιρό σε καιρό, τόσο για την καθαρότητά της, όσο και για την κοκκομετρική της σύνθεση.

Η άμμος είναι το μόνο από τα τέσσερα βασικά υλικά του σκυροδέματος, που μπορεί να λείπει τελείως, χωρίς το προϊόν να πάψει να χαρακτηρίζεται ως σκυροδεμα. Τότε παράγεται ένα **σκυρόδεμα χωρίς λεπτά υλικά** (no fines concrete) για το οποίο γίνεται λόγος στην παράγραφο 15.2 (Γ).



Σχ. 14.4β.

Περιοχές κοκκομετρικής ανάλυσης για άμμο σκυροδεμάτων.

14.5 Χαλίκια (σκύρα).

Τα χαλίκια (σκύρα) διαφέρουν από την άμμο μόνο ως προς το μέγεθος των κόκκων τους. Τα συνηθισμένα χαλίκια έχουν διαστάσεις από 7 έως 30 mm. Σε ειδικές περιπτώσεις, όταν τα δομικά στοιχεία, τα οποία πρόκειται να κατασκευασθούν, έχουν πολύ μεγάλες διαστάσεις, χρησιμοποιούνται και χαλίκια μεγαλύτερων διαστάσεων που φθάνουν τα 70 mm. Αντίθετα σε λεπτές κατασκευές, ιδίως όταν πρόκειται για προκατασκευασμένα στοιχεία, μπορεί να περιορίζεται η μέγιστη διάσταση των χαλικιών σε όρια μικρότερα από 30 mm. Τέλος υπάρχουν περιπτώσεις, κατά τις οποίες οι κατασκευές είναι πολύ ογκώδεις (φράγματα, λιμενικά έργα κλπ.), οπότε επιτρέπεται να χρησιμοποιείται και ένα ποσοστό λίθων. Το προϊόν τότε δεν χαρακτηρίζεται ως σκυρόδεμα αλλά ως λιθόδεμα.

Και για τα σκύρα (χαλίκια) παρουσιάζουν ενδιαφέρον οι πέντε φυσικές ιδιότητες, που αναφέρθηκαν για την άμμο (παράγρ. 14.4). Από την άποψη του είδους του πετρώματος είναι κατάλληλα τα ασβεστολιθικά σκύρα, τα γρανιτικά και γενικά όσα προέρχονται από σκληρά ή σχετικά σκληρά πετρώματα. Αντίθετα είναι ακατάλληλα τα ψαμμιτικά σκύρα, τα σχιστολιθικά κλπ. Τα σκύρα πρέπει να παρουσιάζουν μηχανική αντοχή ίση ή περίπου ίση με την αντοχή, που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν. Ακατάλληλα είναι επίσης και τα σκύρα, που έχουν πολύ λείες επιφάνειες, όπως τα χαλαζιακά (γυαλί), επειδή δεν παρουσιάζουν αρκετή πρόσφυση με τον τσιμεντοπολτό.

Παλαιότερα έδιναν μεγάλη σημασία στο σχήμα των σκύρων. Προτιμούσαν τα θραυστά σκύρα, τα οποία παρουσιάζουν γωνιώδεις επιφάνειες, σε σύγκριση με τα φυσικά χαλίκια των οποίων οι επιφάνειες είναι γενικά λείες και στρογγυλεμένες.

Τώρα θεωρείται, ότι η επίδραση του σχήματος των σκύρων στην ποιότητα του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, εάν συγκριθεί με την επίδραση που έχουν άλλοι παράγοντες. Επομένως δεν απαγορεύεται γενικά να χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος φυσικά χαλίκια. Πάντως σκύρα, των οποίων ένα μεγάλο ποσοστό των κόκκων έχει μορφή πλακών ή ράβδων, πρέπει να αποφεύγονται.

Η καθαρότητα των σκύρων ελέγχεται με το πλύσιμο. Εάν το

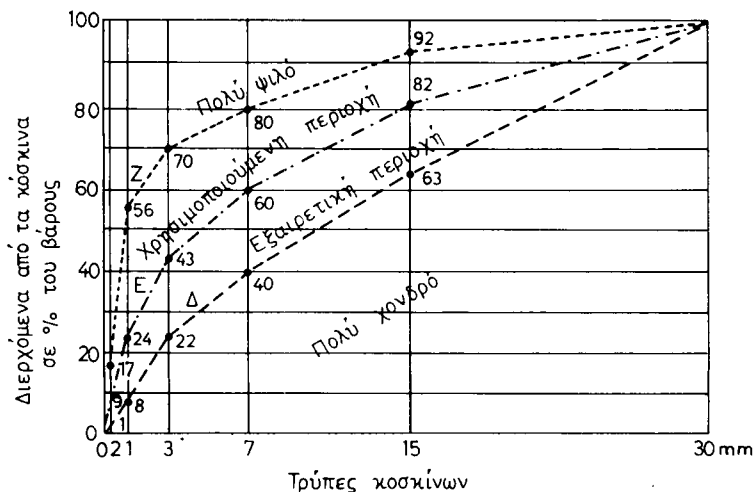
νερό δεν παραμένει διαυγές, αφού αφεθεί να ηρεμήσει, τα σκύρα είναι ακατάλληλα, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν αφού πλυθούν.

Οι κανονισμοί απαγορεύουν να υπάρχουν στα σκύρα:

- α) Οργανικές χουμώδεις ουσίες.
- β) Άνθρακες και ιδίως λιγνίτες.
- γ) Θεικές και θειούχες ενώσεις.
- δ) Τεμάχια ψημένης ασβέστου.

Αντίθετα επιτρέπουν να υπάρχει άργιλος μέχρι ποσοστό 3% κατά βάρος.

Η κοκκομετρική σύνθεση των σκύρων ελέγχεται μόνο σε συνδυσμό με την άμμο, γιατί πραγματικά τελικά ενδιαφέρει η κοκκομετρική σύνθεση του μίγματος. Ο έλεγχος γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και για την άμμο. Το μίγμα σκύρων - άμμου δίνει μια τεθλασμένη γραμμή παρόμοια με το διάγραμμα κοκκομετρικής συνθέσεως της άμμου (σχ. 14.4α). Η γραμμή αυτή, σύμφωνα προς τους ελληνικούς και γερμανικούς κανονισμούς, συγκρίνεται με τις τυπικές τεθλασμένες Δ, Ε και Ζ (σχ. 14.5α). Εάν όλη η τεθλασμένη, η οποία αντιστοιχεί στο εξεταζόμενο μίγμα περιλαμβάνεται μεταξύ Δ



Σχ. 14.5α.

Περιοχές κοκκομετρικής ανάλυσης μίγματος σκύρων και άμμου για σκυρόδεμα.

και Ε, το μίγμα είναι πάρα πολύ καλό. Εάν βρίσκεται μεταξύ Δ και Ζ, αλλά ένα μέρος της ή και ολόκληρη βρίσκεται μεταξύ Ε και Ζ, το μίγμα είναι απλώς ανεκτό. Εάν τέλος ένα μέρος ή ολόκληρη η τεθλασμένη φεύγει από την περιοχή, που περικλείουν οι γραμμές Δ και Ζ, το μίγμα πρέπει να απορριφθεί.

Στην τελευταία περίπτωση δεν πρέπει απαραίτητα να απορριφθούν τα σκύρα και η άμμος, που αποτελούν το μίγμα. Είναι δυνατόν μια άλλη αναλογία αναμίξεώς τους να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

Όταν επιθυμούμε ένα πάρα πολύ καλό μίγμα σκύρων και άμμου, είναι απαραίτητη η σύνθεση από τρεις κατηγορίες υλικών, δηλαδή από συνηθισμένα σκύρα (7 έως 30 mm), λεπτά σκύρα (γαρμπίλι, 7 έως 15 mm) και άμμο. Το **γαρμπίλι**, εκτός από το μέγεθος των κόκκων, δεν διαφέρει καθόλου από τα σκύρα. Ισχύουν λοιπόν και γι' αυτό όλα, όσα αναφέραμε παραπάνω.

Σε ειδικές περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως σκύρα κομμάτια από ελαφρόπετρα (κίσσηρη), σκουριά, εξογκωμένη άργιλο ή άλλα παρόμοια υλικά. Τότε παράγονται ειδικά ελαφρά σκυροδέματα, για τα οποία γίνεται λόγος στην παράγραφο 15.2 (Γ).

14.6 Προσμίγματα.

Όταν θέλουμε να μεταβάλλουμε ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος, μπορούμε να προσθέσουμε μικρές σχετικά ποσότητες διαφόρων άλλων υλικών, τα οποία καλούνται **προσμίγματα**.

Αυτά ανάλογα με την περίπτωση προστίθενται:

- α) Στο τσιμέντο κατά την παραγωγή του, όπως π.χ. η θηραϊκή γη.
- β) Στο νερό, με το οποίο παρασκευάζεται το σκυροδέμα, όπως π.χ. το ακουαζίτ, το βατ-προυφ κλπ.
- γ) Αυτούσια ως ένα επί πλέον υλικό κατά την παρασκευή του σκυροδέματος, όπως π.χ. η σμίριδα.

Τα προσμίγματα μπορεί να είναι και φυσικά προϊόντα, συνήθως όμως είναι βιομηχανικά ιδιοσκευάσματα, τα οποία προστατεύονται από διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Η ποικιλία τους είναι πολύ μεγάλη και καθημερινά νέα προϊόντα παρουσιάζονται στην αγορά.

Οι ιδιότητες των σκυροδεμάτων, τις οποίες θέλουμε συνήθως να μεταβάλλουμε με τα διάφορα προσμίγματα, είναι οι ακόλουθες:

α) Η **υδροπερατότητα**, δηλαδή η αντίσταση, που παρουσιάζει το σκυρόδεμα στο νερό και γενικά στην υγρασία, όταν διαπερνούν τη μάζα του.

β) Η **υδροαπορροφητικότητα**, δηλαδή η τάση να απορροφά υγρασία από το περιβάλλον και να την κρατάει μέσα στη μάζα του.

γ) Η **ταχύτητα πήξεως**, δηλαδή ο χρόνος, που χρειάζεται, για να μεταβληθεί σε στερεό σώμα.

δ) Η **ταχύτητα σκληρύνσεως**, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία αυξάνει η αντοχή του.

ε) Η **πλαστικότητα** κατά τη διάστρωση, δηλαδή η ικανότητα να μεταβάλλεται σε εύπλαστη και εύκολα εργάσιμη μάζα με όσο το δυνατόν μικρότερη ποσότητα νερού.

ζ) Η **θερμότητα πήξεως**, δηλαδή η ποσότητα θερμότητας, η οποία παράγεται όσο διαρκεί το φαινόμενο της πήξεως του τσιμέντου.

η) Το **σημείο πήξεως** του νερού παρασκευής του σκυροδέματος, δηλαδή η θερμοκρασία, στην οποία το νερό αυτό μετατρέπεται σε πάγο.

θ) Η **συστολή πήξεως**, δηλαδή το ποσοστό, κατά το οποίο μειώνεται ο όγκος του σκυροδέματος, όταν γίνει η πήξη του τσιμέντου.

ι) Το **ποσοστό κενών** και συνεπώς η φαινομένη πυκνότητα του σκυροδέματος.

κ) Η **επιφανειακή αντοχή** του σκυροδέματος σε φθορά.

λ) Η **αντοχή** του σκυροδέματος γενικά.

Οι περιπτώσεις, κατά τις οποίες απαιτείται βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του σκυροδέματος, είναι πολλές. Όταν π.χ. κατασκευάζουμε μία δεξαμενή, μας ενδιαφέρει να μειώσουμε όσο είναι δυνατόν, την υδροπερατότητα και την υδροαπορροφητικότητα των τοιχωμάτων της. Όταν οι εργασίες εκτελούνται μέσα σε νερό, που ρέει, απαιτείται η αύξηση της ταχύτητας πήξεως, για να μειωθεί ο κίνδυνος αποπλύσεως του σκυροδέματος. Όταν θέλουμε να αφαιρέσουμε γρήγορα τους τύπους (καλούπια), πρέπει να αυξήσουμε την ταχύτητα σκληρύνσεως. Όταν στο σκυρόδεμα πρόκειται να προσθέσουμε πολύ λίγο νερό, με σκοπό να αποκτήσει πολύ μεγάλη αντοχή, καλό είναι να αυξήσουμε με κάποιο τρόπο την πλαστικότητά του κ.ο.κ.

Εφιστάται όμως η προσοχή στο ότι κανένα σχεδόν πρόσμιγμα

δεν επηρεάζει αποκλειστικά μία και μόνο ιδιότητα του σκυροδέματος. Το χλωριούχο αμμώνιο π.χ., όταν προστεθεί στο νερό, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος, κατεβάζει το σημείο πήξεως του νερού. Επιτρέπει έτσι να συνεχισθούν οι εργασίες σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, μειώνει όμως συγχρόνως και την αντοχή του σκυροδέματος. Επομένως, πριν από την εκλογή οιοδήποτε προσμίγματος, πρέπει να διαβάζομε προσεκτικά τις προδιαγραφές του παραγωγού για να έχομε υπόψη μας τις τυχόν παρενέργειες που μπορεί να προκαλεί η χρήση του. Επίσης πρέπει να τηρούμε επακριβώς τις οδηγίες χρήσεως, όπως δίνονται από τον παραγωγό, και κυρίως να αποφεύγομε τη σύγχυση ως προς τον τρόπο χρήσεως ενός νέου προσμίγματος με τον τρόπο χρήσεως άλλων γνωστών προσμιγμάτων που μοιάζουν με αυτό. Δεν αποκλείεται δύο προσμίγματα, τα οποία φαινομενικά μοιάζουν πάρα πολύ, να απαιτούν εντελώς διαφορετική χρήση.

Επειδή υπάρχει μεγάλος αριθμός και μεγάλη ποικιλία προσμιγμάτων για το σκυρόδεμα, δεν είναι δυνατόν να επεκταθούμε στο βιβλίο αυτό και να αναφέρομε περισσότερα στοιχεία σχετικά με τη φύση τους, τις ιδιότητές τους και τη χρήση τους.

14.7 Χάλυβας.

Ο **χάλυβας**, όπως είπαμε, δεν είναι συστατικό του σκυροδέματος, αλλά χρησιμοποιείται μαζί με αυτό και μας δίνει το **οπλισμένο σκυρόδεμα**, το γνωστό και με το γαλλικό όρο, μπετόν - αρμέ (beton - arme).

Ειδικός χάλυβας επίσης χρησιμοποιείται και για το προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό, όπως θα εξηγηθεί στο κεφάλαιο 25, δεν είναι ένα νέο βελτιωμένο είδος οπλισμένου σκυροδέματος, αλλά ένα εντελώς νέο δομικό υλικό, το οποίο απλώς συγγενεύει με αυτό.

Α. Χάλυβας για οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ο χάλυβας έχει την ιδιότητα να προσφύεται με το σκυρόδεμα. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται σημαντική δύναμη για να αποσπασθεί μία χαλύβδινη ράβδος από το σκυρόδεμα, που την περιβάλλει. Επίσης έχει την ιδιότητα να μην επηρεάζεται δυσμενώς από την επαφή

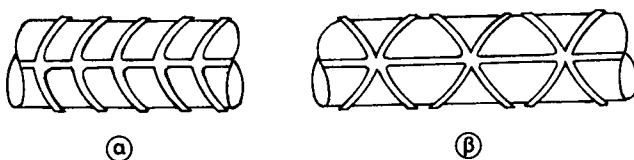
του σκυροδέματος σε οποιαδήποτε κατάσταση και αν είναι αυτό (νωπό ή στέρεο). Ο χάλυβας όχι μόνον δεν σκουριάζει μέσα στο σκυρόδεμα, αλλά αντίθετα κατά την πήξη του τσιμέντου, λόγω εμφάνισης αναγωγικών φαινομένων, απαλλάσσεται από τις σκουριές που πιθανόν να υπήρχαν στην επιφάνειά του. (**Αναγωγή** καλείται η αφαίρεση οξυγόνου από μία χημική ένωση, είναι δηλαδή το αντίθετο της **οξειδώσεως**).

Μια τρίτη ιδιότητα είναι ότι ο χάλυβας έχει περίπου τον ίδιο συντελεστή διαστολής με το σκυρόδεμα, περίπου ένα εκατοντάκις χιλιοστό (10^{-5}) για κάθε βαθμό Κελσίου. Συνεπώς η συνάφεια χάλυβα - σκυροδέματος δεν κινδυνεύει να λυθεί, έστω και σε περίπτωση, κατά την οποία παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας.

Οι τρεις αυτές ιδιότητες είναι εκείνες, που κυρίως επιτρέπουν να χρησιμοποιείται ο χάλυβας ως οπλισμός και συνεπώς να υπάρχει το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται συνήθως χάλυβας με μορφή ράβδων κυκλικής διατομής. Σε ορισμένα κράτη χρησιμοποιούνται και ράβδοι τετραγωνικής ή εξαγωνικής διατομής, αυτό όμως πολύ σπάνια συμβαίνει στην Ελλάδα. Στον όρο **ράβδος κυκλικής διατομής** περιλαμβάνονται και ράβδοι, που έχουν μεν ψυχή με σχήμα κυλίνδρου εκ περιστροφής, έχουν όμως στην επιφάνειά τους έκτυπες νευρώσεις ή άλλες ανωμαλίες (σχ. 14.7α). Οι ανωμαλίες αυτές είναι τόσο μικρές, ώστε η διαφορά της μέγιστης διαμέτρου από την ελάχιστη να είναι αμελητέα, όταν συγκρίνεται με τη διάμετρο της ράβδου.

Ο χάλυβας οπλισμού, ο οποίος κυκλοφορεί στο εμπόριο, κατατάσσεται σε διάφορες ποιότητες. Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς, οι οποίοι στο σημείο αυτό συμφωνούν απόλυτα με τους γερμανικούς, υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες (ποιότητες) χάλυβα.



Σχ. 14.7α.

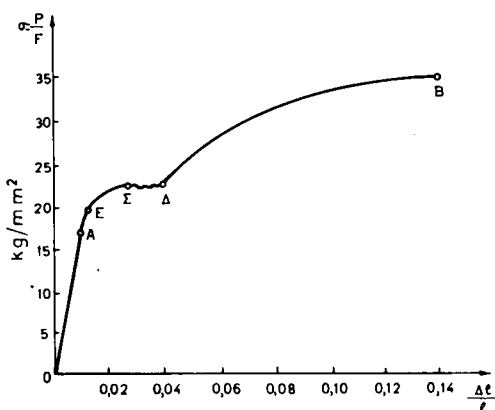
α), β): Χάλυβες οπλισμού με έκτυπες νευρώσεις.

Οι κατηγορίες χαρακτηρίζονται με τους λατινικούς αριθμούς I, II, III και IV.

Η υπ' αριθμόν I έχει τη χαμηλότερη αντοχή. Οι κατηγορίες II, III και IV διακρίνονται σε υποκατηγορίες IIa, IIIa, IVa και IIb, IIIb, IVb. Οι ποιότητες, που έχουν το δείκτη a, έχουν αποκτήσει την υψηλή τους αντοχή εν θερμώ, πριν δηλαδή γίνει η τελική τους έλαση. Όσες έχουν το δείκτη b, την έχουν αποκτήσει εκ των υστέρων μετά από ειδική επεξεργασία εν ψυχρώ. Η τελευταία αυτή διάκριση έχει σημασία μόνο ως προς τις ιδιότητες, που πρέπει να χαρακτηρίζουν κάθε ποιότητα χάλυβα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5, δεν επηρεάζει καθόλου τις τάσεις που επιτρέπονται από τους κανονισμούς.

Για να καταλάβουμε τον πίνακα 5, υπενθυμίζουμε ορισμένα στοιχεία από τη Μηχανική και συγκεκριμένα από το κεφάλαιο της Αντοχής των υλικών. Εάν σε ένα επίμηκες δοκίμιο χάλυβα με αρχικό μήκος l επιβληθεί μια τάση εφελκυσμού $\sigma = \frac{P}{F}$, όπου P η εφελκυστική δύναμη και F το εμβαδόν της διατομής του, το δοκίμιο θα επιμηκυνθεί κατά μία μικρή ποσότητα Δl .

Σε ένα διάγραμμα παρόμοιο με το διάγραμμα του σχήματος 14.7β τοποθετούμε στον οριζόντιο άξονα τις τιμές του λόγου $\frac{\Delta l}{l}$, δηλαδή τη μήκυνση ανά μονάδα μήκους, και στον άλλο άξονα τις αντίστοιχες τιμές της τάσεως σ . Εάν κατόπιν ενώσουμε τα σημεία, που θα προκύψουν κατά τη δοκιμασία, σχηματίζεται μια καμπύλη, της οποίας η μορφή είναι παρόμοια με αυτή του σχήματος 14.7β. Η καμπύλη αυτή συνήθως αποτελεί



Σχ. 14.7β.

Τυπικό διάγραμμα τάσεων - μηκύνσεων κοινού χάλυβα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Κατηγορία	Ενδείξεις	Διάμετρος (mm)	Ελάχιστο όριο διαρροής (kg/cm ²)	Αντοχή σε εφελκυσμό (kg/cm ²)	Ελάχιστη μήκυνση επιμήκους προτύπου δοκιμίου (%)
1	2	3	4	5	6
I	Κοινός χάλυβας I		2.200	3.400 – 5.000	18
II a	Χάλυβας II (φυσικά σκληρός, έως τώρα «χάλυβας υψηλής αντοχής»)	≤ 18	3.600	5.000 – 6.200	20
II b	Ειδικός χάλυβας II (κατεργασμένος εν ψυχρώ)	> 18 ≤ 18 > 18	3.400 3.600 3.400	5.000 – 6.400 ≥ 5.000	18 14
III a	Χάλυβας III (φυσικά σκληρός)	≤ 18 > 18	4.200 4.000	≥ 5.000	18
III b	Ειδικός χάλυβας III (κατεργασμένος εν ψυχρώ. Μόνο σε ειδική μορφή)	≤ 18 > 18	4.200 4.000	≥ 5.000	8
IV a	Χάλυβας IV (φυσικά σκληρός)		5.000	–	16
IV b	Ειδικός χάλυβας IV (κατεργασμένος εν ψυχρώ δικτυωτός οπλισμός με αμετατόπιστους κόμβους, όπως π.χ. δικτυωτά ελάσματα)		5.000	–	8

λείται από τρία χαρακτηριστικά τμήματα διαφορετικά το ένα από το άλλο.

Το πρώτο τμήμα είναι σχεδόν ευθύγραμμο και έχει πολύ απότομη κλίση. Αρχίζει από την αρχή των συντεταγμένων και τελειώνει σε ένα σημείο Σ, το οποίο καλείται **όριο διαρροής**. Σε αυτό η αντίστοιχη τάση είναι σ_s . Η ελάχιστη ανεκτή τιμή της σ_s , αναφέρεται στη στήλη 4 του πίνακα 5. Χαμηλότερα από το σημείο αυτό μπορεί κάποιος να διακρίνει ένα άλλο σημείο Α. Έως εκεί το διάγραμμα είναι απολύτως ευθύγραμμο. Το σημείο αυτό είναι το **όριο αναλογίας** που μπορεί να γίνει δεκτό, ότι μέχρι εκεί ισχύει μαθηματικά ο νόμος της αναλογίας ή νόμος του Hooke:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{FE}.$$

Ο νόμος του Hooke εκφράζει, ότι η μήκυνση ανά μονάδα μήκους είναι ανάλογη με την τάση, που την προκαλεί. Το Ε του τύπου είναι μια σταθερά, η οποία ονομάζεται **μέτρο ελαστικότητας**. Το μέτρο ελαστικότητας είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε υλικό και έχει διαστάσεις τάσεως, θα μπορούσε δε να ορισθεί ότι είναι η τάση, η οποία απαιτείται, για να διπλασιασθεί το μήκος του δοκιμίου. Αυτό βέβαια θα ίσχυε μόνο, εάν εξακολουθούσε να ισχύει ο νόμος του Hooke και εάν άντεχε το υλικό σε τόσο μεγάλες τάσεις.

Λίγο ψηλότερα από το όριο αναλογίας (Α) υπάρχει ένα άλλο σημείο Ε, το οποίο καλείται **όριο ελαστικότητας**. Έως το σημείο αυτό η παραμόρφωση είναι τελείως ελαστική, δηλαδή όταν σταματήσει να ενεργεί η τάση σ, το μήκος του δοκιμίου γίνεται πάλι l . Μετά το σημείο Ε ένα μέρος της επιμηκύνσεως Δl παραμένει μόνιμα, ακόμη και όταν σταματήσει η ενέργεια της τάσεως. Η μόνιμη αυτή παραμόρφωση καλείται **πλαστική**, εν αντιθέσει προς την **ελαστική**, η οποία αναιρείται μόλις αναιρεθεί και η τάση.

Το δεύτερο τμήμα της καμπύλης, από το Σ έως το Δ, είναι μάλλον ανώμαλο, με μικρές αυξομειώσεις της τάσεως επάνω και κάτω από την τάση διαρροής σ_s και με μέση κατεύθυνση σχεδόν οριζόντια. Η συνολική επιμήκυνση είναι πολλαπλάσια από εκείνην, που αντιστοιχεί στο όριο διαρροής. Το δεύτερο αυτό μέρος αντιστοιχεί σε ένα φαινόμενο, το οποίο ονομάζεται **διαρροή** του υλικού. Το υλικό δηλαδή παρουσιάζεται ως μη δυνάμενο πια να αντιδράσει στις τάσεις που του επιβάλλονται, αλλά επιμηκύνεται σημαντικά, χωρίς να αυξάνεται ταυτόχρονα η τάση. Στην περιοχή αυτή δεν ισχύει πια ο νόμος του Hooke, ούτε και κατά προσέγγιση.

Το τρίτο τμήμα της καμπύλης είναι ομαλό και αποτελείται από ένα τόξο με την κοίλη όψη προς το κατώτερο μέρος του σχήματος. Το τμήμα αυτό τελειώνει στο σημείο Β, το οποίο λέγεται **σημείο θραύσεως** του δοκιμίου. Η αντίστοιχη εφελκυστική τάση είναι σ_B . Η σ_B είναι η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό. Η ελάχιστη ανεκτή τιμή της αναφέρεται στην 5η στήλη του πίνακα 5, είναι δηλαδή η μέγιστη τάση εφελκυσμού, που

μπορεί να δεχθεί το υλικό. Στο τμήμα αυτό της καμπύλης το υλικό συμπεριφέρεται, σα να είχε αποκτήσει ξανά την ικανότητα να αντιδρά στην αύξηση της τάσεως σ .

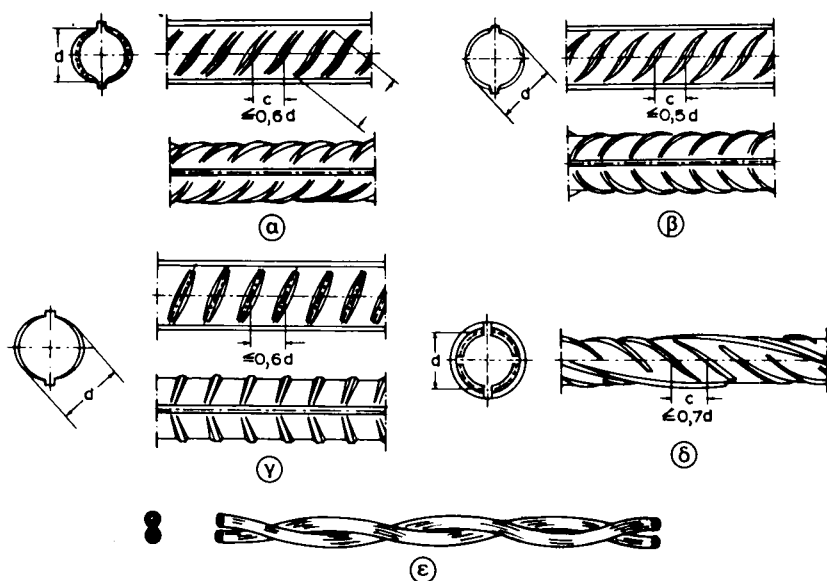
Η ποσότητα $100 \frac{\Delta l}{l}$, η οποία αντιστοιχεί στο σημείο θραύσεως B, είναι αυτή που αναφέρεται στην 6η στήλη του πίνακα 5 ως **μήκυνση επιμήκους προτύπου δοκιμίου**.

Οι ράβδοι του οπλισμού των ποιοτήτων II, III και IV δεν έχουν συνήθως απλή κυκλική διατομή, αλλά έχουν εκτύπους ραβδώσεις ή άλλες ανωμαλίες. Αυτό γίνεται, πρώτο για να διακρίνονται από τον κοινό χάλυβα I και δεύτερο για να αυξάνεται η πρόσφυσή τους με το σκυρόδεμα.

Αυτό το τελευταίο απαιτείται, γιατί το μέτρο ελαστικότητας E είναι περίπου το ίδιο ($2.100.000 \text{ kg/cm}^2$) για όλες τις ποιότητες του χάλυβα. Σε όσες λοιπόν κατηγορίες επιτρέπονται μεγαλύτερες τάσεις, παρουσιάζονται και μεγαλύτερες επιμηκύνσεις, τις οποίες πρέπει να παρακολουθήσει και το σκυρόδεμα. Επομένως οι κίνδυνοι να αποχωρισθεί ο οπλισμός από το σκυρόδεμα αυξάνονται, όσο η ποιότητα του χάλυβα βελτιώνεται.

Πρέπει επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις να υπάρχουν νευρώσεις, για να διακρίνεται η ειδική εν ψυχρώ κατεργασία του χάλυβα την οποία προβλέπουν οι κανονισμοί. Η κατεργασία αυτή γίνεται συνήθως με συστροφή της ράβδου με τέτοιο τρόπο, ώστε το μήκος της να μένει σταθερό. Με τον τρόπο αυτόν αναπτύσσονται μέσα στη ράβδο σημαντικές τάσεις εφελκυσμού, που υπερβαίνουν το όριο διαρροής του υλικού. Προκαλούνται έτσι μόνιμες παραμορφώσεις και συγχρόνως μεταβάλλονται οι ιδιότητες του χάλυβα. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο οι κανονισμοί επιβάλλουν ειδική μορφή για τον ειδικό χάλυβα IIIb.

Το σύστημα αυτό για τη βελτίωση του χάλυβα εφαρμόζεται και στην Ελλάδα, για την παραγωγή χάλυβα ποιότητας IIIb. Παράγεται όμως και χάλυβας με συστροφή δύο ράβδων κοινού χάλυβα κατηγορίας I με απλή κυκλική διατομή. Έτσι προκύπτει ο χάλυβας Isteg, ο οποίος μπορεί να υπαχθεί στην κατηγορία IIb, εφόσον βέβαια πληροί τους αντίστοιχους όρους του πίνακα 5 [σχ. 14.7γ (ε)].

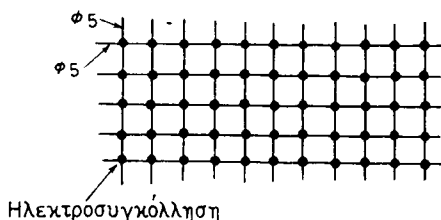


Σχ. 14.7γ.

Χάλυβες υψηλής αντοχής για οπλισμό σκυροδέματος: α) Rippenstahl. β) Hi-bond-A-Stahl. γ) Diroc-Stahl. δ) Rippen-Torstahl. ε). Isteg-Stahl.

Οι ράβδοι του οπλισμού υπάρχουν στο εμπόριο συνήθως σε διαμέτρους, που εκφράζονται με ένα άρτιο αριθμό χιλιοστών του μέτρου, με κατώτατο όριο τα 6 mm και ανώτατο τα 32 mm. Ο συμβολισμός τους γίνεται με το σύμβολο $\varnothing$, το οποίο ακολουθεί ένας αριθμός, που εκφράζει τη διάμετρο της ράβδου σε χιλιοστά, π.χ. $\varnothing 12$. Για μεγαλύτερες διαμέτρους, στην Ελλάδα τουλάχιστον, απαιτείται ειδική παραγγελία. Υπάρχουν και διαμέτροι μικρότερες από τα 6 mm, π.χ. $\varnothing 5$ και $\varnothing 5,5$. Όταν μάλιστα πρόκειται για χάλυβα κατηγορίας IVb, οι διαμέτροι είναι ακόμη μικρότερες. Στην τελευταία αυτή περίπτωση ο οπλισμός υπάρχει στο εμπόριο με τη μορφή πλεγμάτων (δομικό πλέγμα - Baustahlgewebe), τα οποία αποτελούνται από ευθύγραμμες ράβδους τοποθετημένες κατά δύο διευθύνσεις καθέτους μεταξύ τους και ηλεκτροσυγκολλημένες σε όλες τους τις διασταυρώσεις (σχ. 14.7δ).

Στις αγγλοσαξωνικές χώρες η διάμετρος των ράβδων είναι συνήθως πολλαπλάσιο του 1/8 της ίντσας και το σύμβολο $\varnothing$ συνηθίζεται να ακολουθεί τον αριθμό, π.χ. 3/4" $\varnothing$. Οι Αμερικανοί έχουν



Σχ. 14.7δ.

Δομικό πλέγμα (Baustahlgewebe).

εισαγάγει έναν άλλο συμβολισμό. Η ράβδος συμβολίζεται με το σύμβολο #, που σημαίνει μέγεθος (νούμερο) και με ένα ακέραιο αριθμό. Ο αριθμός αυτός είναι ο αριθμητής του κλάσματος το οποίο παριστάνει τη διάμετρο σε ίντσες, όταν ο παρονομαστής είναι 8. Έτσι ο συμβολισμός #10 υποδηλώνει μία ράβδο με διάμετρο $10/8''$, δηλαδή μια ίντσα και ένα τέταρτο.

Β. Χάλυβας για προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Η ιδέα της προεντάσεως είναι αρκετά παλιά, αλλά οι πρώτες προσπάθειες απέτυχαν, επειδή τότε η βιομηχανία δεν μπορούσε να δώσει χάλυβες με πολύ υψηλή αντοχή. Οι λόγοι θα εξηγηθούν στο κεφάλαιο 25, όπου γίνεται λόγος για το προεντεταμένο σκυρόδεμα.

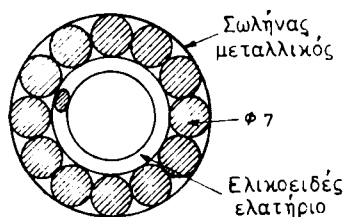
Οι ποιότητες του χάλυβα, που χρησιμοποιούνται για το οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν είναι κατάλληλες για το προεντεταμένο, για το οποίο χρησιμοποιούνται συνήθως χάλυβες ειδικής επεξεργασίας, με όριο ελαστικότητας τουλάχιστον 10.000 kg/cm^2 και με αντοχή σε εφελκυσμό τουλάχιστον 14.000 kg/cm^2 .

Ο χάλυβας χρησιμοποιείται και εδώ με μορφή ράβδων κυκλικής διατομής και ισχύουν τα ίδια συστήματα για το συμβολισμό τους. Επειδή η δαπάνη για την προένταση και την αγκύρωση του χάλυβα είναι πολύ μεγάλη, σχετικά με τις υπόλοιπες δαπάνες κατασκευής στοιχείων από προεντεταμένο σκυρόδεμα, στις περισσότερες περιπτώσεις ο χάλυβας δεν χρησιμοποιείται σε απλές ράβδους. Η συνηθισμένη μορφή είναι τα πολύκλινα καλώδια, επειδή με αυτόν τον τρόπο η προένταση και η αγκύρωση γίνονται συγχρόνως για περισσότερες από μία ράβδους.

Η σύνθεση και η μορφή των καλωδίων εξαρτάται από το σύστη-

μα, το οποίο εφαρμόζεται για την πραγματοποίηση της προεντάσεως. Στο κλασικό π.χ. σύστημα του Freyssinet τα καλώδια αποτελούνται συνήθως από δώδεκα (σπανιότερα 8, 10, ή 18) σύρματα με διάμετρο 5 ή 7 mm. Τα σύρματα αυτά τοποθετούνται κυκλικά γύρω από ένα κεντρικό ελικοειδές ελατήριο έτσι ώστε το ένα να εφάπτεται με το άλλο. Το καλώδιο αυτό περιβάλλεται από ένα σωλήνα χάρτινο, μεταλλικό ή πλαστικό, στον οποίο τα σύρματα μπορούν να κινούνται ελεύθερα (σχ. 14.7ε). Για να ελαττωθούν δε οι τριβές, τα σύρματα είναι αλειμμένα με μάλθη (Bitume) ή με λιπαντικό υλικό.

Δεν θεωρείται σκόπιμο να γίνει πιο λεπτομερής περιγραφή των ειδικών χαλύβων για το προεντεταμένο σκυρόδεμα. Η ποικιλία των ιδιοτήτων και των μορφών τους είναι μεγάλη και η εξέλιξή τους ταχεία, όσο εξελίσσονται και τελειοποιούνται τα συστήματα προεντάσεως. Είναι απαραίτητο πάντοτε, πριν χρησιμοποιηθεί ο χάλυβας προεντάσεως, να μελετάμε με προσοχή τις προδιαγραφές, που δίνουν οι παραγωγοί ή οι κάτοχοι των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας των αντιστοίχων συστημάτων προεντάσεως ώστε το υλικό να χρησιμοποιείται κατά το σωστό τρόπο.



Σχ. 14.7ε.

Διατομή καλωδίου για προεντεταμένο σκυρόδεμα τύπου Freyssinet.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

15.1 Αναλογίες μίξεως.

Πριν αρχίσει η παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να καθορισθούν οι αναλογίες των υλικών, που το αποτελούν. Οι αναλογίες αυτές δεν είναι σταθερές, αλλά ποικίλλουν από περίπτωση σε περίπτωση. Οι αναλογίες εξαρτώνται από τις ιδιότητες, που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, για να εξυπηρετήσει το έργο, για το οποίο προορίζεται.

Οι αναλογίες των υλικών καθορίζονται συνήθως για ένα κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέματος. Ο πιο ακριβής καθορισμός γίνεται κατά βάρος: μπορεί π.χ. να καθορισθεί, ότι ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος για μία κατασκευή θα αποτελείται από 300 kg τσιμέντου, 180 kg νερού, 1150 kg σκύρων και 650 kg άμμου.

Δεύτερος τρόπος πρακτικότερος είναι να καθορίζουμε τις αναλογίες κατ' όγκο, όπως γίνεται με τα κονιάματα. Σκυρόδεμα π.χ. 1:2:4 σημαίνει ότι αποτελείται από ένα μέρος τσιμέντου, διπλάσιο όγκο άμμου και τετραπλάσιο όγκο σκύρων. Η αναλογία του νερού δεν καθορίζεται με τον τρόπο αυτόν.

Στην πράξη, όπως και αν έχουν καθορισθεί θεωρητικά οι αναλογίες, ο υπολογισμός του τσιμέντου που απαιτείται γίνεται σε βάρος, ενώ των άλλων υλικών σε όγκο, γιατί με αυτόν τον τρόπο η μέτρηση είναι ευκολότερη. Επειδή μάλιστα το τσιμέντο κυκλοφορεί κατά κανόνα σε σάκους με γνωστό βάρος, συνήθως 50 kg, πρέπει να καθορίζουμε τις ποσότητες των άλλων υλικών, που αντιστοιχούν σε κάθε σάκο τσιμέντου και όχι σε κάθε κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέματος. Έτσι μπορεί π.χ. σε μία ορισμένη περίπτωση να έχει καθορισθεί, ότι σε ένα σάκο τσιμέντου των 50 kg αναλογούν 0,14 m³

σκύρων, $0,07 \text{ m}^3$ άμμου και $0,02 \text{ m}^3$ νερού. Πάντοτε η παρασκευή του σκυροδέματος γίνεται κατά ποσότητες (χαρμάνια), που αντιστοιχούν σε ακέραιο αριθμό σάκων τσιμέντου.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι αναλογίες των υλικών καθορίζονται με βάση την πείρα του κατασκευαστή. Η τήρηση των αναλογιών έχει τότε περισσότερο οικονομική παρά τεχνική σημασία, επειδή οι ιδιότητες, που χρειάζεται να έχει το σκυρόδεμα επιτυγχάνονται, έστω και αν οι αναλογίες αυτές αλλάξουν λίγο. Αντίθετα, σε όσες περιπτώσεις το σκυρόδεμα πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες σε εξαιρετικό βαθμό, π.χ. αντοχή, στεγανότητα, ελαφρότητα κλπ., τότε οι αναλογίες πρέπει να καθορίζονται εργαστηριακά, να προκύπτουν δηλαδή βάσει πειραματικών μετρήσεων και δοκιμασιών και να τηρούνται με αυστηρότητα. Σε ενδιάμεσες περιπτώσεις γίνονται απλά ορισμένες δοκιμές στο εργοτάξιο, που μπορεί να συνοδεύονται και από μερικά απλά πειράματα, με σκοπό να εκλεγούν οι αναλογίες, που δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Πολύ μεγάλη σημασία έχει η τήρηση της αναλογίας του νερού. Δυστυχώς στην Ελλάδα οι τεχνίτες, οι εργοδηγοί και καμιά φορά οι μηχανικοί δεν έχουν αντιληφθεί πόσο σοβαρός είναι ο παράγοντας αυτός. Όμως, η σημασία της αναλογίας του νερού είναι περίπου η ίδια με τη σημασία της αναλογίας του τσιμέντου.

Μία πρόσθετη αιτία της μικρής σημασίας, που κακώς δίνεται στην τήρηση της ορθής αναλογίας του νερού, είναι και η δυσκολία για τον καθορισμό της, επειδή το νερό δεν προστίθεται μόνο αυτούσιο στο σκυρόδεμα, αλλά περιέχεται και στα αδρανή υλικά, τα οποία συνήθως είναι υγρά. Η υγρασία των αδρανών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αφαιρείται από την ποσότητα του νερού, που έχει καθορισθεί ότι χρειάζεται για κάθε περίπτωση.

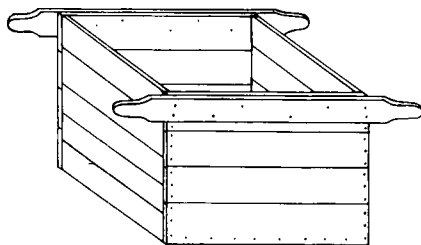
Για να μετρήσουμε το ποσοστό της υγρασίας των αδρανών, πρέπει να πάρουμε δείγματα από αυτά, να τα θέσουμε σε κλίβανο και, όταν στεγνώσουν, τελείως, να μετρήσουμε πόσο βάρος έχασαν. Η υγρασία μπορεί να φθάσει σε ποσοστό μέχρι και 20 έως 25% για την άμμο και 3 έως 4% για τα σκύρα από άποψη βάρους. Μπορεί δηλαδή σε ακραίες περιπτώσεις να καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα του νερού, που χρειάζεται για να παρασκευασθεί το σκυρόδεμα.

Η υγρασία των αδρανών υλικών είναι δυνατόν να έχει συνέπειες και ως προς τον υπολογισμό των ποσοτήτων τους. Επηρεάζει τον όγκο και το βάρος των αδρανών υλικών, επομένως μπορούν να γίνουν λάθη, είτε εάν οι αναλογίες καθορίζονται σε όγκους είτε σε βάρη.

Η μέτρηση των ποσοτήτων των διαφόρων υλικών του σκυροδέματος γίνεται συνήθως ως εξής: Κατασκευάζονται ξύλινα κιβώτια με σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου (σχ. 15.1α). Οι διαστάσεις εκλέγονται έτσι, ώστε σε ένα σάκο τσιμέντου να αναλογούν ένα ή δύο ακέραια κιβώτια με σκύρα ή άμμο. Κατά κανόνα χρησιμοποιούμε το ίδιο κιβώτιο και για τα δύο υλικά, επειδή πολύ συχνά τα σκύρα, τα οποία αντιστοιχούν σε μία ποσότητα σκυροδέματος, έχουν περίπου διπλάσιο όγκο από την άμμο. Δεν αποκλείεται βέβαια να υπάρχουν δύο κιβώτια με διαφορετικό μέγεθος, ένα για τα σκύρα και ένα για την άμμο. Πρέπει να γεμίζουμε τα κιβώτια με ακρίβεια, έτσι ώστε η άνω επιφάνεια των υλικών να συμπίπτει όσο είναι δυνατόν με το επίπεδο, που περικλείουν τα χείλη των κιβωτίων.

Όταν τα κιβώτια παραγεμίζονται, μειώνεται η αναλογία του τσιμέντου και το σκυρόδεμα γίνεται ισχνότερο, έχει δηλαδή μικρότερη αντοχή, στεγανότητα κλπ. Όταν τα κιβώτια δεν γεμίζονται εντελώς, η αναλογία του τσιμέντου αυξάνει και η ποιότητα του σκυροδέματος κατά κανόνα βελτιώνεται, αλλά αυξάνει και το κόστος του έργου.

Η ποσότητα του τσιμέντου καθορίζεται αμέσως, εφ' όσον το τσιμέντο βρίσκεται σε σάκους γνωστού βάρους. Όταν στο εργοτάξιο χρησιμοποιούνται σιλό, η μέτρηση του τσιμέντου γίνεται αυτόματα, γιατί τα σιλό συνήθως διαθέτουν συστήματα για αυτόματη ζύγιση.



Σχ. 15.1α.

Κιβώτιο για τη μέτρηση του όγκου των σκύρων και της άμμου.

Όταν η ανάμιξη του σκυροδέματος γίνεται με τα χέρια, το νερό μπορεί να μετρηθεί με τα λευκοσιδηρά δοχεία πετρελαίου (γκαζοτενεκές), που πάντοτε υπάρχουν στο εργοτάξιο. Κάθε δοχείο χωράει περίπου 15 έως 17 kg νερού. Όταν χρησιμοποιούμε **μηχανικό δυναμικήρα** (μπετονιέρα), στον οποίον το διοχετεύεται με σωλήνα πρέπει να υπάρχει ένα δοχείο με **πλωτήρα** (φλοτέρ) ρυθμισμένο στην κατάλληλη στάθμη, ώστε το νερό να σταματάει αυτόματα, μόλις φθάσει στην προκαθορισμένη ποσότητα.

Όταν θέλουμε να κατασκευάσουμε εξαιρετικής ποιότητας σκυρόδεμα, όταν δηλαδή ορισμένες του ιδιότητες πρέπει να φθάνουν σε ασυνήθιστες τιμές, τότε είναι απαραίτητο να υπάρχουν στο εργοτάξιο οι κατάλληλες διατάξεις (ζυγαριές), ώστε να ζυγίζονται όλα τα υλικά και μάλιστα, εάν είναι δυνατόν, αυτόματα.

Για τις συνηθισμένες περιπτώσεις μπορεί κανείς να έχει υπόψη του τις εξής αναλογίες υλικών:

α) Για την παρασκευή ισχνού σκυροδέματος, το οποίο χρησιμοποιείται πάντοτε χωρίς οπλισμό για απλές κατασκευές, όπως είναι τα δάπεδα, οι βάσεις των πεδίων κλπ., σε ένα κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέματος αντιστοιχούν: 200 kg τσιμέντου, 0,84 m³ σκύρων, 0,56 m³ άμμου και όσο νερό χρειάζεται, για να γίνεται εύκολα η ανάμιξη και η διάστρωσή του.

β) Για την παρασκευή σκυροδέματος, που προορίζεται για κατασκευή πεδίων, υποστρωμάτων, δοκών και πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά με συνηθισμένα φορτία και μικρά ανοίγματα σε μικρά οικοδομικά έργα, η αναλογία υλικών για ένα κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέματος είναι: 300 kg τσιμέντου, 0,80 m³ σκύρων, 0,53 m³ άμμου και όσο νερό χρειάζεται, για να γίνει το μίγμα πλαστικό, όχι όμως και υδαρές (νερουλό). [Οι όροι πλαστικό και υδαρές εξηγούνται στην παράγρ. 15.2 (B)].

γ) Για οικοδομικά έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα με ανοίγματα μεγαλύτερα από 4,00 έως 5,00 m ή με περισσότερα από τρία πατώματα, όπως και για έργα που δεν υπάγονται στα οικοδομικά, χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή. Στις περιπτώσεις αυτές δεν πρέπει να καθορίζονται οι αναλογίες, χωρίς να έχει γίνει προηγουμένως έρευνα των υλικών και των τοπικών συνθηκών γενικότερα.

Από τις αναλογίες που αναφέρθηκαν, προκύπτει ότι ο όγκος

του σκυροδέματος είναι πολύ μικρότερος, περίπου τα $3/4$, από το άθροισμα των όγκων των αδρανών υλικών. Η απόδοση δηλαδή του σκυροδέματος [παράγρ. 9.4 (Α), Α' Τόμος] είναι πολύ μικρότερη από τη μονάδα. Είναι σκόπιμο να γίνεται πάντοτε στο εργοτάξιο μία απλή δοκιμή αποδόσεως, να εξακριβώνεται δηλαδή τι όγκος σκυροδέματος ακριβώς προκύπτει από ορισμένες ποσότητες τσιμέντου, νερού, σκύρων και άμμου.

15.2 Κατηγορίες και ποιότητες σκυροδέματος.

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σήμερα σε πολύ μεγάλη κλίμακα και κατασκευάζονται με αυτό δομικά στοιχεία, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και διαφέρουν πάρα πολύ το ένα από το άλλο. Γι' αυτό το λόγο και οι ιδιότητες, που πρέπει να έχει κάθε φορά το σκυρόδεμα, είτε κατά την ώρα που διαστρώνεται, είτε αφού πήξει και σκληρυνθεί, μπορεί να ποικίλλουν πολύ. Επομένως υπάρχουν πολλές κατηγορίες και πολλές ποιότητες σκυροδέματος και σε κάθε περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιείται η κατάλληλη.

Η διάκριση του σκυροδέματος σε διάφορες κατηγορίες γίνεται με πολλούς τρόπους ανάλογα με την ιδιότητα, που εξετάζεται κάθε φορά. Έτσι υπάρχουν κατηγορίες σκυροδέματος, που εξαρτώνται:

- α) Από την αντοχή του.
- β) Από την πυκνότητα του μίγματος, όταν διαστρώνεται.
- γ) Από την ταχύτητα πήξεως.
- δ) Από τη φαινόμενη πυκνότητα κ.ο.κ.

Α. Αντοχή του σκυροδέματος.

Για να καθορισθεί σε όλη της την έκταση η έννοια της αντοχής του σκυροδέματος, πρέπει να καθορισθεί ο τρόπος, με τον οποίο συμπεριφέρεται το υλικό, όταν υποβάλλεται σε θλίψη, εφελκυσμό, διάτμηση, κάμψη κ.ο.κ. Όμως με τον όρο αντοχή σκυροδέματος εννοούμε συνήθως την αντοχή του σε θλίψη. Αυτό οφείλεται στο ότι το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κατά κανόνα με τέτοιον τρόπο, ώστε να αναλαμβάνει τάσεις θλιπτικές, για τις οποίες και κυρίως είναι ικανό. Η αντοχή του αντίθετα σε εφελκυσμό, διάτμηση κλπ. είναι πολύ περιορισμένη. Η αντοχή π.χ. του σκυροδέματος σε εφελκυσμό είναι περίπου το ένα δέκατο της αντοχής του σε θλίψη.

Όταν ένα στοιχείο από σκυρόδεμα υποβάλλεται σε διάτμηση,

κάμψη, στρέψη κλπ. αναπτύσσονται στη μάζα του διάφορες τάσεις θλιπτικές, εφελκυστικές και διατμητικές. Η θραύση του στοιχείου σε όλες αυτές τις περιπτώσεις επέρχεται σχεδόν πάντοτε, όταν οι εφελκυστικές τάσεις, που αναπτύσσονται, υπερβούν την αντοχή του σε εφελκυσμό. Η ύπαρξη του οπλισμού, ο οποίος αναλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις, αποτρέπει τελικά τη θραύση και έτσι τελικά ενδιαφέρει κυρίως η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη.

Η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη καθορίζεται πειραματικά. Κατά τους ελληνικούς κανονισμούς, οι οποίοι και σε αυτήν την περίπτωση ακολουθούν τους γερμανικούς, αντοχή ενός σκυροδέματος σε θλίψη θεωρείται η τάση θλίψεως W_{b28} , η οποία αναπτύσσεται σε ένα δοκίμιο, που έχει κατασκευασθεί από το σκυρόδεμα αυτό, τη στιγμή που επέρχεται η θραύση του. Το δοκίμιο πρέπει να έχει σχήμα κύβου με ακμή 20 cm και ηλικία 28 ημερών.

Κατά τους αμερικανικούς κανονισμούς (A.S.T.M.), οι οποίοι εφαρμόζονται καμιά φορά και στην Ελλάδα για ορισμένες κατασκευές, η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη καθορίζεται με κυλινδρικό και όχι με κυβικό δοκίμιο. Το κυλινδρικό δοκίμιο έχει διάμετρο βάσεως 6 ιντσών, δηλαδή περίπου 15 cm και ύψος 12 ιντσών, δηλαδή περίπου 30 cm, ενώ η ηλικία του είναι επίσης 28 ημερών. Εάν με το ίδιο σκυρόδεμα κατασκευασθούν δύο δοκίμια, ένα σύμφωνο με τους αμερικανικούς κανονισμούς και ένα σύμφωνο με τους ελληνικούς, η αντοχή του κυλινδρικού δοκιμίου θα είναι τα 80% περίπου της αντοχής του κυβικού.

Οι ελληνικοί κανονισμοί προβλέπουν τις εξής κατηγορίες σκυροδέματος, ανάλογα με την αντοχή του σε θλίψη: B 80, B 120, B 160, B 225, B 300, B 450 και B 600. Ο συμβολισμός αυτός περιλαμβάνει το γράμμα B, αρχικό της λέξεως Beton (= σκυρόδεμα) και ένα αριθμό. Ο αριθμός παριστάνει το ελάχιστο όριο αντοχής σε θλίψη, που πρέπει να παρουσιάζουν μετά από 28 ημέρες τα δοκίμια, τα οποία παρασκευάζονται από το σκυρόδεμα κάθε κατηγορίας. Η αντοχή μετρείται σε χιλιόγραμμα ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο (kg/cm^2).

Το σκυρόδεμα B 80 χρησιμοποιείται μόνον ως άοπλο. Για το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες B 120 έως B 300 και για το προεντεταμένο οι κατηγορίες B 300 έως B 600.

Μια απλή σύγκριση των δύο ακραίων κατηγοριών, B 80 και B 600,

δείχνει πόσο μεγάλες διαφορές αντοχής μπορούν να παρουσιάζουν μεταξύ τους δύο ποιότητες σκυροδέματος. Πολλοί επιστήμονες μελέτησαν το σοβαρό αυτό θέμα και προσπάθησαν να καταλήξουν σε μαθηματικούς τύπους, από τους οποίους να προκύπτει η αντοχή του σκυροδέματος, όταν είναι γνωστά ορισμένα απαραίτητα στοιχεία. Τέτοια στοιχεία είναι η ποιότητα και οι αναλογίες των υλικών, οι συνθήκες παρασκευής, διαστρώσεως και συντηρήσεως του σκυροδέματος, η ηλικία του, η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος κλπ.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι οι παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος, είναι πάρα πολλοί. Γι' αυτό το λόγο και οι μαθηματικοί τύποι για τον υπολογισμό της πιθανής του αντοχής είναι πολλοί. Αυτό συμβαίνει, γιατί σε κάθε τύπο λαμβάνονται υπόψη ορισμένοι μόνο από τους παράγοντες αυτούς, εκείνοι ακριβώς, που ο επιστήμονας, ο οποίος καθιέρωσε τον τύπο, θεωρούσε πιο σημαντικούς.

Από όλους τους παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος, σημαντικότερος είναι το **ποσοστό των κενών**. Το ποσοστό των κενών του σκυροδέματος μπορεί να μειωθεί:

α) Όταν τα αδρανή υλικά έχουν μία καλή κοκκομετρική σύνθεση, ώστε να αφήνουν μεταξύ τους μικρό ποσοστό κενών.

β) Όταν αυξηθεί η ποσότητα του πολτού τσιμέντου - νερού σε σύγκριση με την ποσότητα των αδρανών υλικών, μέχρις ενός ορισμένου σημείου βέβαια, ώστε να γεμίσουν τα κενά που βρίσκονται μεταξύ των κόκκων των αδρανών.

γ) Όταν γίνει εντατική συμπίεση του νωπού σκυροδέματος, ώστε να φύγει ο παγιδευμένος μέσα σε αυτό αέρας και οι κόκκοι των αδρανών υλικών να πάρουν τις καταλληλότερες θέσεις.

δ) Όταν μειωθεί το ποσοστό του νερού ή πιο σωστά, όταν ο λόγος των ποσοτήτων νερού - τσιμέντου παραμένει πολύ κοντά στην τιμή, που είναι απαραίτητη, για να γίνουν οι χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν την πήξη του τσιμέντου, ώστε να μην περισεύει ελεύθερο νερό μετά τις χημικές αντιδράσεις.

Τα δύο τελευταία σημεία παρουσίαζαν άλλοτε σοβαρές δυσκολίες στην εφαρμογή τους και αυτό γιατί το ένα εξουδετέρωνε το άλλο, μια και όταν μειώνονταν το ποσοστό του νερού, η συμπίεση

ήταν δύσκολη, ενώ για να επιτευχθεί καλύτερη συμπίεση, έπρεπε να αυξηθεί το ποσοστό αυτό. Σήμερα είναι δυνατή η ταυτόχρονη ικανοποίηση και των δύο αυτών απαιτήσεων, που οφείλεται στη χρήση των δονητών, οι οποίοι περιγράφονται στην παράγραφο 15.3 (Ε).

Η εισαγωγή των δονητών, η τυποποίηση των αδρανών υλικών, η παραγωγή τσιμέντων υψηλότερης αντοχής, αλλά κυρίως η γνώση των παραγόντων, που επιδρούν στην αντοχή του σκυροδέματος, επέτρεψαν κατά τα τελευταία χρόνια να παρασκευάζονται σκυροδέματα με αντοχή, την οποία άλλοτε θεωρούσαν ακατόρθωτη. Έτσι μόνο μπόρεσε να εφαρμοσθεί με επιτυχία το προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Για να γίνει αντιληπτή η μεγάλη σημασία, που έχουν τα κενά στην αντοχή του σκυροδέματος, πρέπει να εξηγηθεί ο τρόπος, με τον οποίον σχηματίζεται το σκυρόδεμα. Υπάρχουν πολλές θεωρίες σχετικές με το θέμα αυτό, οι οποίες όμως συμφωνούν στις παρακάτω βασικές γραμμές.

Τα σκύρα οσοδήποτε και αν συμπιεσθούν, αφήνουν μεταξύ τους κενά, τα οποία οφείλονται στο ακανόνιστο σχήμα τους. Ένα μέρος από τα κενά αυτά συμπληρώνουν οι κόκκοι της άμμου, αλλά και αυτοί με τη σειρά τους αφήνουν μεταξύ τους μικρότερα κενά ακριβώς για τον ίδιο λόγο. Τα κενά αυτά συμπληρώνονται με τον πολτό, ο οποίος σχηματίζεται από το τσιμέντο και το νερό. Εν τούτοις παραμένουν πάντοτε κενά, που οφείλονται συνήθως σε ένα ή περισσότερους από τους εξής λόγους:

α) Οι αναλογίες των διαφόρου μεγέθους κόκκων της άμμου και των σκύρων δεν είναι οι κατάλληλες, για να μειωθούν τα κενά τόσο ώστε να αρκεί ο πολτός τσιμέντου - νερού, για να τα συμπληρώσει εντελώς.

β) Ο πολτός τσιμέντου - νερού είναι ανεπαρκής και έτσι απομένουν ασυμπλήρωτα κενά.

γ) Η συμπίεση κατά την κατεργασία του νωπού σκυροδέματος είναι ανεπαρκής και συνεπώς οι κόκκοι των αδρανών δεν παίρνουν την καταλληλότερη θέση, ώστε να ελαττωθούν τα κενά και να συμπληρωθούν με τον τσιμεντοπολτό, που είναι διαθέσιμος.

δ) Το νωπό σκυρόδεμα, περιέχει φυσαλίδες αέρα ή και αέρα διαλυμένο στο νερό. Ο αέρας αυτός κλείνεται στο σκυρόδεμα και κατ' αυτόν τον τρόπο διατηρούνται ορισμένα κενά.

ε) Ο πολτός τσιμέντου - νερού περιέχει περισσότερο νερό από όσο χρειάζεται για την πήξη του τσιμέντου. Το νερό, το οποίο περισσεύει, εξατμίζεται και αφήνει στη θέση του κενά.

Είναι αυτονόητο, ότι όσο περισσότερα κενά έχει το σκυρόδεμα τόσο μικρότερη είναι η αντοχή του. Πράγματι, ας υποθεθεί ότι ένα σκυρόδεμα

έχει αντοχή σε θλίψη 300 kg/cm^2 . Εάν από το σκυρόδεμα αυτό είχε κατασκευασθεί ένα δοκίμιο με διατομή $20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2$, αυτό θα έσπαζε, όταν πιεζόταν με ένα φορτίο $P = 300 \times 400 = 120.000 \text{ kg}$. Εάν το ίδιο σκυρόδεμα είχε κενά, που να καταλαμβάνουν π.χ. τα 20% του όγκου του και κατασκευαζόταν με αυτό ένα άλλο δοκίμιο, αυτό θα είχε φαινομενικά διατομή 400 cm^2 , αλλά τα 20% της διατομής, δηλαδή 80 cm^2 , θα αντιστοιχούσαν σε κενά. Επομένως το δοκίμιο θα έσπαζε, πριν φθάσει το φορτίο την τιμή $P_i = 300 \times (400 - 80) = 96.000 \text{ kg}$. Η φαινομενική αντοχή του σκυροδέματος θα ήταν το πολύ ίση με $W_{b28} = \frac{96.000}{20 \times 20}$, δηλαδή τα 80% της πραγματικής αντοχής.

Βέβαια, εκτός από το ποσοστό των κενών, σημασία έχουν και άλλοι παράγοντες, όπως είναι η ποιότητα του τσιμέντου, η αντοχή των αδρανών υλικών, τα προσμίγματα, η καθαρότητα του νερού, οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια πήξεως και σκληρύνσεως του σκυροδέματος, η συντήρηση του σκυροδέματος, η ηλικία του κλπ. Εν τούτοις φαίνεται ότι τη μεγαλύτερη σημασία έχει το ποσοστό των κενών.

Β. Πυκνότητα νωπού σκυροδέματος.

Για την αντοχή του σκυροδέματος μεγάλη σημασία έχει, όπως αναφέραμε, η ελάττωση του ποσοστού του νερού. Υπάρχουν εν τούτοις περιπτώσεις, που δεν απαιτείται να έχει το σκυρόδεμα μεγάλη αντοχή, ενώ άλλοι λόγοι επιβάλλουν να αυξηθεί το ποσοστό του νερού. Οι κυριότεροι από τους λόγους αυτούς είναι η ευκολία κατά την κατεργασία και τη διάσπρωση του σκυροδέματος και η ανάγκη να εισχωρήσει το νωπό σκυρόδεμα μεταξύ και πίσω από τις ράβδους του οπλισμού και να συμπληρώσει όλες τις εσοχές του ξυλοτύπου (καλουπιού).

Από την άποψη της πυκνότητας το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να είναι:

- α) Στεγνό (ύφυγρο).
- β) Πλαστικό.
- γ) Υδαρές.

Το **στεγνό** ή **ύφυγρο** σκυρόδεμα έχει την όψη ενός μίγματος κόκκων, που είναι απλώς υγροί και αλειμμένοι με τσιμέντο. Η συνάφεια μεταξύ των κόκκων είναι ανεπαρκής και οι κόκκοι τείνουν να αποχωρισθούν, αντί να αποτελούν ενιαία μάζα. Εν τούτοις, όταν το στεγνό σκυρόδεμα συμπιεσθεί καλά μέσα σε περιορισμένο χώρο, μεταβάλλεται σε ενιαίο υλικό. Σιγά σιγά μάλιστα, όσο οι κόκκοι των

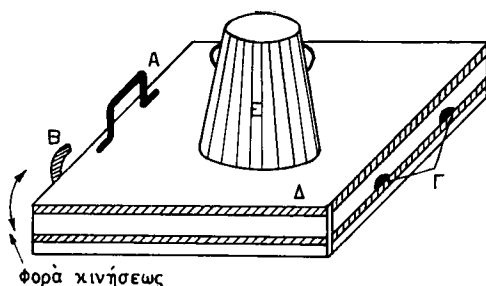
αδρανών υλικών, πλησιάζουν ο ένας τον άλλον, παρουσιάζεται στην επιφάνεια ο πολτός τσιμέντου - νερού. Όταν το σκυρόδεμα είναι στεγνό, πρέπει να χρησιμοποιείται δονητής και αντίστροφα, όταν χρησιμοποιείται δονητής, καλόν είναι το σκυρόδεμα να είναι στεγνό.

Το **πλαστικό** σκυρόδεμα έχει την όψη ενός πυκνού πολτού, ο οποίος μπορεί να σχηματίσει ένα σωρό με πρανή αρκετά απότομα. Όταν συμπιεσθεί μέσα στην παλάμη, διατηρεί το σχήμα, που του δίνεται, σχεδόν αμετάβλητο. Μέσα σε περιορισμένο χώρο καταλαμβάνει εύκολα όλα τα κενά, αρκεί να υποστεί ένα ελαφρό μόνο κοπάνισμα. Με έντονο κοπάνισμα ή δόνηση παρουσιάζει στην επιφάνειά του περίσσεια νερού. Όταν δεν χρησιμοποιείται δονητής, το σκυρόδεμα πρέπει γενικά να είναι πλαστικό.

Το **υδαρές** σκυρόδεμα περιέχει τόσο πολύ νερό, ώστε δεν μπορεί να γίνει σωρός, αλλά τείνει να εξαπλωθεί γύρω του και να διατηρήσει μία πολύ μικρή κλίση πρανών. Καταλαμβάνει αμέσως τα κενά των ξυλοτύπων και δεν επιδέχεται κοπάνισμα. Το κοπάνισμα ή η δόνηση προκαλούν διαχωρισμό των υλικών του, δηλαδή τα σκύρα καταλαμβάνουν τα χαμηλότερα σημεία, ενώ ο πολτός τσιμέντου - νερού ή και το νερό μόνο του, ανεβαίνουν στην επιφάνεια. Το υδαρές σκυρόδεμα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις και με την έγκριση του υπεύθυνου μηχανικού και εφ' όσον η αντοχή του στοιχείου που κατασκευάζεται, δεν έχει ιδιαίτερη σημασία.

Εκτός από την εμπειρική αυτή διάκριση του σκυροδέματος σε τρεις τύπους ως προς την περιεκτικότητά του σε νερό, υπάρχει και επιστημονικότερος τρόπος κατατάξεως. Για το σκοπό αυτόν γίνεται η δοκιμασία εξαπλώσεως, η οποία περιγράφεται με λεπτομέρειες στα άρθρα των κανονισμών για τη μελέτη και εκτέλεση οικοδομικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Κατά τη δοκιμασία αυτή κατασκευάζεται ένα κωλουροκωνικό δοκίμιο επάνω σε ένα κινητό τραπέζι (σχ. 15.2α). Το δοκίμιο **ξεκαλουπώνεται** αμέσως, ενώ είναι ακόμη νωπό, και το τραπέζι υφίσταται δεκαπέντε απότομες μετακινήσεις. Έτσι το σκυρόδεμα εξαπλώνεται και καταλαμβάνει μια επιφάνεια μεγαλύτερη του αρχικού κωλούρου κώνου. Η μέση διάμετρος, που παρουσιάζει το δοκίμιο μετά την εξάπλωση, είναι το μέτρο πυκνότητας του νωπού σκυροδέματος.

Σε σημαντικά έργα, εκτός από τις αναλογίες των υλικών και την



Σχ. 15.2α.

Συσκευή για τη μέτρηση της εξαπλώσεως σκυροδέματος: Α = λαβή. Β = όνυχας, που περιορίζει την ανύψωση. Γ = αρθρώσεις, που συνδέουν τα δύο φύλλα του τραπέζιου. Δ = μολύβδινη πλάκα πάχους 2 mm. Ε = κολουροκωνικός τύπος.

επιθυμητή αντοχή του σκυροδέματος, πρέπει να καθορίζεται και το μέγιστο επιτρεπόμενο μέτρο εξαπλώσεως. Είναι φανερό ότι κατά την εκτέλεση των έργων πρέπει στην περίπτωση αυτή να γίνεται και η δοκιμασία εξαπλώσεως σε συνδυασμό με τις δοκιμασίες αντοχής, κοκκομετρικής συνθέσεως των αδρανών υλικών κλπ., που προβλέπονται στη συγγραφή υποχρεώσεων.

Η δοκιμασία εξαπλώσεως έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει αμέσως αποτελέσματα, ενώ η δοκιμασία αντοχής απαιτεί τουλάχιστον επτά ημέρες. Έτσι μόνο με την πρώτη μπορούμε να προλάβουμε τη χρησιμοποίηση σκυροδέματος κακής ποιότητας και να πάρουμε εγκαίρως μέτρα για τη βελτίωσή του.

Γ. Φαινομένη πυκνότητα σκυροδέματος. Βαριά και ελαφρά σκυροδέματα.

Ως προς τη φαινομένη πυκνότητα, δηλαδή το βάρος της μονάδας όγκου ενός σκυροδέματος, διακρίνουμε δύο κατηγορίες σκυροδεμάτων: Τα **βαριά** και τα **ελαφρά**. Τα βαριά σκυροδέματα είναι τα συνηθισμένα, εκείνα δηλαδή που περιέχουν αδρανή υλικά από συμπαγή πετρώματα. Η φαινομένη πυκνότητά τους μετά την πήξη είναι περίπου ίση και κατά κανόνα υπερβαίνει τα 2 gr/cm³, δηλαδή τους δύο τόννους ανά κυβικό μέτρο. Η φαινομένη πυκνότητα δεν είναι πάντοτε η ίδια και εξαρτάται κυρίως από το είδος των αδρανών υλικών και από το ποσοστό των κενών, τα οποία περιέχει τελικά το σκυρόδεμα.

Όταν πρόκειται να γίνουν υπολογισμοί για τον καθορισμό των διαστάσεων και του οπλισμού κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, η φαινομένη πυκνότητα υπολογίζεται συμβατικά κατά τους κανονισμούς ίση προς $2,4 \text{ t/m}^3$. Στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος η ύπαρξη του οπλισμού, ο οποίος έχει ειδικό βάρος $7,85 \text{ t/m}^3$ αυξάνει λίγο τη μέση φαινομένη πυκνότητα του σκυροδέματος. Εξ' άλλου υποτίθεται, ότι γίνεται σοβαρή προσπάθεια για τη μείωση των κενών με κοπάνισμα ή με δόνηση. Οι κανονισμοί προβλέπουν επίσης ότι, εάν χρησιμοποιούνται αδρανή υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος ή γίνεται εξαιρετική συμπίκνωση με δόνηση, πρέπει να ελέγχεται, μήπως η φαινομένη πυκνότητα του σκυροδέματος υπερβαίνει τη συμβατική. Στις περιπτώσεις αυτές, που είναι όμως πολύ σπάνιες, πρέπει κατά τους υπολογισμούς να λαμβάνεται υπόψη η πραγματική φαινομένη πυκνότητα. Τελευταία για ειδικές χρήσεις, όπως π.χ. όταν χρειάζεται προστασία από τη ραδιενέργεια, εφαρμόζονται και ειδικά σκυροδέματα πάρα πολύ βαριά, αλλά αυτό αποτελεί εξαίρεση.

Ελαφρά σκυροδέματα θεωρούνται εκείνα, που περιέχουν στη μάζα τους ένα πολύ υψηλό ποσοστό κενών. Για το λόγο αυτό η φαινομένη πυκνότητά τους είναι μικρότερη από δύο τόννους ανά κυβικό μέτρο. Τα κενά στην περίπτωση των ελαφρών σκυροδεμάτων δεν οφείλονται σε κακή συμπίκνωση ή στο μεγάλο ποσοστό νερού, το οποίο περιέχεται στο νωπό σκυρόδεμα. Τα κενά αυτά είτε περιέχονται στη μάζα των αδρανών, είτε δημιουργούνται σκόπιμα μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος, όπου προστίθενται κατάλληλα προσμίγματα, τα οποία δημιουργούν φυσαλίδες αέρα.

Τα ελαφρά σκυροδέματα έχουν αντοχή λίγο μικρότερη από τα βαριά. Επίσης έχουν μικρότερο μέτρο ελαστικότητας E , δηλαδή για τις ίδιες τάσεις υφίστανται μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Οι δύο αυτές ιδιότητες αποτελούν μειονεκτήματα, αν πρόκειται με το ελαφρό σκυρόδεμα να κατασκευασθούν στοιχεία, που ανήκουν στον φέροντα οργανισμό του έργου. Γι' αυτό τα ελαφρά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή στοιχείων, τα οποία φέρονται από το σκελετό του έργου.

Εν τούτοις δεν αποκλείεται να χρησιμοποιηθούν ελαφρά σκυροδέματα, για να κατασκευασθούν στοιχεία, που φέρουν και μετα-

βιβάζουν φορτία. Αυτό είναι δυνατόν, όταν τα αδρανή, τα οποία περιέχουν στη μάζα τους τα κενά, αποτελούνται από ορυκτά τόσο ανθεκτικά, ώστε η αντοχή τους να εξακολουθεί να παραμένει παρ' όλα τα κενά. Παράδειγμα τέτοιων αδρανών υλικών είναι η **κίσσηρη** (ελαφρόπετρα). Η ελληνική κίσσηρη προέρχεται από τα νησιά Θήρα των Κυκλάδων και Γυαλί των Δωδεκανήσων κοντά στη Νίσυρο. Η κίσσηρη είναι ένα σπογγώδες ηφαιστειογενές υλικό, το οποίο αποτελείται από τραχείτη ή παρόμοια σκληρά ορυκτά και έχει ειδικό βάρος μικρότερο από 1 t/m^3 , επιπλέει δηλαδή στο νερό.

Σε πολλά μέρη του κόσμου και κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες η κίσσηρη, όπως και βιομηχανικά προϊόντα, που παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες, χρησιμοποιούνται ως αδρανή υλικά για την παρασκευή ελαφρού οπλισμένου σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε ο οπλισμός να καλύπτεται καλά με τον τσιμεντοπολτό και να προφυλάσσεται έτσι από την οξειδωση, η οποία είναι δυνατή, όταν μέρος της επιφάνειάς του έρχεται σε επαφή με τον αέρα των κενών.

Όταν οι κατασκευές έχουν μεγάλο ύψος, είναι τόσο σημαντικό πλεονέκτημα να μειωθεί το ίδιο βάρος του φέροντα οργανισμού, ώστε να αντισταθμίζονται τα μειονεκτήματα της μικρότερης αντοχής και των σχετικά μεγάλων παραμορφώσεων. Στην Ελλάδα η χρησιμοποίηση ελαφρού οπλισμένου σκυροδέματος βρίσκεται ακόμη στο στάδιο των πειραματισμών.

Στα ελαφρά σκυροδέματα μπορούν να υπαχθούν και τα σκυροδέματα χωρίς λεπτά υλικά (no fines concrete). Τα σκυροδέματα αυτά περιέχουν μόνο σκύρα, τσιμέντο και νερό, χωρίς άμμο. Είναι αρκετά ελαφρότερα από τα συνηθισμένα και παρουσιάζουν πολύ καλύτερες μονωτικές ικανότητες. Στα σκυροδέματα αυτά δεν πρέπει να τοποθετείται οπλισμός, επειδή δεν προστατεύεται αρκετά και εύκολα σκουριάζει.

15.3 Παρασκευή, μεταφορά και διάστρωση του σκυροδέματος.

A. Παρασκευή του σκυροδέματος.

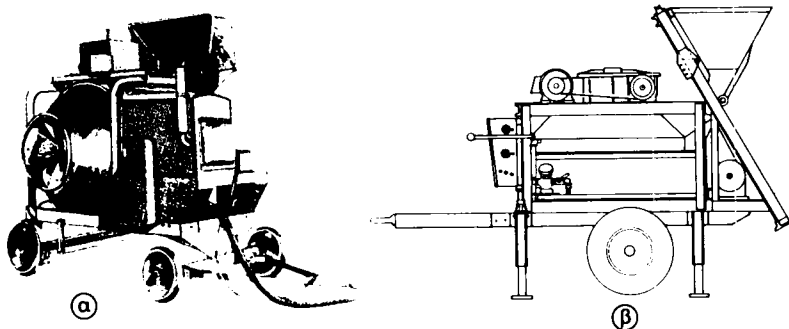
Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συνήθως μηχανικά μέσα, χωρίς βέβαια να αποκλείονται και τα συνηθισμένα χειροκίνητα εργαλεία. Τα μηχανήματα που παρασκευάζουν

το σκυρόδεμα, ονομάζονται **αναμικτήρες** (μπετονιέρες) και κινούνται κατά κανόνα με κινητήρες εσωτερικής καύσεως.

Κύριο στοιχείο του αναμικτήρα είναι ένα περιστρεφόμενο δοχείο (τύμπανο) με εσωτερικά πτερύγια, μέσα στο οποίο γίνεται η ανάμιξη των υλικών του σκυροδέματος. Ο άξονας περιστροφής είναι συνήθως οριζόντιος ή σχεδόν οριζόντιος, υπάρχουν όμως και αναμικτήρες με κατακόρυφο άξονα περιστροφής. Τέτοιοι αναμικτήρες χρησιμοποιούνται κυρίως, για να παρασκευάζονται σκυροδέματα με εξαιρετικά υψηλή αντοχή [σχ. 15.3α (α) και (β)]. Η ταχύτητα περιστροφής είναι μάλλον μικρή, περίπου 50 στροφές το λεπτό. Η διάρκεια της αναμίξεως δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 60 δευτερόλεπτα.

Τα στερεά υλικά του σκυροδέματος εισάγονται στους συνηθισμένους αναμικτήρες με τη βοήθεια ενός ανοικτού δοχείου, που συνδέεται αρθρωτά με αυτούς. Τα υλικά τοποθετούνται μέσα στο ανοιχτό δοχείο, το οποίο ανασύρεται με ένα ειδικό συρματόσχοινο και τα αδειάζει μέσα στο περιστροφικό δοχείο του αναμικτήρα [σχ. 15.3β (α) και (β)].

Το νερό, που προστίθεται λίγο λίγο κατά τις πρώτες περιστροφές του αναμικτήρα, φθάνει μέσα στο περιστρεφόμενο δοχείο με ένα μεταλλικό σωλήνα, που καταλήγει στο ανώτερο σημείο του στομίου του. Ο σωλήνας αυτός τροφοδοτείται συνήθως από ένα μεταλλικό δοχείο, που βρίσκεται στο ανώτερο μέρος του αναμικτήρα (σχ.

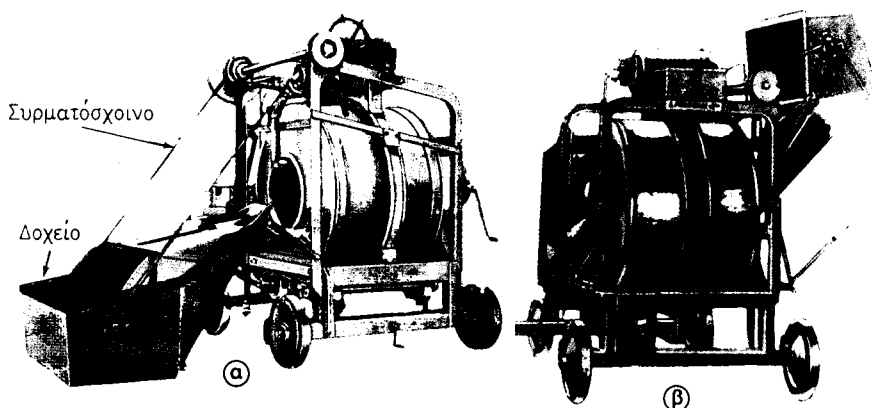


Σχ. 15.3α.

Αναμικτήρες σκυροδέματος (μπετονιέρες): α) Με άξονα οριζόντιο. β) Με άξονα κατακόρυφο.

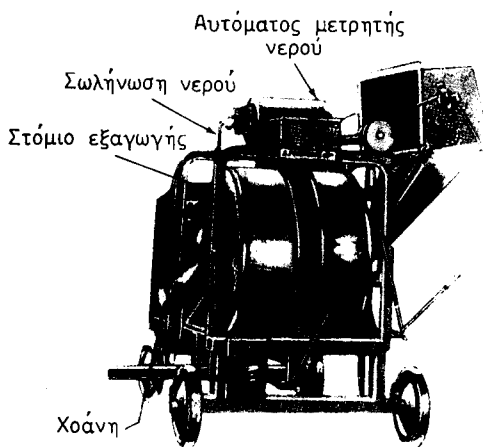
15.3γ). Το δοχείο αυτό πρέπει να είναι εφοδιασμένο με έναν πλωτήρα, ώστε να ρυθμίζεται αυτόματα η ποσότητα του νερού, που αντιστοιχεί σε κάθε μίγμα (χαρμάνι).

Όταν γίνει η ανάμιξη των υλικών, το περιστρεφόμενο δοχείο αδειάζει συνήθως ως εξής:



Σχ. 15.3β.

Ανοικτό δοχείο αναμικτήρα για την τοποθέτηση των στερεών υλικών: α) Στη θέση, που το γεμίζουν. β) Στη θέση, που αδειάζει.



Σχ. 15.3γ.

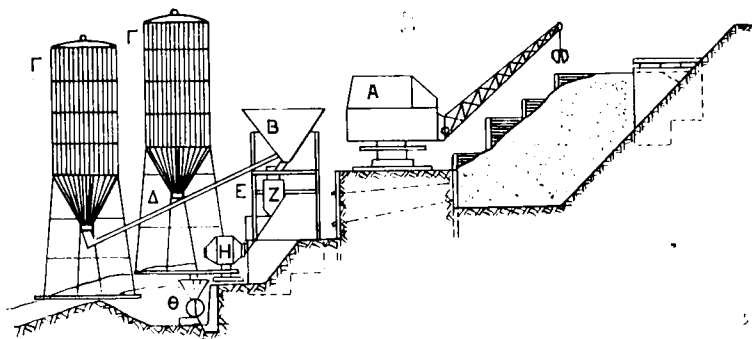
Αναμικτήρας. Διακρίνεται το δοχείο για την τροφοδοτήσή του με νερό και το στόμιο εξαγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Ανοίγεται ένα στόμιο ακριβώς απέναντι από το στόμιο εισαγωγής, προς το οποίο τα πτερύγια σπρώχνουν το νωπό σκυρόδεμα. Κάτω ακριβώς από το στόμιο εξαγωγής, το οποίο είναι εφοδιασμένο με μια κατάλληλη χοάνη, τοποθετούνται και γεμίζονται τα δοχεία, με τα οποία το σκυρόδεμα μεταφέρεται στη θέση, όπου διαστρώνεται (σχ. 15.3γ).

Με τους συνηθισμένους τύπους αναμικτήρων παρασκευάζεται μετά από κάθε ανάμιξη μία ποσότητα σκυροδέματος με όγκο ίσο προς $1/20$ έως $1/3$ του κυβικού μέτρου. Υπάρχουν και άλλοι μεγαλύτεροι τύποι, κατά κανόνα όμως τότε συνδυάζονται με άλλα μηχανήματα, ώστε να έχουν αυτόματη τροφοδότηση και εκκένωση. Τέτοια συγκροτήματα χρησιμοποιούνται σε μεγάλα έργα (σχ. 15.3δ).

Όταν αντίθετα πρόκειται για πολύ μικρά έργα, ή για πολύ μικρές ποσότητες, η ανάμιξη του σκυροδέματος μπορεί να γίνει και με το φτυάρι (πτύο). Σε μια καθαρά οριζόντια επιφάνεια, κατά προτίμηση ένα δάπεδο από σκυρόδεμα ή μια λαμαρίνα, αδειάζονται τα στερεά υλικά του σκυροδέματος: πρώτα τα μισά σκύρα, επάνω σε αυτά η άμμος, κατόπιν το τσιμέντο και τέλος τα υπόλοιπα σκύρα. Έτσι επιτυγχάνεται μια πρώτη ανάμιξή τους.

Ακολουθεί ανάμιξη των στεγνών υλικών με το φτυάρι ως εξής: Ο τεχνίτης παίρνει μια μικρή ποσότητα υλικών και την τοποθετεί σε μικρή απόσταση από τον αρχικό σωρό. Η εργασία αυτή επαναλαμ-



Σχ. 15.3δ.

Συγκρότημα για τη μαζική παραγωγή σκυροδέματος: Α = εκσκαφέας. Β = σιλό αδρανών υλικών. Γ = σιλό τσιμέντου. Δ = τροφοδοτικός κοχλίας τσιμέντου. Ε = ζυγός τσιμέντου. Ζ = ζυγός αδρανών υλικών. Η = αναμικτήρας. Θ = αντλία μπετόν.

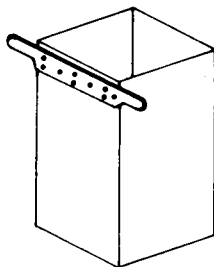
βάνεται, έως ότου μεταφερθεί όλη η ποσότητα στη νέα της θέση. Ύστερα προστίθεται σιγά σιγά το νερό και εκτελείται νέα ανάμιξη (γύρισμα) με τον ίδιο τρόπο. Επακολουθεί μία τρίτη όμοια ανάμιξη, οπότε πια το σκυρόδεμα έχει μετατραπεί σε ομοιόμορφη μάζα. Οι τεχνίτες έχουν συνήθως την τάση να αποφεύγουν την ανάμιξη των στεγνών υλικών. Εν τούτοις μια τέτοια ανάμιξη είναι ευκολότερη και πιο αποτελεσματική, από μια ανάμιξη των υλικών μετά την προσθήκη και του νερού, γι' αυτό δεν πρέπει να παραλείπεται.

Β. Μεταφορά του σκυροδέματος.

Το νωπό σκυρόδεμα παρασκευάζεται πάντοτε σε μικρή ή μεγάλη απόσταση από το χώρο, όπου πρόκειται να διαστρωθεί. Ο χώρος αυτός μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με το χώρο παρασκευής, αλλά μπορεί να βρίσκεται και σε ψηλότερη ή σπανιότερα σε χαμηλότερη στάθμη.

Στην Ελλάδα το συνηθισμένο μέσο για τη μεταφορά του νωπού σκυροδέματος στο χώρο διαστρώσεως είναι τα λευκοσιδηρά δοχεία πετρελαίου (γκαζοτενεκέδες ή απλώς τενεκέδες). Από τα δοχεία αυτά αφαιρείται η επάνω επιφάνεια και καρφώνεται ένα κομμάτι ξύλου (κλάπα) στην ανώτερη ακμή της μιας από τις πλευρικές τους επιφάνειες. Το ξύλο αυτό προεξέχει από τις δύο πλευρές, ώστε να δημιουργούνται δύο χειρολαβές (σχ. 15.3ε).

Οι τενεκέδες μεταφέρονται στον ώμο και χωρούν 1,5 έως 2 εκατοστά του κυβικού μέτρου σκυρόδεμα. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά πρωτόγονη, αλλά είναι πολύ απλή και οικονομική για μικρά έργα, ιδίως όταν υπάρχει και μια μικρή μεταφορά σε υψηλότερα



Σχ. 15.3ε.

Δοχείο (τενεκές) για τη μεταφορά του σκυροδέματος.

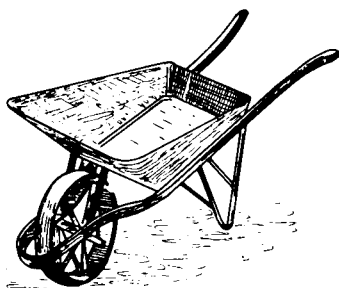
σημεία (ένα έως δύο το πολύ πατώματα).

Όταν η απόσταση μεταφοράς είναι αρκετά μεγάλη, αλλά σχεδόν σε οριζόντιο επίπεδο, τότε το καταλληλότερο μέσον μεταφοράς είναι το μονότροχο (καροτσάκι) (σχ. 15.3ζ). Τα μονότροχα είναι μικρά μεταλλικά οχήματα με έναν τροχό εμπρός και δύο χειρολαβές μεγάλου μήκους προς τα πίσω, ώστε να είναι εύκολη η οδήγησή τους. Πίσω από τον τροχό τους έχουν επίσης δύο στηρίγματα, ώστε να μπορούν να στηρίζονται, όταν δεν τα κρατάει κάποιος. Ένα μονότροχο συνηθισμένου μεγέθους χωράει περίπου 7 εκατοστά του κυβικού μέτρου σκυρόδεμα, δηλαδή περίπου όσο χωρούν τέσσερις τενεκέδες.

Τα μονότροχα, όπως και οι τενεκέδες, γεμίζουν στον τόπο παραγωγής του σκυροδέματος είτε απευθείας από το στόμιο του αναμικτήρα, είτε με το φτυάρι, εάν το σκυρόδεμα παρασκευάζεται χωρίς αναμικτήρα. Για να αδειάσουν τα μονότροχα ανατρέπονται στη θέση, όπου το σκυρόδεμα πρόκειται να διαστρωθεί.

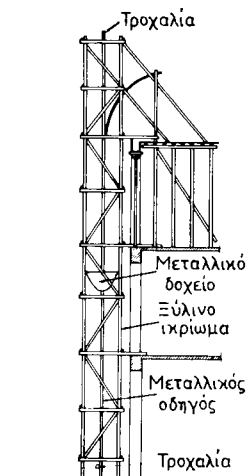
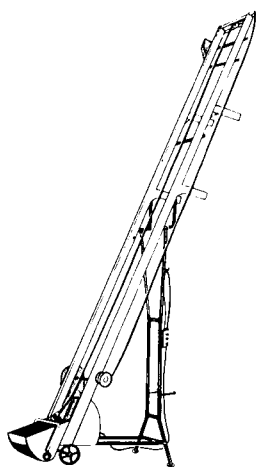
Όταν το σκυρόδεμα χρειάζεται να ανυψωθεί περισσότερο από 5 έως 6 m, χρησιμοποιούνται βαρούλκα. Άλλοτε τα βαρούλκα ήταν χειροκίνητα και ανέβαζαν κάθε φορά ένα κάδο με δύο έως τρία το πολύ εκατοστά του κυβικού μέτρου σκυρόδεμα, ενώ συγχρόνως κατέβαζαν ένα κάδο κενό. Σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κανόνα βαρούλκα με ανατρεπόμενους κάδους (αναβατόρια), τα οποία κινούνται με κινητήρα εσωτερικής καύσεως. Ο κάδος παρασκευάζεται έτσι, ώστε να χωράει ακριβώς την ποσότητα του σκυροδέματος, που παρασκευάζει κάθε φορά ο αναμικτήρας. Η ποσότητα αυτή είναι συνήθως το $1/6$ του κυβικού μέτρου, δηλαδή αυτή, που αντιστοιχεί σε ένα σάκο τσιμέντου. Ο αναμικτήρας τοποθετείται σε κατάλληλη θέση, ώστε να αδειάζει το σκυρόδεμα κατ' ευθείαν στον κάδο του βαρούλκου. Τα τελευταία χρόνια συνηθίζονται αναβατόρια με ελαφρότερη κατασκευή (πύραυλοι) που μπορούν να εγκατασταθούν ή κατακόρυφα ή κεκλιμένα (σχ. 15.3η).

Ο κάδος κινείται κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα ακολουθώντας δύο μεταλλικούς οδηγούς. Στο κατάλληλο ύψος οι οδηγοί καμπυλώνονται ώστε, όταν φθάσει ο κάδος εκεί, ανατρέπεται και αδειάζει το περιεχόμενο σε μία μεταλλική χοάνη, κατάλληλα τοποθετημένη κάτω από το σημείο αυτό. Η χοάνη αυτή έχει στο κατώτερο μέρος της μια θυρίδα (πόρτα), η οποία μπορεί να ανοίγει και να



Σχ. 15.3ζ.

Μονότροχο (καροτσάκι) για τη μεταφορά σκυροδέματος.

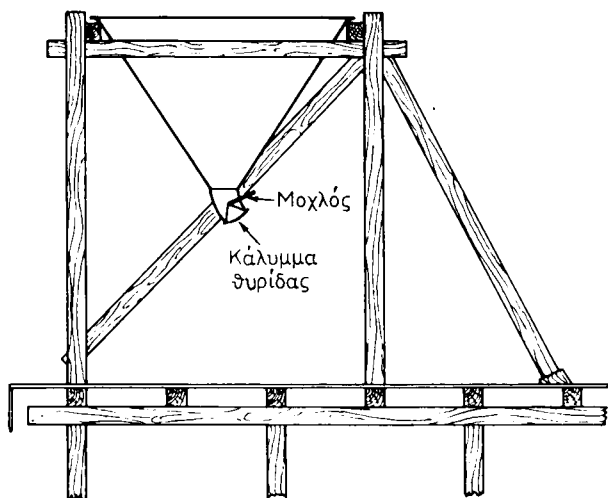


Σχ. 15.3η.

Αναβατόρια για τη μεταφορά σκυροδέματος: α) Κεκλιμένο (πύραυλος). β) Κατακόρυφο.

κλείνει με ένα μοχλό. Κάτω από τη θυρίδα τοποθετούνται και γεμίζουν οι τενεκέδες ή τα μονότροχα, με τα οποία εκτελείται η τελευταία φάση της οριζόντιας μεταφοράς του σκυροδέματος (σχ. 15.3θ).

Εφ' όσον πρόκειται να διαστρωθεί σκυρόδεμα στο τμήμα του έργου, στο οποίο αδειάζει η θυρίδα της χοάνης, αυτό διαστρώνεται κατά την τελευταία φάση. Αυτό γίνεται για να μην πέφτουν επάνω στο έτοιμο σκυρόδεμα υλικά από το νωπό σκυρόδεμα και ενσωμα-



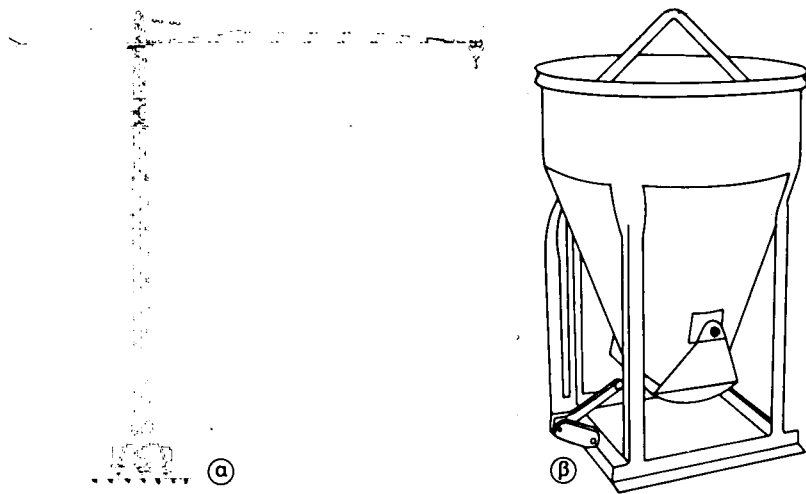
Σχ. 15.38.

Χοάνη για την υποδοχή του σκυροδέματος, που φθάνει ως εκεί με το αναβατόριο.

τώνονται με αυτό. Ο ίδιος όμως κίνδυνος, καλύψεως δηλαδή από σκυρόδεμα, υπάρχει και για τον ξυλότυπο και τον οπλισμό, που βρίσκονται από την αρχή, κάτω από τη θυρίδα. Γι' αυτό το λόγο κάτω από τη θυρίδα πρέπει να υπάρχει μια λαμαρίνα, για να συγκεντρώνονται σε αυτήν, όσα υλικά πέφτουν έξω από τους τενεκέδες ή τα μονότροχα. Η λαμαρίνα αυτή αφαιρείται μόνο, όταν πρόκειται να διαστρωθεί το σκυρόδεμα στη θέση της χοάνης. Πρέπει τότε να γίνεται ένας καθαρισμός του ξυλότυπου και του οπλισμού και μία τακτοποίηση του τελευταίου, γιατί πάντοτε στην περιοχή αυτή ο οπλισμός μετατοπίζεται και αλλάζει το αρχικό σχήμα του εξαιτίας της κινήσεως των εργατών και των μονοτροχών.

Σε μεγάλα έργα η μεταφορά του σκυροδέματος γίνεται με μηχανοκίνητους γερανούς [σχ. 15.31 (α)]. Το σκυρόδεμα αδειάζεται από τους αναμικτήρες απ' ευθείας σε μεγάλους κάδους, τους οποίους αρπάζει ο γερανός και τους μεταφέρει ακριβώς επάνω από το σημείο, όπου γίνεται η διάστρωση του σκυροδέματος. Οι κάδοι είναι συνήθως κυλινδρικοί και έχουν πυθμένα, ο οποίος μπορεί να ανοίξει με κατάλληλο χειρισμό [σχ. 15.31 (β)].

Ο χειρισμός γίνεται με ένα ειδικό συρματόσχοινο από το θάλα-



Σχ. 15.31.

α) Γερανός για τη μεταφορά του σκυροδέματος. β) Δοχείο σκυροδέματος.

μο του χειριστή του γερανού. Έτσι η εκκένωση των κάδων γίνεται χωρίς καμιά καθυστέρηση και ο γερανός επιστρέφει αμέσως τον άδειο κάδο και τον αφήνει κοντά στον αναμικτήρα, χωρίς να χρειάζεται να τον απαγγιστρώσει στο σημείο, όπου γίνεται η διάστρωση του σκυροδέματος.

Υπάρχουν επίσης και ειδικά φορεία με τροχούς, επάνω στα οποία τοποθετούνται οι κάδοι, για να διευκολύνονται οι μικρές οριζόντιες μετακινήσεις τους στην περιοχή, όπου παράγεται το σκυρόδεμα, από τη στιγμή, που ο γερανός τους αφήνει, έως τη στιγμή, που τους παραλαμβάνει πάλι. Στην Ελλάδα οι γερανοί αυτού του είδους χρησιμοποιούνται μόνον τα τελευταία χρόνια και σε πολύ περιορισμένη κλίμακα. Αντίθετα σε άλλες χώρες ο γερανός είναι το κύριο χαρακτηριστικό οποιουδήποτε σοβαρού εργοταξίου.

Άλλος τρόπος για τη μεταφορά σκυροδέματος είναι η χρήση μεταφορικών ταινιών (σχ. 15.3κ). Το σύστημα αυτό δεν συνήθίζεται τόσο στα εργοτάξια, αποτελεί όμως τον κανόνα σε εργοστάσια για τη βιομηχανική παραγωγή στοιχείων από σκυρόδεμα, π.χ. δοκών, πλακών, τοίχων κλπ. Στην περίπτωση αυτή, όταν το εργοστάσιο εί-



Σχ. 15.3κ.

Μεταφορά σκυροδέματος με μεταφορική ταινία.

ναι οργανωμένο, μπορεί να γίνεται η παραγωγή και η διάστρωση του σκυροδέματος σε δύο σταθερά σημεία, που συνδέονται μεταξύ τους με μια μεταφορική ταινία. Τα δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα διαστρώνονται επάνω σε ένα κινητό τραπέζι και μόλις τελειώσει η διάστρωσή τους, προωθούνται προς τους θαλάμους συντηρήσεως και επακολουθεί η διάστρωση του επόμενου στοιχείου στην ίδια θέση με το προηγούμενο.

Στην Ελλάδα δεν γίνεται ακόμη βιομηχανική παραγωγή στοιχείων από σκυρόδεμα σε αξιόλογο βαθμό, γι' αυτό και δεν εφαρμόζεται η πιο πάνω μέθοδος. Σε άλλες όμως χώρες, η παραγωγή αυτών των στοιχείων απασχολεί σοβαρό ποσοστό της όλης βιομηχανικής δραστηριότητας.

Γ. Διάστρωση του σκυροδέματος.

Όταν το σκυρόδεμα μεταφερθεί στην τελική του θέση, διαστρώνεται με σκοπό να καταλάβει τελείως το χώρο, ο οποίος πρέπει να διαστρωθεί. Η διάστρωση πρέπει να γίνεται με προσοχή και σε μικρές ποσότητες, για να εξασφαλίζεται ότι δεν παραμένουν κενά. Πρέπει επίσης να γίνεται κατά οριζόντιες στρώσεις με πάχος το πολύ 30 cm, εφ' όσον βέβαια το ύψος της κατασκευής υπερβαίνει το όριο αυτό. Ακόμη όμως και σε περιπτώσεις λεπτών πλακών είναι

σκόπιμο να γίνεται η διάστρωση σε δύο στρώσεις.

Η πρώτη στρώση του σκυροδέματος εδράζεται επάνω σε μία κατασκευή μόνιμη ή προσωρινή (τύπος), η οποία βρίσκεται από κάτω. Κάθε μία από τις επόμενες στρώσεις εδράζεται στην αμέσως προηγούμενη, που πρέπει να διαμορφώνεται έτσι, ώστε η άνω επιφάνειά της να είναι όσο το δυνατόν οριζόντια.

Όταν το σκυρόδεμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για κατασκευές στοιχείων με μεγάλο ύψος, ενώ η μία ή και οι δύο άλλες διαστάσεις τους είναι μικρές, όπως π.χ. συμβαίνει στους στύλους, τα τοιχώματα κλπ., δεν πρέπει να ρίχνεται από ψηλά στην τελική του θέση, γιατί με αυτόν τον τρόπο υπάρχει κίνδυνος να διαχωρισθούν τα υλικά του. Αποτέλεσμα μιας τέτοιας διαστρώσεως θα ήταν να δημιουργηθούν επάλληλα στρώματα μέσα στην κατασκευή, τα οποία θα ήταν εναλλάξ πλούσια σε αδρανή και πλούσια σε τσιμεντοπολτό. Γι' αυτό το λόγο το ύψος, από το οποίο ρίχνεται το σκυρόδεμα, δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνει το ένα ή το πολύ τα δύο μέτρα.

Οι κατασκευές αυτού του είδους δεν πρέπει επίσης να εκτελούνται με μεγάλη ταχύτητα, για να προφθαίνει το σκυρόδεμα να πήζει. Το νωπό σκυρόδεμα έχει σε αρκετό βαθμό τις ιδιότητες των υγρών και έτσι στα τοιχώματα των τύπων (καλουπιών) δημιουργούνται υδροστατικές πιέσεις σύμφωνα με το νόμο του Pascal. Οι πιέσεις αυτές μπορούν να φθάσουν σε πολύ υψηλές τιμές, όταν το ύψος της στήλης του νωπού σκυροδέματος είναι μεγάλο, μικραίνουν όμως όσο πήζει το σκυρόδεμα. Γι' αυτό η διάστρωση του σκυροδέματος δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση, να γίνεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από 2.00 m ύψους την ώρα.

Δ. Κοπάνισμα.

Μετά την αρχική διάστρωση του σκυροδέματος, η οποία γίνεται με το μυστρί, το φτυάρι ή άλλο παρόμοιο εργαλείο, επακολουθεί το κοπάνισμα. Το κοπάνισμα γίνεται συνήθως με χαλύβδινες ράβδους, δηλαδή με ράβδους οπλισμού, που έχουν διάμετρο 12 ή 14 mm. Το ένα άκρο των ράβδων αυτών είναι κεκαμμένο και σχηματίζει ορθή περίπου γωνία με το κύριο σώμα της ράβδου (σχ. 15.3λ). Έτσι κατά το κοπάνισμα η ράβδος παρουσιάζει μια επιφάνεια κρούσεως με το σκυρόδεμα πολύ μεγαλύτερη από τη διατομή της.



Σχ. 15.3λ.

Χαλύβδινη ράβδος για κοπάνισμα σκυροδέματος.

Με τις ράβδους αυτές ο τεχνίτης εξαναγκάζει το σκυρόδεμα να περάσει ανάμεσα από τις ράβδους του οπλισμού και να συμπληρώσει το χώρο κάτω από αυτές. Εξάλλου οι επανειλημμένες κρούσεις των ράβδων επάνω στο σκυρόδεμα έχουν ως αποτέλεσμα να συμπιεσθεί αυτό και να μειωθεί το ποσοστό των κενών του. Για το κοπάνισμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σανίδες, με μικρότερη όμως επιτυχία. Το κοπάνισμα πρέπει να συμπληρώνεται μέσα στα πρώτα πέντε λεπτά της ώρας μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος, για να είναι βέβαιο ότι δεν διαταράσσεται σκυρόδεμα, που έχει ήδη αρχίσει να πήζει.

Σε κατασκευές με μεγάλο ύψος και μικρό πλάτος, δηλαδή σε στύλους, τοιχώματα κλπ., ο κίνδυνος για να μη γίνει καλή συμπλήρωση του τύπου και να παραμείνουν κενά είναι πάντοτε μεγαλύτερος. Στις περιπτώσεις αυτές το κοπάνισμα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια. Διευκολύνουμε επίσης τη διείσδυση του σκυροδέματος, εάν κτυπάμε τους τύπους στην εξωτερική τους όψη με ένα σκεπάρνι ή ένα σφυρί. Έτσι μειώνονται οι τριβές και το σκυρόδεμα διεισδύει ευκολότερα προς τα κάτω.

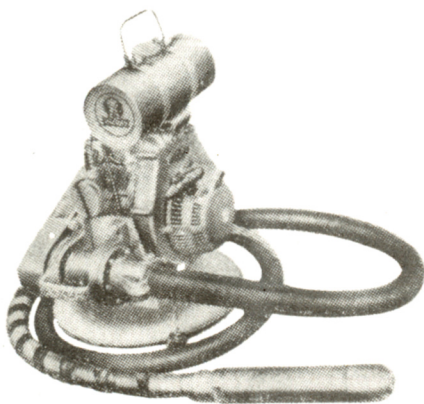
Ε. Δόνηση.

Κατά τα τελευταία χρόνια η δόνηση του σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει το κοπάνισμα τουλάχιστον στα σοβαρότερα έρ-

γα. Η δόνηση επιτυγχάνεται με ειδικές συσκευές, που ονομάζονται **δονητές**. Οι δονητές διακρίνονται σε δονητές μάζας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται και συχνότερα, δονητές επιφάνειας, δονητές ξυλοτύπων και δονητές οπλισμού. Συνήθως η ίδια συσκευή μπορεί να μεταπέσει από τη μία κατηγορία στην άλλη, εάν αντικατασταθούν ορισμένα εξαρτήματά της (σχ. 15.3μ).

Οι δονητές όλων των τύπων συνοδεύονται από ένα κινητήρα, συνήθως βενζινοκινητήρα, ο οποίος μεταδίδει με ένα εύκαμπτο άξονα στον κυρίως δονητή μια παλμική κίνηση με συχνότητα μερικών χιλιάδων κύκλων ανά λεπτό. Ο χειριστής κρατάει το δονητή από τον εύκαμπτο άξονα και τον κατευθύνει, όπου χρειάζεται. Υπάρχουν και ηλεκτροκίνητοι δονητές, οι οποίοι έχουν τον κινητήρα μέσα στο στέλεχος τους. Οι δονητές αυτοί κρατούνται από ένα χονδρό εύκαμπτο καλώδιο, που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στον κινητήρα τους.

Οι **δονητές μάζας** αποτελούνται από ένα κυλινδρικό στέλεχος με διάμετρο λίγων εκατοστών του μέτρου και μήκος λίγων δεκάτων του μέτρου. Το στέλεχος εισάγεται σιγά σιγά στο νωπό σκυρόδεμα,



α)



β)

Σχ. 15.3μ.

α) Δονητής σκυροδέματος. β) Τεχνίτης που χειρίζεται δονητή.

χωρίς να έλθει σε επαφή με τον ξυλότυπο, τον οπλισμό ή τη στρώση του σκυροδέματος, η οποία βρίσκεται από κάτω και έχει ήδη αρχίσει να πήζει. Μόλις φθάσει στο μέγιστο βάθος, εξάγεται με τον ίδιο ρυθμό και εισάγεται πάλι σε μια γειτονική θέση κ.ο.κ. Όταν εξάγεται το στέλεχος, η οπή (τρύπα), που δημιουργείται, πρέπει να κλείνει αυτόματα. Εάν η οπή δεν κλείνει, σημαίνει ότι το στέλεχος πρέπει να παραμένει λιγότερο χρόνο μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Όταν οι ράβδοι του οπλισμού αφήνουν μικρά διάκενα μεταξύ τους, το στέλεχος του δονητή μπορεί να είναι πεπλατυσμένο αντί κυλινδρικό [σχ. 15.3μ (α) και (β)].

Οι **δονητές επιφάνειας** καταλήγουν σε ένα πλατύ εργαλείο, που μεταδίδει τις παλμικές κινήσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος, χωρίς να εισέρχεται μέσα στη μάζα του.

Οι **δονητές ξυλοτύπων** μοιάζουν με τους προηγούμενους και εφαρμόζονται στην εξωτερική επιφάνεια των ξυλοτύπων, χωρίς να έρχονται καθόλου σε επαφή με το σκυρόδεμα. Χρησιμοποιούνται κυρίως κατά την κατασκευή υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.

Οι **δονητές οπλισμού** καταλήγουν σε ένα διχαλωτό στέλεχος, που περιβάλλει κάθε μία ράβδο του οπλισμού και της μεταδίδει την παλμική κίνηση, χωρίς να έρχεται σε άμεση επαφή με το σκυρόδεμα.

Οι δονητές ξυλοτύπου και οπλισμού χρησιμοποιούνται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις και με μεγάλη προσοχή. Κατά τη χρήση τους πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα, ώστε να μη μεταδοθεί η δόνηση στο σκυρόδεμα, που βρίσκεται ήδη στη φάση της πήξεως, επειδή τότε η συνοχή του κινδυνεύει να καταστραφεί οριστικά.

Δεν επιτρέπεται επίσης να χρησιμοποιείται δονητής οποιουδήποτε τύπου, εάν δεν τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, όπως π.χ. οι ακόλουθες: Οι τύποι (καλούπια) πρέπει να είναι κατασκευασμένοι έτσι, ώστε να μην αφήνουν κενά ή χάσματα, επειδή με τη δόνηση υπάρχει κίνδυνος να διαρρεύσουν τα λεπτότερα υλικά του σκυροδέματος έξω από τον τύπο. Το σκυρόδεμα εξάλλου πρέπει να είναι στεγνό ή τουλάχιστον σε μια κατάσταση μεταξύ πλαστικού και στεγνού. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, η δόνηση προκαλεί διαχωρισμό των υλικών του, τα σκύρα δηλαδή καταλαμβάνουν τα χαμηλότερα μέρη και στην επιφάνεια ανέρχεται ο τσιμεντοπολτός. Όσο περισσότερο

νερό περιέχεται στο νωπό σκυρόδεμα, τόσο πρέπει να περιορίζεται ο χρόνος, που διαρκεί η δόνηση.

Πρέπει εδώ να τονισθεί ότι, ενώ η δόνηση βελτιώνει την ποιότητα του σκυροδέματος, η υπερβολική δόνηση μπορεί να φέρει αντίθετο αποτέλεσμα. Ο κίνδυνος είναι μήπως προκληθεί διαχωρισμός των υλικών του. Γι' αυτό το λόγο ο υπεύθυνος μηχανικός πρέπει κάθε φορά να δίνει οδηγίες για το ρυθμό και τη διάρκεια της δονήσεως.

Ζ. Διαμόρφωση ορατών επιφανειών.

Οι ορατές επιφάνειες μιας κατασκευής από σκυρόδεμα ανήκουν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται, όσες βρίσκονται σε επαφή με τους τύπους, όταν διαστρώνεται το σκυρόδεμα. Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται, όσες είναι ελεύθερες και ορατές ήδη από τότε, που διαστρώνεται το σκυρόδεμα.

Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται πάντοτε οι κάτω και οι πλευρικές ορατές επιφάνειες κάθε κατασκευής. Σπανιότερα περιλαμβάνονται και οι άνω, όταν παρουσιάζουν μεγάλη κλίση, οπότε αναγκάζομαστε να χρησιμοποιούμε τύπους (καλούπια) και γι' αυτές. Οι επιφάνειες αυτής της κατηγορίας διαμορφώνονται αυτόματα, όταν διαστρώνεται το σκυρόδεμα. Η ποιότητά τους εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα των τύπων.

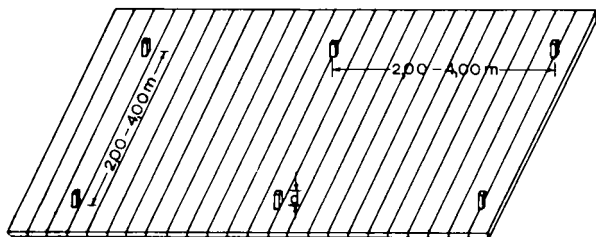
Κατά κανόνα οι ορατές επιφάνειες επιχρίονται ή καλύπτονται με κάποιον τρόπο και γι' αυτό δεν μας ενοχλεί η ύπαρξη μικρών ανωμαλιών. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις μένουν ακάλυπτες. Τότε πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη διαμόρφωση των τύπων, ώστε οι επιφάνειες να παρουσιάζουν την επιθυμητή υφή. Η λύση κάθε φορά καθορίζεται από τον αρχιτέκτονα του έργου, ώστε να προκύπτει η επιθυμητή μορφή.

Όταν δηλαδή επιθυμούμε να φαίνονται τα ίχνη της ξυλείας, τότε αρκεί μόνο κάποια προσοχή στη διάταξη των αρμών των σανίδων, που αποτελούν τον ξυλότυπο. Άλλοτε θέλομε οι σανίδες να έχουν ορισμένες διαστάσεις, ώστε οι αρμοί τους να σχηματίζουν προκαθορισμένα σχήματα, άλλοτε πρέπει να είναι πλανισμένη η ξυλεία. Είναι δυνατόν επίσης να προβλέπονται τύποι από κόντρα-πλακέ, από φύλλα συνθετικής ξυλείας (χάρντμπωρντ) ή από λαμαρίνα, ώστε να δίνουν επιφάνειες απόλυτα λείες.

Όταν οι επιφάνειες του σκυροδέματος πρόκειται να μείνουν ακάλυπτες, πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη προσπάθεια, για να μη μένουν στη μάζα του σκυροδέματος κενά, τα οποία δίνουν στην επιφάνεια σπογγώδη μορφή. Τα κενά αυτά ουδέποτε πρέπει να παρουσιάζονται, αλλά εάν, παρά τις προσπάθειες να τα αποφύγομε παρουσιασθούν μετά την αφαίρεση των τύπων, μπορούν να επισκευασθούν, αφού συμπληρωθούν με ισχυρό τσιμεντοκονίαμα. Η επισκευή αυτού του είδους αφήνει οπωσδήποτε ίχνη και συνεπώς είναι εντελώς απαράδεκτη, όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν πρόκειται να καλυφθεί με κάποιον τρόπο. Επίσης σε αυτή την περίπτωση απαγορεύεται αυστηρά να κλείνονται οι τρύπες και γενικά οι ατέλειες των ξυλοτύπων με λαμαρίνες, χαρτόνια κλπ., που αφήνουν αντιαισθητικά ίχνη επάνω στις ορατές επιφάνειες του σκυροδέματος.

Στη δεύτερη κατηγορία ορατών επιφανειών του σκυροδέματος υπάγονται μόνο οι άνω επιφάνειες των κατασκευών όταν είναι οριζόντιες ή ελαφρά κεκλιμένες. Αυτές διαμορφώνονται από τον τεχνίτη κατά τη διάρκεια της διαστρώσεως, όταν το σκυρόδεμα είναι ακόμη νωπό. Για το σκοπό αυτό, πριν αρχίσει η διάστρωση, καρφώνονται σε κατάλληλα σημεία επάνω στους τύπους μικρά κομμάτια ξύλου έτσι, ώστε οι κορυφές τους να ορίζουν την άνω επιφάνεια της κατασκευής. Τα ξύλα αυτά (τάκοι) τοποθετούνται επάνω σε χαρακτηριστικές ευθυγραμμίες και απέχουν μεταξύ τους 2 έως 4 m (σχ. 15.3ν).

Όταν τοποθετηθούν οι τάκοι, αρχίζει η διάστρωση του σκυροδέματος κατά στρώσεις. Η τελευταία στρώση δεν διαστρώνεται όλη



Σχ. 15.3ν.

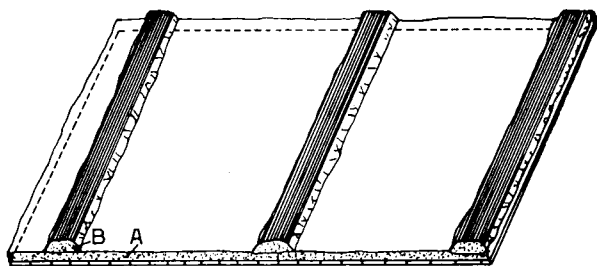
Τοποθέτηση ξυλίνων τάκων στον ξυλότυπο, για να καθορισθεί η άνω επιφάνεια του σκυροδέματος.

μαζί, αλλά δημιουργούνται πρώτα λωρίδες (οδηγοί, Β) κατά μήκος των ευθυγραμμιών, όπου έχουν καρφωθεί οι τάκοι (σχ. 15.3Ξ).

Η επιφάνεια των λωρίδων διαμορφώνεται με τη βοήθεια ενός πήχους μήκους 4 m περίπου, τον οποίο ο τεχνίτης (πηχαδώρας) κινεί παλινδρομικά έτσι, ώστε να εφάπτεται πάντοτε με τις κορυφές των τάκων. Συγχρόνως γίνονται και επανειλημμένες κρούσεις της επιφάνειας του σκυροδέματος με τον ίδιο πήχυ, ώστε το σκυρόδεμα κοπανίζεται και συμπυκνώνεται, ενώ παράλληλα ανέρχεται στην επιφάνεια ο τσιμεντοπολτός.

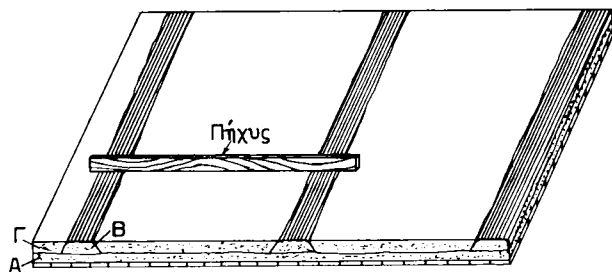
Όταν συμπληρωθεί η κατασκευή των οδηγών, αφαιρούνται οι ξύλινοι τάκοι και διαστρώνεται το υπόλοιπο σκυρόδεμα Γ με τη βοήθεια του ίδιου πήχου (σχ. 15.3ο).

Γίνονται πάλι οι ίδιες κινήσεις, εναλλάξ παλινδρομικά και κρουστικά. Στη φάση αυτή ο πήχης κινείται έτσι, ώστε να εφάπτεται συνεχώς με την άνω επιφάνεια των οδηγών.



Σχ. 15.3Ξ.

Διάστρωση πρώτης στρώσεως Α και κατασκευή οδηγών Β από σκυρόδεμα, για να καθορισθεί η άνω επιφάνεια της τελευταίας στρώσεως του σκυροδέματος.



Σχ. 15.3ο.

Μόρφωση της άνω επιφάνειας του σκυροδέματος με τη βοήθεια των οδηγών και ενός ξύλινου πήχου.

Με τον τρόπο αυτό σχηματίζονται επιφάνειες αρκετά ομαλές. Βέβαια διακρίνονται τα ίχνη από τον πήχυ, τα οποία έχουν τη μορφή ενός πυκνού παράλληλου κυματισμού, αλλά το ύψος του κύματος είναι μόνο μερικά χιλιοστά του μέτρου. Στις περιπτώσεις, που αυτό ενοχλεί, μπορεί η επιφάνεια να γίνει ομαλότερη, εάν στρωθεί με το μυστρί μετά την ισοπέδωσή της με τον πήχυ και πριν ακόμη πήξει το σκυρόδεμα.

Η. Διάστρωση κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Το σκυρόδεμα δεν επιτρέπεται να διαστρώνεται κάτω από οποιοδήποτε καιρικές συνθήκες. Δεν επιτρέπεται π.χ. διάστρωση σκυροδέματος στο ύπαιθρο υπό ραγδαία βροχή, επειδή υπάρχει κίνδυνος να αποπλυθεί το τσιμέντο του σκυροδέματος. Η απαγόρευση αυτή πάντως έχει μικρή πρακτική σημασία, γιατί εργασίες κάτω από αυτές τις συνθήκες δεν γίνονται, περισσότερο διά λόγους προστασίας του προσωπικού.

Επίσης δεν είναι σκόπιμο να διαστρώνεται σκυρόδεμα κάτω από ισχυρό καύσωνα ή όταν φυσάει σφοδρός ξηρός και θερμός άνεμος, επειδή τότε το νερό του σκυροδέματος εξατμίζεται πολύ γρήγορα και δεν απομένει αρκετό, για να γίνει η πήξη. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να καταβρέχουμε το σκυρόδεμα συνεχώς. Εξάλλου μετά τη διάστρωσή του πρέπει να το καλύπτομε με λινάτσες, τσουβάλια ή παρόμοια υλικά, τα οποία πρέπει να διατηρούμε υγρά επί δύο - τρία εικοσιτετράωρα, έως ότου συμπληρωθεί η πήξη και προχωρήσει αρκετά η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Καλύτερη προστασία επιτυγχάνομε, εάν κατακλύσομε ολόκληρη την επιφάνεια με νερό, το οποίο πρέπει να αποτελεί ένα στρώμα με πάχος λίγων εκατοστών του μέτρου και να ανανεώνεται, πριν εξατμισθεί. Έτσι η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος εξασφαλίζονται και γίνονται μάλιστα κάτω από ευνοϊκές συνθήκες.

Ο σοβαρότερος εχθρός όμως για το νωπό σκυρόδεμα είναι το ψύχος. Όταν παγώσει το νερό, που βρίσκεται μέσα στο νωπό σκυρόδεμα, που μόλις έχει αρχίσει να πήζει, διαστέλλεται απότομα και καταστρέφει τη συνοχή των άλλων υλικών. Συγχρόνως οι αντιδράσεις της πήξεως, που προϋποθέτουν την ύπαρξη νερού σε υγρή κατάσταση, διακόπτονται. Τα φαινόμενα αυτά παρατηρούνται, όταν η θερμοκρασία κατέβει λίγους βαθμούς κάτω από το 0°C. Αλλά και

σε λίγο ψηλότερες θερμοκρασίες ήδη οι αντιδράσεις της πήξεως επιβραδύνονται σημαντικά.

Γι' αυτούς τους λόγους οι κανονισμοί συνιστούν να μη γίνεται διάσθρωση σκυροδέματος, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι κάτω από $+5^{\circ}\text{C}$. Επίσης ορίζουν ότι και τα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος, δηλαδή αδρανή, τσιμέντο και νερό, πρέπει να έχουν θερμοκρασία πάνω από $+5^{\circ}\text{C}$.

Οι όροι αυτοί μπορούν συνήθως να τηρηθούν στην Ελλάδα, επειδή το κλίμα είναι γενικά ήπιο. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, κατά τις οποίες χρειάζεται να γίνει διάσθρωση σκυροδέματος σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Εάν η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ -3°C και $+5^{\circ}\text{C}$, αρκεί να θερμαίνονται λίγο τα αδρανή υλικά και το νερό πριν αναμιχθούν με το τσιμέντο. Επίσης η όλη κατασκευή πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία τουλάχιστον $+5^{\circ}\text{C}$. Η διατήρηση της θερμοκρασίας αυτής επιτυγχάνεται εύκολα, εάν το σκυρόδεμα καλυφθεί με δυσθερμαγωγά υλικά, π.χ. τσουβάλια, άμμο, άχυρα κλπ., επειδή η πήξη του σκυροδέματος συνοδεύεται από την παραγωγή σημαντικής ποσότητας θερμότητας. Στην ανάγκη ανάβομε φωτιές σε ορισμένα κατάλληλα σημεία.

Εάν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από -3°C , τότε η εργασία μπορεί να γίνει, μόνο εάν ληφθούν ιδιαίτερα μέτρα. Ο χώρος πρέπει να περιφραχθεί τελείως και να θερμαίνεται εντατικά, κατά προτίμηση με παραγωγή ατμού, ώστε να μη μειώνεται και η σχετική υγρασία. Εννοείται ότι πάλι τα υλικά πρέπει να προθερμαίνονται και η κατασκευή να διατηρείται συνεχώς σε θερμοκρασίες πάνω από $+5^{\circ}\text{C}$. Η εργασία κάτω από αυτές τις συνθήκες γίνεται πάρα πολύ δαπανηρή και επομένως δεν δικαιολογείται, παρά μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, τουλάχιστον για το ελληνικό κλίμα.

Η προστασία του νωπού σκυροδέματος από τον παγετό επιτυγχάνεται και με την προσθήκη στη μάζα του ορισμένων προσμιγμάτων, όπως π.χ. χλωριούχου αμμωνίου. Εν τούτοις η μέθοδος αυτή δεν συνιστάται, επειδή μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος.

Εάν παρόλα αυτά τα μέτρα προστασίας η θερμοκρασία του σκυροδέματος κατέβει σε πολύ χαμηλά όρια πριν αυτό πήξει, η συνοχή του καταστρέφεται και η πήξη του δεν γίνεται σωστά. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί και στην Ελλάδα, όπου συχνά σε μια νύκτα

η θερμοκρασία πέφτει απότομα 10 ή και περισσότερους βαθμούς Κελσίου. Στις περιπτώσεις αυτές όλος ο όγκος του σκυροδέματος, για τον οποίο υπάρχει υποψία ότι δεν έπηξε καλά και ότι έχει υποστεί ζημιές, πρέπει να γκρεμίζεται αμέσως και να μη συνεχίζεται καμιά εργασία, πριν συμπληρωθεί το γκρέμισμα και απομακρυνθούν τα γκρεμισμένα κομμάτια.

15.4 Συντήρηση και προστασία του σκυροδέματος.

A. Συντήρηση του σκυροδέματος.

Όταν διαστρωθεί το σκυρόδεμα και διαμορφωθούν οι επιφάνειές του, η εργασία δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι τελείωσε. Το σκυρόδεμα δεν επιτρέπεται να αφεθεί να πήξει και να σκληρυνθεί χωρίς φροντίδα. Οι φροντίδες για την καλή πήξη και σκλήρυνση ονομάζονται **συντήρηση του σκυροδέματος** και συνίστανται κυρίως στη διατήρηση της απαιτούμενης υγρασίας μέσα στο σκυρόδεμα. Αυτή είναι απαραίτητη, για να γίνονται ομαλά οι χημικές αντιδράσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα την πήξη και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος.

Σε συνηθισμένες περιπτώσεις αρκεί ένα επιμελημένο κατάβρεγμα κάθε εικοσιτετράωρο τις δύο ή τρεις πρώτες ημέρες μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος. Εάν ο καιρός είναι θερμός και ξηρός, το κατάβρεγμα πρέπει να γίνεται συχνότερα και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Όταν απαιτείται σκυρόδεμα εξαιρετικά υψηλής αντοχής, τότε η συντήρηση πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια. Ακόμη μεγαλύτερη επιμέλεια απαιτείται όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, για τους οποίους δεν πρέπει να παρουσιασθούν ρήγματα, όπως π.χ. όταν πρόκειται για δεξαμενές, σωλήνες κλπ.

Όταν παράγονται βιομηχανικά δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, εφαρμόζεται και μία άλλη μέθοδος για τη συντήρησή τους. Τα έτοιμα στοιχεία διατηρούνται μέσα σε ένα θάλαμο θερμό και υγρό για λίγες μέρες. Η υψηλή θερμοκρασία επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα την πήξη και τη σκλήρυνση, ενώ η υψηλή σχετικά υγρασία εξασφαλίζει την κανονική εξέλιξη των αντιδράσεων αυτών.

B. Προστασία του σκυροδέματος.

Μερικές φορές οι κατασκευές από σκυρόδεμα χρειάζονται ι-

διαίτερη προστασία από κάποιον εξωτερικό παράγοντα, π.χ. από την υγρασία, την επιφανειακή τριβή, υψηλές θερμοκρασίες, δραστικές χημικές ουσίες κλπ. Κατά κανόνα η προστασία αυτή επιτυγχάνεται με μια επικάλυψη του σκυροδέματος. Η επικάλυψη αυτή μπορεί να είναι του τύπου των επιχρισμάτων ή και μια απλή επάλειψη με ένα χρώμα, με ένα ασφαλικό υλικό ή γενικότερα με μια κατάλληλη χημική σύνθεση.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, κατά τις οποίες και το ίδιο το σκυρόδεμα πρέπει να αντέχει στις δυσμενείς επιδράσεις, να είναι π.χ. στεγανό, ή να αντέχει σε επιφανειακές τριβές ή στη δράση χημικών ουσιών κλπ.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις είναι κατ' αρχήν απαραίτητη η καλή ποιότητα του σκυροδέματος. Ένα σκυρόδεμα καλής ποιότητας, δηλαδή με αδρανή υλικά καλά κοκκομετρημένα, με μικρό λόγο νερού - τσιμέντου, με καλή συμπίκνωση, με καλή συντήρηση κλπ. αντέχει πολύ καλύτερα από ένα σκυρόδεμα λιγότερο επιμελημένο σε οποιονδήποτε δυσμενή εξωτερικό παράγοντα.

Εκτός όμως από την καλύτερη ποιότητα, χρειάζεται συνήθως να προστεθούν ορισμένα προσμίγματα, στη μάζα του νωπού σκυροδέματος. Για να κατασκευάσουμε π.χ. στεγανό σκυρόδεμα, μπορούμε να προσθέσουμε στα υλικά του βατ-προύφ, ακουαζίτ, φλίντκοτ, ή ένα άλλο από τα στεγανωτικά προσμίγματα, τα οποία κυκλοφορούν στην αγορά. Για να κατασκευάσουμε σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακές τριβές, μπορούμε να αντικαταστήσουμε στην τελευταία στρώση ένα ποσοστό άμμου με κόκκους σμύριδας ή άλλου κατάλληλου **αντι-τριβικού** (abrasive) υλικού. Για σκυρόδεμα ανθεκτικό στα οξέα, για κατασκευή π.χ. σωλήνων αποχετεύσεως ακαθάρτων νερών, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ειδικό τσιμέντο ανθεκτικό στα οξέα (sulfate resisting).

Η σύνθεση ενός σκυροδέματος, ικανού να αντέχει σε ασυνήθιστες συνθήκες, είναι ένα λεπτό πρόβλημα. Στις περιπτώσεις αυτές η σύνθεση πρέπει να καθορίζεται στο εργαστήριο και, εάν χρειασθεί να χρησιμοποιηθούν βιομηχανικά προσμίγματα, η χρήση τους πρέπει να γίνεται με σχολαστικότητα, σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή (παράγρ. 14.6).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΙΚΡΙΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

16.1 Γενικά.

Για να δώσουμε στο νωπό σκυρόδεμα την επιθυμητή μορφή, μεταχειριζόμαστε **τύπους** (καλούπια), μέσα στους οποίους το διαστρώνουμε. Οι τύποι αυτοί κατά κανόνα αφαιρούνται, όταν πήξει το σκυρόδεμα, χωρίς να αποκλείεται και το αντίθετο σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις. Σπάνιες είναι οι κατασκευές από σκυρόδεμα, για τις οποίες δεν χρειάζονται τύποι, όπως π.χ. όταν πρόκειται για δάπεδα, τα οποία εδράζονται απ' ευθείας επάνω στο έδαφος.

Οι τύποι κατασκευάζονται κατά κανόνα από ξύλο, γι' αυτό λέγονται γενικά **ξυλότυποι**. Δεν αποκλείονται όμως και άλλα υλικά, από τα οποία το πιο συνηθισμένο είναι ο χάλυβας. Τελευταία επεκτείνεται η χρήση χαλυβδίνων τύπων, ιδίως όταν τα δομικά στοιχεία, που πρόκειται να κατασκευασθούν, είναι τυποποιημένα. Τότε εξασφαλίζεται η πολλαπλή χρήση των τύπων και διευκολύνεται η απόσβεση της πρόσθετης δαπάνης, η οποία απαιτείται για την κατασκευή τους.

Τα καλούπια του σκυροδέματος σπάνια εδράζονται απ' ευθείας στο έδαφος ή σε μόνιμες κατασκευές. Συνήθως απαιτείται μια προσωρινή ενδιάμεση κατασκευή. Οι προσωρινές αυτές κατασκευές λέγονται **ικριώματα** (σκαλωσιές) και κατ'ασκευάζονται συνήθως από ξύλο. Αλλά και εδώ σήμερα έχει επεκταθεί η χρήση του χάλυβα και μάλιστα με τη μορφή των σωλήνων. Τα σωληνωτά ικριώματα χρησιμοποιούνται εύκολα ακόμα και όταν δεν υπάρχει τυποποίηση της κατασκευής. Γι' αυτό η χρήση τους διαδίδεται περισσότερο από τη χρήση των μεταλλικών τύπων.

Τα ικριώματα χρησιμεύουν, εκτός από τη στήριξη των τύπων και για τη στήριξη διαφόρων άλλων βοηθητικών κατασκευών, οι ο-

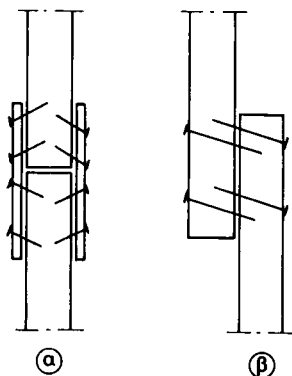
ποιές είναι απαραίτητες για τη μεταφορά και τη διάσπρωση του σκυροδέματος. Οι κατασκευές αυτές είναι κεκλιμένα επίπεδα για την προσπέλαση του προσωπικού, προστατευτικά κιγκλιδώματα, ικρίωματα βαρούλκων κλπ.

16.2 Κατασκευή ικριωμάτων.

Τα ικρίωματα πρέπει να εδράζονται επάνω σε ένα σταθερό δάπεδο. Μόνο τότε είναι βέβαιο ότι το βάρος του νωπού σκυροδέματος και τα άλλα φορτία, τα οποία πρόκειται να βαρστώσουν, δεν θα προκαλέσουν επικίνδυνες ή έστω ενοχλητικές καθιζήσεις.

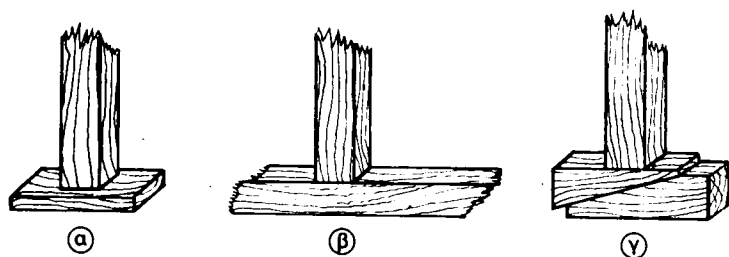
Τα ξύλινα ικρίωματα αποτελούνται από κατακόρυφα στοιχεία (στύλους, κολώνες), τα οποία κατασκευάζονται από πελεκητή ξυλεία ελάτης. Τα ξύλα των στύλων αυτών έχουν συνήθως θεωρητική διατομή 10 x 10 cm και ονομάζονται **(ε)λατάκια**.

Τα λατάκια πρέπει να αποτελούνται από ένα μόνο τμήμα καθόλο το ύψος τους. Κατ' εξαίρεση ένα μικρό ποσοστό τους, το πολύ 25% για τα ικρίωματα, που φέρουν ξυλοτύπους δοκών, και 50% για όσα φέρουν ξυλοτύπους πλακών, μπορεί να αποτελείται από δύο τμήματα, όχι όμως από περισσότερα. Η σύνδεση των στύλων, όταν χρειάζεται να επεκταθούν καθ' ύψος, πρέπει να γίνεται με τη βοήθεια άλλων μικρών ξύλων (κλάπες), που καρφώνονται από τις δύο πλευρές, ώστε τα δύο τμήματα του στύλου να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφη [σχ. 16.2α (α)]. Σύνδεση, όπως αυτή, που εικονίζεται στο σχήμα 16.2α (β), απαγορεύεται αυστηρά.



Σχ. 16.2α.

Κατακόρυφη επέκταση στύλου ξύλινου ικριώματος: α) Ορθή. β) Λανθασμένη.



Σχ. 16.2β.

Στήριξη στύλου ξύλινου ικριώματος στο δάπεδο: α) Σε κομμάτι ξύλου (κλάπα). β) Σε στρωτήρα. γ) Σε ζεύγος σφηνών.

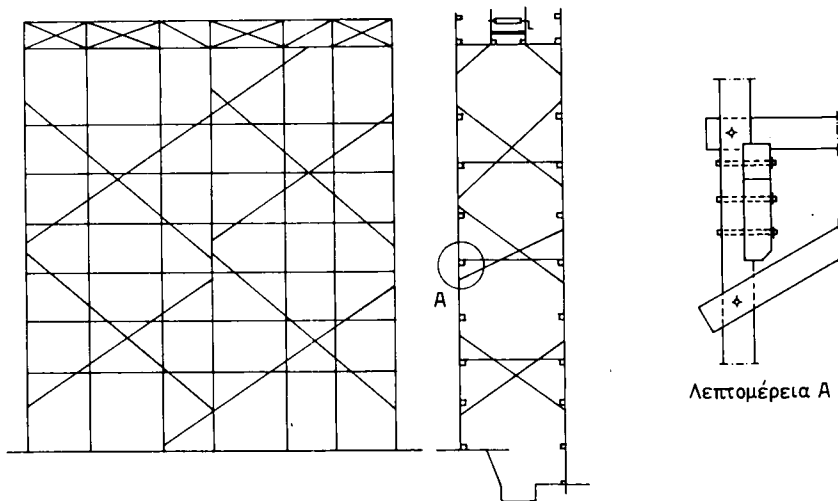
Τα κατακόρυφα στοιχεία σπάνια εδράζονται απ' ευθείας στο δάπεδο. Συνήθως παρεμβάλλονται μικρά κομμάτια ξύλων, που τοποθετούνται οριζόντια επάνω στο δάπεδο και καρφώνονται, εάν είναι δυνατόν, σε αυτό [σχ. 16.2β (α)].

Όταν το δάπεδο ή το έδαφος είναι πολύ μαλακό, είναι προτιμότερο να τοποθετούνται συνεχείς ξύλινοι στρωτήρες και να καρφώνονται επάνω σε αυτούς τα κατακόρυφα στοιχεία [σχ. 16.2β (β)].

Όταν πρέπει οι ξυλότυποι να μπορούν να χαμηλώσουν εύκολα, παρεμβάλλονται μεταξύ των στρωτήρων ή του δαπέδου και των στύλων ζεύγη σφηνών [σχ. 16.2β (γ)].

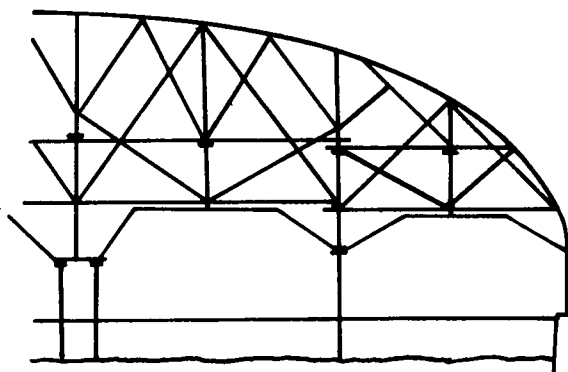
Όταν το ύψος της κατασκευής είναι πολύ μεγάλο, τότε δεν είναι δυνατόν να αποτελούνται οι στύλοι από ένα μόνο τεμάχιο ξύλου. Στην περίπτωση αυτή κατασκευάζονται πολυώροφα ικριώματα. Οι στύλοι κάθε ορόφου αποτελούνται από ένα τεμάχιο ξύλου. Μεταξύ των διαδοχικών ορόφων δημιουργείται ένα οριζόντιο πλέγμα από ξύλινες δοκούς (καδρόνια), που τοποθετούνται κατά δύο διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μία τρισδιάστατη στερεή ξύλινη κατασκευή (σχ. 16.2γ).

Σε σοβαρότερες κατασκευές και ιδίως, όταν το έδαφος είναι ανώμαλο, όπως π.χ. το έδαφος, επάνω στο οποίο κατασκευάζεται μια γέφυρα, δεν είναι ανάγκη να συνεχίζονται όλοι οι στύλοι σε όλους τους ορόφους. Μερικοί από τους στύλους μπορούν να στηρίζονται στο υποκείμενο οριζόντιο πλέγμα έτσι, ώστε οι κάτω όροφοι των ικριωμάτων να έχουν αραιότερα κατακόρυφα στοιχεία (σχ. 16.2δ). Τα ικριώματα αυτά πρέπει να γίνονται πάντοτε σύμφωνα με



Σχ. 16.2γ.

Σχηματική διάταξη ψηλού ξύλινου ικρίώματος.



Σχ. 16.2δ.

Ξύλινο ικρίωμα, στο οποίο τα κατακόρυφα στοιχεία αραιώνουν στο κατώτερο τμήμα του.

σχέδιο βασιζόμενο σε μελέτη, όπως συμβαίνει και για τις μόνιμες ξύλινες κατασκευές.

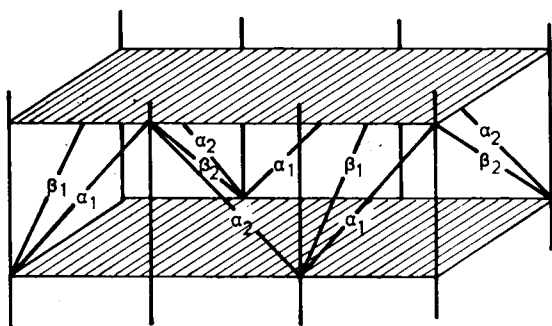
Επειδή τα ικρίωματα πρέπει να αντέχουν και σε οριζόντιες δυνάμεις, οι στύλοι τους συνδέονται μεταξύ τους με αρκετά διαγώνια ξύλα. Τα διαγώνια αυτά στοιχεία, τα οποία λέγονται και **αντιανέμια**,

είναι συνήθως σανίδες πάχους 2,5 cm και πλάτους 10 έως 15 cm. Τοποθετούνται με την έννοια του πάχους τους οριζόντια και αποτελούν 4 ομάδες παραλλήλων στοιχείων. Οι ομάδες (α_1 και α_2) ορίζουν κατακόρυφα επίπεδα παράλληλα προς τη μία κύρια διεύθυνση του έργου και οι άλλες δύο (β_1 και β_2) κατακόρυφα επίπεδα κάθετα προς αυτήν. Οι δύο ομάδες, που ανήκουν στην ίδια κατηγορία επιπέδων, κλίνουν αντίρροπα (χιαστί) ως προς την κατακόρυφο (σχ. 16.2ε).

Όταν σε μία κατασκευή από σκυρόδεμα προβλέπονται πλάκες και δοκοί έτσι, ώστε οι νευρώσεις των τελευταίων να κρέμονται κάτω από την πλάκα, οι στύλοι των ικριωμάτων, που αντιστοιχούν στις δοκούς γίνονται αναγκαστικά κοντύτεροι. Οι στύλοι αυτοί έχουν στο επάνω άκρο τους ένα οριζόντιο τεμάχιο από καδρόνι, το οποίο τοποθετείται κάθετα προς τον άξονα της δοκού. Το οριζόντιο ξύλο στηρίζεται με δύο λοξές αντηρίδες, οι οποίες το συνδέουν με το στύλο (σχ. 16.2ζ).

Ως αντηρίδες χρησιμοποιούνται τεμάχια από σανίδες (κλάπες).

Οι στύλοι του ικριώματος, οι οποίοι αντιστοιχούν στην πλάκα, είναι ψηλότεροι και οι κεφαλές τους συνδέονται με οριζόντιες ξύλινες δοκούς (καδρόνια). Τα καδρόνια έχουν διατομή με θεωρητικές διαστάσεις 8 x 8 cm και τοποθετούνται σε δύο στρώσεις. Κάθε στρώση αποτελείται από στοιχεία παράλληλα μεταξύ τους. Τα καδρόνια της μιας στρώσεως είναι κάθετα με τα καδρόνια της άλλης και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία οριζόντια σχάρα. Η σχά-



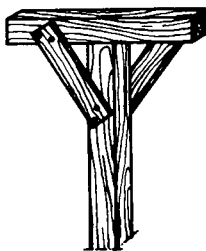
Σχ. 16.2ε.

Διάταξη των αντιανεμίμων συνδέσμων ξύλινου ικριώματος $\alpha_1 - \alpha_2$ και $\beta_1 - \beta_2$.

ρα αυτή διακόπτεται από τις νευρώσεις των δοκών, εάν βέβαια υπάρχουν (σχ. 16.2η).

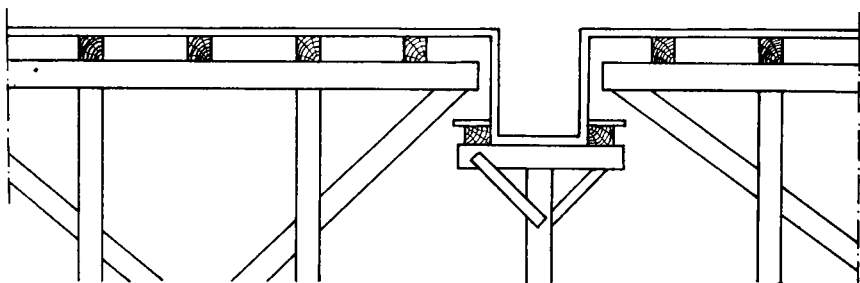
Τα ξύλινα ικριώματα, όπως και οι ξυλότυποι, συνδέονται γενικά με **καρφοβελόνες** (καρφιά, πρόκες). Η σύνδεση πρέπει να είναι στερεά και ασφαλής για να μην επιτρέπει στα ξύλα να μετακινούνται το ένα σε σχέση προς το άλλο. Συγχρόνως όμως πρέπει η σύνδεση να μην εμποδίζει ή δυσκολεύει την αποξήλωση των ικριωμάτων, η οποία πρέπει να γίνεται εύκολα, χωρίς έντονες κρούσεις και κραδασμούς. Σε σοβαρά έργα, ιδίως όταν υπάρχουν λόγοι, που επιβάλλουν να αφαιρεθεί ο ξυλότυπος συγχρόνως σε μεγάλη έκταση, προβλέπονται σε κατάλληλες θέσεις ξύλινες σφήνες [σχ. 16.2β (γ)]. Εάν κτυπηθούν κατάλληλα οι σφήνες, μπορεί εύκολα να προκληθεί μια ομοιόμορφη ταπείνωση σε εκτεταμένα τμήματα των ξυλοτύπων.

Τα μεταλλικά σωληνωτά ικριώματα έχουν γενική διάταξη παρόμοια με τα ξύλινα. Αποτελούνται από τυποποιημένα τεμάχια, που



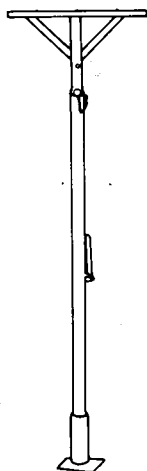
Σχ. 16.2ζ.

Στύλος ικριώματος για τη στήριξη του ξυλότυπου δοκού.



Σχ. 16.2η.

Τομή ξυλότυπου πλάκας και δοκού. Η σχάρα των καδρονίων διακόπτεται στη θέση της δοκού.



Σχ. 16.2θ.

Στύλος (λατάκι) μεταλλικού ικριώματος για ξυλότυπους.

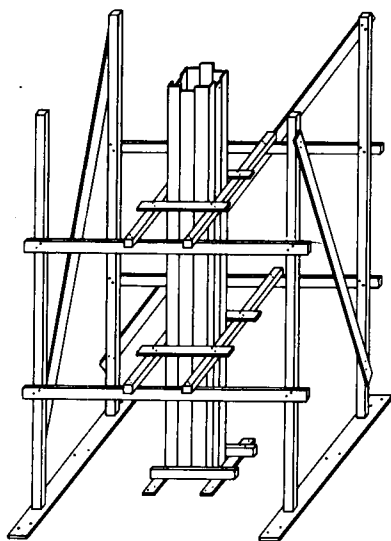
συνδέονται μεταξύ τους με ειδικούς μεταλλικούς συνδέσμους (σχ. 16.2θ). Τα μεταλλικά ικριώματα μπορούν να συνδυασθούν ή με ξύλινους, ή με μεταλλικούς τύπους (καλούπια).

Οι προμηθευτές σωληνωτών ικριωμάτων δίνουν προδιαγραφές και οδηγίες για τον τρόπο, με τον οποίο πρέπει να γίνεται η σύνθεση και η σύνδεσή τους. Οι οδηγίες πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα, για να είναι ασφαλής η όλη κατασκευή.

16.3 Τρόπος κατασκευής τύπων.

A. Τύποι για υποστυλώματα και τοιχώματα.

Οι τύποι των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων στηρίζονται απ' ευθείας επάνω στο δάπεδο. Για τη στερέωσή τους όμως χρειάζονται κατά κανόνα και ικριώματα. Ο τύπος ενός υποστυλώματος ή ενός τοιχώματος μπορεί κάλλιστα να σταθεί μόνος του όρθιος, κινδυνεύει όμως να φύγει από τη θέση του. Γι' αυτό συνήθως γύρω από κάθε υποστύλωμα τοποθετούνται τέσσερα λατάκια, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με οριζόντια και λοξά ξύλα, ώστε να δημιουργούν ένα στερεό δικτύωμα στο χώρο, επάνω στον οποίο στηρίζονται οι ξυλότυποι (σχ. 16.3α). Τα ικριώματα αυτά συνδέονται



Σχ. 16.3α.

Ξυλότυπος και ικρίωμα υποστυλώματος.

μεταξύ τους και με τις υπάρχουσες μόνιμες κατασκευές, ώστε να είναι αμετακίνητα. Παρόμοιες λύσεις εφαρμόζονται και για τα τοιχώματα.

Στη συνηθισμένη περίπτωση, που οι τύποι είναι ξύλινοι, οι σανίδες (πέτσωμα), για τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα, τοποθετούνται κατακόρυφες. Όταν πρόκειται για τοιχώματα, είναι δυνατόν να τοποθετηθούν και οριζόντιες.

Η πιο σωστή λύση θα ήταν να μην καλουπώνεται από την αρχή ολόκληρη η μία από τις έδρες των υποστυλωμάτων ή η μία όψη των τοιχωμάτων, αλλά σιγά σιγά, όσο προχωρεί η διάστρωση του σκυροδέματος. Έτσι δεν θα ήταν ανάγκη να πέφτει το σκυρόδεμα από μεγάλο ύψος.

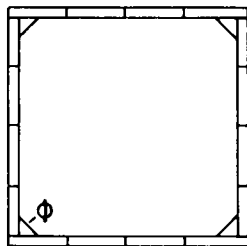
Η λύση αυτή προϋποθέτει, ότι οι σανίδες θα τοποθετηθούν οριζόντια, επομένως είναι εύκολο να εφαρμοσθεί και συνιστάται στην περίπτωση των τοιχωμάτων. Στα υποστυλώματα όμως θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν πολύ μικρά κομμάτια ξύλου, πράγμα που θα είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη φθορά της ξυλείας. Για το λόγο αυτό το σύστημα δεν εφαρμόζεται, παρά μόνο όταν τα υποστυλώματα έ-

χουν πολύ μεγάλο ύψος. Τότε η μια έδρα τους κλείνεται σε διαδοχικές φάσεις, όσον προχωρεί η διάστρωση του σκυροδέματος, με όρθιες σανίδες που έχουν μήκος σχετικά περιορισμένο.

Στις ακμές, που σχηματίζουν τα σανιδώματα των υποστυλωμάτων, πρέπει να τοποθετούνται πήχεις με διατομή ισοσκελούς ορθογωνίου τριγώνου και με διαστάσεις καθέτων πλευρών 2 έως 3 cm (φαλτσογωνιές). Με αυτόν τον τρόπο τα υποστυλώματα δεν παρουσιάζουν ορθές αλλά αμβλείες διέδρες γωνίες (σχ. 16.3β). Έτσι, όταν αφαιρούνται οι ξυλότυποι, δεν παρουσιάζονται φθορές και αποκολλήσεις του σκυροδέματος κατά μήκος των ακμών.

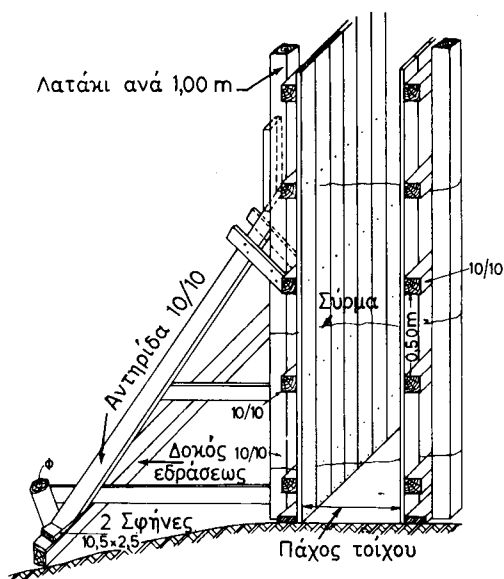
Στα υποστυλώματα οι κατακόρυφες σανίδες συνδέονται μεταξύ τους με οριζόντια τεμάχια σανίδων (κλάπες) ή καδρονίων (σχ. 16.3α). Τα ξύλα αυτά σχηματίζουν ανά αποστάσεις μικρότερες του ενός μέτρου οριζόντια πλαίσια, που εξασφαλίζουν ότι δεν θα παραμορφωθεί η διατομή του υποστυλώματος. Ορισμένα από τα ξύλα των πλαισίων αυτών προεκτείνονται και συνδέονται με το ικρίωμα, που περιβάλλει το υποστύλωμα. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ο ξυλότυπος από τις μετακινήσεις.

Οι σανίδες των ξυλοτύπων των τοιχωμάτων συνδέονται ανά αποστάσεις 50 cm περίπου με οριζόντια καδρόνια. Αυτά πάλι στηρίζονται ανά αποστάσεις 1 m περίπου σε κατακόρυφα λατάκια. Τα λατάκια αυτά εδράζονται επάνω στο δάπεδο με τη βοήθεια μιας αντηρίδας και ενός οριζόντιου ελκυστήρα (σχ. 16.3γ) ή συνδέονται με τα γύρω ικρίωματα με τη βοήθεια οριζοντίων και λοξών ξύλων, όπως στην περίπτωση των υποστυλωμάτων. Για μεγαλύτερη ασφάλεια τα σανιδώματα (πετσώματα) των δύο όψεων των τοιχωμάτων δένονται μεταξύ τους με σύρμα, που τελικά παραμένει μέσα στο σκυρόδεμα.

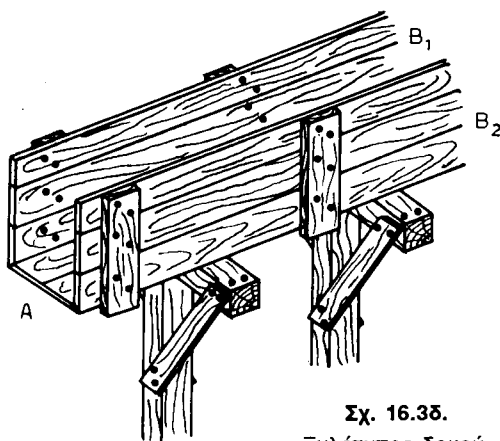


Σχ. 16.3β.

Φαλτσογωνιές Φ στον τύπο υποστυλώματος.



Σχ. 16.3γ.
Ξυλότυπος τοιχώματος.



Σχ. 16.3δ.
Ξυλότυπος δοκού.

B. Τύποι για δοκούς.

Οι τύποι των δοκών αποτελούνται συνήθως από ένα οριζόντιο στοιχείο Α (πυθμένας, πάτος) και δύο κατακόρυφα Β₁ και Β₂ (πλάϊνά). Ο πυθμένας καρφώνεται απ' ευθείας επάνω στα οριζόντια ξύλα, που έχουν στις κεφαλές τους οι στύλοι των ικριωμάτων (σχ. 16.3δ).

Ειδικότερα στα άκρα του πυθμένα, όταν συμπίπτουν με την πλευρά υποστυλώματος ή τοιχώματος, που έχει ήδη κατασκευασθεί, στηρίζονται σε κομμάτια σανίδων (κλάπες), τα οποία καρφώνονται απ' ευθείας στα στοιχεία αυτά, όταν ακόμη το σκυρόδεμα δεν έχει σκληρύνει πολύ (σχ. 16.3ε).

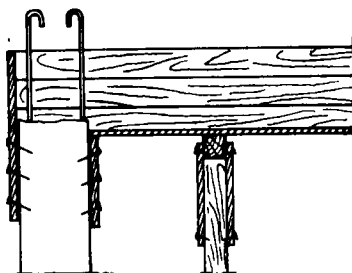
Ο πυθμένας (πάτος) των ξυλοτύπων των δοκών αποτελείται από σανίδες, που τοποθετούνται με το μήκος τους παράλληλο προς το μήκος της δοκού. Το ίδιο ισχύει και για τα πλαϊνά των δοκών. Οι σανίδες των πλαϊνών καρφώνονται στις σανίδες του πυθμένα και συνδέονται μεταξύ τους ανά αποστάσεις με κομμάτια σανίδων (κλάπες), που τοποθετούνται κατακόρυφα. Τα πλαϊνά στερεώνονται στη θέση τους με δύο οριζόντιες σανίδες ή καδρόνια, που καρφώνονται εξωτερικά στο υψηλότερο και στο χαμηλότερο μέρος τους. Η άνω σανίδα συνδέεται με τα καδρόνια των ικριωμάτων των πλακών, ενώ η κάτω καρφώνεται επάνω στα οριζόντια ξύλα, που έχουν στην κεφαλή τους οι στύλοι των ικριωμάτων κάτω από τις δοκούς (σχ. 16.2η).

Τα πλαϊνά των περιμετρικών δοκών, εκείνων δηλαδή, που δεν έχουν πλάκα και από τις δύο πλευρές, συνδέονται μεταξύ τους για μεγαλύτερη ασφάλεια με σύρμα, το οποίο τελικά παραμένει μέσα στο σκυρόδεμα (σχ. 16.3ζ).

Στις δίδεδρες γωνίες, που σχηματίζουν τα πλαϊνά με τον πυθμένα, πρέπει να τοποθετούνται φαλτσογωνιές, όπως ακριβώς και στις ακμές των υποστυλωμάτων. Καλό είναι επίσης τα πλαϊνά να τελειώνουν στο ανώτερο μέρος τους με κλίση 45° , ώστε να δημιουργείται φαλτσογωνιά και στη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ δοκού και πλάκας (σχ. 16.3η). Επειδή όμως αυτό προκαλεί φθορά της ξυλείας, παραλείπεται συνήθως στα μικρά έργα.

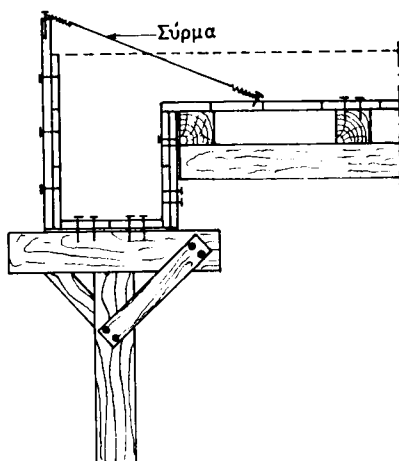
Με τον ίδιο τρόπο, όπως και για τις δοκούς, κατασκευάζονται οι ξυλότυποι των πλαισίων, των τόξων και άλλων κατασκευών, που μοιάζουν με τις δοκούς ως προς τη μορφή τους.

Όταν οι δοκοί είναι ανεστραμμένες, όταν δηλαδή οι νευρώσεις τους εξέχουν πάνω από την πλάκα, υπάρχουν για την κατασκευή των ξυλοτύπων δύο λύσεις. Ή διαστρώνουμε πρώτα την πλάκα και καλουπώνουμε μετά τις δοκούς, σαν να ήταν χαμηλά τοιχώματα, ή καλουπώνουμε από την αρχή τις δοκούς και διαστρώνουμε το σκυρόδεμα χωρίς διακοπή.



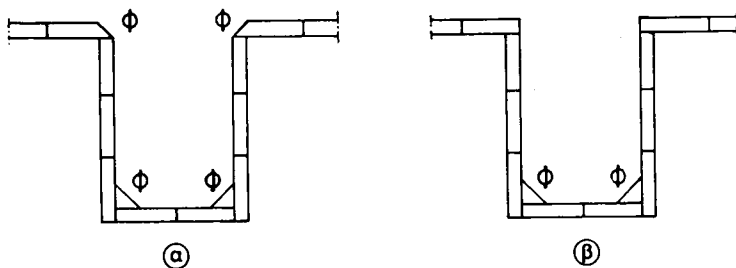
Σχ. 16.3ε.

Ο ξυλότυπος της δοκού στηρίζεται και σε κομμάτια σανίδων (κλάπες), που καρφώνονται στο νωπό σκυρόδεμα του υποστυλώματος.



Σχ. 16.3ζ.

Τα ακραία πλαϊνά των ξυλοτύπων των δοκών στερεώνονται και με σύρμα.



Σχ. 16.3η.

Φαλτσογωνιές Φ δοκών: α) Ιδανική λύση. β) Συνηθισμένη λύση.

Στη δεύτερη περίπτωση είναι αναπόφευκτο ότι ορισμένα ξύλα θα περιβάλλονται από σκυρόδεμα (σχ. 16.3θ). Όταν τα ξύλα αυτά αφαιρεθούν, αφήνουν τρύπες οι οποίες είναι ασθενή σημεία της κατασκευής, ιδίως από την άποψη της στεγανότητας του σκυροδέματος. Οι τρύπες αυτές πρέπει να είναι κατά το δυνατόν λιγότερες και να κλείνονται με μεγάλη επιμέλεια.

Γ. Τύποι για πλάκες.

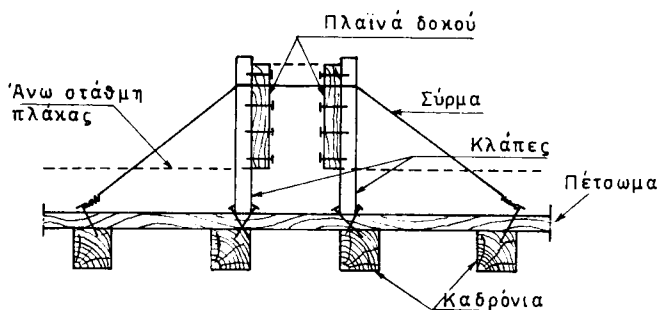
Οι ξυλότυποι των πλακών αποτελούνται από ένα απλό **σανίδωμα** (πέτσωμα), που καρφώνεται απ' ευθείας στη σχάρα των καδρονίων, που βρίσκεται στο ανώτερο μέρος των ικριωμάτων. Οι σανίδες τοποθετούνται κάθετα προς την άνω στρώση των καδρονίων της σχάρας αυτής.

Στην περίμετρο των πλακών τοποθετούνται όρθιες σανίδες (κούτελα). Οι σανίδες αυτές στηρίζονται εξωτερικά με κλάπες, που συνδέονται με τα καδρόνια των ικριωμάτων. Εσωτερικά δένονται με το κυρίως σανίδωμα με σύρμα, το οποίο τελικά παραμένει μέσα στο σκυρόδεμα (σχ. 16.3ι).

Παρόμοια κατασκευή εφαρμόζεται και για τους ξυλότυπους των θόλων, των κελυφών κλπ. Όταν οι επιφάνειες των στοιχείων αυτών είναι ευθειογενείς (κύλινδρος, κώνος, υπερβολικό παραβολοειδές, μονόχωνο, υπερβολοειδές κλπ.), οι σανίδες ακολουθούν πάντοτε τη διεύθυνση των γενετειρών (σχ. 16.3κ). Βέβαια, κάτω από το σανίδωμα δεν μπορούν να τοποθετηθούν απλά καδρόνια, αλλά ξύλινες κατασκευές (στεφάνες, ζευκτά), των οποίων το πάνω μέρος το διαμορφώνουμε, όπως επιθυμούμε.

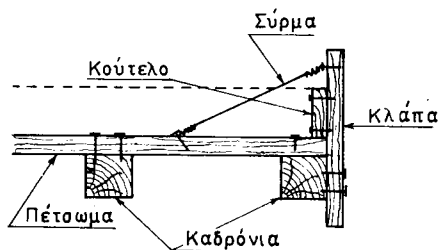
Όταν η επιφάνεια δεν είναι ευθειογενής, δεν χρησιμοποιούνται σανίδες, οι οποίες έχουν πάχος 2,5 cm, αλλά **πέταυρα** (σκουρέτα), τα οποία έχουν πάχος μόνο 1,5 cm, και, όπως είναι εύκαμπτα, προσαρμόζονται εύκολα στην καμπυλότητα της επιφάνειας. Εννοείται ότι τα καδρόνια, ή γενικότερα τα στηρίγματα, στην περίπτωση αυτή πρέπει να τοποθετούνται πυκνότερα, για να μην κινδυνεύουν να σπάσουν τα σκουρέτα.

Καμιά φορά η επιφάνεια των ξυλοτύπων κατασκευάζεται τεθλασμένη αντί καμπύλη για μεγαλύτερη ευκολία. Τότε το σκυρόδεμα μπορεί να διαστρωθεί ή απ' ευθείας, οπότε αποκτάει και αυτό τε-



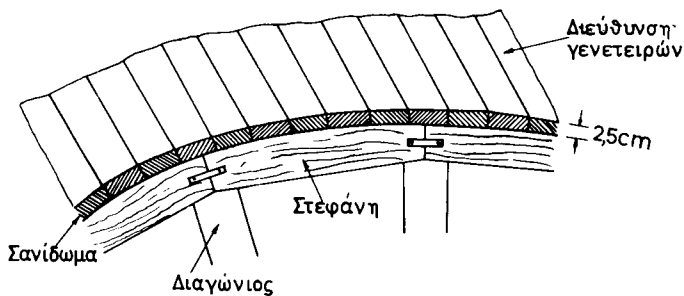
Σχ. 16.30.

Ξυλότυπος ανεστραμμένης δοκού.



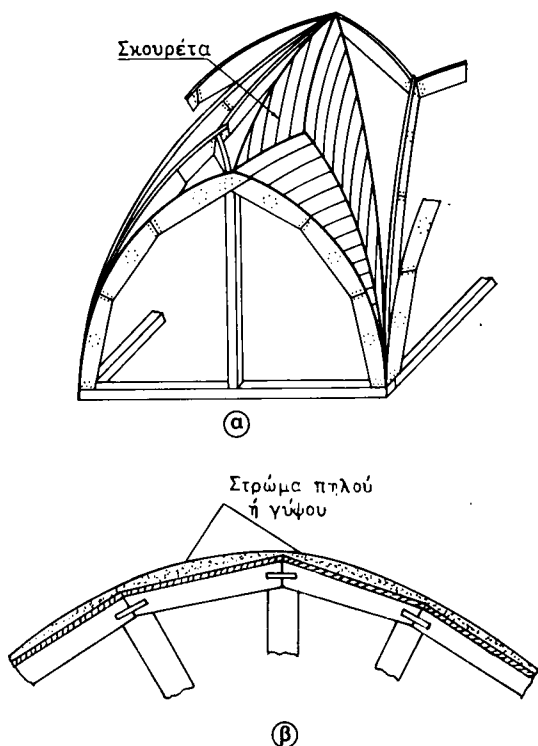
Σχ. 16.31.

Οι εξωτερικές κατακόρυφες επιφάνειες (κούτελα) των ξυλοτύπων των πλακών στερεώνονται και με σύρμα.



Σχ. 16.3κ.

Ξυλότυπος κελύφους με μορφή κυλίνδρου.



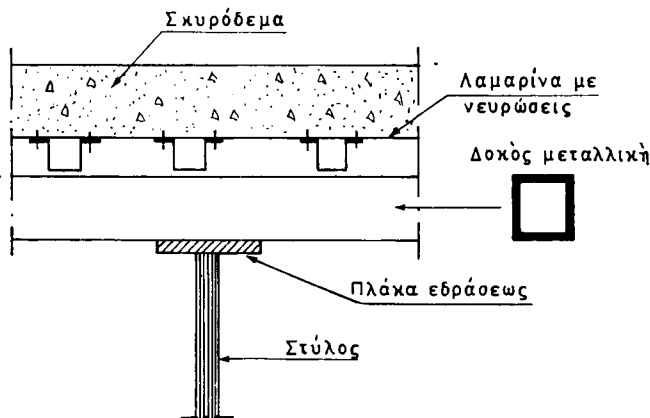
Σχ. 16.3λ.

Ξυλότυποι κελυφών με διπλή καμπυλότητα: α) Με εύκαμπτα σκουρέτα. β) Με κοινές σανίδες (τάβλες) και στρώμα πηλού ή γύψου.

Θλασμένη επιφάνεια, που τελειοποιείται κατά την κατασκευή του επιχρίσματος, ή αφού καλυφθεί ο ξυλότυπος με ένα στρώμα από πηλό ή γύψο, το οποίο του δίνει την ακριβή γεωμετρική μορφή του (σχ. 16.3λ).

16.4 Τύποι από άλλα υλικά.

Όσα αναφέρθηκαν έως εδώ, αφορούν κυρίως τους ξυλοτύπους, δηλαδή τους ξύλινους τύπους. Όταν χρησιμοποιούνται άλλα υλικά, εφαρμόζονται σε γενικές γραμμές οι ίδιες αρχές. Ειδικότερα για τους μεταλλικούς τύπους (σχ. 16.4α), που συνήθως είναι τυποποιημένα βιομηχανικά προϊόντα, πρέπει να εφαρμόζονται οι προδιαγραφές του κατασκευαστή.



Σχ. 16.4α.

Μεταλλικός τύπος (καλούπι) για πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

16.5 Αφαίρεση τύπων.

Το σκυρόδεμα πήζει, όπως είναι ήδη γνωστό, μέσα σε λίγες ώρες. Επομένως, εάν οι τύποι (καλούπια) αφαιρεθούν ακόμη και την ίδια ημέρα, που διαστρώνεται, δεν υπάρχει κίνδυνος να χάσει το σκυρόδεμα το σχήμα, που έχει αποκτήσει. Εν τούτοις η αφαίρεση των τύπων, πριν περάσει η κατάλληλη προσθεσμία, είναι πάρα πολύ επικίνδυνη. Αυτό συμβαίνει, επειδή η πήξη μεν συντελείται γρήγορα, η σκλήρυνση όμως του σκυροδέματος συντελείται με πολύ αργότερο ρυθμό.

Όταν αφαιρεθούν οι τύποι, οι νωπές ακόμη κατασκευές από σκυρόδεμα αναγκάζονται να υποστούν μια εντατική κατάσταση, που την προκαλεί το ίδιο βάρος τους. Το ίδιο βάρος συνήθως αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό των φορτίων λειτουργίας. Ακόμη σοβαρότερη είναι η περίπτωση στις πολυώροφες κατασκευές. Εκεί ο ένας όροφος φέρει μέσω των ικριωμάτων, εκτός από το ίδιο βάρος του, και το βάρος του υπερκείμενου ορόφου, όταν διαστρωθεί και αυτός, πράγμα που δεν συμβαίνει κατά τη λειτουργία του έργου. Υπάρχει έτσι η εξής πιθανότητα: η εντατική κατάσταση σε μια ημιτελή κατασκευή, από την οποία έχουν αφαιρεθεί τα καλούπια, όταν διαστρώνεται ο υπερκείμενος όροφος να είναι δυσμενέστερη από την εντατική κατάστασή της με τα πλήρη φορτία λειτουργίας, τα οποία είναι σχετικά μικρά στα συνηθισμένα οικοδομικά έργα.

Για τους λόγους αυτούς πρέπει, όταν αφαιρούνται οι τύποι, το σκυρόδεμα να έχει ήδη αποκτήσει αρκετή αντοχή, ώστε να αναλάβει με ασφάλεια τις τάσεις, που προκαλούνται από τις προσωρινές αυτές εντατικές καταστάσεις. Στην αντίθετη περίπτωση υπάρχει ο κίνδυνος αν όχι να καταρρεύσει όλη η κατασκευή, να υποστεί όμως μόνιμα παραμορφώσεις ή ρήγματα.

Εάν πάντως κατά την αφαίρεση των τύπων παρουσιασθούν ρήγματα ή ακούγονται τριγμοί και άλλοι ύποπτοι θόρυβοι, η αφαίρεση πρέπει να διακόπτεται και να επακολουθεί έλεγχος της μελέτης και των σχεδίων και σύγκριση της κατασκευής με τα σχέδια. Όταν περάσει ένα δεκαήμερο περίπου και αποδειχθεί από τους ελέγχους ότι τα πάντα είναι σωστά, η αφαίρεση επαναλαμβάνεται με ιδιαίτερη προσοχή, κυρίως δε χωρίς να υπάρχουν άνθρωποι κάτω από την κατασκευή.

Οι κανονισμοί προβλέπουν ορισμένες ελάχιστες προθεσμίες για την αφαίρεση των τύπων σε κάθε περίπτωση. Συχνά η αφαίρεση γίνεται, πριν περάσει ο απαιτούμενος χρόνος, για να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ξυλείας των ξυλοτύπων. Η τακτική αυτή είναι παράνομη και επικίνδυνη, γι' αυτό πρέπει να απαγορεύεται αυστηρά από τα υπεύθυνα όργανα του εργοταξίου.

Οι προθεσμίες των κανονισμών σε ημέρες κάτω από κανονικές συνθήκες, είναι αυτές που αναγράφονται στον πίνακα 6. Οι προθεσμίες αυτές πρέπει να αυξάνονται λίγο, όταν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή. Πρέπει επίσης να αυξάνονται, όταν πρόκειται για κατασκευές επικίνδυνες, όπως π.χ. μεγάλους προβόλους, κελύφη με μεγάλα ανοίγματα, στοιχεία με πολύ μικρό πάχος κ.ο.κ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6
Προθεσμίες για την αφαίρεση των τύπων.

α/α	Στοιχείο κατασκευής	Κοινό τσιμέντο	Τσιμέντο υψηλής αντοχής
1	Κατακόρυφα στοιχεία τύπων	3	2
2	Τύποι πλακών ανοίγματος μέχρι 6,50 m	8	5
3	Τύποι πυθμένων δοκών γενικά και πλακών ανοίγματος άνω των 6,50 m	21	10
4	Υποστυλώματα ασφαλείας δοκών και πλακών	35	18

Υποστυλώματα ασφαλείας καλούνται ορισμένα κατακόρυφα στοιχεία των ικριωμάτων τα οποία πρέπει να παραμένουν και μετά την αφαίρεση των τύπων ώστε να μειώνουν τα ανοίγματα των πλακών και δοκών. Για πλάκες με άνοιγμα μέχρι 4,00 m δεν χρειάζονται υποστυλώματα ασφαλείας. Για μεγαλύτερα ανοίγματα αρκεί μία σειρά στο μέσο του ανοίγματος και σε αποστάσεις 5,00 m από το ένα υποστυλώμα στο άλλο. Στους δοκούς με άνοιγμα έως 6,00 m αρκεί ένα υποστυλώμα ασφαλείας στο μέσο και για μεγαλύτερα ανοίγματα δύο, στα τρίτα του ανοίγματος. Στις πολυώροφες κατασκευές τα υποστυλώματα ασφαλείας πρέπει να τοποθετούνται κατά τρόπο ώστε το ένα να βρίσκεται ακριβώς επάνω από το άλλο.

Σύμφωνα προς τον πίνακα 6 η αφαίρεση των τύπων γίνεται κατά φάσεις, που μπορούν να φθάσουν τις τέσσερις, αφού κατά κανόνα κάθε κατασκευή έχει κατακόρυφες έδρες, πλάκες και δοκούς. Η κατασκευή των τύπων πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η αφαίρεσή τους κατά φάσεις με τη σειρά ακριβώς, που προβλέπουν οι κανονισμοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17

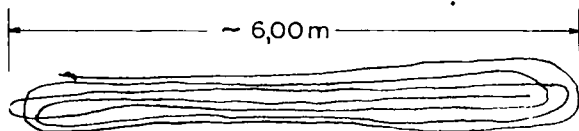
ΣΙΔΕΡΕΝΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

17.1 Γενικά.

Όπως έχει αναφερθεί στις σχετικές παραγράφους ο οπλισμός αποτελείται συνήθως από χαλύβδινες ράβδους με κυκλική διατομή και κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την ποιότητα του χάλυβα. Επειδή ακριβώς υπάρχουν πολλές κατηγορίες, πρέπει πάντοτε να αναγράφεται στα σχέδια η κατηγορία, που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση.

Πριν αρχίσουν οι εργασίες, πρέπει να συντάσσεται μια προμέτρηση του οπλισμού, η οποία να βασίζεται στα σχέδια. Με την προμέτρηση προκύπτουν οι απαιτούμενες ποσότητες, όχι μόνο κατά ποιότητες χάλυβα, αλλά και κατά διαμέτρους ράβδων, ώστε να μπορεί να γίνει η παραγγελία του υλικού.

Οι ράβδοι του οπλισμού υπάρχουν στο εμπόριο με διαφορετικά μήκη. Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα παράγεται κυρίως χάλυβας κατηγορίας I, ο οποίος υπάρχει σε δέματα βάρους 150 έως 180 kg. Επομένως το μήκος της ράβδου, που αποτελεί κάθε δέμα, είναι τόσο μεγαλύτερο όσο η διάμετρος είναι μικρότερη. Για διαμέτρους μέχρι 12 mm οι ράβδοι υπάρχουν στο εμπόριο σε κουλούρες (κυκλική περιέλιξη σιδερένιου οπλισμού) με διάμετρο 70 έως 80 cm. Για ράβδους μεγαλύτερων διαμέτρων η συσκευασία γίνεται σε επιμήκεις δεσμίδες με μήκος 6,00 m περίπου (σχ. 17.1α).



Σχ. 17.1α.

Συσκευασία ράβδων οπλισμού με διάμετρο 14 mm και πάνω, συνηθισμένη στην ελληνική αγορά.

Οι οπλισμοί των άλλων κατηγοριών εισάγονται κυρίως από το εξωτερικό και συσκευάζονται συνήθως σε ευθύγραμμους ή αναδιπλωμένες ράβδους (φουρκέτες). Επομένως το μήκος είναι περιορισμένο το πολύ 14 m. Μόνο για πολύ μικρές διαμέτρους (κάτω των 5,5 mm) είναι δυνατή η συσκευασία σε κουλούρες, αλλά η ευθυγράμμιση των ράβδων αυτών είναι δύσκολη και δαπανηρή.

Στην Ελλάδα, εκτός από την παραγωγή χάλυβα της κατηγορίας I, γίνεται και η εν ψυχρώ κατεργασία των κατηγοριών IIb, IIIb και IVb. Στην τελευταία κατηγορία οι ράβδοι ηλεκτροσυγκολλούνται και συναρμολογούνται σε **δομικά πλέγματα**, τα οποία υπάρχουν έτοιμα στο εμπόριο.

Σε όλες τις πιο πάνω περιπτώσεις η μεταφορά του οπλισμού δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες και μπορεί να γίνει με οποιοδήποτε μεταφορικό μέσο. Επίσης δεν απαιτούνται ιδιαίτερα προστατευτικά μέτρα, έως ότου χρησιμοποιηθεί ο οπλισμός εκτός εάν μεσολαβήσει μακροχρόνιο διάστημα. Τότε ο οπλισμός πρέπει να αποθηκεύεται σε ξηρό χώρο και κάτω από στέγη, για να προστατεύεται από την οξειδωση.

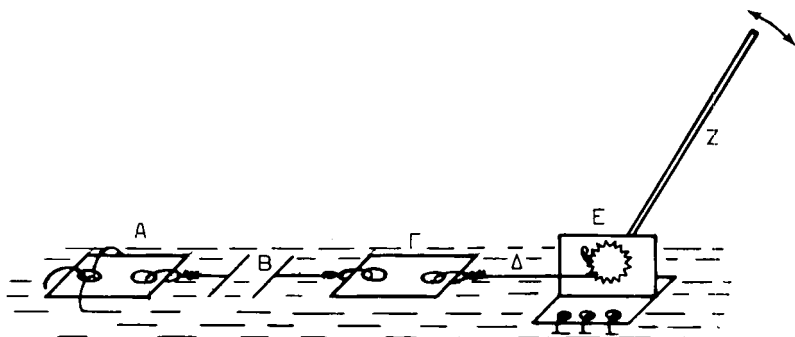
Η ύπαρξη ελαφράς σκουριάς στην επιφάνεια του οπλισμού, εάν δεν προχωρεί σε βάθος, δεν είναι επικίνδυνη. Επίσης η σκουριά πρέπει να είναι καλά προσκολλημένη επάνω στο σίδηρο και να μη σχηματίζει στρώμα, που να αποκολλάται εύκολα. Εάν συμβαίνει το αντίθετο, η σκουριά πρέπει να αφαιρείται με σφυρηλάτηση ή με τριβή με γυαλόχαρτο.

17.2 Κατεργασία του οπλισμού.

A. Ευθυγράμμιση του οπλισμού.

Αφού τον πάρουμε και τον μεταφέρουμε στο εργοτάξιο, ο οπλισμός, εφ' όσον δεν είναι από την αρχή ευθύγραμμος, πρέπει να ευθυγραμμισθεί, πριν χρησιμοποιηθεί. Η ευθυγράμμιση των λεπτότερων ράβδων, που μεταφέρονται σε κουλούρες, γίνεται ως εξής:

Ο οπλισμός κόβεται σε ίσα κομμάτια, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος (30 έως 50 m). Τα δύο άκρα του κάθε τεμαχίου B προσδένονται σε δύο χαλύβδινες διάτρητες πλάκες Α και Γ (σχ. 17.2α). Η πρώτη είναι σταθερά αγκυρωμένη, ενώ η άλλη είναι δεμέ-



Σχ. 17.2α.

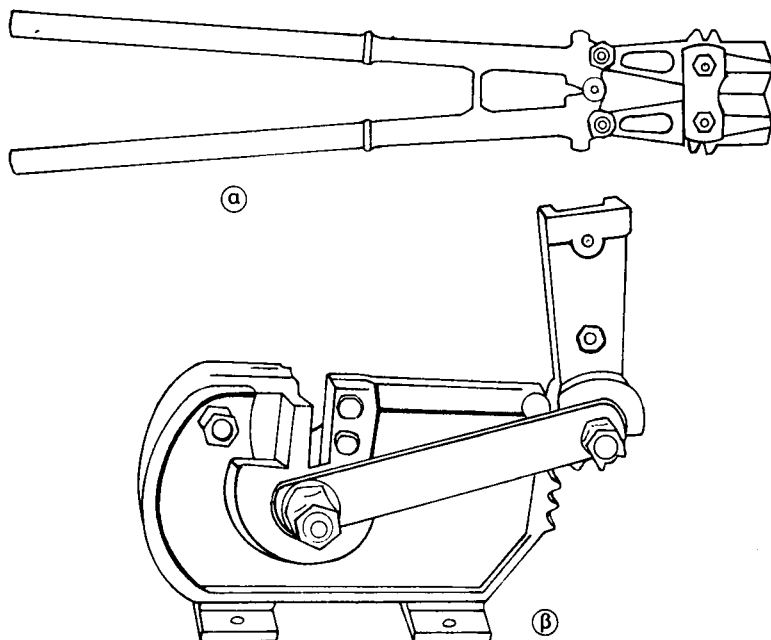
Διάταξη για την ευθυγράμμιση του οπλισμού: Α = πλάκα μεταλλική αγκυρωμένη στο έδαφος. Β = ράβδος για ευθυγράμμιση. Γ = κινητή μεταλλική πλάκα. Δ = συρματόσχοινο. Ε = βαρούλκο για την περιέλιξη του συρματόσχοινου με οδοντωτό τροχό και κασάνιες. Ζ = χειρολαβή χειρισμού για παλινδρομική κίνηση.

νη στο άκρο ενός συρματόσχοινου Δ. Το συρματόσχοινο τυλίγεται γύρω από το τύμπανο ενός βαρούλκου Ε, το οποίο στρέφεται με τη βοήθεια ενός μοχλού Ζ και μιας κασάνιες (οδοντωτό σύστημα συγκρατήσεως της περιστροφής άξονα). Όσο το συρματόσχοινο τυλίγεται, ο οπλισμός τεντώνεται και ευθυγραμμίζεται. Το τέντωμα προκαλεί στον οπλισμό τάσεις εφελκυσμού, που όταν υπερβούν ένα ορισμένο όριο, προκαλούν μόνιμες παραμορφώσεις. Γι' αυτό το λόγο, όταν οι ράβδοι ελευθερωθούν, παραμένουν ευθύγραμμες. Το τύλιγμα του συρματόσχοινου πρέπει να συνεχίζεται μόνο, όσο χρειάζεται για την ευθυγράμμιση, χωρίς να προκαλεί και αισθητή επιμήκυνση των ράβδων.

Όταν οι ράβδοι του οπλισμού έχουν μεγαλύτερη διάμετρο η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, επειδή απαιτούνται τεράστιες δυνάμεις. Οι ράβδοι αυτές ευθυγραμμίζονται με τη βοήθεια του μοχλού (κλειδιού), ο οποίος χρησιμοποιείται και για τη διαμόρφωση του οπλισμού (σχ. 17.2λ).

Β. Κοπή του οπλισμού.

Μετά την ευθυγράμμιση του ο οπλισμός κόβεται στα μήκη που θέλουμε. Η κοπή γίνεται με ειδικά ψαλίδια (σχ. 17.2β), εκτός εάν η



Σχ. 17.2β.

Ψαλίδια για την κοπή ράβδων οπλισμού: α) Για μικρές διαμέτρους. β) Για μεγάλες διαμέτρους.

διάμετρος είναι πολύ μεγάλη, οπότε χρησιμοποιείται κοπίδι και βαριά.

Τα σημεία, στα οποία πρέπει να κοπεί κάθε ράβδος σημειώνονται με κιμωλία (τεμπεσίρι). Η σήμανση αυτή είναι πολύ απλή, όταν ο οπλισμός αποτελείται από κομμάτια μεγάλου μήκους. Αντίθετα γίνεται πολύ δύσκολη, όταν τα κομμάτια είναι μικρού μήκους. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να μελετηθούν με πολλή προσοχή οι δυνατόι συνδυασμοί, ώστε να περισσεύουν όσο το δυνατόν λιγότερα και μικρότερα άχρηστα κομμάτια (ρετάλια). Εάν ληφθεί υπόψη, ότι ο χαλύβδινος οπλισμός είναι ένα από τα ακριβότερα δομικά υλικά, γίνεται αμέσως φανερό πόσο πρέπει να αποφεύγεται κάθε σπατάλη.

Γ. Κατάλογοι οπλισμού.

Η κοπή και η κατεργασία του οπλισμού πρέπει να γίνεται με βάση τους **καταλόγους οπλισμού**, οι οποίοι συντάσσονται σύμφωνα με τη στατική μελέτη και τα κατασκευαστικά σχέδια. Οι κατάλογοι πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον τις εξής στήλες:

α) Αύξων αριθμός ράβδου ή ομάδας ομοίων ράβδων, στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες από μία όμοιες ράβδοι.

β) Σκαρίφημα της ράβδου.

γ) Διάμετρος ($\varnothing$).

δ) Πλήθος ομοίων ράβδων.

ε) Μήκος κάθε ράβδου.

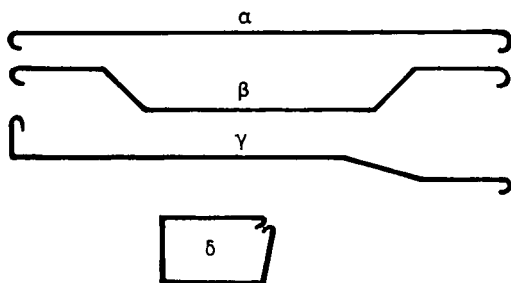
ζ) Συνολικό μήκος ομοίων ράβδων.

Στο σκαρίφημα της ράβδου, που δεν είναι απαραίτητο να είναι με κλίμακα, πρέπει να αναγράφονται όλα τα επί μέρους μήκη, ώστε το άθροισμά τους να δίνει το συνολικό μήκος της ράβδου, που αναγράφεται στην κατάλληλη στήλη του καταλόγου.

Γενικά οι ράβδοι έχουν μορφή ευθύγραμμη ή τεθλασμένη και πολύ σπανιότερα καμπύλη. Σε όλες τις περιπτώσεις οι ελληνικοί κανονισμοί όπως και οι γερμανικοί, απαιτούν οι ράβδοι να καταλήγουν στα δύο τους άκρα σε άγκιστρα. Οι αμερικανικοί, οι γαλλικοί και οι αγγλικοί κανονισμοί επιβάλλουν τα άγκιστρα μόνο σε λίγες περιπτώσεις.

Από τις μορφές των τεθλασμένων ράβδων η πιο συνηθισμένη είναι η β του σχήματος 17.2γ, που χρησιμοποιείται σε πλάκες και δοκούς, η μορφή γ του ίδιου σχήματος, που χρησιμοποιείται σε στύλους καθώς και η μορφή δ, που χρησιμοποιείται σε δοκούς και σε στύλους.

Οι κατάλογοι οπλισμού, εάν συμπληρωθούν με ορισμένες ακόμη στήλες, μπορούν να περιλάβουν και την προμέτρηση ή την επιμέτρηση του οπλισμού (σχ. 17.2δ).



Σχ. 17.2γ.

Συνηθισμένες μορφές ράβδων οπλισμού.

Για τη σύνταξη των καταλόγων οπλισμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μερικές διατάξεις των κανονισμών, που καθορίζουν τα μήκη ορισμένων τμημάτων των ράβδων είτε άμεσα είτε έμμεσα. Οι κυριότερες από τις διατάξεις αυτές αναφέρονται στην επικάλυψη του οπλισμού, τις αποστάσεις μεταξύ των ράβδων και την κατασκευή των αγκίστρων.

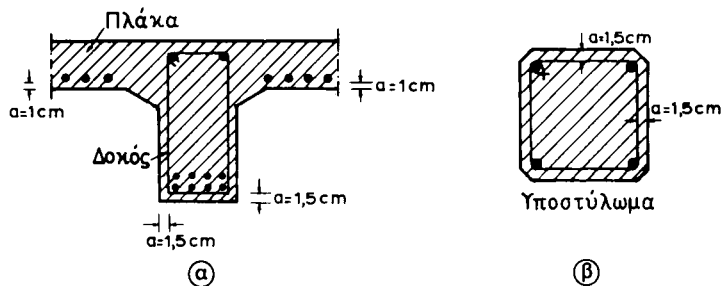
Ως προς την επικάλυψη του οπλισμού οι κανονισμοί επιβάλλουν να μεσολαβεί μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του σκυροδέματος και του πιο κοντινού σημείου οποιασδήποτε ράβδου του οπλισμού τουλάχιστον μία απόσταση a . Το a αυτό είναι ίσον με 1 cm, εάν πρόκειται για πλάκες, κελύφη ή παρόμοια στοιχεία και με 1,5 cm για τις υπόλοιπες κατασκευές από σκυρόδεμα (σχ. 17.2ε). Οι επικάλυψεις αυτές ισχύουν για κλειστούς χώρους. Στο ύπαιθρο οι τιμές του a αυξάνονται κατά 0,5 cm. Επίσης, εάν το στοιχείο της κατασκευής βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος ή με το νερό ή εάν υπόκειται σε επικίνδυνες χημικές αντιδράσεις, το πάχος a της επικάλυψης πρέπει να αυξάνεται σε 4 έως 5 cm.

Η ελεύθερη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών παραλλήλων ράβδων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση προς τη διάμετρο της μεγαλύτερης και πάντως όχι μικρότερη από 20 mm. Ο όρος αυτός καθορίζει, εάν χωρούν σε κάθε περίπτωση όλες οι ράβδοι του οπλισμού ή μια κοντά στην άλλη ή εάν πρέπει να διαταχθούν σε δύο ή περισσότερες στρώσεις (σχ. 17.2ζ).

Οι ράβδοι του οπλισμού καταλήγουν γενικά σε άγκιστρα. Το μήκος ενός αγκίστρου είναι περίπου 8 d, όπου d είναι η διάμετρος της ράβδου. Το άγκιστρο αποτελείται από ένα ημικύκλιο (σχ. 17.2η) με εσωτερική διάμετρο 2,5 d και ένα ευθύγραμμο τμήμα με μήκος επίσης 2,5 d περίπου. Έτσι το συνολικό μήκος του αγκίστρου είναι:

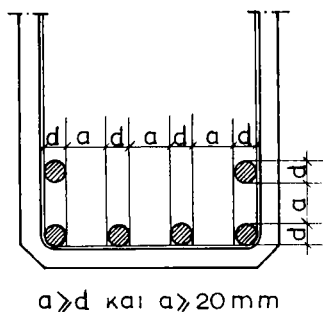
$$l = \frac{\pi}{2} (2,5 + 1,0) d + 2,5 d \approx 5,5 d + 2,5 d = 8 d$$

Όπου αλλού απαιτείται κάμψη του οπλισμού, δεν πρέπει να δημιουργούνται γωνίες, αλλά να διαμορφώνονται καμπύλες με εσωτερική ακτίνα 10 d και σε ορισμένες δύσκολες περιπτώσεις 15 d. Ο περιορισμός αυτός έχει ιδιαίτερη σημασία για τους χάλυβες των κατηγοριών II, III και IV, όπου μάλιστα οι προμηθευτές είναι δυνατόν να προδιαγράψουν και ακτίνες ακόμη μεγαλύτερες (σχ. 17.2θ).



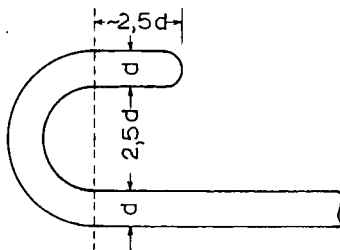
Σχ. 17.2ε.

Πάχος επικάλυψης οπλισμού σκυροδέματος: α) Σε πλάκες και δοκούς. β) Σε υποστυλώματα.



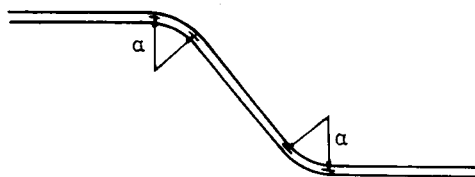
Σχ. 17.2ζ.

Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ ράβδων οπλισμού.



Σχ. 17.2η.

Διαστάσεις αγκίστρων των ράβδων οπλισμού.



Σχ. 17.2θ.

Στις γωνίες του οπλισμού η ακτίνα a πρέπει να είναι ίση με 10 έως 15 d .

Δ. Διαμόρφωση του οπλισμού.

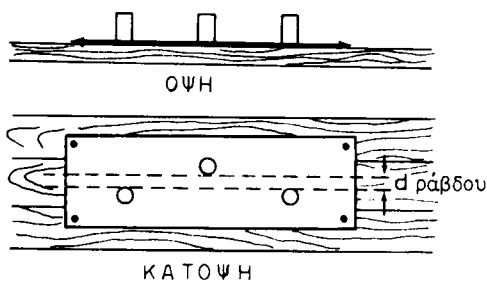
Η διαμόρφωση του οπλισμού, για να αποκτήσει το σχήμα, που προβλέπεται στον κατάλογο, γίνεται συνήθως επάνω σε ένα ξύλινο τραπέζι (πάγκος), που στήνεται ειδικά για το σκοπό αυτό. Ο πάγκος έχει μήκος 4 έως 5 m, ώστε να χωρούν οι ράβδοι του οπλισμού, τουλάχιστον κατά το μεγαλύτερο μέρος του μήκους τους. Στο άκρο του πάγκου καρφώνεται μία χαλύβδινη πλάκα, επάνω στην οποία είναι συγκολλημένοι δύο ή τρεις μικροί χαλύβδινοι κύλινδροι με τον άξονά τους κατακόρυφο. Εάν υπάρχουν τρεις κύλινδροι, αυτοί δεν βρίσκονται επάνω στην ίδια ευθεία (σχ. 17.2ι), αλλά ο μεσαίος απέχει από την ευθεία, που ορίζουν οι δύο άλλοι. Με αυτόν τον τρόπο, όταν μια ράβδος τοποθετηθεί επάνω στην πλάκα, ο μεσαίος κύλινδρος βρίσκεται από το ένα μέρος και οι δύο ακραίοι από το άλλο. Υπάρχουν συνήθως δύο - τρεις πλάκες με κατάλληλες αποστάσεις των κυλίνδρων για τις διάφορες διαμέτρους οπλισμού.

Όταν η ράβδος του οπλισμού τοποθετηθεί μεταξύ των κυλίνδρων της πλάκας, ο μεσαίος ή ένας από τους ακραίους κυλίνδρους παίζει το ρόλο άξονα (υπομοχλίου), γύρω από τον οποίο μπορεί να στραφεί το ένα άκρο της ράβδου (σχ. 17.2κ). Η στροφή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός χαλύβδινου μοχλού (κλειδιού), που έχει στην κεφαλή του δύο - τρεις εγκοπές με διαφορετικό πλάτος (σχ. 17.2λ).

Η ράβδος συγκρατείται με την κατάλληλη για τη διάμετρό της εγκοπή του μοχλού και κάμπτεται γύρω από τον κύλινδρο της χαλύβδινης πλάκας.

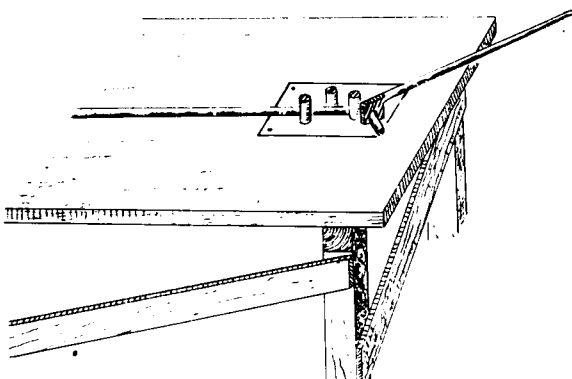
Με τον τρόπο αυτό, κάθε ράβδος ευθυγραμμίζεται, εάν δεν είναι εξ' αρχής ευθύγραμμη, και στη συνέχεια αποκτάει το σχήμα, που υποδεικνύει ο κατάλογος.

Όταν οι ράβδοι έχουν μικρή διάμετρο, η διαμόρφωσή τους μπορεί να γίνει και μετά την τοποθέτησή τους στην τελική τους θέση. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως για τις ράβδους των πλακών, όταν η διάμετρός τους δεν υπερβαίνει τα 10 ή το πολύ τα 12 mm. Οι ράβδοι αυτές συνήθως παρουσιάζουν δύο αμβλείες γωνίες με αντίθετη φορά σε μικρή απόσταση τη μια από την άλλη [σχ. 17.2μ (α)]. Για τη διαμόρφωση των γωνιών αυτών χρησιμοποιείται ειδικός μοχλός (διχάλα) κατασκευασμένος από μία ράβδο οπλισμού διαμέτρου 14 έως 16 mm.



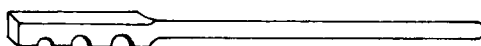
Σχ. 17.2ι.

Σταθερό εργαλείο για τη διαμόρφωση των ράβδων οπλισμού.



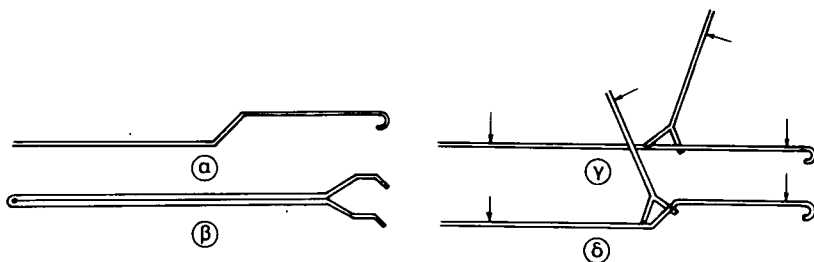
Σχ. 17.2κ.

Διαμόρφωση ράβδου οπλισμού.



Σχ. 17.2λ.

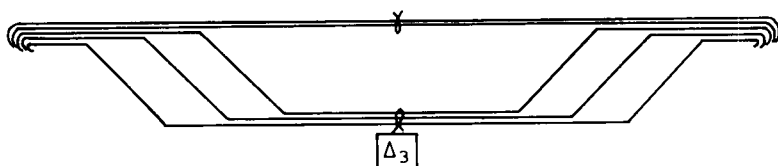
Κλειδί για τη διαμόρφωση των ράβδων οπλισμού.



Σχ. 17.2μ.

Διαμόρφωση λεπτών ράβδων οπλισμού επί τόπου: α) Επιθυμητή μορφή ράβδου.

β) Κλειδί (εργαλείο). γ) Τοποθέτηση κλειδιού. δ) Διαμόρφωση ράβδου.



Σχ. 17.2v.

Δεσμίδα με τον οπλισμό δοκού, έτοιμη να μεταφερθεί στη θέση, όπου θα τοποθετηθεί.

Ο κορμός του μοχλού σχηματίζεται με αναδίπλωση της ράβδου έτσι ώστε τα δύο μισά να βρίσκονται σε επαφή. Τα δύο άκρα κάμπτονται, ώστε να σχηματίζουν μια διχάλα και οι κεφαλές τους κάμπτονται πάλι, ώστε να είναι κάθετες προς το επίπεδο της διχάλας [σχ. 17.2μ (β)].

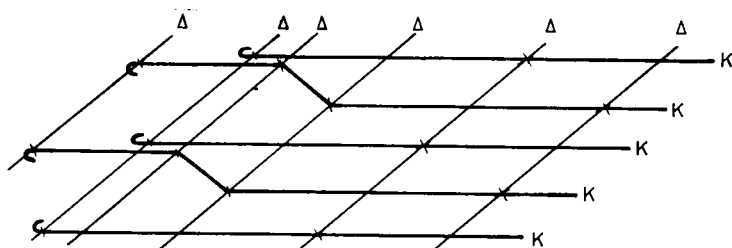
Ο τεχνίτης τοποθετεί τη μια κεφαλή κάτω και την άλλη επάνω από τη ράβδο [σχ. 17.2μ (γ)] και, ενώ πατάει ελαφρά τα δύο τμήματα της ράβδου από τις δύο πλευρές του μοχλού, την κάμπτει, έως ότου αυτή πάρει το επιθυμητό σχήμα [σχ. 17.2μ (δ)]. Συνήθως υπάρχουν στο εργοτάξιο δύο - τρεις μοχλοί αυτού του είδους με διαφορετικά ανοίγματα διχάλας.

Μετά τη διαμόρφωσή τους οι ράβδοι του οπλισμού δένονται σε δέματα, που το καθένα αντιστοιχεί σε ένα στοιχείο της κατασκευής. Συνήθως προσδένεται επάνω στο δέμα μια μικρή πινακίδα από ξύλο, χαρτόνι ή λαμαρίνα, στην οποία αναγράφονται τα χαρακτηριστικά του στοιχείου, για το οποίο προορίζεται ο οπλισμός (σχ. 17.2v).

17.3 Τοποθέτηση και στερέωση του οπλισμού.

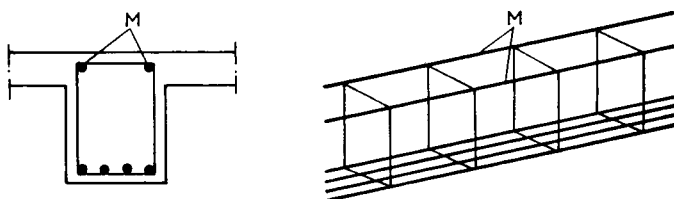
Όταν συμπληρωθεί η κατασκευή των ξυλοτύπων (καλουπιών) και η διαμόρφωση του οπλισμού, αρχίζει η τοποθέτησή του στην οριστική του θέση. Η τοποθέτηση γίνεται σύμφωνα με τον κατάλογο οπλισμού και τα σχέδια κατασκευής.

Ο οπλισμός διακρίνεται σε κύριο οπλισμός αντοχής και σε δευτερεύοντα. Σε μια πλάκα π.χ. (σχ. 17.3α) ο κύριος οπλισμός τοποθετείται κατά τη μία διεύθυνση και ο δευτερεύων κατά την άλλη. Ο δευτερεύων οπλισμός είναι και αυτός απαραίτητος για την αντοχή και προβλέπεται από τους κανονισμούς, πρέπει επομένως πάντοτε να τοποθετείται και να δίνεται σε αυτόν η ίδια σημασία, που δίνεται και στον οπλισμό αντοχής.



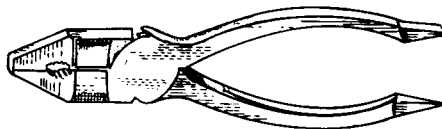
Σχ. 17.3α.

Οπλισμός πλάκας: K = κύριος. Δ = δευτερεύων.



Σχ. 17.3β.

Οπλισμός δοκού: M = οπλισμός συναρμολογήσεως (montage).



Σχ. 17.3γ.

Λαβίδα (πένσα) για το δέσιμο και το κόψιμο των συρμάτων, που στερεώνουν τον οπλισμό στη θέση του.

Επίσης ο δευτερεύων οπλισμός συντελεί, στο να συνδέονται μεταξύ τους όλες οι ράβδοι του οπλισμού και να αποτελούν ένα τρισδιάστατο πλέγμα, το οποίο μπορεί να ισορροπεί και να στέκεται στη θέση του, έως ότου διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Για το λόγο αυτό ο δευτερεύων οπλισμός ονομάζεται και **οπλισμός συναρμολογήσεως** (montage) (σχ. 17.3β). Ειδικά για τις πλάκες ονομάζεται και **οπλισμός διανομής**.

Όπου διασταυρώνονται ράβδοι του κυρίου οπλισμού, με ράβδους του δευτερεύοντα, δένονται μεταξύ τους με σύρμα. Χρησιμοποιείται συνήθως μαλακό σύρμα Νο 5. Το δέσιμο και το κόψιμο των συρμάτων γίνεται με τη βοήθεια μιας λαβίδας (πένσας) (σχ. 17.3γ). Δεν είναι απαραίτητο να δένονται οι ράβδοι του οπλισμού

σε όλες τις διασταυρώσεις, δεν επιτρέπεται όμως να παραμένει ράβδος ασύνδετη σε μήκος μεγαλύτερο από 60 έως 80 cm. Ειδικά οι ράβδοι, που είναι δυνατόν κατά τη λειτουργία του έργου να υποκείνται και σε θλιπτικές δυνάμεις, πρέπει να δένονται σε όλες τις διασταυρώσεις.

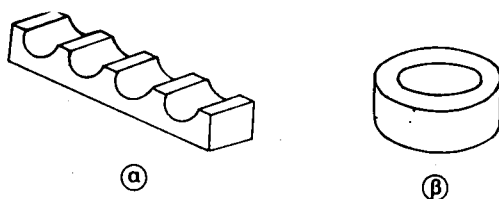
Σε σοβαρότερα έργα η απλή πρόσδεση μπορεί να αντικατασταθεί με ηλεκτροσυγκολήσεις των ράβδων. Η ηλεκτροσυγκόλληση απαγορεύεται στους χάλυβες κατηγορίας IIb και IIIb. Αντίθετα επιβάλλεται στο χάλυβα κατηγορίας IVb, αλλά γίνεται στο εργοστάσιο και ο οπλισμός φθάνει στο εργοτάξιο συναρμολογημένος ήδη σε πλέγματα (δομικό πλέγμα). Στα πλέγματα αυτά δεν επιτρέπεται καμιά κατεργασία, εκτός από το κόψιμό τους, στις κατάλληλες διαστάσεις.

Όταν ο οπλισμός τοποθετηθεί και συναρμολογηθεί εδράζεται (βασίζεται) επάνω στα καλούπια. Επομένως δεν εξασφαλίζεται η επικάλυψη του οπλισμού, που απαιτούν οι κανονισμοί, τουλάχιστον ως προς τις κάτω επιφάνειες των στοιχείων της κατασκευής.

Μια απλή και πρωτόγονη μέθοδος, για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, είναι να ανασκώνεται με τα χέρια ο οπλισμός, μόλις αρχίσει η διάστρωση του σκυροδέματος, ώστε το σκυρόδεμα να περάσει και να στρωθεί και κάτω από αυτόν. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ακόμη γενικά στην Ελλάδα και έχει ως αποτέλεσμα, να φαίνονται σε αρκετά σημεία της κάτω επιφάνειας της κατασκευής πολλές ράβδοι οπλισμού, όταν αφαιρεθούν οι ξυλότυποι (καλούπια). Αντίθετα σε άλλα σημεία, ιδίως στο πάνω μέρος των κατασκευών, οι επικαλύψεις είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες, που προβλέπουν οι κανονισμοί και που έχουν ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς.

Το τελευταίο αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι ο οπλισμός παραμορφώνεται κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος, επειδή κυκλοφορούν επάνω του τα υλικά και το προσωπικό. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να βρίσκεται συνεχώς κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος ένας τεχνίτης (σιδεράς) και να διορθώνει τις βλάβες, που υφίσταται ο οπλισμός.

Η σωστή λύση, για να εξασφαλισθεί η επικάλυψη του οπλισμού είναι να χρησιμοποιηθούν ειδικά στηρίγματα. Τα στηρίγματα αυτά [σχ. 17.3δ (α)] κατασκευάζονται από τσιμεντοκονία και έχουν υπο-



Σχ. 17.38.

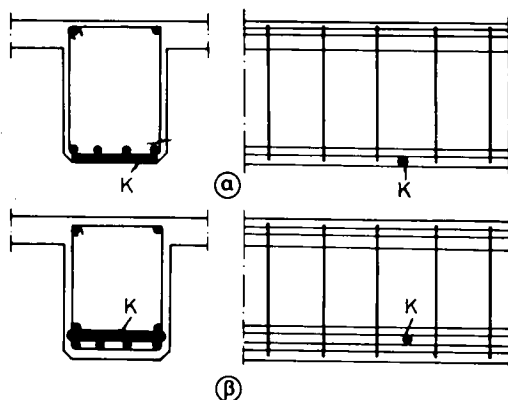
Στηρίγματα οπλισμού από τσιμεντοκονία: α) Για δοκό. β) Για υποστύλωμα.

δοχές για τις ράβδους του οπλισμού. Όταν οι ράβδοι απέχουν πολύ η μία από την άλλη, χρησιμοποιούνται ως στηρίγματα διάτρητοι κύλινδροι από τσιμεντοκονία [σχ. 17.38 (β)]. Οι κύλινδροι αυτοί χρησιμοποιούνται και σε κατακόρυφες ράβδους, για να τις κρατούν στην απόσταση που πρέπει από τους ξυλότυπους. Στις προηγμένες από τεχνικής απόψεως χώρες μπορεί κάποιος να προμηθευθεί στην αγορά τα στηρίγματα και τους κυλίνδρους, όπως προμηθεύεται τα τούβλα ή τα πλακάκια. Προς το παρόν στην Ελλάδα η χρήση τους είναι σχεδόν άγνωστη.

Μια μέση λύση είναι, να τοποθετούνται κάτω από τον οπλισμό σπασμένα τούβλα, κεραμίδια ή πλακάκια με το κατάλληλο πάχος. Τα κομματάκια αυτά πρέπει να έχουν κατάλληλες επιφάνειες, ώστε να εδράζονται με σταθερότητα στο καλούπι και να συγκρατούν τον οπλισμό, χωρίς να του επιτρέπουν να φύγει εύκολα από τη θέση του.

Για τον ίδιο σκοπό επίσης χρησιμοποιούνται μικρά κομμάτια από ράβδους οπλισμού (καβίλιες) με κατάλληλη διάμετρο. Η μέθοδος αυτή είναι απόλυτα λανθασμένη, γιατί αφήνει τελικά ακάλυπτες ορισμένες επιφάνειες χάλυβα με κίνδυνο να υποστούν οξειδωση. Αν οι καβίλιες σκουριάσουν, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μεταδοθεί η οξειδωση και στις ράβδους του οπλισμού, που εφάπτονται με αυτές. Επομένως δεν επιτυγχάνεται ο σκοπός της επικάλυψης [σχ. 17.3ε (α)].

Αντίθετα καβίλιες πρέπει να χρησιμοποιούνται, όπου ο οπλισμός τοποθετείται σε δύο στρώσεις, οπότε τοποθετούνται μεταξύ των στρώσεων για να διατηρείται η απόσταση, που προβλέπουν οι κανονισμοί [σχ. 17.3ε (β)].



Σχ. 17.3ε.

Χαλύβδινοι άξονες (καβίλιες) για τη διατήρηση του οπλισμού στη σωστή του θέση:
α) Κακή χρήση. β) Σωστή χρήση.

17.4 Ενώσεις οπλισμού.

Μερικές φορές οι ράβδοι του οπλισμού πρέπει να έχουν τόσο μεγάλο μήκος, ώστε δεν είναι δυνατόν να κατασκευασθούν από ένα ενιαίο κομμάτι. Αυτό κυρίως συμβαίνει, όταν τα ανοίγματα των πλακών και των δοκών είναι πολύ μεγάλα.

Καλό είναι να αποφεύγεται η διακοπή των ράβδων του οπλισμού. Όταν όμως δεν είναι δυνατόν να γίνει διαφορετικά, δεν πρέπει να διακόπτεται στην ίδια θέση περισσότερο από το 1/5 του εφελκυσμένου οπλισμού. Εάν ο οπλισμός είναι θλιβόμενος, οι περιορισμοί μπορούν να τηρούνται με πολύ μεγαλύτερη ελαστικότητα.

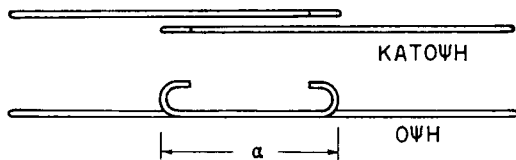
Η ένωση των δύο κομματιών μιας ράβδου οπλισμού είναι δυνατόν να γίνει με τρεις τρόπους:

- α) Με απλή παράθεση.
- β) Με αρμοκλείδες.
- γ) Με ηλεκτροσυγκόλληση.

Στην πρώτη περίπτωση τα δύο κομμάτια καταλήγουν σε άγκιστρα και τοποθετούνται έτσι, ώστε να συνυπάρχουν σε ένα μήκος

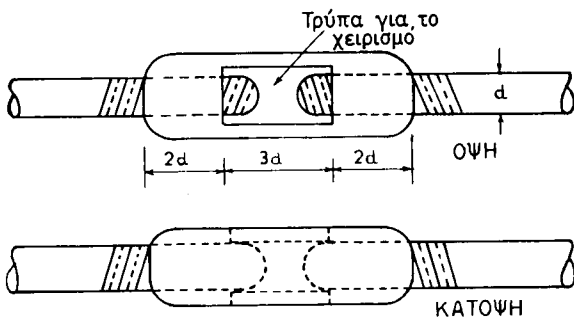
a , που δίνεται από τον τύπο $a = \frac{\sigma_e}{6 \cdot \tau_i} \cdot d$. Στον τύπο αυτό σ_e είναι

η επιτρεπόμενη τάση του οπλισμού σε εφελκυσμό, τ_i η επιτρεπόμενη τάση συνάφειας μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και d η



Σχ. 17.4α.

Κατά μήκος σύνδεση ράβδων οπλισμού με απλή παράθεση.



Σχ. 17.4β.

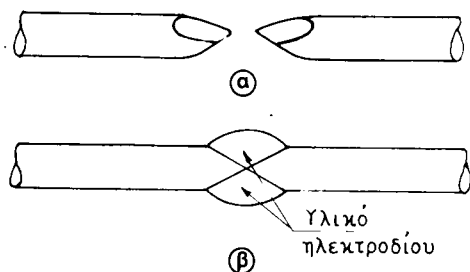
Κατά μήκος σύνδεση ράβδων οπλισμού με αρμοκλείδα.

διάμετρος της ράβδου. Τα μεγέθη σ_e και τ_i καθορίζονται από τους κανονισμούς για κάθε κατηγορία χάλυβα και σκυροδέματος.

Για χάλυβα κατηγορίας I είναι κατά προσέγγιση $a = 60 d$ για σκυρόδεμα B 120, $a = 48 d$ για B 160, $a = 40 d$ για B 225 και $a = 30 d$ για B 300. Το a αυξάνει όσο βελτιώνεται η ποιότητα του χάλυβα και μειώνεται, όσο βελτιώνεται η ποιότητα του σκυροδέματος (σχ. 17.4α). Έτσι για B 225 και χάλυβα κατηγορίας III το a είναι ίσο με $60 d$ για πλάκες και με $55 d$ στις υπόλοιπες περιπτώσεις.

Η ένωση με παράθεση απαγορεύεται σε ράβδους με διάμετρο πάνω από 26 mm, όπως και σε ράβδους ελκυστήρων, αναρτήρων κλπ., δηλαδή στοιχείων που υπόκεινται σε καθαρό εφελκυσμό. Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζεται μία από τις δύο άλλες μεθόδους.

Οι αρμοκλείδες (σχ. 17.4β) κατασκευάζονται από χάλυβα με αντοχή τουλάχιστον ίση με την αντοχή του οπλισμού. Τα δύο άκρα των ράβδων, που πρόκειται να ενωθούν, ελικοτομούνται με βιδολόγο, ώστε η διατομή τους μειώνεται. Για το λόγο αυτό η διατομή της



Σχ. 17.4γ.

Κατά μήκος σύνδεση ράβδων οπλισμού με ηλεκτροσυγκόλληση.

ράβδου υπολογίζεται στη θέση της ενώσεως μειωμένη κατά 20%. Η διατομή της αρμοκλείδας, πρέπει να υπερβαίνει παντού τα 80% της διατομής της ράβδου, ώστε και να μπορούν να μεταβιβάζονται με ασφάλεια οι δυνάμεις από το ένα κομμάτι του οπλισμού στο άλλο. Συνήθως το πιο αδύνατο σημείο είναι στη μέση της αρμοκλείδας εκεί, όπου υπάρχουν τρύπες, για να περνά ο μοχλός, με τον οποίο βιδώνεται στα άκρα των ράβδων.

Η ένωση με ηλεκτροσυγκόλληση στο εργοτάξιο απαγορεύεται στους χάλυβες κατηγορίας IIb, IIIb και IVb. Για τις υπόλοιπες κατηγορίες χάλυβα, όταν γίνεται ηλεκτροσυγκόλληση, τα δύο άκρα των ράβδων διαμορφώνονται σε δύο κώνους ή σε δύο σφήνες [σχ. 17.4γ (α)]. Οι κορυφές των κώνων ή οι ακμές των σφηνών έρχονται σε επαφή και τα κενά συμπληρώνονται με το υλικό των ηλεκτροδίων [σχ. 17.4γ (β)]. Πάλι η διατομή της ράβδου υπολογίζεται μειωμένη κατά 20% στη θέση της συνδέσεως.

Υπάρχουν στους κανονισμούς και άλλες διατάξεις σχετικές με τον οπλισμό του σκυροδέματος, που καθορίζουν π.χ. το μέγιστο και ελάχιστο επιτρεπόμενο οπλισμό σε κάθε περίπτωση, τις μέγιστες αποστάσεις των ράβδων μεταξύ τους, το μέγιστο αριθμό στρώσεων κλπ. Οι διατάξεις αυτές αφορούν περισσότερο στη μελέτη και στη σύνταξη των σχεδίων των συγκεκριμένων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, γι' αυτό εξετάζονται στις σχετικές παραγράφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18

ΠΛΑΚΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

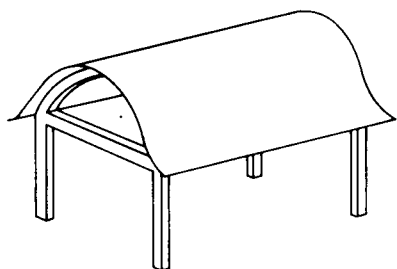
18.1 Γενικά.

Οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν διάφορα σχήματα και εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες. Γενικά όμως αποτελούνται από ορισμένα βασικά στοιχεία, που παρουσιάζουν, το καθένα σε όλες τις περιπτώσεις τα ίδια πάντοτε χαρακτηριστικά. Τέτοια βασικά στοιχεία είναι οι πλάκες, οι δοκοί, τα υποστυλώματα, τα πλαίσια, τα τοιχώματα, τα κελύφη, τα πέδιλα κοκ.

Οι **πλάκες**, που αποτελούν το αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου είναι στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα με μικρό πάχος σε σχέση με τις δύο άλλες διαστάσεις τους. Η ιδιότητα αυτή όμως δεν είναι αρκετή, για να χαρακτηρίσει ένα στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα ως πλάκα, επειδή την ίδια ιδιότητα έχουν και άλλα στοιχεία, όπως π.χ. τα τοιχώματα, τα κελύφη κλπ. Οι πλάκες, εκτός από το γεγονός ότι έχουν μικρό πάχος, είναι επίπεδες, οριζόντιες ή κεκλιμένες και στηρίζονται σε ορισμένες μόνο περιοχές τους επάνω σε άλλα δομικά στοιχεία, είτε από σκυρόδεμα, είτε από άλλο υλικό.

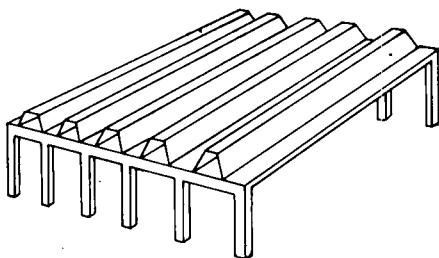
Εάν σε ένα στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα το πάχος είναι πολύ μικρό σε σχέση με τις άλλες δύο διαστάσεις του, αλλά η μέση επιφάνεια είναι καμπύλη, το στοιχείο αυτό δεν ονομάζεται πλάκα αλλά **κέλυφος** (σχ. 18.1α).

Εάν η μέση επιφάνειά του είναι τεθλασμένη, αποτελείται δηλαδή από επίπεδα που τέμνονται, το στοιχείο ονομάζεται **πλακοκέλυφος**, ή **πτυχωτή κατασκευή**, εφ' όσον τα επίπεδα αυτά δεν είναι κατακόρυφα (σχ. 18.1β). Όταν η μέση επιφάνεια του στοιχείου αποτελείται από ένα ή περισσότερα κατακόρυφα επίπεδα το στοιχείο ονομάζεται **τοιχώμα** (σχ. 18.1γ). Τα κελύφη και τα τοιχώματα περιγράφονται εκτενέστερα σε άλλα κεφάλαια.

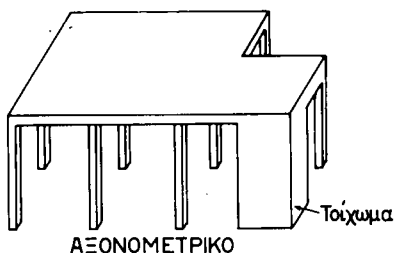


Σχ. 18.1α.

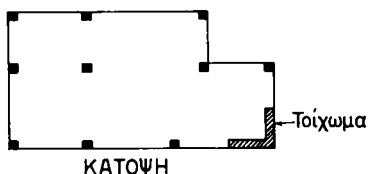
Κέλυφος από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 18.1β.

Πτυχωτή κατασκευή (πλακοκέλυφος)
από οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΑΞΟΝΟΜΕΤΡΙΚΟ



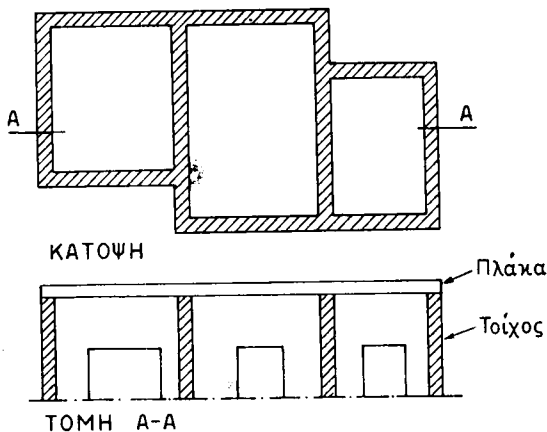
ΚΑΤΩΨΗ

Σχ. 18.1γ.

Τοίχωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

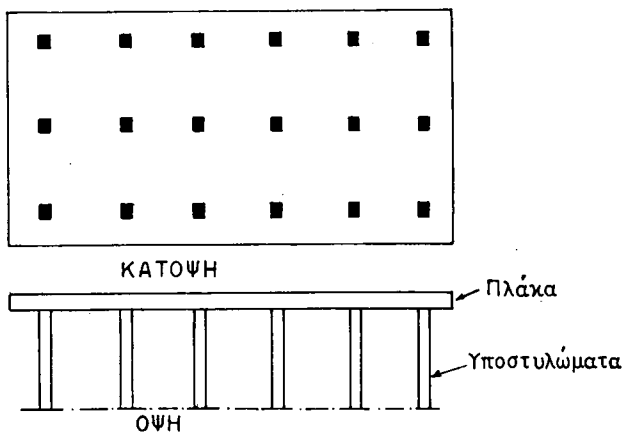
Στην πιο απλή και συνηθισμένη περίπτωση οι πλάκες εδράζονται επάνω σε επιμήκεις συνεχείς στηρίξεις (σχ. 18.1δ). Σπανιότερα η στήριξη γίνεται μόνο σε ορισμένα μεμονωμένα σημεία (σχ. 18.1ε).

Εάν κατά τη μία έννοια οι στηρίξεις βρίσκονται σε απόσταση πολύ μικρότερη, από όσο κατά την άλλη, ο κύριος οπλισμός αντοχής των πλακών τοποθετείται μόνο κάθετα προς τις πυκνές στηρίξεις και οι πλάκες ονομάζονται **πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση** (σχ. 18.1ζ).



Σχ. 18.15.

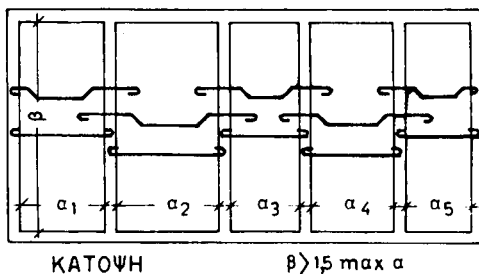
Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με επιμήκεις συνεχείς στηρίξεις.



Σχ. 18.16.

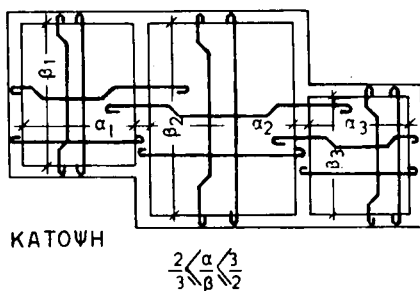
Πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα με στηρίξεις μεμονωμένες, που είναι δυνατόν να εξομοιωθούν με σημεία.

Όταν αντίθετα οι αποστάσεις μεταξύ των συνεχών στηρίξεων είναι περίπου ίσες και κατά τις δύο έννοιες, ο οπλισμός αντοχής τοποθετείται κατά δύο διευθύνσεις (σχ. 18.1η). Οι διευθύνσεις αυτές είναι κάθετες ή σχεδόν κάθετες αντίστοιχα προς τις διευθύνσεις των στηρίξεων και οι πλάκες τότε ονομάζονται **πλάκες οπλισμένες σταυροειδώς**.



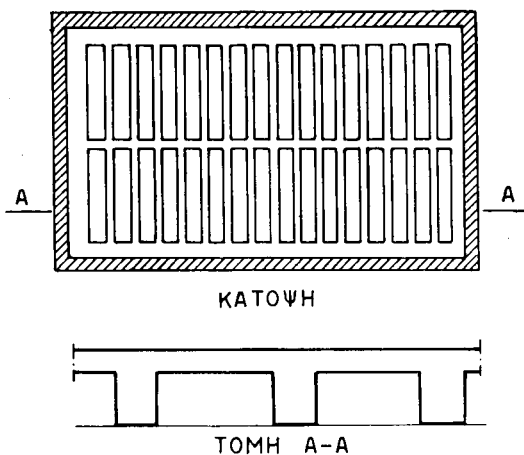
Σχ. 18.1ζ.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με οπλισμό κατά μία διεύθυνση.



Σχ. 18.1η.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με οπλισμό κατά δύο διευθύνσεις (πλάκες οπλισμένες σταυροειδώς).

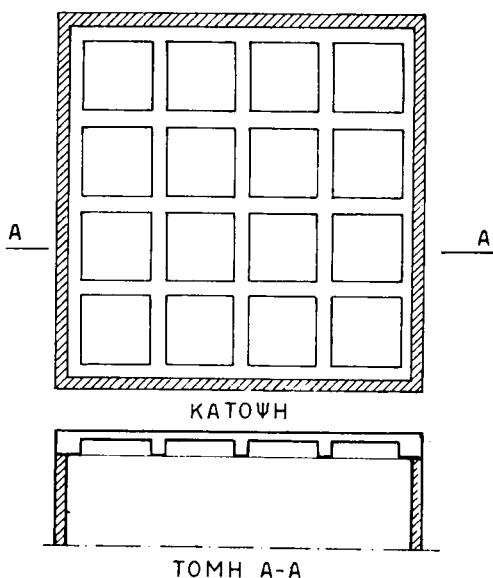


Σχ. 18.1θ.

Πλάκα με νευρώσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα.

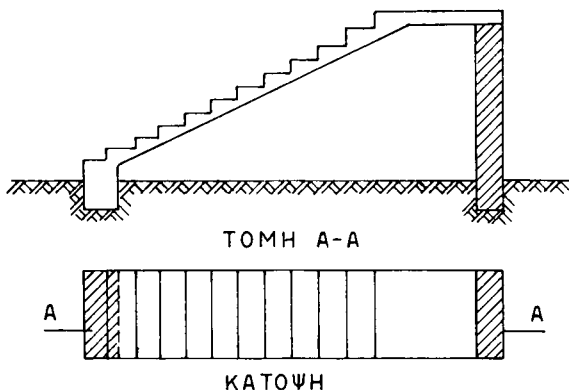
Ο κύριος οπλισμός αντοχής των πλακών τοποθετείται επίσης κατά δύο διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους και όταν η πλάκα στηρίζεται μόνο σε μεμονωμένα σημεία. Οι πλάκες αυτού του είδους καλούνται **μυκητοειδείς ή επίπεδες πλάκες** (σχ. 18.1ε).

Συνήθως οι πλάκες έχουν πάχος σταθερό σε όλη τους την έκταση ή τουλάχιστον σε κάθε τμήμα τους, που περικλείεται μεταξύ των στηρίξεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως οι πλάκες αποτελούνται από παράλληλες λωρίδες με διαφορετικό πάχος. Οι λωρίδες αυτές είναι εναλλάξ μία λωρίδα με μεγάλο πλάτος και μικρό πάχος και μία λωρίδα με μικρό πλάτος και μεγαλύτερο πάχος (σχ. 18.1θ). Οι λωρίδες με το μεγαλύτερο πάχος καλούνται **νευρώσεις** και είναι συνήθως κάθετες προς τη διεύθυνση, που ακολουθούν οι κύριες στηρίξεις των πλακών, δηλαδή εκείνες που απέχουν μεταξύ τους λιγότερο. Σπανιότερα οι νευρώσεις κατασκευάζονται κατά δύο διευθύνσεις κάθετες αντιστοίχως προς τις δύο διευθύνσεις των στηρίξεων (σχ. 18.1ι). Υπάρχουν λοιπόν πλάκες με (απλές) νευρώσεις και πλάκες με διασταυρούμενες νευρώσεις. Κατ' αντιδιαστολή, οι πλάκες που δεν έχουν νευρώσεις, λέγονται και **συμπαγείς πλάκες**.



Σχ. 18.1ι.

Πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα με νευρώσεις κατά δύο διευθύνσεις.



Σχ. 18.1κ.

Πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα με πάχος μεταβλητό, για την κατασκευή σκάλας.

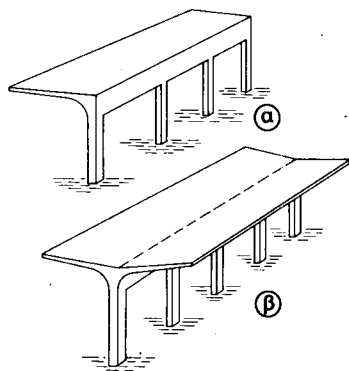
Οι επιφάνειες των συμπαγών πλακών είναι κατά κανόνα επίπεδες και παράλληλες μεταξύ τους. Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. στις σκάλες (σχ. 18.1κ), ο κανόνας αυτός δεν ισχύει, γενικά όμως η μέση επιφάνεια των πλακών είναι σχεδόν επίπεδη.

18.2 Πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση.

Α. Γενική περιγραφή.

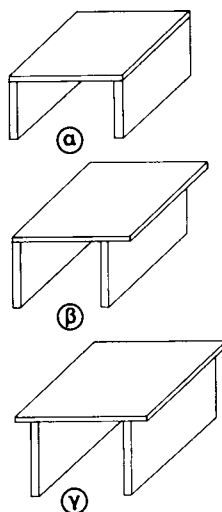
Οι πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση στηρίζονται σε λωρίδες συνεχείς και κατά κανόνα παράλληλες μεταξύ τους. Δεν αποκλείεται να υπάρχουν και άλλες στηρίξεις μεμονωμένες ή και συνεχείς, κάθετες ή περίπου κάθετες προς τις κύριες στηρίξεις, η απόστασή τους όμως πρέπει να είναι τουλάχιστον κατά 50% μεγαλύτερη από την απόσταση, που χωρίζει τις αντίστοιχες κύριες στηρίξεις (σχ. 18.1ζ).

Οι κύριες στηρίξεις μιας πλάκας με οπλισμό κατά μία διεύθυνση είναι μία, δύο ή περισσότερες (σχ. 18.2α, 18.2β, και 18.2γ). Όταν υπάρχει μόνο μία κύρια στήριξη, η πλάκα αποτελείται από ένα **πρόβολο**, εάν η στήριξη βρίσκεται κατά μήκος της μιας πλευράς της [σχ. 18.2α (α)], ή από δύο προβόλους, εάν η στήριξη βρίσκεται στο εσωτερικό της πλάκας και τη χωρίζει σε δύο μέρη [σχ. 18.2α (β)].



Σχ. 18.2α.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με μία μόνο στήριξη: α) Πρόβολος απλός. β) Πρόβολος διπλός.

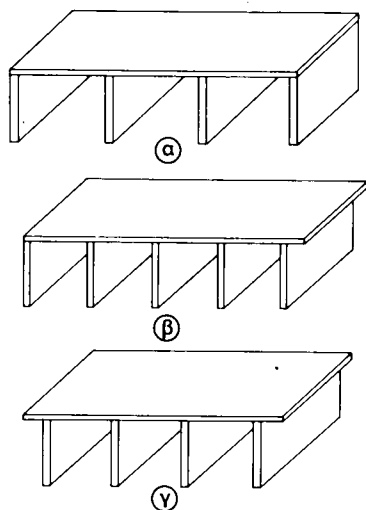


Σχ. 18.2β.

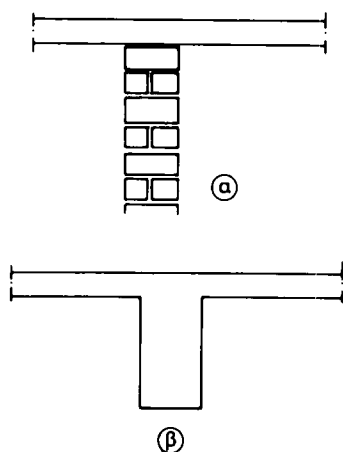
Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με δύο στήριξεις: α) Αμφιέριστη. β) Προέχουσα. γ) Αμφιπροέχουσα.

Όταν υπάρχουν δύο στήριξεις, που βρίσκονται στις δύο αντικείμενες πλευρές της, η πλάκα λέγεται **αμφιέριστη** [σχ. 18.2β (α)]. Εάν η μία μόνο στήριξη βρίσκεται στην πλευρά της πλάκας, ενώ η άλλη είναι τοποθετημένη στο εσωτερικό της, η πλάκα λέγεται **προέχουσα** [σχ. 18.2β (β)]. Εάν τέλος και οι δύο στήριξεις είναι στο εσωτερικό της πλάκας και τη χωρίζουν σε τρία τμήματα, η πλάκα λέγεται **αμφιπροέχουσα** [σχ. 18.2β (γ)]. Μπορούμε να θεωρήσουμε, ότι μια προέχουσα πλάκα αποτελείται από μια αμφιέριστη και ένα πρόβολο, ενώ μια αμφιπροέχουσα από μια αμφιέριστη και δύο προβόλους. Η ανάλυση αυτή ισχύει μόνο γεωμετρικά, ενώ από απόψεως στατικής λειτουργίας των πλακών υπάρχουν ορισμένες διαφορές.

Όταν οι στήριξεις είναι περισσότερες από δύο, τότε η πλάκα λέγεται **συνεχής** και αποτελείται από δύο ή περισσότερα ανοίγματα (σχ. 18.2γ). Μία συνεχής πλάκα μπορεί να έχει και προβόλους στο ένα [σχ. 18.2γ (β)] ή και στα δύο της άκρα [σχ. 18.2γ (γ)].

**Σχ. 18.2γ.**

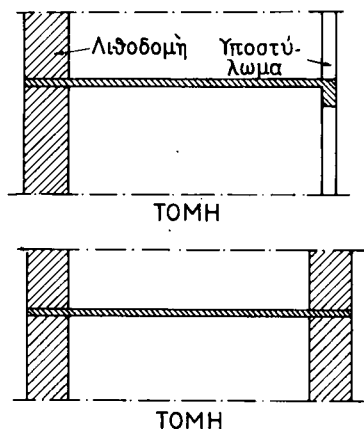
Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα συνεχείς, δηλαδή με περισσότερες από δύο στηρίξεις: α) Χωρίς προβόλους. β) Με έναν πρόβολο. γ) Με δύο προβόλους.

**Σχ. 18.2δ.**

Συνηθισμένες περιπτώσεις στηρίξεως πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Επάνω σε τοίχο. β) Σε δοκό ολόσωμο με την πλάκα.

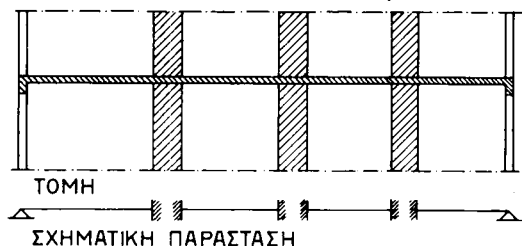
Οι στηρίξεις των πλακών αποτελούνται από δομικά στοιχεία, που είτε χωρίζονται από τις πλάκες με ένα αρμό (π.χ. τοίχοι), ή κατασκευάζονται ολόσωμα με τις πλάκες (δοκοί, τοιχώματα κλπ.) (σχ. 18.2δ).

Και στις δύο περιπτώσεις θεωρείται, ότι η στήριξη είναι γραμμική και ελεύθερη, ότι δηλαδή υπάρχει μια θεωρητική στήριξη με πλάτος πολύ μικρό, που εξομοιώνεται με μία γραμμή, γύρω από την οποία η πλάκα μπορεί ελεύθερα να στρέφεται. Η παραδοχή αυτή αν και δεν είναι ποτέ θεωρητικά ορθή, εν τούτοις δεν διαφέρει σημαντικά από την πραγματικότητα. Για να στραφεί η πλάκα στη θέση της στηρίξεως αναπτύσσεται στην πραγματικότητα μία αντίδραση, που έχει μορφή καμπτικής ροπής. Η ροπή αυτή όμως είναι αμελητέα, γιατί και το μέγεθος της στροφής είναι συνήθως πολύ μικρό. Μόνο στην περίπτωση, που υπάρχει μία μοναδική στήριξη οι ροπές στη στήριξη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Είναι φανερό εξ' άλλου ότι ένας πρόβολος δεν μπορεί να ισορροπήσει, αν η



Σχ. 18.2ε.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με δύο στηρίξεις: α) Μονόπακτη. β) Αμφίπακτη.



Σχ. 18.2ζ.

Μία συνεχής πλάκα με αστρέπτους στηρίξεις είναι ισοδύναμη με μία σειρά από ανεξάρτητες πλάκες μονόπακτες και αμφίπακτες.

στήριξή του δεν είναι **πάκτωση**, αν δηλαδή δεν είναι κατασκευασμένη έτσι, ώστε να αντιδρά με μία ροπή στη στροφή του προβόλου.

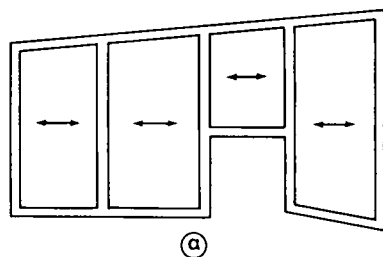
Οι ροπές, που δημιουργούνται στις στηρίξεις, είναι επίσης αξιόλογες, όταν οι στηρίξεις γίνονται επάνω σε τοίχους με μεγάλο πλάτος, σε δοκούς με πολύ μεγάλη διατομή ή σε τοιχώματα με μικρό ή μέτριο ύψος. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι στηρίξεις δεν πρέπει να θεωρούνται ελεύθερες. Οι πλάκες τότε θεωρούνται **πακτωμένες** στις στηρίξεις τους και ονομάζονται **μονόπακτες** [σχ. 18.2ε (α)] ή **αμφίπακτες** [σχ. 18.2ε (β)], ανάλογα με το αν η μία ή και οι δύο στηρίξεις τους πρέπει να θεωρηθούν ως πακτώσεις. Ως μονόπακτες ή αμφίπακτες πλάκες (σχ. 18.2ζ) μπορούν να θεωρηθούν και τα τμήματα, στα οποία χωρίζεται μία συνεχής πλάκα, όταν υπάρχουν περισσότερες από δύο στηρίξεις αυτού του είδους.

Η κάτοψη των πλακών με οπλισμό κατά μία διεύθυνση είναι συνήθως ορθογωνική ή αποτελείται από τμήματα, που το καθένα είναι ορθογωνικό. Οι στηρίξεις είναι παράλληλες προς τις πλευρές των ορθογωνίων αυτών, επομένως παράλληλες και κάθετες μεταξύ τους (σχ. 18.2α, 18.2β, 18.2γ και 18.2κ).

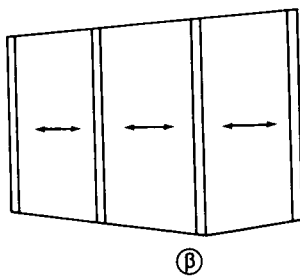
Υπάρχουν όμως και πλάκες, που δεν είναι αυστηρά ορθογώνιες και οι στηρίξεις τους δεν ακολουθούν δύο διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Εάν οι κύριες στηρίξεις είναι παράλληλες προς τις πλευρές της πλάκας και μεταξύ τους, το γεγονός ότι οι δευτερεύουσες στηρίξεις και οι άλλες πλευρές δεν είναι κάθετες προς τις πρώτες ούτε παράλληλες μεταξύ τους δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Έτσι οι πλάκες των σχημάτων 18.2η (α) και 18.2η (β) δεν παρουσιάζουν ουσιαστική διαφορά από τη συνεχή πλάκα του σχήματος 18.2γ (α). Απαιτούνται μόνο μικρές προσαρμογές στη διάταξη του οπλισμού κοντά στις δευτερεύουσες στηρίξεις.

Αντίθετα, όταν οι κύριες στηρίξεις δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους ή με τις αντίστοιχες πλευρές της πλάκας, ο υπολογισμός, όπως και η διάταξη του οπλισμού τους, περιπλέκονται.

Αν η απόκλιση είναι μικρή [σχ. 18.2θ (α)], τότε η πλάκα μπορεί να θεωρηθεί, ότι είναι χωρισμένη σε λωρίδες κάθετα περίπου προς τις κύριες στηρίξεις και ότι οι αποστάσεις, που χωρίζουν τις στηρίξεις, είναι περίπου σταθερές σε όλο το πλάτος κάθε λωρίδας [σχ. 18.2θ (β)]. Αν η απόκλιση είναι μεγάλη [σχ. 18.2θ (γ)], τότε είναι πιο σωστό να οπλίζονται οι πλάκες κατά δύο διευθύνσεις. Το ίδιο ισχύει, όταν οι πλάκες είναι τριγωνικές, πολυγωνικές, κυκλικές κλπ. (σχ. 18.2ι).



α

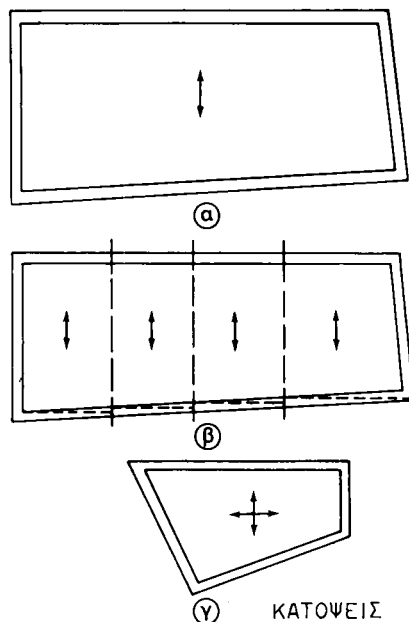


β

ΚΑΤΟΨΕΙΣ

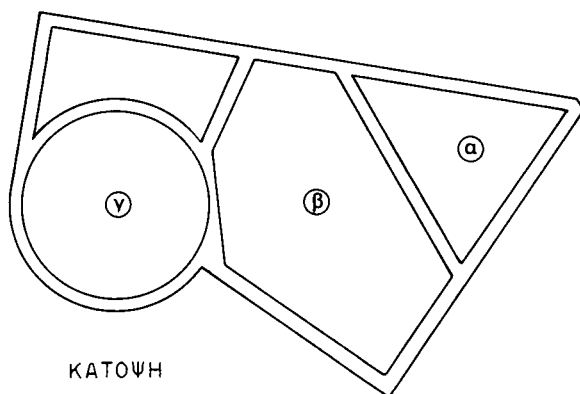
Σχ. 18.2η.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Με λοξές δευτερεύουσες στηρίξεις. β) Με λοξές αστήρικτες πλευρές.



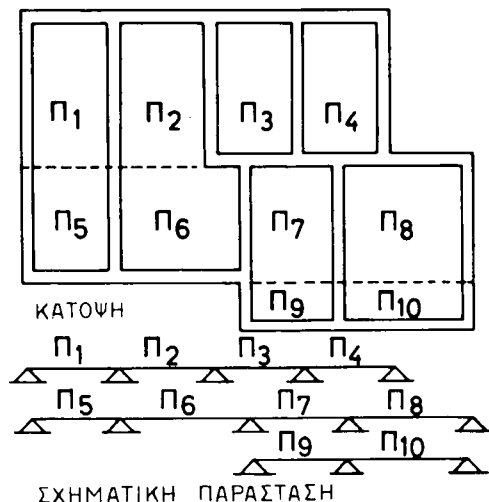
Σχ. 18.20.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα, που δεν έχουν παράλληλες τις κύριες στηρίξεις τους: α) Μικρή απόκλιση από την παραλληλία. β) Ανάλυση σε λωρίδες με διαφορετικό άνοιγμα. γ) Μεγάλη απόκλιση από την παραλληλία.



Σχ. 18.21.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα, των οποίων η κάτοψη διαφέρει τελείως από το συνηθισμένο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο: α) Τριγωνική. β) Πολυγωνική. γ) Κυκλική.



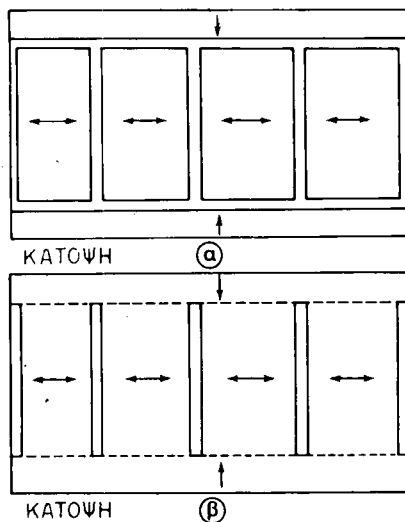
Σχ. 18.2κ.

Οι κύριες στηρίξεις των πλακών αλλάζουν μόνο εκεί, όπου διασταυρώνονται με τις δευτερεύουσες στηρίξεις.

Οι κύριες στηρίξεις μιας πλάκας με οπλισμό κατά μία διεύθυνση πρέπει να διέρχονται καθ' όλο το πλάτος της, όπως συμβαίνει στις πλάκες των σχημάτων 18.2α, 18.2β, 18.2γ, 18.2η, και 18.2θ. Οι κύριες στηρίξεις επιτρέπεται να διακόπτονται σε ορισμένα σημεία, μόνο εφ' όσον από τα σημεία διακοπής διέρχονται δευτερεύουσες στηρίξεις (σχ. 18.2κ).

Στην περίπτωση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι οι δευτερεύουσες στηρίξεις και οι προεκτάσεις τους χωρίζουν την πλάκα σε δύο ή περισσότερες μικρότερες πλάκες. Σε κάθε μία από αυτές τις πλάκες οι κύριες στηρίξεις διέρχονται σε όλο το πλάτος τους.

Μερικές φορές οι κύριες στηρίξεις σταματούν στο εσωτερικό της πλάκας και αφήνουν αστήρικτες στενές λωρίδες κοντά στις πλευρές της πλάκας που είναι κάθετες προς τις κύριες στηρίξεις (σχ. 18.2λ). Είναι σκόπιμο τότε να προβλέπεται μία δευτερεύουσα στήριξη που να διέρχεται από τα άκρα των κυρίων στηρίξεων [σχ. 18.2λ (α)]. Με τον τρόπο αυτό χωρίζονται από την κυρίως πλάκα οι ακραίες λωρίδες, που μπορούν να θεωρηθούν ως πλάκες πρόβολοι. Οι πρόβολοι αυτοί έχουν τον οπλισμό αντοχής κάθετο προς τον οπλισμό αντοχής της υπόλοιπης πλάκας.

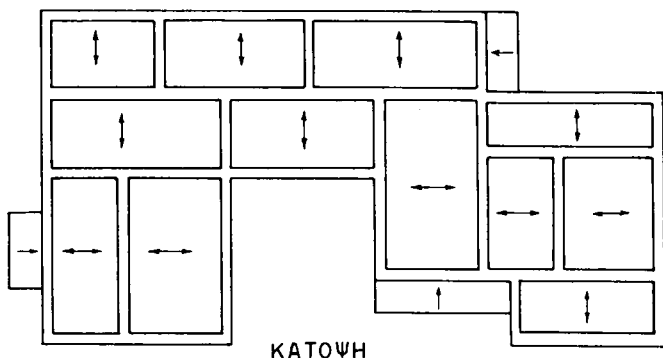


Σχ. 18.2λ.

Πλάκες πρόβολοι από οπλισμένο σκυρόδεμα με οπλισμό κάθετο προς τον οπλισμό των κυρίων πλακών, οι οποίες στηρίζονται: α) Στις δευτερεύουσες στηρίξεις των πλακών. β) Στις ίδιες τις πλάκες με κρυφοδοκούς.

Υπάρχουν περιπτώσεις, όπου διάφοροι λόγοι δεν επιτρέπουν να προβλεφθεί μια τέτοια δευτερεύουσα στήριξη. Τότε είναι δυνατόν να θεωρηθεί, ότι στη θέση αυτή η ίδια η πλάκα δημιουργεί κάποια στήριξη [σχ. 18.2λ (β)]. Η στήριξη αυτή ονομάζεται **κρυφοδοκός** και υπολογίζεται έτσι, ώστε να μπορεί να φέρει εκτός από τα δικά της φορτία και τα φορτία, που αντιστοιχούν στην εξωτερική λωρίδα της πλάκας. Η λωρίδα αυτή λειτουργεί και πάλι ως πρόβολος, επομένως υπολογίζεται και οπλίζεται, όπως και όταν υπάρχει η δευτερεύουσα στήριξη.

Γενικά μια πλάκα μπορεί να αποτελείται από πολλά ορθογώνια ή σχεδόν ορθογώνια σχήματα (φατνώματα), που περιβάλλονται από στηρίξεις ή από αστήρικτες πλευρές στην περίμετρο της πλάκας. Εάν σε όλα τα ορθογώνια η μία διάσταση υπερβαίνει την άλλη κατά 50% τουλάχιστον, η πλάκα θεωρείται οπλισμένη κατά μία διεύθυνση, έστω και αν ο οπλισμός αντοχής σε ορισμένα φατνώματα έχει μια διεύθυνση και σε άλλα την κάθετη προς αυτήν (σχ. 18.2μ). Προφανώς σε κάθε φάτνωμα η διεύθυνση του οπλισμού είναι κάθετη



Σχ. 18.2μ.

Γενική περίπτωση διατάξεως πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα, που οπλίζονται κατά μία διεύθυνση.

προς τις πλευρές του, που απέχουν λιγότερο μεταξύ τους.

Οι στηρίξεις των πλακών με οπλισμό κατά μία διεύθυνση είναι κατά κανόνα τοίχοι από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους και δοκοί ή τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για τις δοκούς και τα τοιχώματα γίνεται λόγος σε επόμενα κεφάλαια, ενώ για τους τοίχους έγινε ήδη λόγος στον Α΄ Τόμο. Σπανιότερα οι στηρίξεις είναι μεταλλικά ή ξύλινα στοιχεία, δηλαδή δοκοί, δικτυωτά τοιχώματα κλπ.

Β. Κανονισμοί.

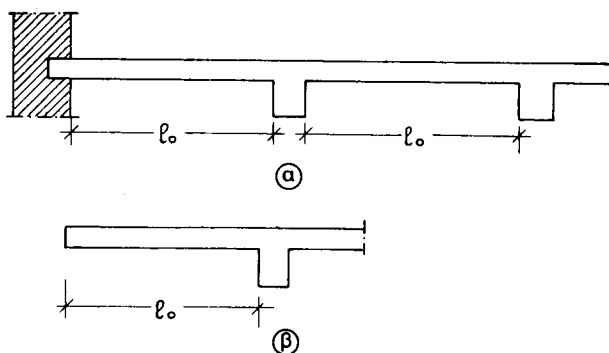
1. Θεωρητικό άνοιγμα πλακών.

Οι κανονισμοί καθορίζουν ορισμένα στοιχεία σχετικά με τις πλάκες, που οπλίζονται κατά μία διεύθυνση, από τα οποία τα κυριότερα αναφέρονται αμέσως.

Ελεύθερο άνοιγμα (l_0) μιας πλάκας ονομάζεται η απόσταση, που χωρίζει τις κοντινότερες όψεις των δύο στηρίξεών της, εφ' όσον η πλάκα δεν είναι πρόβολος. Στην περίπτωση του προβόλου ελεύθερο άνοιγμα καλείται η απόσταση της αστήρικτης πλευράς της πλάκας από την πιο κοντινή όψη της στηρίξεώς της (σχ. 18.2ν).

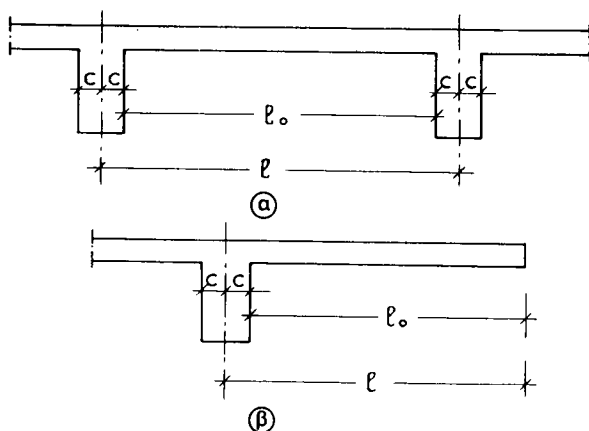
Θεωρητικό άνοιγμα (l) ονομάζεται εκείνο, που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Με βάση το θεωρητικό άνοιγμα των πλακών καθορίζονται και τα ελάχιστα ανεκτά όρια για το πάχος τους.

Το θεωρητικό άνοιγμα l μιας πλάκας είναι πάντοτε μεγαλύτερο



Σχ. 18.2v.

Ελεύθερο άνοιγμα πλακών: α) Μεταξύ δύο στηρίξεων. β) Σε πρόβολο.

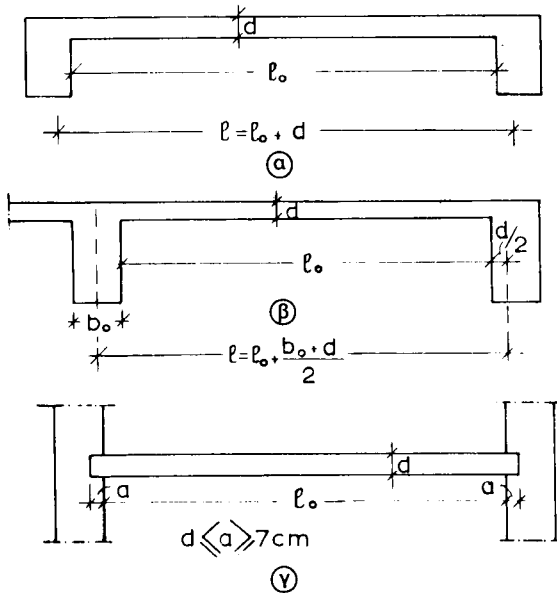


Σχ. 18.2ξ.

Θεωρητικό άνοιγμα πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Ενδιάμεσο άνοιγμα συνεχούς πλάκας. β) Πρόβολος.

από το ελεύθερο άνοιγμα της l_0 . Αν η πλάκα συνεχίζεται πέρα από τις στηρίξεις με προβόλους ή άλλα ανοίγματα, το θεωρητικό άνοιγμα είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ των αξόνων των δύο στηρίξεων της [σχ. 18.2ξ (α)]. Όταν μία τέτοια πλάκα είναι πρόβολος, το θεωρητικό της άνοιγμα είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ του άξονα της στηρίξεως και της αστήρικτης πλευράς της [σχ. 18.2ξ (β)].

Όταν οι στηρίξεις βρίσκονται στα άκρα της πλάκας, όταν δηλαδή η πλάκα είναι αμφιέρειστη ή αμφίπακτη, το θεωρητικό της



Σχ. 18.2ο.

Θεωρητικό άνοιγμα πλακών: α) Αμφιέριστη. β) Ακραίο φάνωμα συνεχούς πλάκας. γ) Ελάχιστο πλάτος a για τη στήριξη της πλάκας.

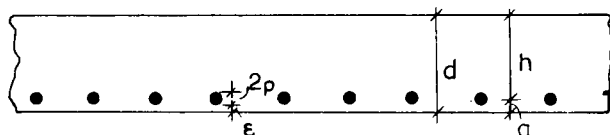
άνοιγμα είναι μεγαλύτερο από το ελεύθερο κατά μία ποσότητα ίση προς το πάχος d της πλάκας. Επομένως είναι $l = l_o + d$ [σχ. 18.2ο (α)]. Σημειώνεται εξ άλλου, ότι το πλάτος μιας ακραίας στηρίξεως δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο από το πάχος της πλάκας, ούτε λιγότερο από 7cm [σχ. 18.2ο (γ)].

Όταν η μία από τις στηρίξεις είναι μεσαία και η άλλη ακραία, το θεωρητικό άνοιγμα της πλάκας αρχίζει από τον άξονα της πρώτης και τελειώνει πέρα από την εσωτερική παρειά της δεύτερης και σε απόσταση από αυτήν ίση προς το μισό του πάχους της πλάκας.

Επομένως είναι $l = l_o + \frac{b_o}{2} + \frac{d}{2}$ [σχ. 18.2ο (β)].

2. Πάχη πλακών.

Δεν προβλέπονται από τους κανονισμούς μέγιστα επιτρεπόμενα πάχη για τις πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση. Παλαιότερα συνηθιζόταν να κατασκευάζονται πλάκες με μεγάλα πάχη, τώρα



Σχ. 18.2π.

Πάχος d και στατικό ύψος h μιας πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα.

όμως προτιμώνται άλλες λύσεις. Στα οικοδομικά έργα σπάνια κατασκευάζονται πλάκες με πάχη πάνω από 25 cm, ενώ τα πιο συνηθισμένα πάχη κυμαίνονται μεταξύ 8 και 16 cm. Στις γέφυρες όμως και σε παρόμοια έργα τα πάχη των πλακών υπερβαίνουν συχνά τα 50 cm.

Οι κανονισμοί αντίθετα αναφέρουν περιορισμούς, σχετικούς προς το ελάχιστο πάχος των πλακών, που έχουν ως σκοπό να διατηρήσουν τις παραμορφώσεις των πλακών σε ανεκτά όρια. Μία πλάκα είναι δυνατόν να αντέχει με ασφάλεια σε όλα τα φορτία του έργου, αλλά να παρουσιάζει απαράδεκτες παραμορφώσεις, δηλαδή να παρουσιάζει πολύ μεγάλα βέλη κάμψης, αν είναι εξαιρετικά λεπτή.

Το ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος πλακών είναι γενικά τα 7cm. Ειδικά για κεκλιμένες στέγες μονωρόφων κτηρίων επιτρέπεται και πάχος 6 cm. Αντίθετα, όταν πάνω στην πλάκα κυκλοφορούν τροχοφόρα, το πάχος πρέπει να είναι τουλάχιστον 12 cm. Επίσης στην Ελλάδα ο **αντισεισμοτορικός κανονισμός** επιβάλλει να έχει η ανώτερη πλάκα των διωρόφων και πάνω οικοδομών πάχος 12 cm τουλάχιστον, εφ' όσον προβλέπεται ότι επάνω της θα κατασκευασθεί μία μονωτική στρώση με σημαντικό πάχος. Αν η πλάκα πρόκειται να μείνει ακάλυπτη, το πάχος της πρέπει να είναι τουλάχιστον 14 cm.

Εκτός από τους απόλυτους αυτούς περιορισμούς οι κανονισμοί προβλέπουν και άλλους, που συσχετίζουν το πάχος των πλακών με το θεωρητικό τους άνοιγμα. Στην περίπτωση αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη το πάχος d , αλλά το στατικό ύψος h της πλάκας.

Στατικό ύψος (h) μιας πλάκας ονομάζεται η απόσταση μεταξύ της μιας επιφάνειας της πλάκας και του επιπέδου, που ορίζουν οι άξονες των ράβδων του κυρίου οπλισμού της, που βρίσκονται κοντά στην άλλη επιφάνειά της. Το στατικό ύψος h διαφέρει από το πάχος της πλάκας d κατά το πάχος της επικάλυψης e αυξημένο κατά την ακτίνα ρ των ράβδων του κυρίου οπλισμού (σχ. 18.2π). Η διαφορά

$\alpha = d - h$ δίνεται στον πίνακα 7 σε mm.

Για τις διαμέτρους του οπλισμού, που χρησιμοποιούνται συνήθως για τις πλάκες, μπορεί γενικά το h να λαμβάνεται ίσο με $d - 1,5$ cm, όταν οι πλάκες βρίσκονται σε κλειστούς χώρους και με $d - 2$ cm, όταν οι πλάκες πρόκειται να παραμείνουν στο ύπαιθρο. Εννοείται, ότι, αν ειδικοί λόγοι επιβάλλουν μεγαλύτερο πάχος επικαλύψεως, το h πρέπει να μειώνεται αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Διαφορά πάχους d και στατικού ύψους h πλακών (mm).

Διάμετρος ράβδων κύριου οπλισμού	ø 6	ø 8	ø 10	ø 12	ø 14	ø 16	ø 18
Κλειστοί χώροι	13	14	15	16	17	18	19
Υπαιθρο	18	19	20	21	22	23	24

Το στατικό ύψος h δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το $1/35$ του θεωρητικού ανοίγματος σε μία αμφιέριστη πλάκα. Στις άλλες περιπτώσεις οι κανονισμοί επιβάλλουν να είναι τουλάχιστον ίσο με $1/35$ της αποστάσεως, που χωρίζει τα σημεία, όπου μηδενίζονται οι ροπές κάμψεως της πλάκας. Για πιο εύκολο υπολογισμό μάλιστα καθορίζουν κατά προσέγγιση, ότι το στατικό ύψος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το $1/44$ του θεωρητικού ανοίγματος της πλάκας, όταν αυτή δεν είναι αμφιέριστη ούτε πρόβολος.

Οι κανονισμοί επίσης δίνουν και πιο λεπτομερείς οδηγίες. Συνιστάται δηλαδή να είναι το στατικό ύψος στις προέχουσες πλάκες, στις μονόπακτες και στα ακραία ανοίγματα των συνεχών πλακών, όταν αυτά δεν συνεχίζονται με πρόβολο, τουλάχιστον ίσο με το $1/40$ του θεωρητικού ανοίγματος. Αντίθετα στις αμφιπροέχουσες πλάκες, στις αμφίπακτες, στα μεσαία ανοίγματα των συνεχών πλακών και στα ακραία τους, όταν υπάρχει στην προέκτασή τους σημαντικός πρόβολος, το στατικό ύψος μπορεί να περιορίζεται και στο $1/48$ του θεωρητικού ανοίγματος.

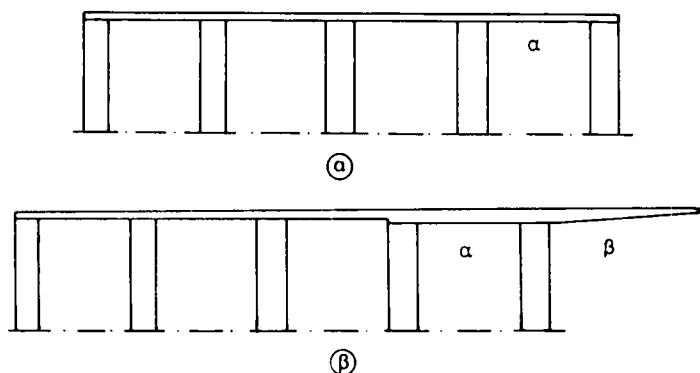
Για τους πρόβολους δεν προβλέπεται στους ελληνικούς κανονισμούς ιδιαίτερος περιορισμός, είναι όμως σκόπιμο το στατικό ύψος να μην είναι μικρότερο από $1/15$ ή το πολύ το $1/18$ του θεωρητικού τους ανοίγματος. Οι αγγλικοί και αμερικανικοί κανονισμοί είναι πολύ αυστηρότεροι στο σημείο αυτό.

Οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ισχύουν για χάλυβα κατηγορίας I και για σκυρόδεμα κατηγορίας B 160, για τα οποία επιτρέπονται τάσεις σχετικά μικρές και συνεπώς οι παραμορφώσεις δεν είναι πολύ μεγάλες. Για τους χάλυβες και τα σκυροδέματα των πιο πάνω κατηγοριών οι περιορισμοί πρέπει να είναι αυστηρότεροι, δηλαδή τα πάχη να είναι μεγαλύτερα. Παρ' όλο που δεν υπάρχει τέτοια πρόβλεψη στους ελληνικούς κανονισμούς, καλόν είναι να αυξάνονται τα ελάχιστα επιτρεπόμενα πάχη των πλακών κατά 10% για το χάλυβα κατηγορίας III και IV σύμφωνα προς μία παράγραφο, που προστέθηκε τελευταία στους γερμανικούς κανονισμούς. Επίσης πρέπει να αυξάνονται κατά 10% για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 225 και κατά 17% για το B 300.

Παράδειγμα.

Μία πλάκα με θεωρητικό άνοιγμα 4,00 m πρόκειται να κατασκευασθεί σε χώρο, που τελικά θα είναι κλειστός. Αν η πλάκα είναι αμφιέρειστη, το πάχος της πρέπει να είναι τουλάχιστον $\frac{400}{35} + 1,5 \simeq 13$ cm. Αν είναι προέχουσα, μονόπακτη ή ακραίο άνοιγμα συνεχούς πλάκας, το πάχος της πρέπει να είναι τουλάχιστον $\frac{400}{40} + 1,5 \simeq 11,5$ cm. Αν είναι αμφιπροέχουσα, αμφίπακτη ή μεσαίο άνοιγμα συνεχούς, το πάχος της μπορεί να μειωθεί στα $\frac{400}{48} + 1,5 \simeq 10$ cm. Τέλος, αν είναι πρόβολος, το πάχος της πρέπει να είναι τουλάχιστον $\frac{400}{18} + 1,5 \simeq 24$ cm ή καλύτερα $\frac{400}{15} + 1,5 \simeq 28$ cm.

Το παράδειγμα δείχνει ότι τα απολύτως ελάχιστα πάχη των κανονισμών, που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου, ισχύουν μόνο για πλάκες με πολύ μικρά ανοίγματα. Δείχνει επίσης πόσο πρέπει να αποφεύγονται τα μεγάλα ανοίγματα στις πλάκες προβόλους. Όταν μάλιστα οι πρόβολοι δεν είναι μεμονωμένοι, αλλά αποτελούν προέκταση άλλων πλακών, το μεγάλο πάχος τους πρέπει να επεκτείνεται αρκετά και στα γειτονικά ανοίγματα. Έτσι γίνεται μία σπατάλη, επειδή το μεγάλο πάχος κατά κανόνα δεν είναι απαραίτητο για την αντοχή των γειτονικών πλακών (σχ. 18.2ρ).

**Σχ. 18.2ρ.**

Ο μεγάλος πρόβολος β καθιστά αναγκαία την αύξηση του πάχους και στη γειτονική πλάκα α.

3. Οπλισμός πλακών.

Ο οπλισμός των πλακών τοποθετείται γενικά κοντά στις δύο επιφάνειες τους και παράλληλα προς αυτές. Ο οπλισμός στη μεν περιοχή των στηρίξεων χρειάζεται κυρίως κοντά στην πάνω επιφάνεια, στα δε μέσα των ανοιγμάτων κοντά στην κάτω επιφάνεια των πλακών. Όμως, είναι απαραίτητο κατά τους κανονισμούς να υπάρχει οπλισμός στο κάτω μέρος των πλακών ακόμη και στις στηρίξεις, με μοναδική εξαίρεση τις πλάκες προβόλους. Συχνά επίσης χρειάζεται να υπάρχει οπλισμός στο πάνω μέρος της πλάκας σε ολόκληρα τα ανοίγματα ή στο κάτω μέρος ακόμη και σε προβόλους.

Για τον κύριο οπλισμό των πλακών χρησιμοποιούνται κατά κανόνα ράβδοι με διαμέτρους 8 έως 14 mm. Σε μεγάλα έργα και ιδίως σε γέφυρες δεν αποκλείεται να χρησιμοποιηθούν και ράβδοι με μεγαλύτερες διαμέτρους. Αντίθετα σε εντελώς δευτερεύουσες κατασκευές επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν και ράβδοι με διάμετρο 6 mm.

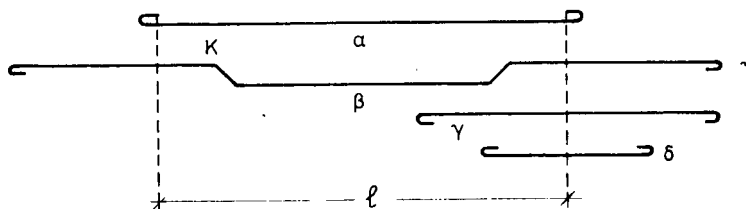
Η απόσταση μεταξύ των ράβδων του κάτω οπλισμού των ανοιγμάτων ή του πάνω οπλισμού των στηρίξεων δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από 1 1/2 φορά το πάχος d της πλάκας ούτε από 20 cm. Ο περιορισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η δαπάνη, όταν μειώνεται υπερβολικά το πάχος των πλακών. Αυτό συμβαίνει, επειδή χρειάζεται να τοποθετηθεί περισσότερος οπλισμός,

χωρίς να είναι απαραίτητος για την αντοχή της πλάκας. Αν π.χ. μία πλάκα έχει πάχος 10 cm και περιέχει μία ράβδο $\varnothing 8$ κάθε 15 cm, όταν μειωθεί το πάχος της σε 7 cm, ο οπλισμός θα αυξηθεί κατά 43%. Πράγματι πρέπει τότε να τοποθετηθεί μία ράβδος $\varnothing 8$ κάθε 10,5 cm, έστω και αν δεν χρειάζεται τόσος οπλισμός για την αντοχή της πλάκας. Η αύξηση της δαπάνης, λόγω αυξήσεως του οπλισμού, δεν αποκλείεται να είναι μεγαλύτερη από την οικονομία, λόγω μειώσεως του όγκου του σκυροδέματος.

Οι κανονισμοί δεν καθορίζουν ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ράβδων του οπλισμού των πλακών. Ισχύουν βέβαια οι γενικοί περιορισμοί για την ελάχιστη απόσταση μεταξύ ράβδων οπλισμού, που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 17.2 (Γ), αλλά στις πλάκες συνήθως η απόσταση αυτή δεν είναι μικρότερη από 7 έως 8 cm.

Ο κύριος οπλισμός των ανοιγμάτων των πλακών χωρίζεται συνήθως σε δύο ομάδες ράβδων. Η πρώτη ομάδα πρέπει να αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το $1/3$ και συνήθως δεν υπερβαίνει το μισό του οπλισμού. Αποτελείται από ράβδους ευθύγραμμες, που διέρχονται από το ένα στήριγμα έως το άλλο και εξέχουν λίγο από τα άκρα του θεωρητικού ανοίγματος (σχ. 18.2 σ, ράβδος α).

Οι υπόλοιπες ράβδοι αποτελούν τη δεύτερη ομάδα και δεν είναι ευθύγραμμες, αλλά έχουν το σχήμα των ράβδων β του σχήματος 18.2σ. Έτσι με οικονομικό τρόπο υπάρχει αρκετός οπλισμός στα μέσα των ανοιγμάτων κάτω και στα στηρίγματα πάνω. Αν η πλάκα δεν συνεχίζεται πέρα από το στήριγμα, η κάμψη Κ γίνεται σε απόσταση από το στήριγμα περίπου ίση προς το $1/10$ έως το $1/8$ του θεωρητικού ανοίγματος και οι ράβδοι φθάνουν έως το άκρο της



Σχ. 18.2σ.

Συνηθισμένες μορφές των ράβδων του οπλισμού πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

πλάκας. Αν η πλάκα συνεχίζεται, η κάμψη K γίνεται σε απόσταση από το στήριγμα περίπου ίση προς το $1/5$ του ανοίγματος και οι ράβδοι συνεχίζονται στο γειτονικό άνοιγμα σε μήκος ίσο συνήθως προς το $1/4$ του μεγαλύτερου από τα δύο ανοίγματα, που βρίσκονται δεξιά και αριστερά από τη στήριξη.

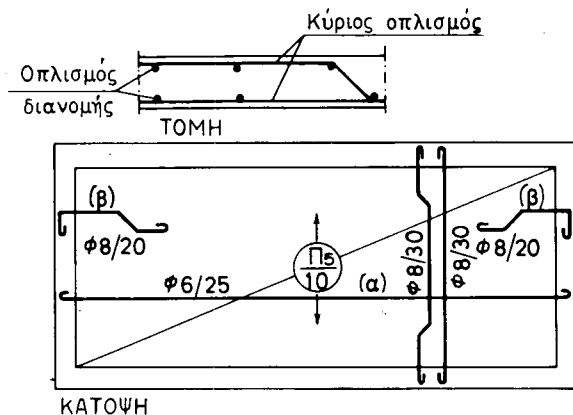
Εννοείται, ότι οι αποστάσεις των κάμψεων από τις στηρίξεις πρέπει να είναι ίσες προς αυτές, που αναγράφονται στα σχέδια ή τους καταλόγους οπλισμού. Οι οδηγίες, που δίνονται εδώ, είναι απλά ενδεικτικές, μπορούν όμως να φανούν χρήσιμες, αν στα σχέδια δεν αναφέρεται τίποτε σχετικό.

Οι ράβδοι της πρώτης ομάδας αρκεί να διασταυρώνονται στις ενδιάμεσες στηρίξεις κατά 15 έως 30 cm, εκτός αν χρειάζονται σε μεγαλύτερο μήκος ως θλιβόμενος οπλισμός, για τον οποίον γίνεται λόγος στις παραγράφους 18.3 (Ε) και 18.3 (Ζ). Αντίθετα οι ράβδοι της δεύτερης ομάδας διασταυρώνονται σε πολύ μεγαλύτερο μήκος, όπως ήδη αναφέραμε.

Συμβαίνει συχνά να μην επαρκούν οι ράβδοι της δεύτερης ομάδας στη θέση της στηρίξεως. Τοποθετούνται τότε και πρόσθετες ευθύγραμμες ράβδοι (**καπάκια**), όπως η ράβδος γ του σχήματος 18.σ. Σπανιότερα απαιτούνται και πρόσθετες ράβδοι στο κάτω μέρος της πλάκας στην περιοχή των στηρίξεων ως θλιβόμενος οπλισμός (σχ. 18.2σ, ράβδος δ).

Εκτός από τον κύριο οπλισμό αντοχής είναι απαραίτητο να τοποθετείται στις πλάκες, που οπλίζονται κατά μία διεύθυνση και ένας δευτερεύων **οπλισμός διανομής** κάθετος προς τον οπλισμό αντοχής. Ο οπλισμός διανομής πρέπει να τοποθετείται, οπουδήποτε υπάρχει και οπλισμός αντοχής, δηλαδή και στην κάτω και στην πάνω επιφάνεια της πλάκας.

Ο οπλισμός διανομής πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το $1/5$ του αντίστοιχου οπλισμού αντοχής και πάντως να μην είναι λιγότερος από μία ράβδο διαμέτρου 6 mm ανά 25 cm. Επομένως μία πλάκα με οπλισμό αντοχής $\varnothing 12$ ανά 10 cm ($11,30 \text{ cm}^2/\text{m}$) χρειάζεται οπλισμό διανομής τουλάχιστον $\varnothing 6$ ανά 12,5 cm ($2,26 \text{ cm}^2/\text{m}$). Μία πλάκα με οπλισμό αντοχής $\varnothing 8$ ανά 20 cm ($2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$) χρειάζεται τον ελάχιστο επιτρεπόμενο οπλισμό διανομής, δηλαδή $\varnothing 6$ ανά 25 cm ($1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$), αν και αυτός υπερβαίνει κατά πολύ το $1/5$ του



Σχ. 18.2τ.

Δευτερεύων οπλισμός (διανομής) σε πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Ανοίγματος. β) Δευτερευουσών στηρίξεων.

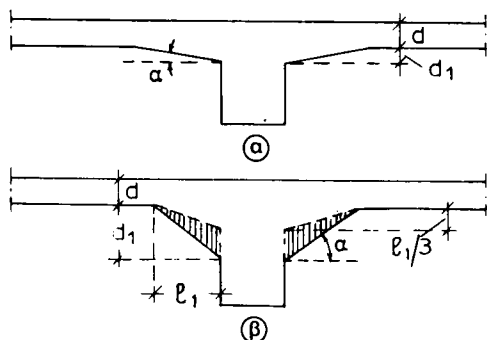
πρώτου. Ο οπλισμός διανομής στην κάτω επιφάνεια της πλάκας τοποθετείται επάνω από τον οπλισμό αντοχής. Το αντίστροφο ισχύει για την άνω επιφάνεια (σχ. 18.2τ).

Στην Ελλάδα υπάρχει μία τάση να γίνεται κακώς εννοούμενη οικονομία στον οπλισμό διανομής των πλακών. Η τακτική αυτή είναι παράνομη αλλά και επικίνδυνη, γιατί μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να εμφανισθούν ρωγμές παράλληλες προς τον οπλισμό αντοχής των πλακών. Εξ' άλλου η οικονομία, που επιτυγχάνεται, είναι εντελώς ασήμαντη, επειδή οι ποσότητες του οπλισμού διανομής είναι πάντοτε πολύ μικρές.

Εκτός από τον κύριο οπλισμό και τον οπλισμό διανομής των πλακών πρέπει να τοποθετείται και ένας ειδικός οπλισμός στις δευτερεύουσες στηρίξεις, όταν οι πλάκες οπλίζονται κατά μία διεύθυνση. Ο οπλισμός αυτός είναι κάθετος προς τις δευτερεύουσες στηρίξεις, δηλαδή γενικά κάθετος προς τον κύριο οπλισμό και τοποθετείται στο πάνω μέρος της πλάκας [σχ. 18.2τ (β)]. Οι κανονισμοί δεν καθορίζουν ακριβώς τον οπλισμό αυτό, αλλά συνιστάται να είναι περίπου διπλάσιος από τον αντίστοιχο οπλισμό διανομής.

4. Ενισχύσεις πλακών.

Μερικές φορές στην περιοχή των στηρίξεων πρέπει να αυξηθεί



Σχ. 18.2υ.

Ενισχύσεις πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή των στηρίξεών τους:

$$\alpha) \epsilon\phi\alpha < \frac{1}{3}, \beta) \epsilon\phi\alpha > \frac{1}{3}.$$

τοπικά το πάχος της πλάκας. Η αύξηση αυτή επιτυγχάνεται, αν η κάτω επιφάνεια της πλάκας κοντά στη στήριξη κατασκευασθεί κεκλιμένη (σχ. 18.2υ). Το τμήμα της πλάκας που έχει μεγαλύτερο πάχος, ονομάζεται **ενίσχυση**.

Η γωνία α , που σχηματίζει το κεκλιμένο μέρος της κάτω επιφάνειας της ενισχύσεως με την κάτω επιφάνεια της πλάκας πρέπει να έχει $\epsilon\phi\alpha \leq 1/3$ [σχ. 18.2υ (α)]. Αν η $\epsilon\phi\alpha$ είναι μεγαλύτερη από $1/3$ [σχ. 18.2υ (β)], δεν επιτρέπεται να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό όλο το πάχος $d + d_1$, αλλά μόνο το πάχος $d + l_1/3$.

Η κατασκευή ενισχύσεων στις πλάκες προκαλεί σημαντική φθορά στην ξυλεία και αυξάνει τη δαπάνη για τα εργατικά της κατασκευής των ξυλοτύπων (καλουπιών). Για τους λόγους αυτούς αποφεύγεται συνήθως η κατασκευή τους. Είναι κατά κανόνα οικονομικότερο να αυξηθεί λίγο το πάχος ολόκληρης της πλάκας ή να προστεθεί τοπικά οπλισμός, παρά να γίνουν οι ενισχύσεις.

18.3 Υπολογισμός πλακών με οπλισμό κατά μία διεύθυνση.

Α. Φορτία.

Τα πραγματικά φορτία των πλακών άλλοτε είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα σε όλη τους την έκταση, όπως π.χ. το ίδιο βάρος τους ή το χιόνι, οι επιστρώσεις τους κλπ. και άλλοτε είναι μεμονωμένα ή ακατάστατα κατανεμημένα, όπως π.χ. τα έπιπλα, οι άνθρωποι κλπ.

Συνήθως μάλιστα οι θέσεις, στις οποίες εφαρμόζονται τα φορτία του είδους αυτού, είναι μεταβλητές και άγνωστες εκ των προτέρων.

Ο υπολογισμός των πλακών με τα πραγματικά τους φορτία θα ήταν πολύ δύσκολος, αν όχι αδύνατος. Γι' αυτό οι κανονισμοί καθορίζουν συμβατικά φορτία, που λαμβάνονται υπόψη για τους υπολογισμούς. Για τα οικοδομικά έργα οι πλάκες υπολογίζονται έτσι, ώστε να είναι ικανές να φέρουν τα μόνιμα φορτία τους, δηλαδή το βάρος τους, τις επιστρώσεις τους, τους τοίχους, που εδράζονται πιθανόν επάνω σε αυτές κλπ. και ένα συμβατικό ωφέλιμο φορτίο, που θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένο σε ολόκληρη την έκτασή τους.

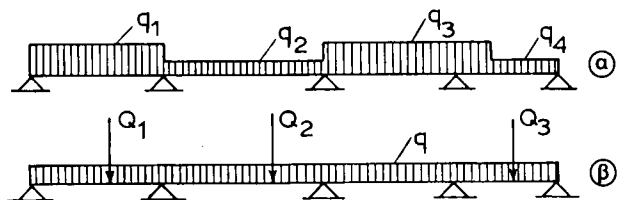
Το ωφέλιμο αυτό φορτίο, που αντιπροσωπεύει έπιπλα, ανθρώπους κλπ., λαμβάνεται ίσον προς:

- 200 kg/m² για βατές ταράτσες, κατοικίες, γραφεία, μικρά καταστήματα κλπ.
- 300 kg/m² για θαλάμους και διαδρόμους νοσοκομείων και παρομοίων κτηρίων.
- 350 kg/m² για σκάλες και πλατύσκαλα κατοικιών και για αίθουσες διδασκαλίας ή διαλέξεων.
- 500 kg/m² για εξώστες γενικά, για αίθουσες συγκεντρώσεως με σταθερά καθίσματα, για μεγάλα καταστήματα, για εργαστήρια και εργοστάσια με μικρή κίνηση κλπ.
- 750 kg/m² για αίθουσες συγκεντρώσεως χωρίς σταθερά καθίσματα.

Για στέγες και για ταράτσες, που δεν είναι βατές, λαμβάνεται υπόψη ως ωφέλιμο μόνο φορτίο του χιονιού και, αν είναι πολύ κεκλιμένες, ο άνεμος. Για αποθήκες, βιβλιοθήκες κλπ. επιτρέπεται και πάλι να λαμβάνεται το οφέλιμο φορτίο ομοιόμορφα κατανεμημένο, αλλά η τιμή του πρέπει να καθορίζεται κάθε φορά έτσι, ώστε να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Για τις πλάκες των γεφυρών τα ωφέλιμα φορτία καθορίζονται από ειδικούς κανονισμούς και είναι συνδυασμοί κατανεμημένων και συγκεντρωμένων φορτίων. Το μέγεθος και τα άλλα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από το είδος των οχημάτων, που προβλέπεται ότι θα κυκλοφορούν επάνω στη γέφυρα.

Τα μόνιμα φορτία των πλακών θεωρούνται συνήθως και αυτά ότι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα. Μόνον όταν σε μία ορισμένη εκ των προτέρων θέση της πλάκας στηρίζεται μια βαριά μόνιμη



Σχ. 18.3α.

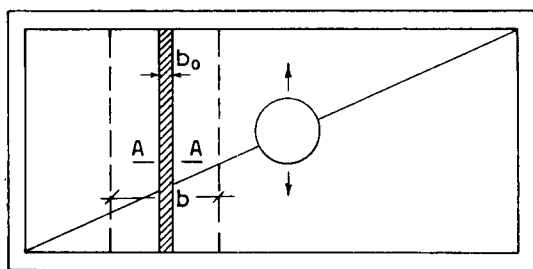
Συνηθισμένα διαγράμματα φορτίσεως πλακών, δηλαδή της τυπικής τους λωρίδας που έχει πλάτος ίσο με τη μονάδα: α) Ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία (kg/m^2). β) Ομοιόμορφα κατανεμημένα και γραμμικά φορτία (kg/m) παράλληλα προς τις κύριες στηρίξεις.

κατασκευή, όπως π.χ. ένας τοίχος από πλινθοδομή ή ένα βαρύ μηχανήμα, τότε λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό το φορτίο αυτό στη θέση, όπου πράγματι εφαρμόζεται.

Στις πλάκες με οπλισμό αντοχής κατά μία διεύθυνση ο υπολογισμός γίνεται μόνο για μία τυπική λωρίδα πλάτους ενός μέτρου και η υπόλοιπη πλάκα κατακευάζεται σε όλο το πλάτος ίδια, με υπόδειγμα τη λωρίδα, που υπολογίσθηκε. Αυτό ισχύει, όταν όλα τα φορτία της πλάκας είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα, εφ' όσον τότε κάθε λωρίδα της πλάκας υπόκειται στην ίδια φόρτιση. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση, που επάνω στην πλάκα εφαρμόζονται και γραμμικά φορτία κάθετα προς τον οπλισμό, τα οποία υφίστανται σε όλο της το πλάτος. Τότε κάθε λωρίδα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει συγκεντρωμένα φορτία στις θέσεις των γραμμικών φορτίων της πλάκας, αλλά πάλι όλες οι λωρίδες έχουν την ίδια φόρτιση (σχ. 18.3α).

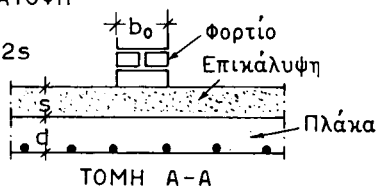
Β. Ενισχυμένες ζώνες και κρυφοδοκοί.

Όταν σε μία πλάκα με οπλισμό αντοχής κατά μία διεύθυνση ενεργούν φορτία συγκεντρωμένα ή γραμμικά, αλλά παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα προς τον οπλισμό αντοχής, δεν επιτρέπεται να θεωρηθεί, ότι όλες οι λωρίδες της έχουν την ίδια φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή μία λωρίδα της πλάκας στην περιοχή, όπου βρίσκονται τα συγκεντρωμένα ή τα γραμμικά φορτία, ενισχύεται ιδιαίτερα. Έτσι μπορεί να αναλάβει και αυτά τα φορτία εκτός από εκείνα, που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλη την έκταση της πλάκας. Η λωρίδα αυτή ονομάζεται **ενισχυμένη ζώνη**.



$$b \leq \frac{b_0}{3} + \frac{2}{3}s + \frac{2}{3}l \quad \text{ΚΑΤΩΨΗ}$$

$$b \leq b_0 + 2s, \text{ όταν } l < b_0 + 2s$$



Σχ. 18.3β.

Θεωρητικό πλάτος b ενισχυμένης ζώνης πλάκας, που φέρει γραμμικό φορτίο παράλληλο προς τον κύριο οπλισμό της πλάκας.

Είναι φανερό ότι, όσο πλατύτερη θεωρηθεί η ενισχυμένη ζώνη, τόσο μικραίνει η επιβάρυνσή της από τα πρόσθετα φορτία, επειδή αυτά μοιράζονται σε μεγαλύτερη έκταση. Γι' αυτό οι κανονισμοί θέτουν ένα μέγιστο όριο για το πλάτος της ενισχυμένης ζώνης. Αν είναι b_0 το πλάτος του συγκεντρωμένου ή γραμμικού φορτίου, s το πάχος επικάλυψης της πλάκας, αν βέβαια υπάρχει, και l το θεωρητικό άνοιγμα της πλάκας, που εξετάζεται, τότε το πλάτος της ενισχυμένης ζώνης πρέπει να είναι:

$$b \leq \frac{b_0}{3} + \frac{2}{3}s + \frac{2}{3}l \quad (\text{σχ. 18.3β})$$

Όταν η πλάκα έχει πολύ μικρό άνοιγμα και συγκεκριμένα όταν $l < b_0 + 2s$, τότε πρέπει να ισχύει:

$$b \leq b_0 + 2s$$

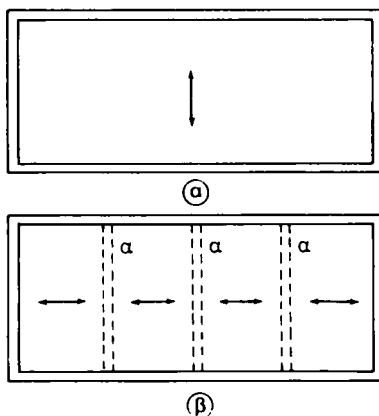
Στο πλάτος b επιτρέπεται να κατανέμονται ομοιόμορφα τα πρόσθετα φορτία της ζώνης.

Δεν πρέπει να γίνεται σύγκριση της ενισχυμένης ζώνης με την κρυφοδοκό. Και οι δύο είναι λωρίδες μιας πλάκας, που φέρουν πρόσθετα φορτία σε σύγκριση με τις γειτονικές τους, τα φορτία όμως αυτά έχουν

εντελώς διαφορετική υπόσταση. Τα πρόσθετα φορτία της ενισχυμένης ζώνης είναι εξωτερικά και επιβάλλονται άμεσα επάνω σε αυτήν. Τα πρόσθετα φορτία των κρυφοδοκών είναι έμμεσα και οφείλονται στο γεγονός, ότι επάνω σε αυτές στηρίζεται κάποια άλλη πλάκα ή κάποιο άλλο τμήμα πλάκας. Παράδειγμα κρυφοδοκού δόθηκε προηγουμένως [σχ. 18.2λ (β)].

Η διαφορά μεταξύ των δύο κατασκευών είναι ότι οποιαδήποτε λωρίδα μιας πλάκας μπορεί να λειτουργήσει ως ενισχυμένη ζώνη, αν υπολογισθεί κατάλληλα, δεν μπορεί όμως πάντοτε να λειτουργήσει και ως κρυφοδοκός. Για να λειτουργήσει μια λωρίδα πλάκας ως κρυφοδοκός, πρέπει να είναι ικανή να αντιδράσει στα φορτία, που προέρχονται από την πλάκα, η οποία στηρίζεται επάνω της. Για να συμβεί αυτό, πρέπει να μπορεί να αναλαμβάνει φορτία, χωρίς να υποχωρεί.

Για να καταλάβουμε καλύτερα την πιο πάνω παρατήρηση, ας πάρουμε ως παράδειγμα την πλάκα του σχήματος 18.3γ. Αν η πλάκα αυτή έχει το ίδιο πάχος σε όλη της την έκταση, θα οπλισθεί κατά την έννοια του άξονα y . Δεν επιτρέπεται να θεωρηθούν ως κρυφοδοκοί οι λωρίδες α , που βρίσκονται μεταξύ των διπλών διακεκομμένων γραμμών και να οπλισθεί η πλάκα κατά τη διεύθυνση του άξονα x , όσος πρόσθετος οπλισμός και αν τοποθετηθεί στις λωρίδες αυτές. Οι λωρίδες αυτές δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως κρυφοδοκοί, δεν μπορούν δηλαδή να αναλάβουν πρόσθετα φορτία, που να προέρχονται από τα άλλα τμήματα της πλάκας, επειδή υποχωρούν τόσο ακριβώς, όσο και οι γειτονικές τους λωρίδες. Ο πρόσθετος οπλισμός μπορεί να αυξάνει την αντοχή, επηρεάζει όμως ασήμαντα τη δυσκαμψία του σκυροδέματος και επομένως δεν μπορεί να αλλάξει τη στατική του λειτουργία.



Σχ. 18.3γ.

Η πλάκα πρέπει να οπλισθεί, όπως στο (α) και όχι όπως στο (β), επειδή οι λωρίδες α είναι αδύνατον να λειτουργήσουν ως κρυφοδοκοί.

Γ. Στατικά μεγέθη.

Είναι γνωστό από τη **Μηχανική** ότι, όταν ένας φορέας που στηρίζεται σε ορισμένες θέσεις του, φορτισθεί, δημιουργούνται στις θέσεις στηρίξεως αντιδράσεις. Οι αντιδράσεις ισορροπούν τα εξωτερικά φορτία και το ίδιο βάρος του φορέα. Συγχρόνως σε κάθε θέση του φορέα αναπτύσσονται εσωτερικές δυνάμεις και ροπές, ενώ ο φορέας υφίσταται ορισμένες παραμορφώσεις. Στις πιο απλές περιπτώσεις φορέων σε κάθε θέση τους αναπτύσσονται:

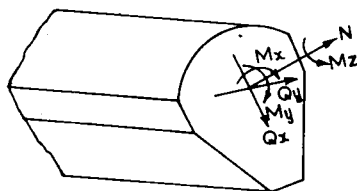
α) Μία δύναμη κάθετη προς την επιφάνεια της τομής, που εξετάζεται.

β) Μία δύναμη εφαπτομένη στην επιφάνεια αυτή.

γ) Μία ροπή περί έναν άξονα, που εφάπτεται στην ίδια επιφάνεια.

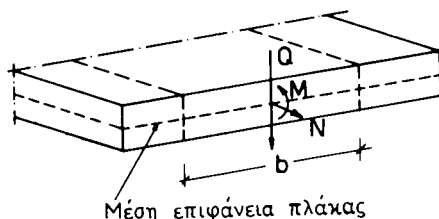
Η πρώτη δύναμη ονομάζεται **ορθή** ή **αξονική δύναμη** (N), η δεύτερη, **τέμνουσα δύναμη** (Q) και η ροπή, **ροπή κάμψεως** (M). Στη γενικότερη περίπτωση υπάρχει και μία **ροπή στρέψεως** (M_z) με τον άξονά της κάθετο προς την επιφάνεια, που εξετάζεται (σχ. 18.3δ). Οι εσωτερικές αυτές δυνάμεις και ροπές λέγονται και **στατικά μεγέθη** της θέσεως που εξετάζεται.

Στην περίπτωση των πλακών από σκυρόδεμα οι αξονικές δυνάμεις είναι συνήθως χωρίς σημασία. Απομένει έτσι να υπολογισθούν μόνο οι ροπές κάμψεως και οι τέμνουσες δυνάμεις. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε κάθε διατομή πλάκας, δηλαδή σε κάθε τομή της κάθετη προς τη διεύθυνση του οπλισμού αντοχής, η ροπή κάμψεως έχει κατά κανόνα άξονα παράλληλο προς τη μέση επιφάνεια της πλάκας, ενώ η τέμνουσα δύναμη είναι κάθετη προς τη μέση επιφάνεια της πλάκας (σχ. 18.3ε).



Σχ. 18.3δ.

Γενική περίπτωση εσωτερικών δυνάμεων και ροπών σε διατομή φορέα.



Σχ. 18.3ε.

Εσωτερικές δυνάμεις και ροπές σε μια διατομή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα (ειδική περίπτωση του σχήματος 18.3δ).

Το πάχος και ο οπλισμός κάθε πλάκας καθορίζονται με βάση τη μέγιστη ροπή κάμψεως, που προβλέπεται, ότι θα αναπτυχθεί σε κάθε σημείο της. Το πάχος και ο οπλισμός αυτός επαρκούν κατά κανόνα, για να αναλάβουν και τις μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις, που αναπτύσσονται στην πλάκα. Επομένως δεν γίνεται υπολογισμός, αλλά μόνο έλεγχος της πλάκας σε διάτμηση.

Δ. Υπολογισμός σε κάμψη.

Για να υπολογισθεί μία πλάκα σε κάμψη, πρέπει να υπολογισθούν οι μέγιστες τιμές των ροπών κάμψεως στα ανοίγματα της πλάκας και οι ελάχιστες τιμές τους, δηλαδή οι απολύτως μέγιστες αρνητικές τιμές τους, στις θέσεις των στηρίξεων.

Οι τρόποι υπολογισμού των ροπών κάμψεως για διάφορες περιπτώσεις απλών φορέων έχουν διδαχθεί στο μάθημα της **Μηχανικής**. Στον πίνακα 8, που βρίσκεται για λόγους ευκολίας χρήσεως στο τέλος του τόμου αυτού, δίνονται οι τιμές των ροπών κάμψεως και των τεμνουσών δυνάμεων για ορισμένες απλές περιπτώσεις. Παρόμοιοι πίνακες, που περιλαμβάνουν και άλλες περιπτώσεις λιγότερο απλές, βρίσκονται σε διάφορα βιβλία και εγχειρίδια στατικής, οπλισμένου σκυροδέματος κλπ.

Δεν είναι όμως πάντοτε ανάγκη να υπολογίζονται με ακρίβεια οι ροπές κάμψεως των πλακών. Οι κανονισμοί επιτρέπουν μια απλοποίηση των υπολογισμών για τις συνεχείς πλάκες των οικοδομικών έργων, εάν το μικρότερο άνοιγμά τους είναι τουλάχιστον ίσο προς τα 4/5 του μεγαλύτερου.

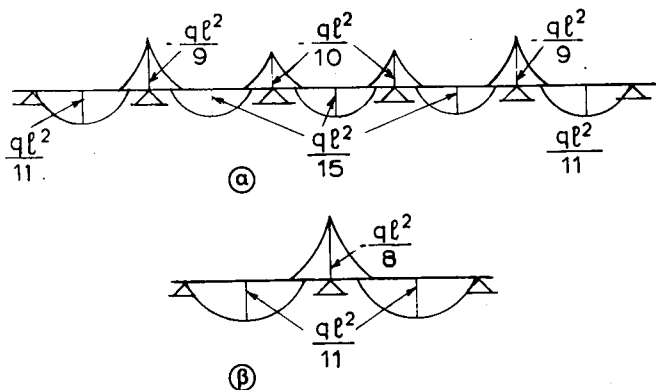
Στην περίπτωση αυτή μπορεί να λαμβάνεται $\max M = \frac{ql^2}{11}$ για

τα ακραία ανοίγματα και $\max M = \frac{ql^2}{15}$ για τα υπόλοιπα, όπου q είναι το σύνολο των ομοιόμορφα κατανεμημένων φορτίων. Επίσης $\min M = -\frac{ql^2}{9}$ για τις παρακραίες στηρίξεις και $\min M = -\frac{ql^2}{10}$ για τις υπόλοιπες. Εννοείται, ότι για τις ακραίες στηρίξεις είναι $M = 0$, εκτός εάν υπάρχουν πλάκες πρόβολοι, οπότε $\min M = -\frac{qc^2}{2}$. Στην τελευταία αυτή σχέση c έχει ονομασθεί το θεωρητικό άνοιγμα του προβόλου. Τέλος, όταν η συνεχής πλάκα έχει μόνο δύο ανοίγματα, στη μεσαία στήριξη πρέπει να λαμβάνεται $\min M = -\frac{ql^2}{8}$ (σχ. 18.3ζ).

Στις παραπάνω σχέσεις αναφέρεται πάντοτε το θεωρητικό άνοιγμα των πλακών l . Για τις ροπές των ανοιγμάτων χρησιμοποιείται το αντίστοιχός τους l , αλλά για τις ροπές στηρίξεως υπάρχουν δύο l , ένα αριστερά και ένα δεξιά, που είναι δυνατόν να διαφέρουν μεταξύ τους. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, ως l λαμβάνεται ο μέσος όρος των εκατέρωθεν θεωρητικών ανοιγμάτων.

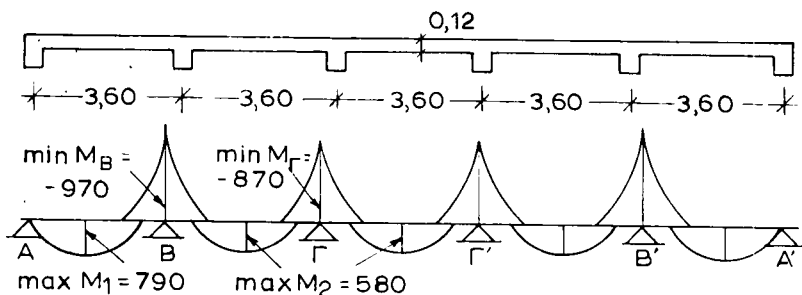
Παράδειγμα.

Πρόκειται να κατασκευάσουμε μια συνεχή πλάκα σε νοσοκομείο με



Σχ. 18.3ζ.

Απλοποιημένα διαγράμματα ροπών κάμψεως σε πλάκες συνεχείς με σχεδόν ίσα ανοίγματα, όταν δηλαδή $\min l \geq \frac{4}{5} \max l$: α) Με πολλά ανοίγματα. β) Με δύο μόνο ανοίγματα.

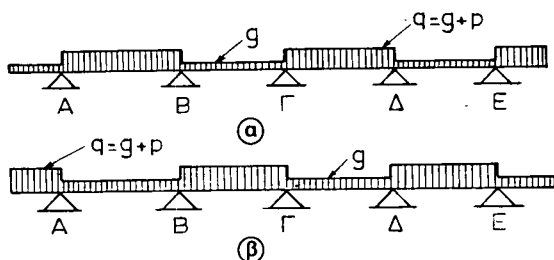


Σχ. 18.3η.

Παράδειγμα διαγράμματος ροπών κάμψεως για συνεχή πλάκα με 5 ίσα ανοίγματα.

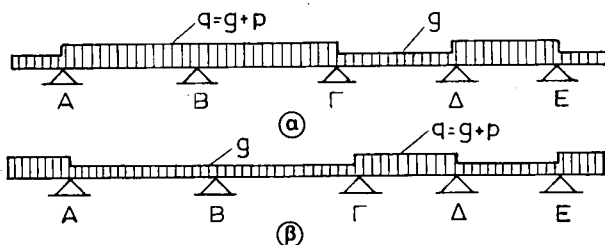
πέντε ίσα ανοίγματα (σχ. 18.3η). Έστω ότι όλα τα θεωρητικά ανοίγματα ισούνται προς 3,60 m. Το πάχος της πλάκας είναι 12 cm, οπότε το ίδιο βάρος της είναι $g = 0,12 \times 2.400 = 288 \text{ kg/m}^2$. Επάνω στην πλάκα προβλέπεται να κατασκευασθεί ένα δάπεδο και από κάτω επίχρισμα, που συνολικά έχουν βάρος $g' = 82 \text{ kg/m}^2$. Επειδή η πλάκα κατασκευάζεται σε νοσοκομείο, το ωφέλιμο φορτίο λαμβάνεται $p = 300 \text{ kg/m}^2$ και συνεπώς το συνολικό φορτίο είναι $q = 670 \text{ kg/m}^2$. Η μέγιστη ροπή κάμψεως στα δύο ακραία ανοίγματα είναι επομένως $\max M_1 = \frac{670}{11} 3,60^2 = 790 \text{ kgm/m}$, ενώ στα τρία μεσαία είναι μόνο $\max M_2 = \frac{670}{15} 3,60^2 = 580 \text{ kgm/m}$. Η ελάχιστη ροπή κάμψεως στα δύο παρακραία στηρίγματα είναι $\min M_B = -\frac{670}{9} 3,60^2 = -970 \text{ kgm/m}$ και στα δύο μεσαία $\min M_{\Gamma} = -\frac{670}{10} 3,60^2 = -870 \text{ kgm/m}$.

Για ακριβέστερο υπολογισμό πρέπει να ληφθούν υπόψη και ορισμένα ακόμη στοιχεία. Αν τα μόνιμα φορτία σε όλα τα ανοίγματα της πλάκας υπερβαίνουν ή φθάνουν έστω το 70% του συνόλου των φορτίων, τότε για τον υπολογισμό των πλακών λαμβάνονται υπόψη οι ροπές κάμψεως, που αντιστοιχούν στην καθολική φόρτιση όλης της πλάκας με το σύνολο των φορτίων. Εάν αντίθετα τα φορτία, τα οποία δεν είναι μόνιμα, (εκείνα δηλαδή που είναι δυνατόν είτε να υπάρχουν είτε όχι), υπερβαίνουν τα 30% του συνόλου των φορτίων, τότε πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της πλάκας οι ροπές κάμψεως, που αντιστοιχούν στη βυσμενέστερη τοποθέτηση των φορτίων, για κάθε θέση, που εξετάζεται.



Σχ. 18.30.

Δυσμενέστερες θέσεις φορτίων σε πλάκες συνεχείς: α) Για $\max M_{AB}$, $\max M_{\Gamma\Delta}$ και $\min M_{B\Gamma}$, $\min M_{\Delta\epsilon}$. β) Για $\max M_{B\Gamma}$, $\max M_{\Delta\epsilon}$ και $\min M_{AB}$, $\min M_{\Gamma\Delta}$.



Σχ. 18.31.

Δυσμενέστερες θέσεις φορτίων σε πλάκες συνεχείς: α) Για $\min M_B$. β) Για $\max M_B$.

Για τη δυσμενέστερη τοποθέτηση των οφελίμων και γενικά των μη μονίμων φορτίων υπάρχουν οι εξής δύο απλοί κανόνες:

α) Η μέγιστη ροπή κάμψεως σε ένα άνοιγμα προκύπτει, όταν το άνοιγμα αυτό φορτισθεί με το σύνολο των φορτίων, τα δύο εκατέρωθεν ανοίγματα, εάν υπάρχουν, μόνο με τα μόνιμα φορτία, τα δύο επόμενα με το σύνολο των φορτίων κοκ. εναλλάξ. Ως ανοίγματα στην περίπτωση αυτή θεωρούνται και οι πρόβολοι, εάν υπάρχουν [σχ. 18.30 (α)]. Εννοείται, ότι η αντίθετη διάταξη των φορτίων δίνει την ελάχιστη ροπή κάμψεως στο άνοιγμα, που εξετάζεται [σχ. 18.30 (β)].

β) Στις στηρίξεις οι ροπές κάμψεως είναι κατά κανόνα αρνητικές και επομένως ενδιαφέρει η ελάχιστη τιμή τους, η οποία είναι και η κατά απόλυτη τιμή μέγιστη. Η ελάχιστη ροπή στη θέση μιας στηρίξεως προκύπτει, όταν φορτισθούν τα εκατέρωθεν αυτής ανοίγματα με το σύνολο των φορτίων, τα ανοίγματα, που βρίσκονται εκατέρωθεν από αυτά, μόνο με τα μόνιμα φορτία, τα δύο επόμενα με το σύνολο κοκ. εναλλάξ. Πάλι οι πρόβολοι, εάν υπάρχουν, θεωρούνται ως ανοίγματα [σχ. 18.31 (α)]. Η αντίθετη διάταξη των φορτίων δίνει τη μέγιστη αλγεβρικά ροπή κάμψεως στη θέση της στηρίξεως που εξετάζεται [σχ. 18.31 (β)].

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μέγιστες ροπές κάμψεως σε μερικά ανοίγματα των πλακών προκύπτουν από τον υπολογισμό αρνητικές ή θετικές μεν, αλλά με πολύ μικρή απόλυτη τιμή. Αυτό κυρίως συμβαίνει, όταν υπάρχουν μικρά ανοίγματα, που έχουν δίπλα τους άλλα ανοίγματα πολύ μεγαλύτερα ή μεγάλους προβόλους. Το φαινόμενο γίνεται ακόμη εντονότερο, όταν τα μόνιμα φορτία είναι μικρά συγκριτικά με το σύνολο των φορτίων.

Στις περιπτώσεις αυτές το άνοιγμα της πλάκας πρέπει να είναι σε θέση να αναλάβει, όχι μόνο τις ροπές κάμψεως του υπολογισμού, αλλά τουλάχιστον εκείνες που θα αναπτύσσονταν στο άνοιγμα αυτό, αν οι στηρίξεις του δεν ήταν ελεύθερες να στραφούν. Συγκεκριμένα, αν το άνοιγμα, που εξετάζεται, συνεχίζεται με άλλο άνοιγμα ή πρόβολο από τη μία μόνο πλευρά, τότε πρέπει να αντέχει σε μία ροπή ίση προς $\frac{9}{128} q l^2$, όση δηλαδή είναι η μέγιστη ροπή μιας μονόπακτης πλάκας. Αν συνεχίζεται και από τις δύο πλευρές, ως μέγιστη ροπή πρέπει να λαμβάνεται το $\frac{q l^2}{24}$, δηλαδή η μέγιστη ροπή της αμφίπακτης πλάκας.

Οι ροπές κάμψεως στις θέσεις των στηρίξεων, που προκύπτουν από τον υπολογισμό, προϋποθέτουν ότι οι στηρίξεις έχουν πλάτος πολύ μικρό, θεωρητικά ίσο με το μηδέν. Στην πραγματικότητα όμως οι στηρίξεις έχουν κάποιο πλάτος, που συνήθως δεν είναι αμελητέο. Για το λόγο αυτό οι κανονισμοί επιτρέπουν στις θέσεις των στηρίξεων να μειώνεται η απόλυτη τιμή της ροπής κάμψεως, που προκύπτει από τους υπολογισμούς ή από τους απλοποιημένους τύπους, που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

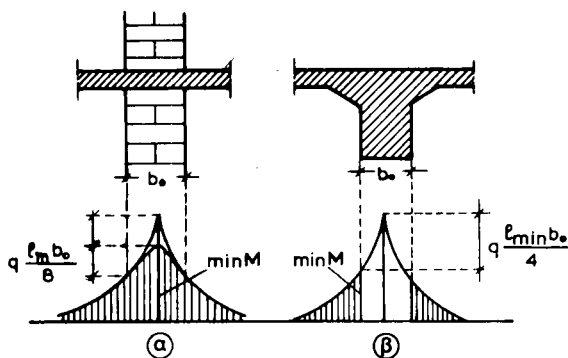
Η μείωση αυτή μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια, σύμφωνα με όσα προβλέπουν οι κανονισμοί. Συνήθως όμως η προσέγγιση είναι αρκετή, αν οι απόλυτες τιμές των ροπών στηρίξεως, που προκύπτουν από τους υπολογισμούς, μειωθούν κατά 10%. Έτσι οι ροπές στηρίξεως του παραδείγματος του σχήματος 18.3η γίνονται τελικά $\min M_B = -0,9 \times 970 = -870 \text{ kgm/m}$ και $\min M_r = -0,9 \times 870 = -780 \text{ kgm/m}$.

Αν q είναι το σύνολο των ομοιόμορφα κατανεμημένων φορτίων της πλάκας, l_m ο μέσος όρος των θεωρητικών ανοιγμάτων της πλάκας, που βρίσκονται κάτω από τη στήριξη, και b_o το πλάτος της στηρίξεως, η

ακριβής μείωση της ροπής ΔΜ βρίσκεται ως εξής: Όταν η πλάκα στηρίζεται πάνω σε μια κατασκευή, με την οποία δεν είναι κατασκευασμένη ολόσωμα, π.χ. σε ένα τοίχο από λίθους, τότε λαμβάνεται $\Delta M = \frac{q \cdot l_m \cdot b_0}{8}$. Όταν η πλάκα στηρίζεται επάνω σε ένα στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα, π.χ. επάνω σε μια δοκό ή ένα τοίχωμα, που έχει κατασκευασθεί ολόσωμο με αυτήν, τότε λαμβάνεται $\Delta M = \frac{q \cdot l \cdot b_0}{4}$ αλλά ως l θεωρείται το μικρότερο από τα δύο εκατέρωθεν ανοίγματα και όχι ο μέσος όρος τους (σχ. 18.3κ).

Είναι δυνατόν σε ορισμένες περιπτώσεις οι ελάχιστες ροπές στις στηρίξεις είτε από την αρχή, είτε μετά τη μείωσή τους να είναι θετικές ή αρνητικές μεν, αλλά με πολύ μικρή απόλυτη τιμή. Οι κανονισμοί τότε απαιτούν να αντέχει η πλάκα, όχι στις ροπές αυτές του υπολογισμού, αλλά στις ροπές, που προκύπτουν, όταν ληφθεί υπόψη ότι η στήριξη είναι πλήρης πάκτωση. Λαμβάνεται όμως τότε υπόψη στους υπολογισμούς το ελεύθερο άνοιγμα της πλάκας, αντί το θεωρητικό. Ο περιορισμός αυτός αποκτάει ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, όταν οι στηρίξεις έχουν πολύ μεγάλο πλάτος, σχετικά με το μέγεθος των ανοιγμάτων. Είναι βέβαια αυτονόητο ότι η πλάκα πρέπει να μπορεί να αναλάβει και τις θετικές ροπές κάμψης στις στηρίξεις, εάν προκύπτουν τέτοιες υπό τον υπολογισμό.

Αντίστροφα είναι δυνατόν να προκύψουν από τον υπολογισμό αρνητικές μέγιστες ροπές στα ανοίγματα. Οι πλάκες τότε πρέπει να μπορούν να αντέξουν και σε αυτές, άσχετα από το γεγονός, ότι έχουν ληφθεί υπόψη σύμφωνα προς τα πιο πάνω και οι μέγιστες θετικές ροπές των πακτωμένων πλακών.



Σχ. 18.3κ.

Απομείωση των απολύτων τιμών των ροπών στηρίξεως σε πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Για στήριξη σε τοίχο. β) Για στήριξη ολόσωμη με την πλάκα.

Ε. Ορθές τάσεις από κάμψη. Οπλισμός.

Όπως είναι γνωστό από τη **Μηχανική**, όταν υπάρχει μία ροπή κάμψεως M σε μια διατομή φορέα, μέσα στη διατομή αυτή αναπτύσσονται **ορθές τάσεις**, δηλαδή κατανεμημένες εσωτερικές δυνάμεις κάθετες προς τη διατομή. Οι τάσεις αυτές είναι θλιπτικές σε ένα τμήμα της διατομής και εφελκυστικές στην υπόλοιπη. Όταν οι τάσεις πολλαπλασιασθούν με τις επιφάνειες, επάνω στις οποίες ενεργούν, δίνουν ως αποτέλεσμα δυνάμεις θλιπτικές και εφελκυστικές. Οι πρώτες έχουν ως συνισταμένη μία θλιπτική δύναμη D και οι δεύτερες μία εφελκυστική δύναμη Z (σχ. 18.3λ).

Οι δυνάμεις D και Z είναι κάθετες προς τη διατομή και είναι μεταξύ τους αντίθετες, δηλαδή $D = -Z$, ώστε αποτελούν ένα ζεύγος. Τα σημεία εφαρμογής των δύο δυνάμεων απέχουν μεταξύ τους απόσταση z τόσο, ώστε να είναι $D \cdot z = -Z \cdot z = M$.

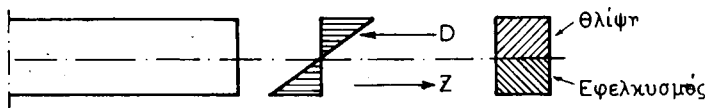
Οι ορθές τάσεις μεταβάλλονται από τη μία θέση της διατομής στην άλλη. Το μέγεθός τους δίνεται από τον τύπο: $\sigma = \frac{M}{I} \cdot y$, όπου

M είναι η καμπτική ροπή, I η ροπή αδράνειας της διατομής και y η απόσταση του σημείου, που εξετάζεται, από τον ουδέτερο άξονα. Ο **ουδέτερος άξονας** είναι μια ευθεία της διατομής, η οποία περνάει από το κέντρο βάρους της και κατά μήκος της οποίας οι ορθές τάσεις είναι ίσες με το μηδέν. Οι τάσεις από το ένα μέρος του ουδέτερου άξονα είναι θλιπτικές και από το άλλο εφελκυστικές.

Τα πιο πάνω ισχύουν για υλικά ομοιογενή, όπως είναι π.χ. ο χάλυβας. Αντίθετα, δεν μπορούν να ισχύουν για το οπλισμένο σκυρόδεμα για δύο λόγους:

α) Αυτό αποτελείται από δύο υλικά με διαφορετικές ιδιότητες: το σκυρόδεμα και το χάλυβα.

β) Η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρή



Σχ. 18.3λ.

Κατανομή των ορθών τάσεων σε μία διατομή φορέα, που υπόκειται σε κάμψη, σύμφωνα προς τους νόμους της Μηχανικής.

και επομένως αυτό δεν μπορεί να αντέξει στις εφελκυστικές τάσεις, που θα αναπτύσσονταν, εάν ίσχυε ο τύπος $\sigma = \frac{M}{I} \cdot y$.

Εάν δεν λάβομε υπόψη προς το παρόν το δεύτερο περιορισμό, ο πρώτος μπορεί να αντιμετωπισθεί με την ακόλουθη παραδοχή. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διατομή του οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από τη διατομή του σκυροδέματος F_b και από τη διατομή του οπλισμού F_e . Η διατομή F_e είναι ισοδύναμη με μία μεγαλύτερη διατομή σκυροδέματος, η οποία είναι ίση με $n \cdot F_e$. Το $n = \frac{E_e}{E_b}$ είναι ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα προς το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος. Επομένως η συνολική διατομή του οπλισμένου σκυροδέματος είναι ισοδύναμη με μία ιδεατή διατομή απλού σκυροδέματος ίση προς $F_{bi} = F_b + n \cdot F_e$.

Σύμφωνα προς το νόμο του Hooke, ο εφελκυσμός ή η θλίψη προκαλούν σε κάθε ελαστικό σώμα μια παραμόρφωση, που δίνεται από τον τύπο $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$. Στον τύπο αυτόν $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ που είναι η *ανηγμένη μήκυνση*, δηλαδή η μήκυνση ή βράχυνση της μονάδας του μήκους του σώματος. Το $\sigma = \frac{P}{F}$ είναι η τάση, δηλαδή η δύναμη ανηγμένη στη μονάδα της επιφάνειας. Το E είναι μία σταθερή, που ονομάζεται **μέτρο ελαστικότητας** του υλικού. Αν το σώμα, που εξετάζεται, αποτελείται, όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα, από δύο διαφορετικά υλικά και η παραμόρφωση είναι κοινή, οι τάσεις στα δύο υλικά πρέπει να είναι διαφορετικές. Έστω ότι το ένα υλικό είναι το σκυρόδεμα με τάση σ_b , και με μέτρο ελαστικότητας E_b και το άλλο ο χάλυβας με τάση σ_e και μέτρο ελαστικότητας E_e . Εφ' όσον και για τα δύο υλικά το $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ είναι κοινό, πρέπει $\frac{\sigma_b}{E_b} = \frac{\sigma_e}{E_e}$ ή $\sigma_e = \frac{E_e}{E_b} \sigma_b = n \cdot \sigma_b$. Με άλλα λόγια σε μία διατομή οπλισμένου σκυροδέματος ο οπλισμός έχει τάση ίση με εκείνη, που θα είχε το σκυρόδεμα στην ίδια θέση πολλαπλασιασμένη με το λόγο n των μέτρων ελαστικότητας των δύο υλικών.

Επειδή κατά τον ορισμό η τάση είναι $\sigma = \frac{P}{F}$ η δύναμη P_e , που λαμβάνεται από τον οπλισμό, θα είναι $P_e = \sigma_e \cdot F_e = \sigma_b \cdot n \cdot F_e$. Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί, ότι μία διατομή χάλυβα F_e μέσα στο σκυρόδεμα ισοδυναμεί με μια διατομή σκυροδέματος n φορές μεγαλύτερη. Με την

παραδοχή αυτή μία διατομή οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να θεωρηθεί ομοιογενής, αρκεί να υποθεθεί ότι αντικαθίσταται από μία ιδεατή διατομή $F_{bi} = F_b + nF_e$.

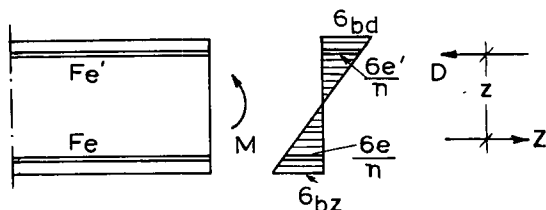
Είναι δυνατόν να βρεθεί το κέντρο βάρους K_i και η ροπή αδράνειας I_i της ιδεατής διατομής F_{bi} . Τότε ο ουδέτερος άξονας θα περνάει από το νέο αυτό κέντρο βάρους K_i και οι τάσεις σ_b του σκυροδέματος θα δίνονται από τους τύπους, που ισχύουν για τις ομοιογενείς διατομές. Εννοείται ότι οι τάσεις του χάλυβα θα δίνονται από τους ίδιους τύπους, αφού τα αποτελέσματα πολλαπλασιασθούν επί το λόγο $n = \frac{E_e}{E_b}$.

Η ισοδυναμία της διατομής του οπλισμένου σκυροδέματος με την ιδεατή διατομή F_{bi} ισχύει μόνο, εφ' όσον οι τάσεις είναι πολύ μικρές, ώστε το σκυρόδεμα να μπορεί να αναλάβει όχι μόνο τις θλιπτικές, αλλά και τις εφελκυστικές τάσεις τους, χωρίς να σπάσει ή να παρουσιάσει ρωγμές. Στην περίπτωση αυτή το οπλισμένο σκυρόδεμα θεωρείται ότι βρίσκεται ακόμη στο στάδιο I (σχ. 18.3μ).

Εν τούτοις στην πράξη το στάδιο I σπάνια πραγματοποιείται. Δεν είναι δηλαδή συνήθως δυνατόν να αγνοηθεί ο δεύτερος λόγος, που κάνει το οπλισμένο σκυρόδεμα να διαφέρει από τα ομοιογενή υλικά. Όταν οι εφελκυστικές τάσεις του σκυροδέματος υπερβούν ένα όριο, το σκυρόδεμα σπάζει και δεν είναι πια σε θέση να μεταβιβάσει εφελκυστικές τάσεις, έστω και μικρές. Τότε το οπλισμένο σκυρόδεμα θεωρείται ότι βρίσκεται στο στάδιο II. Η διατομή πια αποτελείται μόνον από μία θλιβόμενη ζώνη από σκυρόδεμα με ή χωρίς θλιβόμενο οπλισμό και από τον εφελκυσμένο οπλισμό, που περιβάλλεται απλώς από ένα σκυρόδεμα, που είναι από στατικής απόψεως αδρανές (σχ. 18.3ν).

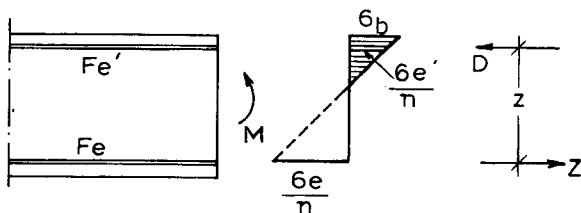
Οι τάσεις σ_b του σκυροδέματος έχουν μία συνισταμένη θλιπτική δύναμη D_b . Οι τάσεις σ_e του οπλισμού έχουν ως συνισταμένη μία εφελκυστική δύναμη Z και μία θλιπτική D_e , όταν υπάρχει οπλισμός και στη θλιβόμενη ζώνη. Πρέπει πάλι να είναι $-Z = D_b + D_e$ και $-Z \cdot z = M$. Το z παριστάνει την απόσταση του κέντρου βάρους του εφελκυσμένου οπλισμού από το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των δυνάμεων D_b και D_e .

Όσα είπαμε μέχρι εδώ, ισχύουν για οποιαδήποτε διατομή στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν σε αυτήν αναπτύσσεται κάποια ροπή κάμψης. Στην ειδική περίπτωση των πλακών με οπλισμό



Σχ. 18.3μ.

Κατανομή των ορθών τάσεων σε μία διατομή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν το υλικό βρίσκεται ακόμη στο στάδιο I.



Σχ. 18.3ν.

Κατανομή των ορθών τάσεων σε μία διατομή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν το υλικό φθάσει στο στάδιο II.

κατά μία διεύθυνση η διατομή είναι πάντοτε ορθογωνική, εφ' όσον ο υπολογισμός γίνεται για μία τυπική λωρίδα της πλάκας. Το πλάτος της ορθογωνικής διατομής δηλαδή το πλάτος της τυπικής λωρίδας, το παίρνουμε για την ευκολία των υπολογισμών ίσο με ένα μέτρο. Το ύψος της ορθογωνικής διατομής ισούται με το πάχος d της πλάκας και στη θέση, που εξετάζεται.

Με την παραδοχή ότι ισχύει πάντοτε ο νόμος της αναλογίας του Hooke, οι τάσεις του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη ακολουθούν και στο στάδιο II μία τριγωνική κατατομή. Οι τάσεις του οπλισμού, είτε αυτός θλίβεται είτε εφελκύζεται, θα είναι πάντοτε n φορές μεγαλύτερες από τις τάσεις, που θα είχε το σκυρόδεμα στην ίδια θέση. Εάν επομένως θεωρηθούν οι τάσεις $\frac{\sigma_e}{n}$, αυτά θα αντιστοιχούν στο τριγωνικό διάγραμμα των τάσεων σ_b ή στην προέκτασή του.

Ζ. Πρακτικός τρόπος υπολογισμού.

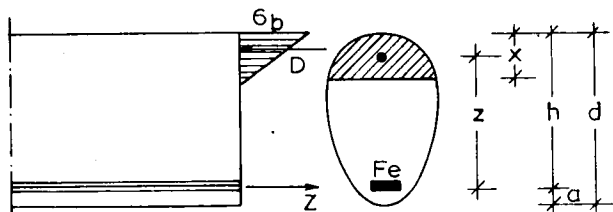
Η μέγιστη θλιπτική τάση του σκυροδέματος σ_b και η εφελκυστι-

κή τάση του χάλυβα σ_e μπορούν να υπολογισθούν, όταν είναι γνωστά: η ροπή κάμψεως M , το στατικό ύψος της πλάκας h , το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού F_e και ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα - σκυροδέματος n . Για το σκοπό αυτό χρειάζεται πρώτα να επιλυθεί μία τριτοβάθμια εξίσωση η μία από τις λύσεις της οποίας δίνει το ύψος x της θλιβομένης ζώνης (σχ. 18.3Ξ). Στη συνέχεια πρέπει να βρεθούν οι αριθμητικές τιμές δύο αλγεβρικών παραστάσεων, από τις οποίες η μία δίνει το σ_b και η άλλη το σ_e . Η μέθοδος αυτή, αν και θεωρητικά σωστή, δεν είναι πρακτική. Πιο απλά, αντί να λύνουμε εξισώσεις, χρησιμοποιούμε πίνακες. Τέτοιοι πίνακες υπάρχουν στο Παράρτημα, που βρίσκεται στο τέλος αυτού του τόμου, και έχουν τους αριθμούς 10α έως 15α.

Τα πραγματικά δεδομένα του προβλήματος είναι κατά κανόνα η ροπή κάμψεως M και το στατικό ύψος της πλάκας h . Ο λόγος $n = \frac{E_e}{E_b}$

είναι μεταβλητός και κυμαίνεται μεταξύ του 5 και του 30, κυρίως επειδή το E_b ποικίλλει ανάλογα με την ποιότητα του σκυροδέματος, ενώ αντίθετα το E_e είναι περίπου σταθερό. Όμως η μεταβολή του n δεν περιπλέκει τους υπολογισμούς, γιατί οι κανονισμοί καθορίζουν ότι το n θα λαμβάνεται πάντοτε ίσο προς 15, άσχετα από την πραγματική του τιμή, όταν πρόκειται να υπολογισθούν τάσεις σε διατομές στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι πίνακες του παραρτήματος, σύμφωνα προς τις οδηγίες των κανονισμών, αντιστοιχούν στην τιμή του $n = 15$. Το F_e επίσης δεν είναι συνήθως δεδομένο. Αντίθετα ο κανόνας είναι ότι ζητείται να καθορισθεί το F_e έτσι, ώστε η τάση σ_e του οπλισμού να έχει ορισμέ-



Σχ. 18.3Ξ.

Συμβολισμός των γεωμετρικών και στατικών μεγεθών μιας διατομής φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς.

νη τιμή. Τα δεδομένα επομένως είναι τα M , h , n και σ_{θ} , και τα ζητούμενα, τα σ_b και F_{θ} .

Για τον υπολογισμό μιας διατομής πλάκας σε κάμψη, η σειρά των εργασιών είναι η εξής: Εκλέγεται πρώτα η κατηγορία του οπλισμού, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Έτσι καθορίζεται αμέσως το σ_{θ} , δηλαδή η μέγιστη επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση του οπλισμού. Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς το σ_{θ} είναι:

- α) 1.400 kg/cm² για χάλυβα κατηγορίας I.
- β) 2.000 kg/cm² για χάλυβα κατηγορίας II.
- γ) 2.200 kg/cm² για χάλυβα κατηγορίας III.
- δ) 2.400 kg/cm² για χάλυβα κατηγορίας IV.

Υπάρχει ακόμη ο περιορισμός ότι, άσχετα με την κατηγορία του χάλυβα, το σ_{θ} δεν μπορεί να υπερβεί τα 1.200 kg/cm² για το B 120 και τα 2.200 kg/cm² για το B 160. Για τις διάφορες κατηγορίες χάλυβα και σκυροδέματος έχει ήδη γίνει λόγος στις παραγράφους 14.7 (Α) και 15.2 (Α) αντίστοιχα.

Για ειδικές μορφές οπλισμού, όπως είναι το Isteg, το Rippen-Torstall, το δομικό πλέγμα κλπ., υπάρχουν και ειδικοί κανονισμοί, που καθορίζουν τις επιτρεπόμενες μέγιστες τάσεις εφελκυσμού σε. Τους κανονισμούς αυτούς μπορεί κανείς να τους ζητάει κάθε φορά από τους προμηθευτές του ειδικού οπλισμού.

Μόλις καθορισθεί το σ_{θ} , καθορίζεται αυτόματα και ο πίνακας που θα χρησιμεύει για τον υπολογισμό, δηλαδή ο πίνακας που έχει ως επικεφαλίδα την τιμή αυτή του σ_{θ} . Στη συνέχεια εκλέγεται δοκιμαστικά ένα πάχος d για την πλάκα. Από το πάχος d προκύπτει το στατικό ύψος h , που είναι μικρότερό του κατά 1,5 cm, εάν η πλάκα αντιστοιχεί σε κλειστό χώρο, ή κατά 2 cm, εάν βρίσκεται στο ύπαιθρο. Το πάχος της πλάκας d καθορίζει και το ίδιο βάρος της, με συμβατικό ειδικό βάρος του σκυροδέματος 2.400 kg/m³, επομένως είναι δυνατόν πια να υπολογισθούν οι διάφορες ροπές κάμψεως M στις στηρίξεις και τα ανοίγματα της πλάκας. Μόλις υπολογισθούν οι ροπές M , βρίσκεται για κάθε μία από αυτές η τιμή της ποσότητας k_h

$$= \frac{h}{\sqrt{M}}.$$

Εδώ πρέπει να τονισθεί, ότι το h εκφράζεται σε cm και το M σε tm/m πλάτους της πλάκας. Στους πίνακες 10α έως και 15α του παραρτήματος, που αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές της σ_{θ} , υπάρχει μία σειρά, η οποία περιέχει διάφορες τιμές του k_h . Στην αμέσως

προηγούμενη σειρά δίδεται απ' ευθείας το αντίστοιχο σ_b . Από τους πίνακες προκύπτει ότι, όσο μεγαλώνει το k_h , τόσο μικραίνει το σ_b . Δεν ενδιαφέρει κατά κανόνα να υπολογισθεί ακριβώς η τιμή του σ_b , αρκεί να εξακριβωθεί ότι το σ_b είναι ανεκτό. Με άλλα λόγια, αρκεί το k_h να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με την τιμή που αντιστοιχεί στη μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος $\max \sigma_b$, που επιτρέπουν οι κανονισμοί. Κατά τους ελληνικούς κανονισμούς το $\max \sigma_b$ είναι:

- α) 40 kg/cm² για σκυρόδεμα κατηγορίας B 120.
- β) 60 kg/cm² για σκυρόδεμα κατηγορίας B 160.
- γ) 80 kg/cm² για σκυρόδεμα κατηγορίας B 225.
- δ) 100 kg/cm² για σκυρόδεμα κατηγορίας B 300.

Εάν το πάχος της πλάκας είναι μικρότερο ή ίσο προς 8 cm, το $\max \sigma_b$ πρέπει να ελαττωθεί κατά 10 kg/cm² για τις κατηγορίες σκυροδέματος B 160, B 225 και B 300. Βέβαια εάν προκύπτουν τιμές του k_h πολύ μεγαλύτερες από εκείνη, που αντιστοιχεί στο $\max \sigma_b$, το πάχος d της πλάκας, που το πήραμε δοκιμαστικά πρέπει να μειωθεί. Πρέπει πάντοτε να εκλέγεται το πάχος των πλακών όσο είναι δυνατόν και όσο επιτρέπεται μικρότερο. Αυτό συμφέρει, ακόμη και αν με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο οπλισμός ή και η συνολική δαπάνη για την κατασκευή των πλακών. Το κέρδος από τη μείωση των φορτίων, που δέχονται τα υπόλοιπα στοιχεία του έργου τόσο στην ανωδομή όσο και στη θεμελίωση, είναι κατά κανόνα πολύ μεγαλύτερο από την αύξηση του κόστους για την κατασκευή των ίδιων των πλακών.

Όταν ορισθεί τελικά το k_h , βρίσκεται από τους πίνακες εκτός από το σ_b και ένας άλλος συντελεστής k_e . Με τη βοήθεια του k_e υπολογίζεται ο οπλισμός, που απαιτείται για κάθε μέτρο πλάτους της πλάκας. Αυτός δίνεται από τον τύπο:

$$f_e = k_e \frac{M}{h}.$$

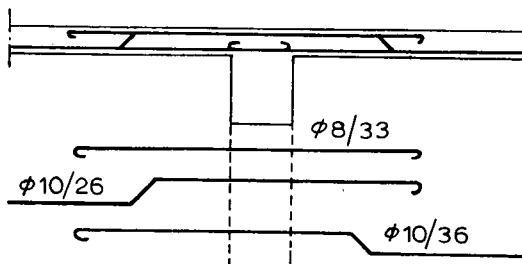
Στον τύπο αυτό το M εκφράζεται πάλι σε τοννόμετρα ανά μέτρο πλάτους της πλάκας, το h όμως εκφράζεται σε m, οπότε το f_e προκύπτει σε cm² ανά μέτρο πλάτους της πλάκας. Όταν το F_e είναι γνωστό, καθορίζονται με τη βοήθεια του πίνακα 9β οι διάμετροι των ράβδων του οπλισμού και οι μεταξύ τους αποστάσεις.

Παράδειγμα 1.

Ας εξετάσουμε πάλι το παράδειγμα του σχήματος 18.3η. Για πλάκες πάχους 12 cm το στατικό ύψος είναι 10,5 cm, επομένως για τα ακραία ανοίγματα είναι $k_h = \frac{10,5}{\sqrt{0,79}} = 11,83$. Για χάλυβα κατηγορίας I και σκυρόδεμα B 160, δηλαδή για $\sigma_e = 1.400 \text{ kg/cm}^2$, το k_h αυτό αντιστοιχεί κατά τον πίνακα 11α περίπου σε $\sigma_b = 48 \text{ kg/cm}^2 < 60$, είναι άρα ανεκτό. Από τον πίνακα αυτό προκύπτει και ο οπλισμός $f_e = 0,805 \frac{0,79}{0,105} = 6,06 \text{ cm}^2/\text{m}$. Ο οπλισμός αυτός κατά τον πίνακα 9β μπορεί να αποτελείται από ράβδους $\phi 10$ ανά αποστάσεις 13 cm. Με τον ίδιο τρόπο καθορίζεται ο οπλισμός για τα μεσαία ανοίγματα $\phi 10$ ανά 18 cm. Στο παρακραίο στήριγμα, η ροπή μετά τη μείωσή της είναι $- 870 \text{ kgm/m}$, άρα $k_h = \frac{10,5}{\sqrt{0,87}} = 11,27$, $\sigma_b = 51 \text{ kg/cm}^2 < 60$ και $f_e = 0,81 \frac{0,87}{0,105} = 6,71 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Από κάθε άνοιγμα κάμπτονται οι μισές ράβδοι και επομένως στο επάνω μέρος της πλάκας στη θέση της στηρίξεως υπάρχουν $\phi 10$ ανά 26 cm και $\phi 10$ ανά 36 cm, που αντιπροσωπεύουν 5,20 cm^2/m . Λείπουν ακόμη 1,51 cm^2/m που συμπληρώνονται, αν τοποθετηθούν πρόσθετες ράβδοι (καπάκια) $\phi 8$ ανά 33 cm στο πάνω μέρος της πλάκας στη θέση της στηρίξεως (σχ. 18.3ο).

Σε ορισμένες περιπτώσεις συμφέρει ή χρειάζεται να μην αυξηθεί το πάχος της πλάκας d, έστω και αν το k_h παίρνει τιμές μικρότερες από εκείνη, η οποία αντιστοιχεί στο $\max \sigma_b$. Αυτό συμβαίνει συνήθως, όταν το d είναι ανεπαρκές για λίγες μόνο θέσεις της πλά-



Σχ. 18.3ο.

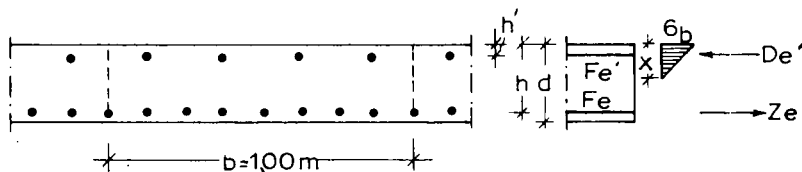
Πρόσθετος οπλισμός (καπάκια) στις θέσεις των στηρίξεων των συνεχών πλακών.

κας, ενώ επαρκεί για την υπόλοιπη έκτασή της. Στις δύσκολες αυτές θέσεις η τάση σ_b του σκυροδέματος μπορεί να περιορισθεί στα επιτρεπόμενα όρια, εάν προστεθεί οπλισμός και στη θλιβόμενη ζώνη της πλάκας.

Όταν υπάρχει θλιβόμενος οπλισμός, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό οι πίνακες 10γ έως 15γ του παραρτήματος. Σε κάθε σελίδα των πινάκων αυτών, που αντιστοιχεί πάλι σ' ορισμένο σ_e για τον εφελκούμενο οπλισμό, υπάρχουν πολλές στήλες, που αντιστοιχούν η κάθε μία σε ορισμένο $\max \sigma_b$, ανάλογα με την κατηγορία του σκυροδέματος, που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί.

Για την εκτέλεση του υπολογισμού ακολουθούμε την εξής σειρά εργασιών: Υπολογίζεται πρώτα το $k_h = \frac{h}{\sqrt{M}}$, το οποίο βέβαια είναι μικρότερο από την οριακή επιτρεπόμενη τιμή. Στην κατάλληλη στήλη του πίνακα, δηλαδή στη στήλη με το κατάλληλο $\max \sigma_b$, βρίσκεται η γραμμή, η οποία αντιστοιχεί στο k_h , που βρέθηκε από τον πιο πάνω τύπο. Στη γραμμή αυτή υπάρχουν δύο συντελεστές: ο k_e και ο k'_e . Ο πρώτος δίνει τον εφελκούμενο οπλισμό με τη βοήθεια του γνωστού τύπου $f_e = k_e \frac{M}{h}$ και ο δεύτερος το θλιβόμενο με τη βοήθεια ενός παρόμοιου τύπου $f'_e = k'_e \frac{M}{h}$.

Ο υπολογισμός αυτός είναι σωστός υπό τον όρο ότι το πάχος της πλάκας είναι αρκετά μεγάλο, ώστε ο λόγος $\frac{h'}{h}$ να είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με 0,07. Το ύψος h' είναι η απόσταση του κέντρου βάρους του θλιβόμενου οπλισμού από την πλησιέστερη προς αυτόν επιφάνεια της πλάκας, δηλαδή 1,5 cm για κλειστούς χώρους και 2 cm για το υπαίθρο (σχ.18.3π). Όταν είναι το $\frac{h'}{h} \geq 0,08$,



Σχ. 18.3π.

Διατομή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα, που έχει και θλιβόμενο οπλισμό.

ο θλιβόμενος οπλισμός δίνεται από τον τύπο $f'_e = \alpha \cdot k'_e \frac{M}{h}$, όπου το α είναι ένας διορθωτικός συντελεστής μεγαλύτερος από τη μονάδα. Ο συντελεστής α δίνεται από τους βοηθητικούς πίνακες 10β έως 15β του παραρτήματος, που βρίσκονται στην ίδια σελίδα με τους κύριους πίνακες υπολογισμού.

Παράδειγμα 2.

Έστω μία πλάκα πάχους 10 cm με ροπή κάμψης στην εξεταζόμενη θέση $1.000 \text{ kgm/m} = 1,00 \text{ tm/m}$. Εάν η πλάκα κατασκευασθεί από σκυρόδεμα κατηγορίας Β 160 και οπλισθεί με χάλυβα κατηγορίας Ι, θα χρειασθεί στη θέση αυτή και θλιβόμενο οπλισμό. Πραγματικά $h = 10 - 1,5 = 8,5 \text{ cm}$, άρα είναι $k_h = \frac{8,5}{\sqrt{1,0}} = 8,5$ μικρότερο του 9,9 το οποίο αντιστοιχεί στις μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις $\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_e = 1.400 \text{ kg/cm}^2$. Ο λόγος $\frac{h'}{h} = \frac{1,5}{8,5} \approx 0,18$, επομένως $\alpha = 1,75$ κατά τον πίνακα 11β. Από τον πίνακα 11γ για $k_h = 8,5$ και $\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$ προκύπτει $f_e = 0,81 \frac{1,0}{0,085} = 9,53 \text{ cm}^2/\text{m}$ δηλαδή $\varnothing 12$ ανά 12 cm και $f'_e = 1,75 \cdot 0,38 \frac{1,0}{0,085} = 7,82 \text{ cm}^2/\text{m}$, δηλαδή $\varnothing 12$ ανά 14,5 cm. Το f_e είναι ο εφελκυσμένος και το f'_e ο θλιβόμενος οπλισμός της πλάκας.

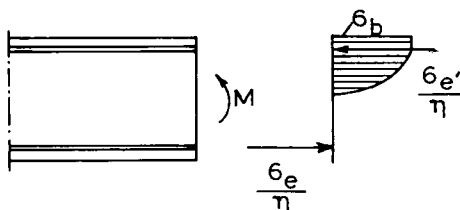
Οι κανονισμοί δεν απαγορεύουν να τοποθετείται θλιβόμενος οπλισμός στα ανοίγματα των πλακών, όμως πρέπει να αποφεύγεται αυτό για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι οικονομικός, επειδή ο θλιβόμενος οπλισμός αυξάνει πάρα πολύ το κόστος της κατασκευής. Ο δεύτερος λόγος είναι κατασκευαστικός, επειδή είναι πολύ δύσκολο στην πράξη να διατηρηθεί το h' τόσο μικρό, όσο υπολογίζεται θεωρητικά. Ο θλιβόμενος οπλισμός των ανοιγμάτων βρίσκεται στο πάνω μέρος της πλάκας και είτε βυθίζεται λόγω του βάρους του, είτε πατιέται κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Το αποτέλεσμα είναι, ότι ο λόγος $\frac{h'}{h}$ μεγαλώνει πολύ και αντιστοιχεί σε ένα α πολύ μεγαλύτερο από εκείνο, που υπολογίσαμε στον υπολογισμό του f'_e . Ο θλιβόμενος οπλισμός με αυτό τον τρόπο γίνεται ανεπαρκής. Μόνο στα ανοίγματα των ενισχυμένων ζωνών είναι δι-

καιολογημένο να τοποθετείται σε ορισμένες περιπτώσεις θλιβόμενος οπλισμός για να μην αυξάνεται εξαιτίας τους το πάχος σε ολόκληρη την έκταση της πλάκας.

Αντίθετα στις στηρίξεις συμφέρει συνήθως να τοποθετείται θλιβόμενος οπλισμός, αντί να αυξάνεται το πάχος της πλάκας, έστω και τοπικά, με την κατασκευή ενισχύσεων. Στις στηρίξεις ο θλιβόμενος οπλισμός είναι στο κάτω μέρος της πλάκας και επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος να αυξηθεί το h' , χωρίς να γίνει αντιληπτό. Επίσης ως θλιβόμενος οπλισμός χρησιμοποιείται και ο οπλισμός, ο οποίος έτσι ή αλλιώς υπάρχει στο κάτω μέρος της πλάκας στην περιοχή των στηρίξεων, σύμφωνα προς τις απαιτήσεις των κανονισμών. Έτσι η οικονομική επιβάρυνση είναι πολύ μικρότερη και συχνά ανύπαρκτη.

Εκτός από το σύστημα των πινάκων, που γράψαμε και που βρίσκονται στο Παράρτημα αυτού του τόμου, υπάρχουν και πολλά άλλα παρόμοια συστήματα πινάκων. Οι βασικές αρχές είναι περίπου οι ίδιες σε όλα τα συστήματα, τα οποία βασίζονται στην παραδοχή, ότι το σκυρόδεμα βρίσκεται στο στάδιο II. Οι πίνακες του παραρτήματος είναι εκείνοι, τους οποίους ακολουθεί το γερμανικό Beton-Kalender τα τελευταία χρόνια.

Τελευταία, έχουν αναπτυχθεί και συστήματα για τον υπολογισμό των πλακών, τα οποία βασίζονται στην παραδοχή, ότι το σκυρόδεμα βρίσκεται σε ένα επόμενο στάδιο, στο στάδιο III. Όταν οι τάσεις σ_b και σ_e αυξηθούν και υπερβούν ορισμένα όρια, δεν ισχύει πια ο νόμος του Hooke και το διάγραμμα των τάσεων δεν είναι τριγωνικό (σχ. 18.3ρ). Υπολογίζεται τότε η μέγιστη ροπή, που μπορεί να αναλάβει η διατομή, πριν το σ_b φθάσει το όριο θραύσεως του σκυροδέματος ή το σ_e το όριο διαρροής του χάλυβα. Η ροπή αυτή $M_{\theta\rho}$ πρέπει να είναι ν φορές μεγαλύτερη από την αναπτυσσόμενη πραγματικά ροπή M . Το ν είναι ένας αριθμός μεγαλύτε-



Σχ. 18.3ρ.

Κατανομή των ορθών τάσεων σε διατομή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν το υλικό φθάσει στο στάδιο III.

ρος από τη μονάδα συνήθως ίσος προς 3, που καλείται **συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσεως**. Με τη μέθοδο αυτή καθορίζονται τα d και f_0 της πλάκας έτσι, ώστε να είναι $M_{0p} \geq \nu \cdot M$.

Οι ελληνικοί κανονισμοί δεν επιτρέπουν να χρησιμοποιείται η μέθοδος αυτή για τον υπολογισμό των πλακών και γι' αυτό δεν αναπτύσσεται και ο τρόπος, με τον οποίο εκτελούνται οι υπολογισμοί. Όμως σε άλλες χώρες περισσότερο προηγμένες από τεχνικής απόψεως η ιδέα της εφαρμογής της μεθόδου αυτής κερδίζει συνεχώς έδαφος και δεν αποκλείεται κατά τα επόμενα χρόνια να εφαρμοσθεί και στην Ελλάδα.

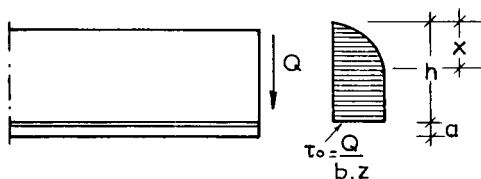
Η. Υπολογισμός σε διάτμηση.

Από τη **Μηχανική** είναι γνωστό ότι, εκτός από τη ροπή κάμψης, στις διατομές των φορέων αναπτύσσεται και μία τέμνουσα δύναμη Q .

Η τέμνουσα δύναμη προκαλεί μέσα στη διατομή τάσεις διατμητικές τ , δηλαδή τάσεις, που ενεργούν έτσι, ώστε να εφάπτονται στη διατομή. Οι τέμνουσες δυνάμεις δημιουργούν τελείως διαφορετική κατάσταση από τις ροπές κάμψης, οι οποίες προκαλούν, όπως είπαμε ήδη, τάσεις κάθετες προς τη διατομή.

Οι διατμητικές τάσεις τ δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε ολόκληρη την έκταση της διατομής. Εάν συνέβαινε κάτι τέτοιο, θα ήταν $\tau = \frac{Q}{F}$, όπου F το εμβαδόν της διατομής, ενώ πραγματικά

το $\max \tau$ είναι μεγαλύτερο από το $\frac{Q}{F}$. Το διάγραμμα που δίνει τις τιμές των διατμητικών τάσεων τ σε μια διατομή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα, φαίνεται στο σχήμα 18.3σ. Η μέγιστη τιμή της διατμητικής τάσεως είναι $\tau_0 = \frac{Q}{b \cdot z}$, είναι δηλαδή ευθέως ανάλογη



Σχ. 18.3σ.

Κατανομή των διατμητικών τάσεων στη διατομή μιας πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα.

με την τιμή της τέμνουσας δυνάμεως Q και αντίστροφα ανάλογη του πλάτους b της διατομής και του μοχλοβραχίονα z του ζεύγους των δυνάμεων D και Z .

Οι μέγιστες τιμές των τεμνουσών δυνάμεων, επομένως και των διατμητικών τάσεων, παρουσιάζονται κοντά στις παρειές των στηρίξεων. Οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις των πλακών επιτρέπεται να υπολογίζονται για φόρτιση ολόκληρου του φορέα με το σύνολο των φορτίων, έστω και αν υπάρχουν άλλες φορτίσεις που δίνουν λίγο μεγαλύτερες τιμές για τις τέμνουσες δυνάμεις. Επίσης, για τις συνεχείς πλάκες με τρία τουλάχιστον ανοίγματα, όταν το μικρότερο άνοιγμα είναι τουλάχιστον ίσο προς τα $2/3$ του μεγαλύτερου, οι κανονισμοί επιτρέπουν να μην λαμβάνεται καθόλου υπόψη η συνέχεια. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός των τεμνουσών δυνάμεων απλοποιείται και γίνεται, όπως εάν ήταν κάθε άνοιγμα μία ανεξάρτητη αμφιέριστη πλάκα.

Όταν υπολογισθούν οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις, είναι εύκολο να υπολογισθούν και οι μέγιστες διατμητικές τάσεις με τον τύπο $\tau_0 = \frac{Q}{100 \cdot z}$, εφ' όσον πάντοτε εξετάζεται μία τυπική λωρίδα πλάτους $b = 100$ cm. Για να απλοποιηθούν ακόμη περισσότερο οι υπολογισμοί μπορούμε να παίρνομε το z ίσο προς $7/8$ h , οπότε ο τύπος γράφεται $\tau_0 = \frac{8Q}{700z}$. Στον τύπο αυτό το Q εκφράζεται σε χιλιόγραμμα και τα z και h σε cm, ώστε το τ_0 προκύπτει σε χιλιόγραμμα ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο (kg/cm^2).

Οι διατμητικές τάσεις, που προκύπτουν από τον υπολογισμό, δεν πρέπει να υπερβαίνουν:

- α) Τα $6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120.
- β) Τα $8 \text{ kg}/\text{cm}^2$ για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 160.
- γ) Τα $9 \text{ kg}/\text{cm}^2$ για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 225.
- δ) Τα $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 300.

Συνήθως προκύπτουν τιμές πολύ μικρότερες και έτσι το σκυρόδεμα μπορεί με ασφάλεια να αναλάβει τις τάσεις. Εάν σε σπάνιες περιπτώσεις συμβεί το αντίθετο, πρέπει να αυξάνεται το πάχος της πλάκας.

Παράδειγμα 3.

Ας εξετάσομε και πάλι το παράδειγμα του σχήματος 18.3η. Η

μέγιστη τιμή της τέμνουσας δυνάμεως είναι $\max Q = \frac{670}{2} \cdot 3,60 = 1.210 \text{ kg/m}$. Επομένως η μέγιστη διατμητική τάση είναι $\tau_0 = \frac{8 \times 1.210}{700 \times 10,5} = 1,32 \text{ kg/cm}^2$ πολύ μικρότερη από τα 8 kg/cm^2 , που επιτρέπονται για την κατηγορία του σκυροδέματος B 160. Για αυτό το λόγο συχνά παραλείπεται εντελώς ο έλεγχος των πλακών σε διάτμηση.

Στην πραγματικότητα το z εξαρτάται από τις τάσεις σ_b και διαφέρει από τη μία διατομή στην άλλη. Όμως οι μεταβολές είναι πολύ μικρές, όπως φαίνεται από το παρακάτω παράδειγμα: Για το συνηθισμένο χάλυβα κατηγορίας I, δηλαδή για $\sigma_e = 1.400 \text{ kg/cm}^2$, το z είναι ίσο προς $0,93 h$, όταν το σ_b είναι 25 kg/cm^2 , και μειώνεται σε $0,85 h$, όταν το σ_b φθάνει την τιμή των 75 kg/cm^2 . Επομένως για τις συνηθισμένες τιμές των τάσεων σ_b και σ_e η διαφορά του z από την τιμή $7/8 h = 0,875 h$ είναι εντελώς ασήμαντη.

Θεωρητικά οι τάσεις μπορούν να υπερβούν τα όρια, που αναφέρθησαν προηγουμένως και να φθάσουν έως τα 14 kg/cm^2 για το B 120, τα 16 kg/cm^2 για το B 160, τα 18 kg/cm^2 για το B 225 και τα 20 kg/cm^2 για το B 300. Στις περιπτώσεις αυτές όμως το σύνολο των τεμνουσών δυνάμεων πρέπει να αναλαμβάνεται από οπλισμό, που τοποθετείται ειδικά για το σκοπό αυτό. Ο υπολογισμός του οπλισμού αυτού γίνεται, όπως και στην περίπτωση των δοκών, για τις οποίες γίνεται λόγος στο επόμενο κεφάλαιο. Η λύση αυτή είναι γενικά αντιοικονομική και κατά κανόνα συμφέρει, αντί να τοποθετηθεί ο οπλισμός της διατμήσεως, να αυξάνεται το πάχος της πλάκας.

18.4 Σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες.

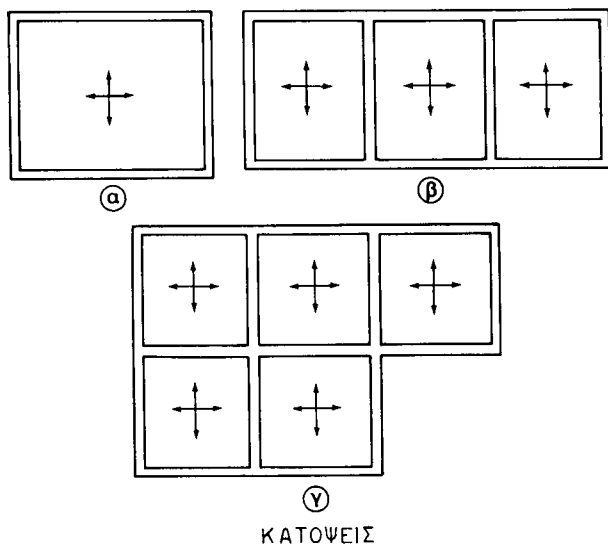
A. Περιγραφή.

Οι σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες μπορούν γενικά να έχουν οποιοδήποτε σχήμα κατόψεως: τριγωνικό, πολυγωνικό, κυκλικό, ημικυκλικό κοκ. Στο βιβλίο αυτό όμως εξετάζονται μόνο πλάκες, που έχουν κάτοψη με σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου ή με σχήμα, που διαφέρει ελάχιστα από το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Ο υπολογισμός πλακών με άλλα σχήματα κατόψεως παρουσιάζει πολλές ιδιομορφίες και γι' αυτό δεν συνηθίζεται η κατασκευή τους. Επίσης δεν εξετάζονται στο βιβλίο αυτό ορθογωνικές πλάκες, που

στηρίζονται στις τρεις πλευρές τους ή σε δύο προσκείμενες πλευρές. Οι πλάκες αυτές οπλίζονται πάντοτε σταυροειδώς, αλλά απαιτούν ειδικό υπολογισμό.

Οι ορθογωνικές πλάκες, που στηρίζονται και στις τέσσερις πλευρές τους, οπλίζονται σταυροειδώς, όταν ο λόγος των πλευρών τους κυμαίνεται μεταξύ του 2:3 και του 3:2, ή το πολύ μεταξύ του 3:5 και του 5:3. Όταν ο λόγος των πλευρών είναι μικρότερος από 3:5 ή μεγαλύτερος από 5:3, ο οπλισμός κατά τη διεύθυνση της μεγαλύτερης πλευράς προκύπτει λιγότερος από το 1/5 του οπλισμού της άλλης διεύθυνσεως. Στις περιπτώσεις αυτές λοιπόν αρκεί να τοποθετείται ο οπλισμός διανομής, που προβλέπουν οι κανονισμοί, και οι πλάκες θεωρούνται οπλισμένες μόνο κατά μία διεύθυνση.

Οι σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες μπορούν να αποτελούνται είτε από ένα μόνο ορθογωνικό φάτνωμα [σχ. 18.4α (α)], είτε από πολλά. Αν αποτελούνται από πολλά φατνώματα, αυτά μπορεί να είναι διατεταγμένα σε μία σειρά [σχ. 18.4α (β)] ή να εκτείνονται και κατά τις δύο διαστάσεις [σχ. 18.4α (γ)]. Έτσι η πλάκα μπορεί να



Σχ. 18.4α.

Πλάκες οπλισμένες σταυροειδώς: α) Μεμονωμένη. β) Διατεταγμένες σε μία σειρά. γ) Συνεχείς και κατά τις δύο έννοιες.

παρουσιάζει συνέχεια είτε κατά τη μία μόνο έννοια, είτε και κατά τις δύο.

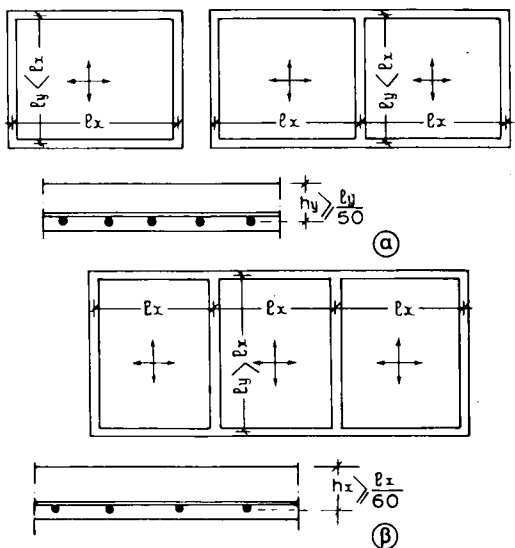
Η στήριξη των πλακών, που οπλίζονται σταυροειδώς, γίνεται ή επάνω σε στοιχεία ανεξάρτητα από τις πλάκες, π.χ. τοίχους από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, ή σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, που κατασκευάζονται ολόσωμα με τις πλάκες π.χ. δοκούς, τοιχώματα κλπ. Το είδος των στηρίξεων επηρεάζει τους υπολογισμούς, γιατί στις πλάκες αυτές παρουσιάζονται καμιά φορά κοντά στις γωνίες και αρνητικές αντιδράσεις. Στις περιοχές αυτές δηλαδή η πλάκα τείνει να αποκολληθεί από την στήριξη και πράγματι αυτό συμβαίνει όταν η στήριξη δεν είναι ολόσωμη με την πλάκα. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η στήριξη είναι ολόσωμη, δεν είναι δυνατόν να επέλθει αποκόλληση, αλλά δημιουργούνται τοπικές αντιδράσεις με αντίθετη φορά από τις συνηθισμένες. Ανεξάρτητα από το είδος τους, οι στηρίξεις είναι πάντοτε συνεχείς, καταλαμβάνουν δηλαδή ολόκληρη την περίμετρο των πλακών.

B. Κανονισμοί.

Ο τρόπος, με τον οποίο καθορίζονται τα θεωρητικά ανοίγματα για τις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, είναι ο ίδιος όπως και για τις πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση.

Για το ελάχιστο πάχος των πλακών αυτών οι περιορισμοί είναι λίγο ελαστικότεροι. Ισχύουν πάντοτε τα ίδια απολύτως ελάχιστα όρια πάχους, αλλά το στατικό ύψος h μπορεί να είναι ίσο με το $1/50$ του μικρότερου από τα δύο θεωρητικά ανοίγματα της πλάκας. Εάν μάλιστα κατά τη διεύθυνση του μικρότερου θεωρητικού ανοίγματος η πλάκα συνεχίζεται ή είναι πακτωμένη, έστω και από το ένα μέρος μόνο, τότε το h μπορεί να περιορισθεί και στο $1/60$ του ανοίγματος αυτού (σχ. 18.4β).

Ο οπλισμός κατά τη διεύθυνση του μικρότερου ανοίγματος υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς, όπως και ο οπλισμός των πλακών, που οπλίζονται κατά μία μόνο διεύθυνση. Για τον οπλισμό κατά τη διεύθυνση του μεγαλύτερου ανοίγματος, οι περιορισμοί είναι επίσης λίγο ελαστικότεροι. Οι ράβδοι του οπλισμού αυτού μπορούν να απέχουν μεταξύ τους από άξονα σε άξονα το πολύ μέχρι 25 cm, αρκεί η απόσταση αυτή να μην υπερβαίνει το διπλάσιο του πάχους d της πλάκας. Εννοείται, ότι δεν επιτρέπεται να είναι ο οπλισμός



Σχ. 18.4β.

Ελάχιστα επιτρεπόμενα πάχη πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα οπλισμένων σταυροειδώς: α) Χωρίς συνέχεια κατά τη διεύθυνση του μικρότερου ανοίγματος
 β) Με συνέχεια κατά τη διεύθυνση του μικρότερου ανοίγματος.

αυτός λιγότερος από τον οπλισμό διανομής, που θα χρειαζότανε η πλάκα, εάν εθεωρείτο οπλισμένη μόνο κατά μία διεύθυνση.

Για κάθε μία διεύθυνση, ο οπλισμός χωρίζεται πάλι σε δύο ομάδες ράβδων, ευθύγραμμες και κεκκαμμένες, και διατάσσεται ακριβώς, όπως και στην περίπτωση των πλακών με οπλισμό κατά μία διεύθυνση. Ισχύουν οι ίδιοι κανόνες για τις θέσεις, που πρέπει να κάμπτονται οι ράβδοι, για τα μήκη επικάλυψης των ράβδων στις θέσεις των στηρίξεων, για τις πρόσθετες ράβδους στις περιοχές των στηρίξεων κλπ.

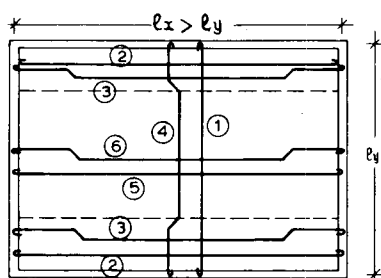
Εφ' όσον η πλάκα είναι οπλισμένη σταυροειδώς, ο οπλισμός αναγκαστικά τοποθετείται σε δύο στρώσεις. Έτσι το στατικό ύψος h_x κατά τη μία διεύθυνση διαφέρει από το στατικό ύψος h_y κατά την άλλη διεύθυνση. Για τα μέσα των φανωμάτων το μεγαλύτερο h αντιστοιχεί στο μικρότερο άνοιγμα και το μικρότερο h στο μεγαλύτερο άνοιγμα. Αυτό συμβαίνει, γιατί κατά το μικρότερο άνοιγμα παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες ροπές και είναι σκόπιμο να

τοποθετείται ο αντίστοιχος οπλισμός όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Το μεγαλύτερο h υπολογίζεται όπως και στις πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση. Το μικρότερο h μπορεί με αρκετή προσέγγιση να θεωρείται, ότι είναι μικρότερο από το προηγούμενο κατά 1 cm.

Στα μέσα των στηρίξεων, όπου παρουσιάζονται οι απόλυτα μεγαλύτερες αρνητικές ροπές, υπάρχει οπλισμός κατά μία μόνο διεύθυνση, επομένως υπάρχει μόνο ένα h , το οποίο είναι ίσο με το μεγαλύτερο από τα δύο προηγούμενα. Στα άκρα των στηρίξεων υπάρχουν πάλι δύο στρώσεις οπλισμού, επομένως και δύο διαφορετικά στατικά ύψη, αλλά αυτό δεν έχει μεγάλη σημασία, γιατί εκεί οι ροπές κάμψεως είναι πολύ μικρότερες κατ' απόλυτη τιμή, ενώ ο οπλισμός διατηρείται συνήθως ο ίδιος. Για να επιτυγχάνεται η σωστή τοποθέτηση του οπλισμού κατά στρώσεις και να έχουν τα στατικά ύψη h τα σωστά τους μεγέθη, οι ράβδοι του οπλισμού των φατνωμάτων μοιράζονται σε έξι ομάδες και τοποθετούνται με τη σειρά, την οποία παρουσιάζει το σχήμα 18.4γ. Μετά από τις ράβδους αυτές τοποθετούνται, εάν προβλέπονται στο σχέδιο, οι πρόσθετες ράβδοι για τις στηρίξεις (καπάκια).

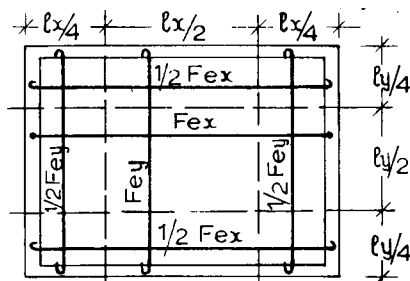
Στα μέσα των στηρίξεων υπάρχει άνω οπλισμός μόνο κατά μία διεύθυνση. Στις θέσεις αυτές και κάτω από τον κύριο οπλισμό πρέπει να τοποθετείται και οπλισμός διανομής.

Οι κανονισμοί επιτρέπουν να μειώνεται στο μισό ο οπλισμός των σταυροειδώς οπλισμένων πλακών στα ακραία τους τέταρτα (σχ. 18.4δ). Η μείωση αυτή επιτρέπεται βέβαια υπό τον όρο, ότι οι απο-



Σχ. 18.4γ.

Σειρά προτεραιότητας για τη διάστρωση του οπλισμού πλάκας οπλισμένης σταυροειδώς.



Σχ. 18.4δ.

Μείωση του οπλισμού, που επιτρέπουν οι κανονισμοί, στα ακραία τέταρτα πλακών οπλισμένων σταυροειδώς.

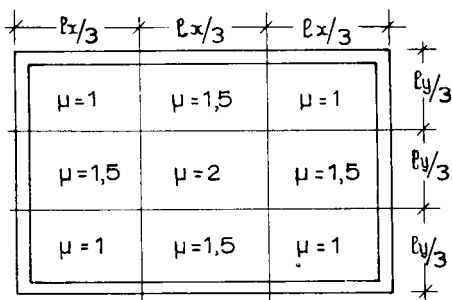
στάσεις των ράβδων δεν υπερβαίνουν τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια. Η μείωση αυτή δεν εφαρμόζεται κατά κανόνα, επειδή η οικονομία σε οπλισμό δεν αντισταθμίζει τις δυσκολίες, που προκύπτουν κατά τη σύνταξη των σχεδίων και των καταλόγων του οπλισμού και την τοποθέτηση των ράβδων και κυρίως τους κινδύνους να γίνουν σφάλματα κατά την τοποθέτηση του οπλισμού, επειδή ακριβώς στην Ελλάδα δεν συνηθίζεται η εφαρμογή του όρου αυτού των κανονισμών, που είναι επομένως άγνωστη στους τεχνίτες.

18.5 Υπολογισμός σταυροειδώς οπλισμένων πλακών.

Α. Στατικά μεγέθη.

Τα οφέλιμα φορτία για τις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες καθορίζονται, όπως και για τις πλάκες με οπλισμό κατά μία μόνο διεύθυνση. Το ίδιο ισχύει και για τα μόνιμα φορτία, με τη διαφορά ότι επιτρέπεται να θεωρούνται ομοιόμορφα κατανεμημένα ακόμη και εκείνα, που δεν είναι.

Γι' αυτό τα συγκεντρωμένα ή γραμμικά φορτία διαιρούνται με το εμβαδόν του φατνώματος, επάνω στο οποίο ενεργούν, αφού προηγουμένως πολλαπλασιασθούν με ένα κατάλληλο διορθωτικό συντελεστή μ . Οι κανονισμοί δεν καθορίζουν την τιμή του συντελεστή αυτού, γι' αυτό δίνονται εδώ μόνο ενδεικτικές οδηγίες. Εάν ένα φορτίο ενεργεί στο κεντρικό ένατο του φατνώματος (σχ. 18.5α), το μ πρέπει να παίρνεται τουλάχιστον ίσο με 2. Εάν ενεργεί σε ένα από τα τέσσερα ένατα, τα οποία



Σχ. 18.5α.

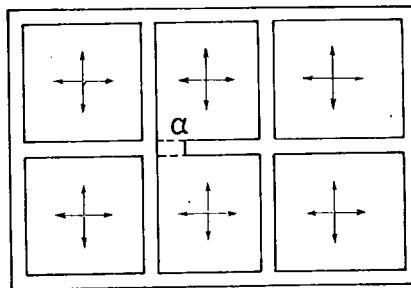
Τιμές του διορθωτικού συντελεστή μ σχετικές με τη θέση, στην οποία ενεργούν τα συγκεντρωμένα φορτία σε μία σταυροειδώς οπλισμένη πλάκα.

αντιστοιχούν στα μέσα των πλευρών, το μ μπορεί να μειωθεί στο 1,5, ενώ, εάν ενεργεί σε ένα από τα τέσσερα γωνιακά ένατα, το μ είναι δυνατόν να παίρνεται ίσο με τη μονάδα. Επίσης, αν το φορτίο καταλαμβάνει όλο το πλάτος της πλάκας, αλλά βρίσκεται στο μεσαίο τρίτο της κατά την άλλη έννοια, το μ πρέπει να παίρνεται τουλάχιστον ίσον με 1,5, ενώ αν βρίσκεται στα ακραία τρίτα της, το μ μπορεί να παίρνεται ίσο με τη μονάδα.

Σύμφωνα με τα πιο πάνω δεν υπάρχουν ενισχυμένες ζώνες στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες. Είναι όμως δυνατόν να υπάρχουν κρυφοδοκοί, αν οι στηρίξεις τους διακόπτονται σε ορισμένες θέσεις (σχ. 18.5β), αρκεί οι διακοπές αυτές να έχουν μήκος πολύ μικρότερο από τα ανοίγματα των πλακών.

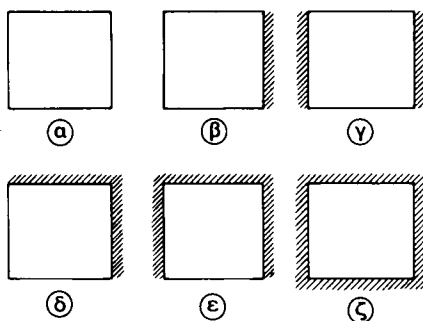
Για να υπολογισθούν οι ροπές κάμψεως και οι τέμνουσες δυνάμεις στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, απαιτούνται υπολογισμοί αρκετά δύσκολοι. Οι υπολογισμοί στην πράξη απλοποιούνται, επειδή οι κανονισμοί στις συνηθισμένες περιπτώσεις επιτρέπουν να μη λαμβάνεται υπόψη η συνέχεια, αλλά κάθε φάτνωμα να εξετάζεται ως ανεξάρτητο. Οι πλευρές των φανωμάτων, που αντιστοιχούν σε ακραίες στηρίξεις, δηλαδή εκεί, όπου η πλάκα δεν συνεχίζεται πέρα από αυτές, θεωρούνται ότι εδράζονται απλώς έτσι, ώστε να μπορούν να στραφούν ελεύθερα. Αντίθετα, όπου η πλάκα συνεχίζεται και πέρα από τη στήριξη, θεωρείται πακτωμένη έτσι, ώστε να μη μπορεί να στραφεί γύρω από τη στήριξη.

Με αυτόν τον τρόπο κάθε πλάκα σταυροειδώς οπλισμένη μπο-



Σχ. 18.5β.

Κρυφοδοκός (α) σε σημείο διακοπής της στηρίξεως πλακών οπλισμένων σταυροειδώς.



Σχ. 18.5γ.

Περιπτώσεις στηρίξεως φατνωμάτων πλακών οπλισμένων σταυροειδώς.

— Πλευρά, που στηρίζεται απλώς, ώστε να μπορεί να στράφει ελεύθερα.

//// Πλευρά πακτωμένη, δηλαδή που δεν μπορεί να στραφεί.

ρεί να αναλυθεί σε ορθογωνικά φατνώματα, καθένα από τα οποία υπάγεται σε μία από τις πιο κάτω έξι κατηγορίες (σχ. 18.5γ):

α) Φάτνωμα, του οποίου οι τέσσερις πλευρές εδράζονται ελεύθερα.

β) Φάτνωμα, του οποίου οι τρεις πλευρές εδράζονται ελεύθερα και η μία είναι πακτωμένη.

γ) Φάτνωμα, του οποίου οι δύο απέναντι πλευρές εδράζονται ελεύθερα και οι άλλες δύο είναι πακτωμένες.

δ) Φάτνωμα, του οποίου οι δύο προσκείμενες πλευρές εδράζονται ελεύθερα και οι άλλες δύο είναι πακτωμένες.

ε) Φάτνωμα, του οποίου οι τρεις πλευρές είναι πακτωμένες και η μία εδράζεται ελεύθερα.

ζ) Φάτνωμα και με τις τέσσερις πλευρές του πακτωμένες.

Για κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές φατνωμάτων υπάρχει και μία διπλή στήλη στον πίνακα 17, που βρίσκεται στο παράρτημα στο τέλος αυτού του τόμου. Η πρώτη στήλη του πίνακα αυτού περιέχει τις τιμές του λόγου $\epsilon = \frac{l_y}{l_x}$ των δύο πλευρών του φατνώματος. Κάθε ζεύγος από τις άλλες στήλες δίνει δύο αριθμούς, τους m_x και m_y , οι οποίοι χρειάζονται για να υπολογισθούν οι δύο ροπές κάμψεως στο κέντρο του φατνώματος. Είναι πραγματικά $\max M_x =$

$$\frac{q l_x^2}{m_x} \text{ και } \max m_y = \frac{q l_y^2}{m_y}, \text{ όπου } q \text{ είναι το συνολικό φορτίο ομοιόμορ-}$$

φα κατανεμημένο σε όλο το εξεταζόμενο φάτνωμα. Με το ίδιο σύστημα ο πίνακας 16 του Παραρτήματος δίνει ένα συντελεστή k , που καθορίζει την κατανομή του φορτίου q κατά τις δύο διευθύνσεις, είναι δηλαδή $q_x = k \cdot q$ και $q_y = (1 - k)q$.

Η κατανομή του φορτίου χρειάζεται, για να υπολογισθούν οι ροπές στα μέσα των στηρίξεων. Αν η στήριξη είναι ελεύθερη, η ροπή είναι προφανώς ίση με το μηδέν. Αν αντίθετα είναι πάκτωση, υπάρχει

μία αρνητική ροπή, που δίνεται από τον τύπο $-\frac{q_x l_x^2}{8}$, όταν η απέναντι

στηρίξη είναι ελεύθερη, και από τον τύπο $-\frac{q_x l_x^2}{12}$, όταν η απέναντι στηρίξη είναι πάκτωση. Οι τύποι αυτοί ισχύουν για τη διεύθυνση x , αλλά ακριβώς αντίστοιχοι ισχύουν επίσης και για τη διεύθυνση y , αν στη θέση του q_x γραφεί το q_y και στη θέση του l_x , το l_y .

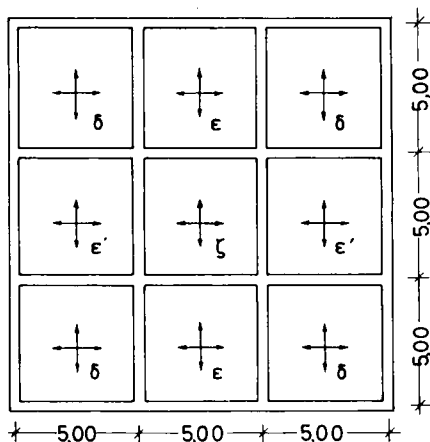
Με τη μέθοδο αυτή των ανεξαρτήτων φατνωμάτων είναι δυνατόν να βρεθούν για το κέντρο κάθε φατνώματος οι δύο ροπές κάμψης $\max M_x$ και $\max M_y$. Σε κάθε όμως ενδιαμέση στήριξη, η οποία προφανώς ανήκει σε δύο φατνώματα, βρίσκονται δύο αρνητικές ροπές, μία όταν η στήριξη θεωρηθεί ότι ανήκει στο ένα φάτνωμα, και μία όταν θεωρηθεί ότι ανήκει στο άλλο. Γενικά οι δύο αυτές ροπές διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά η διαφορά είναι συνήθως μικρή και έτσι αρκεί να λαμβάνεται τελικά υπόψη ο μέσος όρος τους. Ειδικά για τις στηρίξεις, που απέναντί τους έχουν ελεύθερη στήριξη για το ένα φάτνωμα, ενώ για το άλλο έχουν απέναντί τους πάκτωση, οι κανονισμοί υποδεικνύουν να χρησιμοποιείται ο

ενιαίος τύπος $-\frac{q_x l_x^2}{10}$ και όχι ο $-\frac{q_x l_x^2}{8}$ για το πρώτο φάτνωμα και

ο $-\frac{q_x l_x^2}{12}$ για το δεύτερο. Έτσι και στην περίπτωση αυτή η διαφορά των δύο ροπών στη στήριξη δεν είναι συνήθως μεγάλη.

Παράδειγμα.

Ας πάρουμε την πλάκα του σχήματος 18.5δ, που αποτελείται από 9 τετραγωνικά φατνώματα με όλες τις πλευρές τους ίσες προς 5,00 m. Το κεντρικό φάτνωμα υπάγεται στην κατηγορία ζ, τα τέσσερα γωνιακά στη δ και τα τέσσερα υπόλοιπα στην ε. Για πάχος πλάκας ίσο

**Σχ. 18.55.**

Παράδειγμα πλάκας με εννέα ίσα φατνώματα οπλισμένα σταυροειδώς.

προς 12 cm και για συνθήκες φορτίσεως γενικά όμοιες με το παράδειγμα του σχήματος 18.3η είναι $q = 670 \text{ kg/cm}^2$ [παράγρ. 18.3 (Δ)].

Για το κεντρικό φάτνωμα είναι $\max M_x = \max M_y = \frac{670 \times 5,00^2}{55,7} = 300$

kgm/m, για τα γωνιακά είναι $\max M_x = \max M_y = \frac{670 \times 5,00^2}{37,2} = 450$

kgm/m και για εκείνα, που σημειώνονται στο σχήμα με ϵ , $\max M_x = \frac{670 \times 5,00^2}{44,2} = 380 \text{ kgm/m}$ και $\max M_y = \frac{670 \times 5,00^2}{50,6} = 330 \text{ kgm/m}$.

Για τα φατνώματα ϵ' είναι προφανώς $\max M_x = 330 \text{ kgm/m}$ και $\max M_y = 380 \text{ kgm/m}$. Παρά το πολύ μεγαλύτερο άνοιγμα, οι ροπές κάμψεως είναι πολύ μικρότερες από τις ροπές κάμψεως των πλακών του παραδείγματος του σχήματος 18.3η.

Μεταξύ των φατνωμάτων ϵ ή ϵ' και δ η ροπή στηρίξεως είναι

$$\min M = - \frac{0,6667 + 0,5000}{2} \times \frac{670 \times 5,00^2}{10} = - 980 \text{ kgm/m, ενώ}$$

$$\text{στην περίμετρο του κεντρικού φατνώματος είναι } \min M = - \frac{0,3333 + 0,5000}{2} \times \frac{670 \times 5,00^2}{10} = - 700 \text{ kgm/m. Στους τελευταίους}$$

αυτούς υπολογισμούς βρέθηκε απ' ευθείας ο μέσος όρος των δύο τιμών, που θα προέκυπταν, εάν παίρναμε υπόψη πρώτα το ένα και

ύστερα το άλλο από τα δύο φατνώματα που βρίσκονται εκατέρωθεν κάθε στηρίξεως.

Αξιοσημείωτο είναι, ότι η διαφορά από τις ροπές στηρίξεως των πλακών του παραδείγματος του σχήματος 18.3η δεν είναι τόσο εντυπωσιακή, όπως η διαφορά για τις ροπές των ανοιγμάτων.

Συνήθως η μέθοδος των ανεξαρτήτων φατνωμάτων δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εάν αντίθετα παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των τιμών των ροπών στηρίξεως, που υπολογίζονται από τα δύο εκατέρωθεν φατνώματα, η μέθοδος πρέπει να αντικατασταθεί με άλλη.

Η απλούστερη λύση στην περίπτωση αυτή είναι να χρησιμοποιηθεί μόνο ο πίνακας 16, ώστε να καθορισθούν τα q_x και q_y για κάθε φάτνωμα. Στη συνέχεια οι πλάκες θεωρούνται προς στιγμή ως οπλισμένες μόνο κατά μία διεύθυνση και υπολογίζονται ως συνεχείς πλάκες κατά τη διεύθυνση αυτή, έστω την x με φορτίο όμως το q_x και όχι ολόκληρο το q . Έπειτα θεωρούνται ως οπλισμένες μόνο κατά τη διεύθυνση y και υπολογίζονται ως συνεχείς πλάκες κατά τη διεύθυνση αυτή με φορτίο το q_y . Με τη μέθοδο αυτή των συνεχών πλακών δεν παρουσιάζονται διαφορές στις ροπές στηρίξεως, γιατί κάθε ροπή κάμψεως υπολογίζεται μόνο κατά ένα τρόπο. Υπάρχει όμως πάντοτε κάποια προσέγγιση, γιατί τα q_x και q_y , που δίνει ο πίνακας 16, αντιστοιχούν σε ανεξάρτητα φατνώματα και όχι σε φατνώματα, που συνδέονται με το σύνολο της πλάκας.

Διευκρινίζεται εδώ, ότι η μέθοδος των ανεξαρτήτων φατνωμάτων δίνει πολύ μικρότερες ροπές κάμψεως στο κέντρο των φατνωμάτων, από ό,τι η μέθοδος των συνεχών πλακών, γιατί στην πρώτη λαμβάνεται υπόψη η ευεργετική επίδραση της συνεργασίας των δύο διευθύνσεων της πλάκας. Πραγματικά, επειδή η πλάκα είναι ολόσωμη, δεν λειτουργεί, όπως θα λειτουργούσαν δύο πλάκες ανεξάρτητες, που η μία κάμπτεται κατά τη διεύθυνση x και η άλλη κατά τη διεύθυνση y . Αντίθετα δημιουργούνται και δευτερεύουσες ροπές, που καλούνται **ροπές συστροφής**, οι οποίες μειώνουν τις κύριες ροπές κάμψεως.

Εκτός από τις δύο αυτές μεθόδους, των ανεξαρτήτων φατνωμάτων και των συνεχών πλακών, υπάρχουν και άλλες πιο ακριβείς. Για τις συνηθισμένες όμως περιπτώσεις δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν, γιατί η ακρίβεια, που επιτυγχάνεται με τις δύο πρώτες

μεθόδους, είναι αρκετή.

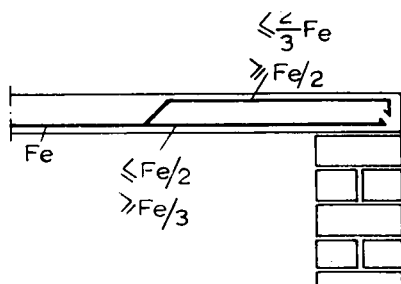
Για να υπολογισθούν οι τέμνουσες δυνάμεις στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, αρκεί να γίνει η παραδοχή ότι τα φατνώματα είναι ανεξάρτητα. Οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις είναι τότε ίσες προς $1/2 q_x l_x$ και $1/2 q_y l_y$ για τα φατνώματα, που ανήκουν στις κατηγορίες α, γ και ζ. Για φατνώματα της κατηγορίας δ οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις είναι ίσες με $5/8 q_x l_x$ και $5/8 q_y l_y$. Τέλος στις περιπτώσεις των φατνωμάτων β και ε η μία μέγιστη τέμνουσα έχει συντελεστή $5/8$, ενώ η άλλη (εκείνη, που αντιστοιχεί στη διεύθυνση, που έχει τις ίδιες συνθήκες, στις δύο στηρίξεις της) έχει συντελεστή $1/2$.

Β. Τάσεις και οπλισμός.

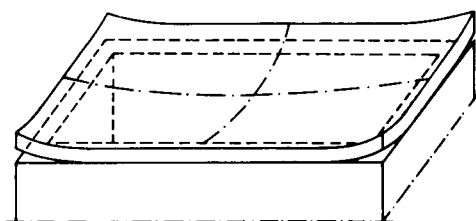
Ο τρόπος για τον υπολογισμό των τάσεων σ_b και σ_e , όπως και για τον καθορισμό του αναγκαίου οπλισμού στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, δεν διαφέρει καθόλου, από όσα εφαρμόζονται για τις πλάκες, που οπλίζονται κατά μία μόνο διεύθυνση. Ουσιαστικά υπολογίζεται και πάλι ο αναγκαίος οπλισμός f_b και ελέγχεται απλά αν είναι ανεκτές οι μέγιστες θλιπτικές τάσεις του σκυροδέματος σ_b , που προκαλεί σε κάθε θέση η ροπή κάμψεως. Πρέπει να δίνεται προσοχή, ώστε να χρησιμοποιείται κάθε φορά το στατικό ύψος h , που πράγματι υφίσταται την εξεταζόμενη θέση. Αυτό τονίζεται ιδιαίτερα, επειδή, όπως ήδη εξηγήσαμε, στις πλάκες αυτές το h δεν έχει παντού την ίδια τιμή.

Για κάθε φάτνωμα υπολογίζεται ο οπλισμός του ανοίγματος κατά τις δύο διευθύνσεις και ο οπλισμός, που χρειάζεται για κάθε πακτωμένη στήριξή του. Για τις πλευρές, που εδράζονται ελεύθερα, η ροπή κάμψεως είναι μηδενική, επομένως θεωρητικά δεν χρειάζεται καθόλου οπλισμός. Στην πραγματικότητα όμως σε καμιά έδραση δεν εξασφαλίζεται τέλεια ελευθερία στροφής και αναπτύσσονται πάντοτε μικρές ροπές κάμψεως. Γι' αυτό το λόγο ο μισός τουλάχιστον οπλισμός του ανοίγματος πρέπει να κάμπτεται και να οπλίζει το άνω μέρος των πλακών στις στηρίξεις, που θεωρητικά έχουν ληφθεί ως ελεύθερες (σχ. 18.5ε).

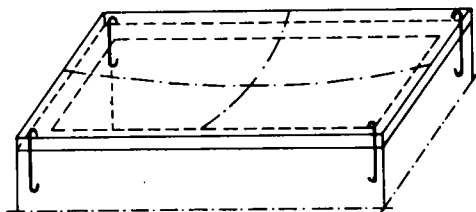
Όταν ένα φάτνωμα εδράζεται σε ορισμένες πλευρές του, πέρα από τις οποίες δεν συνεχίζεται η πλάκα, επάνω σε κατασκευή, που δεν είναι ολόσωμα συνδεδεμένη με την πλάκα, οι γειτονικές προς

**Σχ. 18.5ε.**

Οι πλάκες οπλίζονται και στην επάνω έδρα τους στην περιοχή των στηρίξεων, έστω και αν δεν υπάρχουν ροπές κάμψης.



(α)



(β)

Σχ. 18.5ζ.

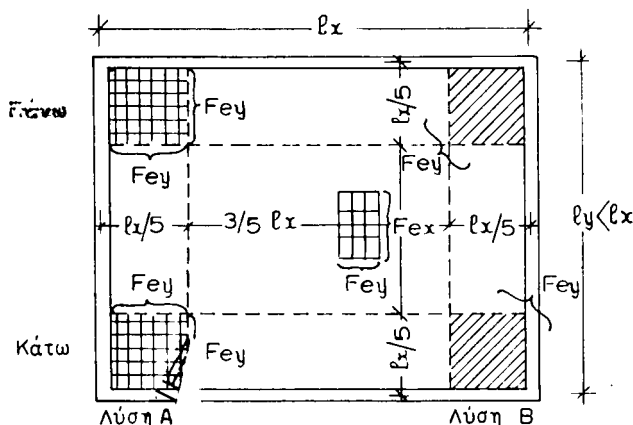
Πλάκες οπλισμένες σταυροειδώς με ελεύθερη στήριξη στην περίμετρό τους:
α) Ανύψωση των ελευθέρων γωνιών. β) Αποτροπή του φαινομένου με αγκύρωση των γωνιών.

τις πλευρές αυτές γωνίες του φατνώματος τείνουν να ανυψωθούν και να αποκολληθούν από τη στήριξή τους [σχ. 18.5ζ (α)]. Έτσι διαταράσσεται και αλλάζει η κατανομή των καμπτικών ροπών στην πλάκα.

Οι κανονισμοί για την περίπτωση αυτή προβλέπουν τρεις δυνατότες λύσεις. Η πρώτη λύση, όχι και πολύ πρακτική, είναι να αγκυρωθούν οι γωνίες του φανώματος μέσα στις στηρίξεις με χαλύβδινες ράβδους, που να έχουν την κατάλληλη διατομή [σχ. 18.5ζ (β)].

Η δεύτερη λύση είναι να εξασφαλισθεί ένας πρόσθετος οπλισμός στις τέσσερις γωνίες του φανώματος. Σε κάθε γωνία, της οποίας και οι δύο πλευρές ανήκουν στην ελεύθερη περίμετρο της πλάκας, ένα τετράγωνο, που η πλευρά του είναι ίση με το $1/5$ του μεγαλύτερου θεωρητικού ανοίγματος του φανώματος (σχ. 18.5η), οπλίζεται ιδιαίτερα. Το τετράγωνο αυτό πρέπει να έχει και πάνω και κάτω και κατά τις δύο διευθύνσεις τον οπλισμό, που χρειάζεται στο κέντρο του φανώματος, για τη διεύθυνση με τη μεγαλύτερη ροπή κάμψεως. Και αυτή η λύση σπάνια εφαρμόζεται, επειδή δημιουργεί περιπλοκές κατά την κατασκευή.

Η τρίτη και πιο συνηθισμένη λύση είναι να υπολογισθούν οι ροπές κάμψεως στο κέντρο του φανώματος με τη βοήθεια του πίνακα 18 και όχι του πίνακα 17 του παραρτήματος. Ο πίνακας 18 δίνει μικρότερες τιμές για τα m_x και m_y , συνεπώς προκύπτουν μεγαλύτερες ροπές κάμψεως στο μέσο του φανώματος με αποτέλεσμα να τοποθετείται τελικά περισσότερος οπλισμός.



Σχ. 18.5η.

Πρόσθετος οπλισμός στις γωνίες πλάκας οπλισμένης σταυροειδώς, όταν αυτή στηρίζεται ελεύθερα στην περίμετρό της.

Εκτός από την ορθή τάση σ_b του σκυροδέματος πρέπει να ελέγχεται και η μέγιστη διατμητική του τάση τ_o . Ο έλεγχος γίνεται με τη βοήθεια του τύπου $\tau_o = \frac{Q}{b \cdot z} = \frac{8 Q}{700 h}$ όπως ακριβώς και στις

πλάκες, που οπλίζονται κατά μία μόνο διεύθυνση. Συνήθως οι τιμές του τ_o είναι μικρές και δεν επηρεάζουν τους υπόλοιπους υπολογισμούς. Εάν κατ' εξαίρεση η τιμή του τ_o υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια, η ορθότερη λύση είναι να αυξάνεται το πάχος της πλάκας.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τάσεις σ_e , σ_b και τ_o έχουν στην περίπτωση των σταυροειδώς οπλισμένων πλακών τις ίδιες τιμές, όπως και για τις πλάκες με οπλισμό κατά μία μόνο διεύθυνση.

18.6 Πλάκες με νευρώσεις.

A. Περιγραφή.

Οι πλάκες, που εξετάσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, άσχετα με τον τρόπο οπλισμού, λέγονται **συμπαγείς**, επειδή παρουσιάζουν ενιαίο πάχος σε ολόκληρη την έκτασή τους, ή τουλάχιστον σε μεγάλα τους τμήματα. Στις πλάκες αυτές, όπως εξηγήσαμε, ένα μεγάλο ποσοστό του σκυροδέματος παραμένει αδρανές και χρησιμεύει μόνο για να περιβάλλει και να προστατεύει τον οπλισμό, επειδή δεν είναι σε θέση να αναλάβει εφελκυστικές τάσεις. Πραγματικά για τις συνηθισμένες τάσεις σ_b και σ_e το πάχος της ζώνης της πλάκας, όπου αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις και που είναι το μόνο ενεργό, δεν αντιπροσωπεύει περισσότερο από τα 30 έως 40% του στατικού της ύψους h . Το αποτέλεσμα είναι ότι οι κατασκευές επιβαρύνονται με σημαντικά φορτία, που προέρχονται από τους μεγάλους όγκους σκυροδέματος, οι οποίοι από την στατική άποψη είναι τελείως άχρηστοι.

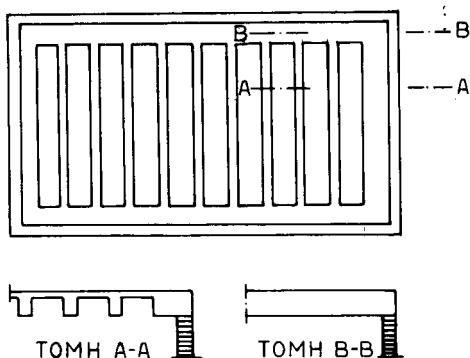
Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να λείψει ή τουλάχιστον να περιορισθεί, αν εφαρμοσθούν πλάκες με νευρώσεις. Οι πλάκες αυτές, αντίθετα προς τις συμπαγείς, δεν παρουσιάζουν ενιαίο πάχος, αλλά στο μεγαλύτερο μέρος τους έχουν τη διατομή, που φαίνεται στο σχήμα 18.6α (Τομή Α-Α). Με τον τρόπο αυτό υπάρχει από τη μια συνεχής λωρίδα σκυροδέματος, για να αναλαμβάνει τις θλιπτικές τάσεις εκεί, όπου οι ροπές κάμψεως είναι θετικές, και από την άλλη στενές νευρώσεις με μεγαλύτερο ύψος ανά αποστάσεις. Μέσα στις

νευρώσεις αυτές τοποθετείται ο εφελκυσμένος οπλισμός, που περιβάλλεται έτσι από το σκυρόδεμα και προστατεύεται, ενώ συγχρόνως διατηρείται σε αρκετή απόσταση από τη θλιβόμενη ζώνη, ώστε ο μοχλοβραχίονας z του ζεύγους των δυνάμεων D και Z να έχει το μέγεθος, που χρειάζεται. Στις περιοχές, όπου οι ροπές είναι αρνητικές, οι νευρώσεις καταργούνται και η πλάκα κατασκευάζεται συμπαγής με πάχος ίσο προς το συνολικό ύψος των νευρώσεων [σχ. 18.6α (Τομή Β-Β)]. Εκεί, όπου οι αρνητικές ροπές είναι πολύ μικρές κατ' απόλυτη τιμή, μπορούν να διατηρηθούν οι νευρώσεις, εφ' όσον βέβαια οι ροπές είναι δυνατόν να αναληφθούν από την πλάκα με τις νευρώσεις.

Στις πλάκες με νευρώσεις γίνεται οικονομία στο σκυρόδεμα και στον οπλισμό, αυξάνεται όμως η επιφάνεια των τύπων και η κατασκευή τους γίνεται δυσκολότερη. Το αποτέλεσμα είναι ότι συχνά η συνολική δαπάνη αυξάνει. Η κατασκευή πλακών με νευρώσεις γίνεται οικονομική μόνο για μεγάλα ανοίγματα, οπότε ο όγκος του σκυροδέματος, που εξοικονομείται, είναι σημαντικός. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται επίσης οικονομία και στα άλλα στοιχεία της κατασκευής, τόσο στην ανωδομή, όσο και στη θεμελίωση, επειδή μειώνονται τα νεκρά φορτία του έργου.

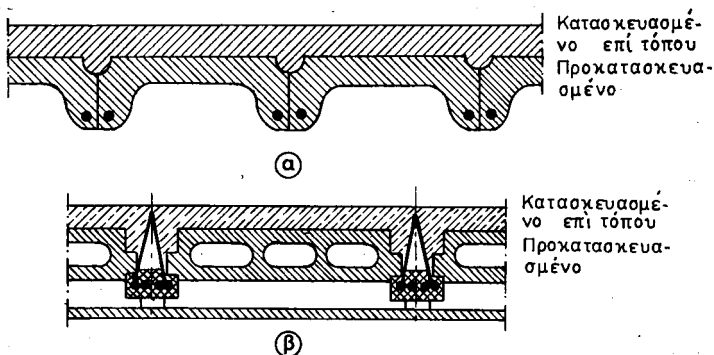
Οι πλάκες με νευρώσεις γίνονται οικονομικότερες, όταν για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται έτοιμοι τυποποιημένοι τύποι ή όταν οι ίδιες οι πλάκες είναι προκατασκευασμένες συνολικά ή και μερικά. Υπάρχουν πολλά τέτοια συστήματα κατασκευής πλακών με νευρώσεις (σχ. 18.6β). Κατά κανόνα προκατασκευάζονται οι νευρώσεις και επί τόπου χύνεται, χωρίς να χρειάζονται καθόλου ικριώματα και καλούπια, μία λεπτή στρώση σκυροδέματος. Η στρώση αυτή αποτελεί ένα μέρος της θλιβόμενης ζώνης, ενώ συγχρόνως καλύπτει τους αρμούς, που σχηματίζονται μεταξύ των προκατασκευασμένων νευρώσεων (σχ. 18.6β).

Μια άλλη λύση για το πρόβλημα των τύπων των πλακών με νευρώσεις είναι η εξής: ο τύπος της πλάκας κατασκευάζεται επίπεδη και επάνω σε αυτόν τοποθετούνται σειρές από σώματα πληρώσεως, δηλαδή ελαφρά δομικά στοιχεία από τσιμεντοκονία, ψημένη γη, κισσηροκονίαμα κοκ. Μεταξύ των σειρών αυτών σχηματίζονται αυτόματα οι νευρώσεις, μέσα στις οποίες τοποθετείται ο κύριος



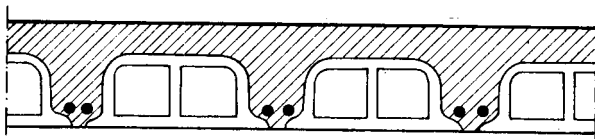
Σχ. 18.6α.

Πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα με νευρώσεις κατά μία διεύθυνση.



Σχ. 18.6β.

Τύποι πλακών με νευρώσεις με στοιχεία προκατασκευασμένα και στρώση σκυροδέματος από επάνω: α) Με ορατές νευρώσεις. β) Με σώματα πληρώσεως.



Σχ. 18.6γ.

Παράδειγμα πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα: με νευρώσεις και σώματα πληρώσεως.

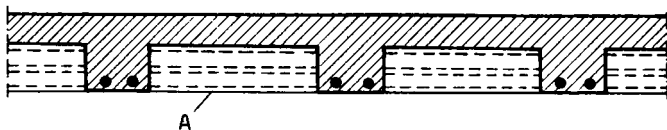
οπλισμός της πλάκας. Όταν διαστρωθεί το σκυρόδεμα και αφαιρεθούν οι τύποι, τα σώματα πληρώσεως μένουν ενσωματωμένα μέσα στην πλάκα, που έτσι παρουσιάζει επίπεδη και την κάτω επιφάνειά της (σχ. 18.6γ).

Ως σώματα πληρώσεως χρησιμοποιούνται ειδικοί τεχνητοί λίθοι με μεγάλα διάκενα, ώστε να είναι όσο το δυνατόν ελαφρότεροι. Οι επιφάνειές τους είναι κατάλληλα διαμορφωμένες, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα αποκολληθούν. Τα σώματα πληρώσεως μπορούν να κατασκευασθούν από ψημένη γη, όπως τα τούβλα (οπτόπλινθοι), από σκυρόδεμα, από κισσηρόδεμα ή άλλα παρόμοια υλικά. Στη διεθνή αγορά κυκλοφορούν άφθονοι τύποι σωμάτων πληρώσεως, που προστατεύονται κατά κανόνα με διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Είναι δυνατόν όμως να χρησιμοποιηθούν ως σώματα πληρώσεως και τα συνηθισμένα διάτρητα τούβλα, οπότε οι πλάκες ονομάζονται ειδικότερα πλάκες Zöllner (σχ. 18.6δ).

Στις πλάκες με νευρώσεις, στις οποίες χρησιμοποιούνται σώματα πληρώσεως, περιορίζεται κάπως το πλεονέκτημα της οικονομίας από την ελάττωση του βάρους και ακόμη προστίθεται η δαπάνη για την προμήθεια και τοποθέτηση των σωμάτων πληρώσεως. Αντίθετα εξουδετερώνεται απόλυτα το μειονέκτημα της φθοράς της ξυλείας και της δυσκολίας στην κατασκευή των τύπων, οι οποίοι είναι στην περίπτωση αυτή απλοί, όπως και για τις συμπαγείς πλάκες. Επίσης, εάν αρχιτεκτονικοί λόγοι επιβάλλουν να υπάρχει επίπεδη οροφή, αποφεύγεται η δαπάνη για την κατασκευή ψευδοροφής. Το συμπέρασμα είναι, ότι σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζεται αν συμφέρει η κατασκευή συμπαγών πλακών, πλακών με ελεύθερες νευρώσεις ή πλακών με νευρώσεις και σώματα πληρώσεως.

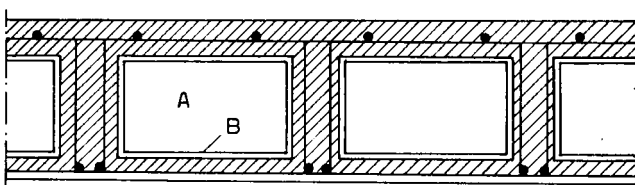
Όταν οι πλάκες έχουν πολύ μεγάλο πάχος, τα σώματα πληρώσεως μπορούν να τοποθετηθούν, αφού διαστρωθεί μία λεπτή στρώση σκυροδέματος και όχι κατ' ευθείαν επάνω στα καλούπια. Έτσι προκύπτουν οι λεγόμενες **κυψελωτές πλάκες**. Οι πλάκες αυτές παρουσιάζουν το πλεονέκτημα, ότι η κάτω επιφάνειά τους είναι ομοιογενής. Έτσι μπορούν να μην επιχρισθούν ή, όταν επιχρισθούν, δεν υπάρχει κίνδυνος να παρουσιάσουν σκιές ή κηλίδες. Οι κυψελωτές πλάκες εξ' άλλου είναι σε θέση να αναλάβουν όχι μόνο θετικές, αλλά και αρνητικές ροπές (σχ. 18.6ε).

Συγγενής κατασκευή με τις κυψελωτές πλάκες είναι και οι πλάκες με σωλήνες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται ως σώματα πληρώσεως σωλήνες από πεπιεσμένο χαρτί, πλαστικές ύλες ή άλλα παρόμοια ελαφρά υλικά. Οι σωλήνες έχουν το κατάλληλο μή-



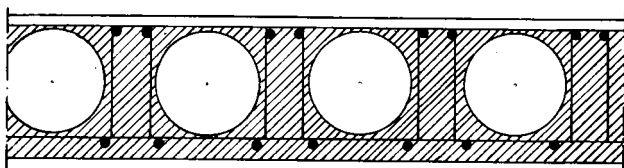
Σχ. 18.6δ.

Πλάκα με νευρώσεις και συνήθη διάτρητα τούβλα (Α), που χρησιμοποιούνται ως σώματα πληρώσεως.



Σχ. 18.6ε.

Κυψελωτή πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα: Α = κενό. Β = κιβώτια από ελαφρά υλικά.



Σχ. 18.6ζ.

Πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα με διάκενα σε σχήμα σωλήνα.

κος και στα άκρα τους τοποθετούνται πώματα από το ίδιο υλικό, για να μην εισέρχεται το σκυρόδεμα στο εσωτερικό τους. Υπάρχουν ειδικές προδιαγραφές για τον τρόπο, με τον οποίο τοποθετούνται οι σωλήνες και ο οπλισμός, όταν κατασκευάζονται αυτού του είδους οι πλάκες (σχ. 18.6ζ).

Όταν χρησιμοποιούνται σώματα πληρώσεως, πρέπει να παίρνομε όλα τα κατάλληλα μέτρα, ώστε αυτά να παραμένουν στη θέση τους κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος. Συνήθως χρειάζεται να στερεώνονται επάνω στους τύπους με σύρμα, καρφιά ή παρόμοια μέσα. Αυτό είναι ιδίως απαραίτητο, όταν τα σώματα είναι πολύ ελαφρά, όπως π.χ. οι χάρτινοι σωλήνες. Τότε τα σώματα πληρώσεως κινδυνεύουν να παρασυρθούν από την άνωση και να μετακινηθούν

προς τα πάνω, ώστε να επιπλέουν στο νωπό σκυρόδεμα, αν δεν έχουν προσδεθεί στερεά στα καλούπια.

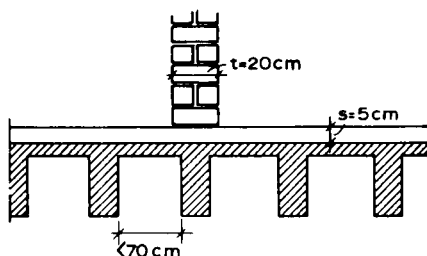
Είναι δυνατόν να κατασκευασθούν και πλάκες με διασταυρούμενες νευρώσεις. Αυτό συμβαίνει, όταν υπάρχουν οι συνθήκες, που θα επέβαλλαν να οπλισθούν σταυροειδώς οι πλάκες, εάν γίνονταν συμπαγείς. Η οικονομία σε όγκο σκυροδέματος είναι τότε μικρότερη, ενώ η δαπάνη για την κατασκευή των ξυλοτύπων αυξάνει ακόμη περισσότερο. Για τους λόγους αυτούς σπάνια κατασκευάζονται πλάκες με διασταυρούμενες νευρώσεις και, εάν κατασκευασθούν, σχεδόν πάντοτε χρησιμοποιούνται σώματα πληρώσεως.

Β. Κανονισμοί.

Για να θεωρηθεί μία κατασκευή, ότι είναι πλάκα με νευρώσεις σύμφωνα με τους όρους των κανονισμών, πρέπει η ελεύθερη απόσταση μεταξύ των νευρώσεων να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με 70 cm. Αν η απόσταση αυτή είναι μεγαλύτερη, η κατασκευή θεωρείται ότι είναι ένα σύστημα από μικρές συμπαγείς πλάκες και δοκούς. Οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών κατασκευών είναι δύο. Πρώτον οι κανονισμοί δεν επιτρέπουν στο σύστημα, που αποτελείται από συμπαγείς πλάκες και δοκούς, τόσο μικρές διαστάσεις και τόσο λίγο οπλισμό, όσο επιτρέπουν στα αντίστοιχα στοιχεία μιας πλάκας με νευρώσεις. Δεύτερον, κάθε δοκός πρέπει να υπολογισθεί, ώστε να μπορεί να φέρει τα φορτία, που αντιστοιχούν ακριβώς σε αυτήν, ενώ για τις νευρώσεις μιας πλάκας γίνεται δεκτό ότι υπάρχει κάποια συνεργασία.

Παράδειγμα 1.

Για να καταλάβομε καλύτερα την τελευταία αυτή διαφορά, ας θεωρηθεί μία πλάκα με νευρώσεις με άνοιγμα $l = 6,00$ m. Επάνω στην πλάκα αυτή εδράζεται παράλληλα προς τις νευρώσεις ένας τοίχος με πάχος $t = 20$ cm και μεσολαβεί μία επικάλυψη με πάχος $s = 5$ cm (σχ. 18.6η). Σύμφωνα προς τους κανονισμούς για τις ενισχυμένες ζώνες των πλακών, που ισχύουν και για πλάκες με νευρώσεις, το βάρος του τοίχου μπορεί να κατανεμηθεί σε μία ζώνη με πλάτος b το πολύ ίσο με $\frac{2}{3} l + \frac{t + 2s}{3}$. Επειδή $l = 6,00$ m, $t = 20$ cm και $s = 5$ cm, θα είναι $b = \frac{2}{3} 6,00 + \frac{0,20 + 2 \times 0,05}{3} = 4,10$ m.



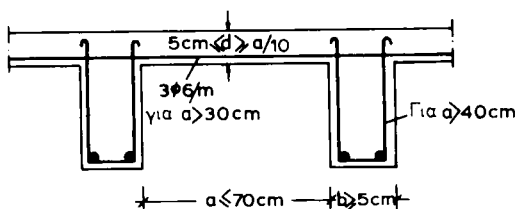
Σχ. 18.6η.

Στις πλάκες με νευρώσεις τα γραμμικά φορτία δεν φορτίζουν μόνο μία νευρώση, αλλά μοιράζονται και στις γειτονικές της.

Εάν η ελεύθερη απόσταση μεταξύ των νευρώσεων είναι μικρότερη ή ίση με 70 cm, το φορτίο του τοίχου επιτρέπεται να μοιρασθεί εξ' ίσου σε όλες τις νευρώσεις, που απέχουν λιγότερο από $\frac{4,10}{2} = 2,05$ m από τον άξονα του τοίχου. Εάν αντίθετα η ελεύθερη απόσταση είναι μεγαλύτερη πρέπει να υπολογισθεί ότι ολόκληρο το βάρος του τοίχου φορτίζει μόνο τη δοκό, που βρίσκεται ακριβώς κάτω από αυτόν.

Για το θεωρητικό άνοιγμα των πλακών με νευρώσεις ισχύουν όσα για τις συμπαγείς πλάκες. Αντίθετα ισχύουν διαφορετικοί περιορισμοί για το πάχος και τις διαστάσεις τους γενικά. Το πλάτος των νευρώσεων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με 5 cm. Βέβαια πρέπει να χωρεί ο οπλισμός και να τηρούνται οι περιορισμοί οι σχετικοί με τα πάχη επικάλυψης του οπλισμού και τις αποστάσεις ανάμεσα στις ράβδους, που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 17.2 (Γ). Το πάχος της πλάκας μεταξύ των νευρώσεων μπορεί και αυτό να μειωθεί στα 5 cm αρκεί να είναι τουλάχιστον ίσο με το 1/10 της ελεύθερης αποστάσεως των νευρώσεων (σχ. 18.6θ). Επιτρέπονται επομένως στις πλάκες με νευρώσεις πάχη, που απαγορεύονται στις συμπαγείς πλάκες. Εννοείται ότι, αν προβλέπεται κυκλοφορία τροχοφόρων ή πρόκειται για την ανώτατη πλάκα οικοδομής με δύο τουλάχιστον ορόφους, ισχύει πάντοτε ο περιορισμός, ότι το πάχος μεταξύ των νευρώσεων πρέπει να είναι τουλάχιστον 12 cm.

Όταν η απόσταση από τον άξονα μιας νευρώσεως έως τον άξονα της γειτονικής της είναι μικρότερη ή ίση προς 30 cm, ο μοναδικός οπλισμός της πλάκας είναι αυτός, που τοποθετείται στον



Σχ. 18.6θ.

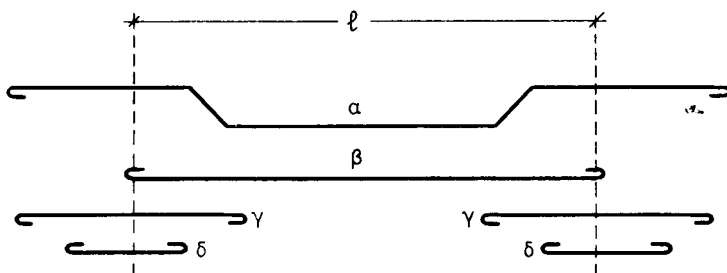
Περιορισμοί διαστάσεων στις πλάκες με νευρώσεις σύμφωνα με τους κανονισμούς.

πυθμένα των νευρώσεων. Όταν η απόσταση αυτή είναι μεγαλύτερη, οπλίζεται και η θλιβόμενη ζώνη της πλάκας με τρεις ράβδους διαμέτρου 6 mm ανά μέτρο. Οι ράβδοι αυτές τοποθετούνται κάθετα προς τις νευρώσεις. Όταν η απόσταση αυτή υπερβεί και τα 40 cm, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί και δευτερεύων οπλισμός μέσα στις νευρώσεις. Οι ράβδοι του οπλισμού αυτού έχουν σχήμα **αναβολέων** (συνδετήρες), όπως φαίνεται στο σχήμα 18.6θ, και διάμετρο 5 έως 6 mm. Ο κύριος οπλισμός των νευρώσεων τοποθετείται μέσα στους αναβολείς και εδράζεται στο κατώτερο οριζόντιο τμήμα τους. Συνήθως αρκούν τρεις έως πέντε τέτοιοι συνδετήρες για κάθε μέτρο μήκους της νευρώσεως.

Όταν τα φορτία είναι μεγάλα και ιδίως όταν είναι συγκεντρωμένα, πρέπει να γίνεται κάποιος έλεγχος και για τη λεπτή πλάκα, που βρίσκεται μεταξύ των νευρώσεων. Η πλάκα αυτή θεωρείται ως μία συνεχής συμπαγής πλάκα, που εδράζεται επάνω στις νευρώσεις και οπλίζεται κατά μία διεύθυνση κάθετη προς τις νευρώσεις. Σπάνια με τον έλεγχο αυτό προκύπτει, ότι πρέπει να αυξηθεί ο εγκάρσιος οπλισμός, δηλαδή να τοποθετηθούν περισσότερες από τις τρεις ράβδους $\phi 6$ ανά μέτρο, που απαιτούνται κατά τους κανονισμούς, ώστε να μπορεί η πλάκα να αναλάβει τη ροπή κάμψης.

Αντίθετα, σε αρκετές περιπτώσεις προκύπτει, ότι χρειάζεται να αυξηθεί το πάχος της πλάκας, επειδή η τιμή της διατμητικής τάσεως τ_0 υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια.

Ο κύριος οπλισμός των νευρώσεων έχει την ίδια μορφή με τον οπλισμό των συμπαγών πλακών. Οι ράβδοι χωρίζονται σε δύο ομάδες, ευθύγραμμες και κεκαμμένες. Στις στηρίξεις είναι δυνατόν να τοποθετούνται και πρόσθετοι ράβδοι ή επάνω ή κάτω.



Σχ. 18.6i.

Συνηθισμένες μορφές για τις ράβδους του κύριου οπλισμού στις πλάκες με νευρώσεις.

Για τις θέσεις κάμψεων και τα μήκη επικαλύψεων των ράβδων στην περιοχή των στηρίξεων ισχύουν οι ίδιες αρχές, όπως και στις συμπαγείς πλάκες (σχ. 18.6i).

Κατά μήκος των στηρίξεων τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων καταργούνται, ώστε η πλάκα εδράζεται σε όλο της το πλάτος και όχι μόνο σε ορισμένα σημεία. Συνήθως τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων καταργούνται σε κάποια απόσταση από τις παρειές των στηρίξεων έτσι, ώστε η πλάκα διαθέτει σε όλη της την περίμετρο μια συμπαγή λωρίδα, της οποίας το πλάτος είναι ίσο προς μερικά δέκατα του μέτρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ροπές στην περιοχή των στηρίξεων είναι αρνητικές, οι θλιπτικές τάσεις δηλαδή αναπτύσσονται στο κάτω και όχι στο πάνω μέρος της πλάκας. Χρειάζεται λοιπόν στο κάτω μέρος της πλάκας περισσότερο σκυρόδεμα, για να αναλάβει αυτές τις θλιπτικές τάσεις. Οι κανονισμοί μάλιστα επιβάλλουν να αναλαμβάνονται στο σύνολό τους οι τάσεις αυτές από το σκυρόδεμα και απαγορεύουν να χρησιμοποιείται θλιβόμενος οπλισμός. Δεν επιτρέπεται επίσης να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό ως θλιβόμενος οπλισμός, ούτε και ο οπλισμός, που οπωσδήποτε υπάρχει στο κάτω μέρος των νευρώσεων κοντά στις στηρίξεις της πλάκας.

Ο τελευταίος αυτός περιορισμός έχει καμιά φορά ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται κοντά στις στηρίξεις συμπαγείς ζώνες με πολύ μεγάλο πλάτος. Μία λύση, για να περιορισθεί το πλάτος των ζωνών αυτών, είναι να μην καταργούνται τελείως τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων. Εκεί, όπου το σκυρόδεμα δεν επαρκεί πια, για να

αναλάβει τις θλιπτικές τάσεις, τα διάκενα μπορεί απλά να στενεύουν (σχ. 18.6κ). Αυτό είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί, όταν για την κατασκευή των πλακών χρησιμοποιούνται ειδικοί τύποι ή ειδικά σώματα πληρώσεως, για τα οποία έχουν προβλεφθεί κομμάτια κεφαλών με κάτοψη τραπεζοειδή.

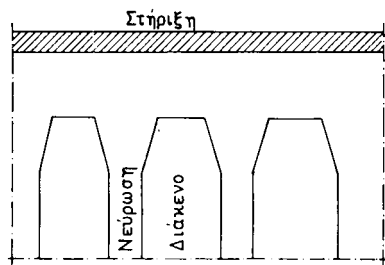
Μια άλλη λύση απλούστερη για τα συνηθισμένα μέσα, είναι να καταργούνται εναλλάξ τα μισά μόνο από τα διάκενα στη θέση, όπου το σκυρόδεμα των νευρώσεων δεν επαρκεί για να αναλάβει τις θλιπτικές τάσεις. Τα άλλα μισά διάκενα καταργούνται σε μια άλλη θέση πλησιέστερη στη στήριξη εκεί, όπου πάλι οι θλιπτικές τάσεις του σκυροδέματος υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια (σχ. 18.6λ).

Όταν το θεωρητικό άνοιγμα των πλακών με νευρώσεις δεν υπερβαίνει τα 4,00 m, η συμπαγής πλάκα, που συνδέει το άνω μέρος των νευρώσεων, θεωρείται αρκετή, για να εξασφαλίσει τη συνεργασία τους. Για μεγαλύτερα ανοίγματα χρειάζεται και μία νεύρωση στη μέση του ανοίγματος κάθετη προς τις άλλες. Όταν μάλιστα το θεωρητικό άνοιγμα υπερβαίνει και τα 7,00 m, πρέπει να κατασκευάζονται και άλλες δύο εγκάρσιες νευρώσεις στα τέταρτα του ανοίγματος. Οι εγκάρσιες αυτές νευρώσεις πρέπει να έχουν τις ίδιες διαστάσεις και τον ίδιο οπλισμό με τις κύριες νευρώσεις (σχ. 18.6μ).

Γ. Υπολογισμός.

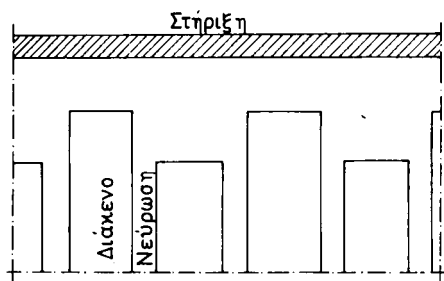
Για τον καθορισμό των φορτίων και τον υπολογισμό των στατικών μεγεθών δεν υπάρχει καμιά διαφορά μεταξύ των συμπαγών πλακών και των πλακών με νευρώσεις. Αν υπάρχουν νευρώσεις μόνο κατά τη μία έννοια, ο υπολογισμός γίνεται, όπως στις πλάκες, που οπλίζονται κατά μία μόνο διεύθυνση. Αν οι νευρώσεις διασταυρώνονται, ο υπολογισμός γίνεται, όπως και στις σταυροειδώς οπλισμένες συμπαγείς πλάκες.

Όταν υπολογισθούν οι ροπές κάμψεως και οι τέμνουσες δυνάμεις, δεν είναι σκόπιμο να αναχθούν σε μία τυπική λωρίδα πλάτους 1,00 m, όπως γίνεται για τις συμπαγείς πλάκες. Είναι προτιμότερο να ληφθεί ως πλάτος της τυπικής λωρίδας η απόσταση μεταξύ των αξόνων δύο γειτονικών νευρώσεων ή πιο σωστά η απόσταση μεταξύ των αξόνων των διακένων, που χωρίζουν τις νευρώσεις. Έτσι η τυπική λωρίδα έχει διατομή με σχήμα T, το οποίο στο άνω μέρος περιέχει το θλιβόμενο σκυρόδεμα και κάτω τον εφελκύμενο οπλι-



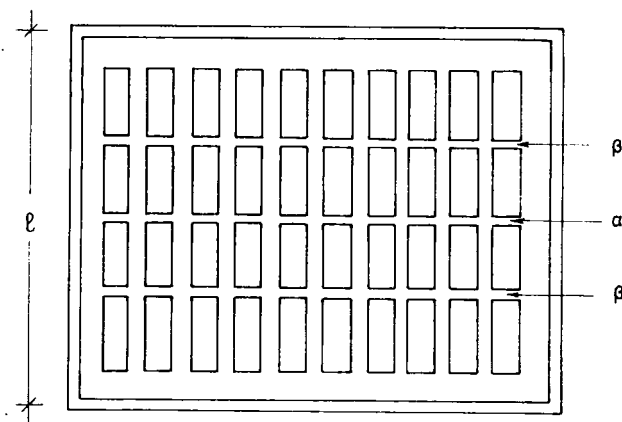
Σχ. 18.6κ.

Μείωση του πλάτους των διακένων σε μία πλάκα με νευρώσεις στην περιοχή της στηρίξεως.



Σχ. 18.6λ.

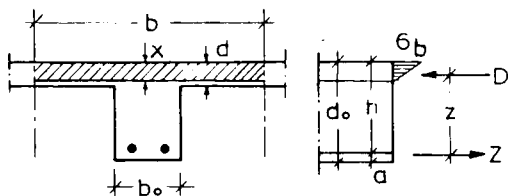
Αντί να μειωθεί το πλάτος, μπορεί να μειωθεί και ο αριθμός των διακένων κοντά στις στηρίξεις των πλακών με νευρώσεις.



Σχ. 18.6μ.

Εγκάρσιες νευρώσεις στις πλάκες με νευρώσεις, που έχουν μεγάλο άνοιγμα:

Για $l > 4,00$ m μόνο η α. Για $l > 7,00$ m η α και οι β.



Σχ. 18.6v.

Κατανομή των τάσεων σε μία διατομή πλάκας με νευρώσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα.

σμό, εφ' όσον η ροπή κάμψεως είναι θετική (σχ. 18.6v).

Υπολογίζεται πάλι η ποσότητα $k_h = \frac{h}{\sqrt{M : b}}$, όπου b είναι το πλάτος της λωρίδας σε μέτρα και M η ροπή κάμψεως, που αντιστοιχεί στη λωρίδα αυτή. Στον κατάλληλο από τους πίνακες 10α έως 15α βρίσκονται από το k_h οι αντίστοιχες τιμές των σ_b , k_θ και $k_x = \frac{x}{h}$. Ελέγχεται πρώτα, αν το $x = k_x \cdot h$, δηλαδή το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, είναι μικρότερο από το πάχος d της πλάκας, που αποτελεί το οριζόντιο τμήμα του T . Αν πράγματι $x \leq d$, τότε η θλιπτική τάση του σκυροδέματος έχει ως μέγιστη τιμή το σ_b που δίνει ο πίνακας. Αν το σ_b αυτό είναι ανεκτό, ο οπλισμός κάθε νευρώσεως υπολογίζεται από τον τύπο $F_\theta = k_\theta \frac{M}{h}$ όπως ακριβώς και για τις συμπαγείς πλάκες.

Θεωρητικά επιτρέπεται να τοποθετηθεί ο θλιβόμενος οπλισμός στο πάνω μέρος της πλάκας αν το σ_b υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια. Ο θλιβόμενος οπλισμός, που χρειάζεται υπολογίζεται, όπως και στις συμπαγείς πλάκες. Όμως είναι πάντοτε προτιμότερο και οικονομικότερο να αυξάνεται το ύψος των νευρώσεων, ώστε η τιμή του σ_b να γίνεται ανεκτή. Στην περιοχή των αρνητικών ροπών, εφ' όσον καταργούνται τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων, ο υπολογισμός γίνεται, όπως και στις συμπαγείς πλάκες.

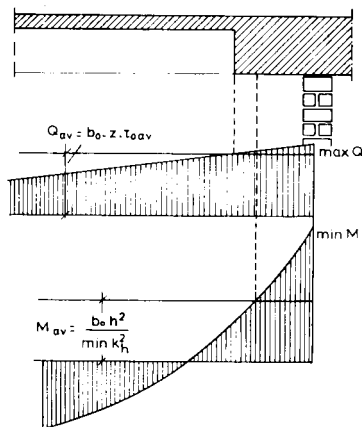
Εάν είναι το $x > d$ στην περιοχή των θετικών ροπών, αυτό σημαίνει ότι λείπει από τη διατομή ένα μέρος του σκυροδέματος, που θα είχε θλιπτικές τάσεις, εάν η πλάκα ήταν συμπαγής. Επομένως στην πραγματικότητα η μέγιστη θλιπτική τάση του σκυροδέματος είναι κάπως μεγαλύτερη από το σ_b , που βρίσκεται από τον πίνακα. Το πραγματικό σ_b

μπορεί να υπολογισθεί, όπως θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο, όταν γίνει λόγος για τις πλακοδοκούς. Πάντως, εάν η ποσότητα $\sigma'_b = \frac{x}{d} \sigma_b$ δεν υπερβαίνει την ανεκτή τάση του σκυροδέματος, τότε και η πραγματική τάση θα είναι ανεκτή. Είναι όμως σκόπιμο σε αυτές τις περιπτώσεις να αυξάνεται λίγο το d , ώστε να γίνεται σχεδόν ίσο με το x .

Στην περιοχή των αρνητικών ροπών, λίγο μακρύτερα από τις στηρίξεις, εκεί όπου διατηρούνται ακόμη οι νευρώσεις, το k_h υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου $k_h = \frac{h}{\sqrt{M : b_o}}$, όπου b_o είναι το πλάτος της νευρώ-

σεως μόνον και όχι ολόκληρης της λωρίδας, στην οποία αντιστοιχεί η ροπή κάμψεως M . Από το k_h βρίσκεται στον κατάλληλο πίνακα το σ_b , που πρέπει να είναι **οπωσδήποτε ανεκτό**, γιατί απαγορεύεται να χρησιμοποιηθεί θλιβόμενος οπλισμός. Επίσης βρίσκεται το k_e και από αυτό ο εφελκυσμένος οπλισμός, που χρειάζεται.

Καλύτερα είναι να γίνονται οι υπολογισμοί αντίστροφα. Υπολογίζεται δηλαδή η αρνητική ροπή, που αντιστοιχεί στη μέγιστη επιτρεπόμενη θλιπτική τάση του σκυροδέματος σ_{bav} (όπου ο δείκτης av σημαίνει ανεκτή), όταν υπάρχουν διάκενα μεταξύ των νευρώσεων. Εάν, σύμφωνα προς τον πίνακα, στο σ_{bav} αντιστοιχεί κάποια τιμή του k_h , τότε η ζητούμενη ροπή δίνεται από τον τύπο $M_{av} = - \frac{b_o h^2}{(k_h)^2}$. Από το διάγραμμα των ροπών κάμψεως της πλάκας (σχ. 18.6ξ) μπορεί να καθορισθεί γραφικά με αρκετή



Σχ. 18.6ξ.

Η θέση, όπου πρέπει να σταματούν τα διάκενα στις πλάκες με νευρώσεις, καθορίζεται έτσι, ώστε να μπορεί η πλάκα να αναλάβει τόσο τη ροπή, όσο και τη διάτμηση.

ακρίβεια η θέση, στην οποία παρουσιάζεται η ροπή M_{av} . Στη θέση αυτή πρέπει συνεπώς να καταργηθούν ή τουλάχιστον να μειωθούν τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων.

Για τον έλεγχο των διατμητικών τάσεων στην περιοχή, όπου υπάρχουν οι νευρώσεις, χρησιμοποιείται ο τύπος $\tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z}$, όπου

b_o είναι το πλάτος της νευρώσεως και Q η τέμνουσα δύναμη, που αντιστοιχεί σε μία λωρίδα με πλάτος b . Στις θέσεις αυτές κατά κανόνα οι τέμνουσες δυνάμεις είναι μικρές, γιατί εκεί, όπου γίνονται μέγιστες, έχουν ήδη καταργηθεί τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων. Εκεί πια ο έλεγχος γίνεται, όπως και στις συμπαγείς πλάκες, με τον τύπο $\tau_o = \frac{Q}{b \cdot z}$.

Οι μέγιστες ανεκτές τιμές της διατμητικής τάσεως τ_o στην περιοχή των νευρώσεων είναι λίγο μικρότερες, από όσο στις συμπαγείς πλάκες. Συγκεκριμένα το τ_o πρέπει να μην υπερβαίνει τα 4 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 6 kg/cm² για το B 160, τα 7 kg/cm² για το B 225 και τα 8 kg/cm² για το B 300, εκτός αν υπάρχει ειδικός οπλισμός, που να αναλαμβάνει το σύνολο των διατμητικών τάσεων.

Είναι ορθότερο να υπολογίζεται το $Q_{av} = b_o \cdot z \cdot \tau_{oav}$, που μπορεί να αναλάβει μία νεύρωση. Από το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων της πλάκας (σχ. 18.6Ξ στο μέσο) βρίσκεται η θέση, όπου η τέμνουσα δύναμη λαμβάνει την τιμή Q_{av} . Δεν αποκλείεται σε ορισμένες περιπτώσεις η θέση, όπου πρέπει να καταργηθούν ή να μειωθούν τα διάκενα μεταξύ των νευρώσεων, να καθορίζεται από την τέμνουσα δύναμη και όχι από τη ροπή κάμψης.

Παράδειγμα 2.

Έστω μία αμφιέρειστη πλάκα με νευρώσεις με θεωρητικό άνοιγμα 8,00 m και ότι το πάχος της είναι 35 cm στη θέση των νευρώσεων και 10 cm στα ενδιάμεσα. Μία νεύρωση με πλάτος 10 cm υπάρχει ανά μισό μέτρο. Επομένως το ίδιο βάρος μιας νευρώσεως είναι $g = (0,50 \times 0,10 + 0,10 \times 0,25) 2.400 = 180$ kg/m. Για μία επικάλυψη με δάπεδο βάρους 80 kg/m² και μία ψευδοροφή βάρους 50 kg/m² υπάρχει ένα πρόσθετο μόνιμο φορτίο $g' = 0,50 (80 + 50)$

= 65 kg/m. Εάν επάνω από την πλάκα αυτή υπάρχει μία αίθουσα συγκεντρώσεων με σταθερά καθίσματα ($\rho = 500 \text{ kg/cm}^2$), το συνολικό φορτίο της νευρώσεως είναι $q = 180 + 65 + 250 = 495 \text{ kg/m}$ και η μέγιστη ροπή κάμψεως $\max M = \frac{495}{8} 8,00^2 = 3.960 \text{ kgm}$. Για σκυρόδεμα Β 160 και χάλυβα κατηγορίας Ι ($\sigma = 1.400 \text{ kg/cm}^2$) είναι $k_h = \frac{33}{\sqrt{3,96 : 0,5}} = 11,73$, άρα $x = 0,340 \times 33 = 11,20 \text{ cm} > 10$.

Είναι όμως:

$$\sigma_b = 48 \text{ kg/cm}^2 \text{ και } \sigma'_b = 48 \frac{11,20}{10,0} = 53,8 \text{ kg/cm}^2 < 60,$$

επομένως η θλιπτική τάση είναι ανεκτή. Ο οπλισμός της νευρώσεως θα είναι: $F_s = 0,805 \frac{3,96}{0,33} = 9,67 \text{ cm}^2$, δηλαδή 3 $\emptyset$ 20 ανά νεύρωση. Στις στηρίξεις δεν υπάρχει ροπή κάμψεως, αναπτύσσεται όμως μία τέμνουσα δύναμη $Q = \frac{495}{2} 8,0 = 1.980 \text{ kg}$, που δίνει $\tau_o = \frac{1.980}{10 \times \frac{7}{8} \times 33} = 6,85 \text{ kg/cm}^2 > 6$. Χρειάζεται λοιπόν μία συμπαγής λωρίδα κοντά στη στήριξη με πλάτος τουλάχιστον $\frac{0,85}{6,85} \times \frac{8,00}{2} \simeq 0,50 \text{ m}$.

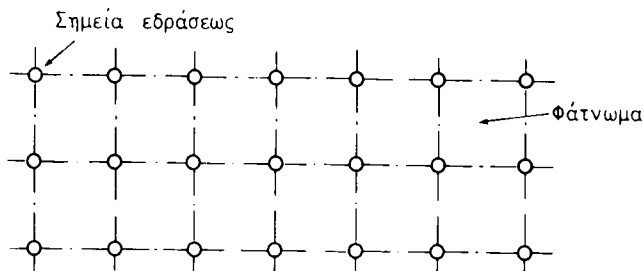
18.7 Επίπεδες και μυκητοειδείς πλάκες.

Α. Περιγραφή.

Οι πλάκες, που εξετάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, έχουν το κοινό χαρακτηριστικό, ότι εδράζονται σε στοιχεία επιμήκη και συνεχή, που μπορούν να εξομοιωθούν με γραμμές κατά κανόνα ευθείες. Υπάρχουν όμως και πλάκες, που εδράζονται σε μεμονωμένες θέσεις, που μπορούν να εξομοιωθούν με σημεία.

Οι πλάκες, που εδράζονται σε μεμονωμένες θέσεις, πρέπει απαραίτητα να οπλίζονται σταυροειδώς, αλλά αυτή είναι η μοναδική ομοιότητα με τις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, που εξετάστηκαν προηγουμένως.

Οι μεμονωμένες θέσεις εδράσεως των πλακών μπορούν να έχουν τυχαία διάταξη. Σε μια τέτοια γενική περίπτωση ο υπολογισμός είναι πολύ δύσκολος και οι παραδοχές, που είναι απαραίτητο



Σχ. 18.7α.

Συνηθισμένη διάταξη των στηρίξεων στις επίπεδες και μυκητοειδείς πλάκες.

να γίνουν, για να είναι δυνατόν να εκτελεσθεί ο υπολογισμός αυτός, είναι πολύ ασαφείς. Γι' αυτό συνήθως οι εδράσεις βρίσκονται στα σημεία, όπου διασταυρώνονται δύο δέσμες ευθειών παραλλήλων, οι οποίες είναι κάθετες μεταξύ τους (σχ. 18.7α). Με αυτόν τον τρόπο τα σημεία εδράσεως ορίζουν ανά τέσσερα ένα φάτνωμα, του οποίου η κάτοψη έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου. Κατά κανόνα μάλιστα τα ορθογώνια αυτά είναι ίσα μεταξύ τους.

Οι πλάκες, που εδράζονται σε μεμονωμένες θέσεις, είναι **επίπεδες** (flat slabs) ή **μυκητοειδείς** (pilzdecken). Οι επίπεδες πλάκες έχουν και τις δύο επιφάνειες επίπεδες σε όλη τους την έκταση. Οι μυκητοειδείς πλάκες έχουν στην κάτω επιφάνεια στις περιοχές των στηρίξεων τοπικές ενισχύσεις με σχήμα μύκητα. Οι γερμανικοί κανονισμοί, επομένως και οι ελληνικοί, που τους ακολουθούν, αναφέρονται μόνο στις μυκητοειδείς πλάκες. Οι αγγλικοί όμως και οι αμερικανικοί κανονισμοί επιτρέπουν και την κατασκευή πλακών επιπέδων. Οι επίπεδες πλάκες παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα τόσο αρχιτεκτονικά, όσο και οικονομικά, επειδή τα ικριώματα και τα καλούπια απλοποιούνται πάρα πολύ. Για τους λόγους αυτούς η χρήση τους επεκτείνεται συνεχώς και τελευταία γίνεται κάτω από ορισμένους όρους δεκτή η κατασκευή τους και στην Ελλάδα. Εξ άλλου έχει προταθεί να προστεθούν και στους γερμανικούς κανονισμούς άρθρα σχετικά με τις πλάκες αυτές.

Επειδή συχνά γίνεται κάποια σύγχυση, πρέπει να εξηγηθεί, ποια είναι η διαφορά ανάμεσα στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, αφ' ενός και στις επίπεδες ή μυκητοειδείς πλάκες αφ' ετέρου. Στις πρώ-

τες υπάρχουν στηρίξεις, π.χ. δοκοί, που αποτελούν στοιχεία εντελώς διακεκριμένα από την πλάκα. Στις άλλες η ίδια η πλάκα κατά κάθε μία διεύθυνση ενεργεί αφ' ενός ως πλάκα για ένα μέρος των φορτίων της και αφ' ετέρου ως στήριξη, ως κρυφοδοκός, για τα υπόλοιπα φορτία, που ενεργούν κατά την άλλη έννοια της πλάκας. Στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες το φορτίο μοιράζεται σε δύο μέρη και το καθένα ενεργεί κατά τη μία από τις δύο διευθύνσεις. Στις επίπεδες ή μυκητοειδείς πλάκες αντίθετα το φορτίο ενεργεί ολόκληρο και **κατά τις δύο διευθύνσεις.**

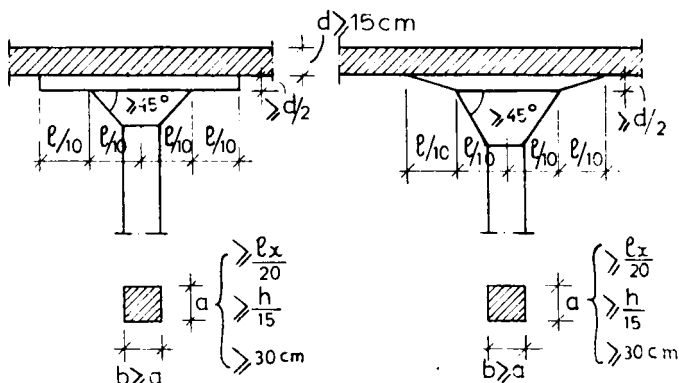
B. Κανονισμοί.

1. Μυκητοειδείς πλάκες.

Ως θεωρητικό άνοιγμα στις μυκητοειδείς πλάκες με ορθογώνια φατνώματα παίρνεται η απόσταση μεταξύ των ευθειών, που διέρχονται από τους άξονες των στηρίξεων και αποτελούν τις πλευρές των φατνωμάτων (σχ. 18.7α). Το πάχος των πλακών αυτών πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 cm, εκτός αν πρόκειται για κεκλιμένες πλάκες στεγών, οπότε μπορεί να περιορισθεί στα 12 cm.

Οι στηρίξεις πρέπει απαραίτητα να είναι υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, ώστε η σύνδεση με την πλάκα να είναι άκαμπτη. Κάθε πλευρά των υποστυλωμάτων αυτών πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το $1/15$ του ύψους τους και με το $1/20$ του αντίστοιχου θεωρητικού ανοίγματος της πλάκας, δηλαδή αυτού που έχει την ίδια διεύθυνση με την πλευρά του υποστυλώματος, που εξετάζεται. Συγχρόνως δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 30 cm.

Μεταξύ των υποστυλωμάτων και των πλακών σχηματίζονται κιονόκρανα, που αποτελούνται από δύο κολούρους πυραμίδες ή από ένα πρίσμα και μία κόλουρο πυραμίδα. Το πρώτο και ανώτερο από τα δύο αυτά στερεά, που βρίσκεται αμέσως κάτω από την πλάκα, έχει ύψος τουλάχιστον ίσο με το μισό του πάχους της πλάκας. Η κάτοψή του είναι ένα ορθογώνιο με πλευρές ίσες τουλάχιστον προς τα $2/5$ των αντιστοίχων ανοιγμάτων της πλάκας. Η κατώτερη κόλουρος πυραμίδα έχει παραπλεύρους έδρες, που κλίνουν ως προς τον ορίζοντα τουλάχιστον κατά 45° . Η άνω βάση της είναι ορθογώνιο με πλευρές ίσες τουλάχιστον με το $1/5$ των αντιστοίχων ανοιγμάτων της πλάκας. Η κάτω βάση της συμπίπτει με τη διατομή του υποστυλώματος (σχ. 18.7β).



Σχ. 18.7β.

Μορφή και διαστάσεις, σύμφωνα προς τους κανονισμούς, για τα κιονόκρανα των μυκητοειδών πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ως προς τον καθορισμό των φορτίων, τη διάταξη του οπλισμού, τις αποστάσεις μεταξύ των ράβδων κλπ. ισχύουν, όσα ισχύουν και για τις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες.

2. Επίπεδες πλάκες.

Για τις επίπεδες πλάκες ισχύουν όλοι οι περιορισμοί, που ισχύουν και για τις μυκητοειδείς, εκτός από εκείνους, που αναφέρονται στα κιονόκρανα, τα οποία καταργούνται εντελώς. Σε αντίθεση όμως με την απλοποίηση, δηλαδή της καταργήσεως των κιονοκράνων, υπάρχουν μερικοί πρόσθετοι περιορισμοί.

Ο κυριότερος περιορισμός είναι, ότι δεν επιτρέπεται η κατασκευή των επιπέδων πλακών, όταν τα φορτία προέρχονται από τροχούς με βάρος μεγαλύτερο από 750 kg ή από μηχανήματα, όπως στα εργοστάσια, εργαστήρια και αποθήκες με βαριά ή έστω και ελαφρά κυκλοφορία. Επίσης το πάχος των επιπέδων πλακών δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο, από το $1/35$ του **μεγαλύτερου** ανοίγματος. Πρέπει να τονισθεί, ότι λαμβάνεται υπόψη το μεγαλύτερο άνοιγμα και όχι το μικρότερο, όπως συμβαίνει στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες.

Για τις επίπεδες πλάκες υπάρχουν ακόμη και ορισμένες διαφορές στη μέθοδο υπολογισμού, ενώ απαιτούνται και ορισμένοι πρόσθετοι έλεγχοι.

Γ. Υπολογισμός.

1. Στατικά μεγέθη.

Για να υπολογισθούν οι καμπτικές ροπές των μυκητοειδών και των επιπέδων πλακών, οι πλάκες εξετάζονται χωριστά κατά δύο δευθύνσεις. Σε κάθε διεύθυνση θεωρούνται ως συνεχείς πλάκες οπλισμένες κατά μία διεύθυνση. Οι στηρίξεις του θεωρούνται ότι συμπίπτουν με τις ευθείες, που ενώνουν τους άξονες των υποστυλωμάτων. Για κάθε διεύθυνση οι πλάκες υπολογίζονται ως φορτιζόμενες με το **σύνολο** των φορτίων και όχι με μέρος μόνο αυτών, όπως συμβαίνει για τις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες.

Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν ροπές κάμψεως, που αντιστοιχούν σε μία τυπική λωρίδα με πλάτος ενός μέτρου. Στην περίπτωση όμως των πλακών αυτών οι ροπές κάμψεως δεν είναι ίδιες σε οποιαδήποτε λωρίδα τους με πλάτος ενός μέτρου. Είναι φανερό, ότι στην περιοχή των στηρίξεων, όπου κυρίως οι πλάκες παίζουν και το ρόλο κρυφοδοκών, οι ροπές είναι μεγαλύτερες, ενώ στις ενδιάμεσες περιοχές είναι μικρότερες. Γι' αυτό το λόγο οι ροπές κάμψεως, που προκύπτουν από τον αρχικό υπολογισμό, χρειάζονται κάποια διόρθωση.

Η πλάκα χωρίζεται σε λωρίδες με γραμμές παράλληλες προς τις στηρίξεις. Η διαίρεση γίνεται και κατά τις δύο έννοιες μήκους και πλάτους (σχ. 18.7γ).

Έτσι κάθε φάτνωμα για κάθε διεύθυνση χωρίζεται σε τρεις λωρίδες, μία μεσαία με ελαφρό οπλισμό και δύο ακραίες με βαρύτερο οπλισμό. Στις μυκητοειδείς πλάκες η μεσαία λωρίδα καταλαμβάνει το μισό πλάτος του φαντώματος και κάθε ακραία από ένα τέταρτο του πλάτους. Στις επίπεδες πλάκες η μεσαία λωρίδα καταλαμβάνει τα $3/5$ του πλάτους του φαντώματος και κάθε ακραία από ένα πέμπτο του πλάτους.

Στη μεσαία λωρίδα οι καμπτικές ροπές είναι απόλυτα μικρότερες από αυτές, που υπολογίζονται για την τυπική λωρίδα της συνεχούς πλάκας. Οι κανονισμοί καθορίζουν ότι οι ροπές των ανοιγμάτων, που προκύπτουν από τον υπολογισμό της συνεχούς πλάκας, πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 0,90 και οι ροπές στηρίξεως επί 0,50. Οι συντελεστές αυτοί ισχύουν για τις μυκητοειδείς πλάκες. Για τις επίπεδες οι αντίστοιχοι συντελεστές είναι 0,75 ($3/4$) και 0,417 ($5/12$).

Αντίθετα στις ακραίες λωρίδες οι καμπτικές ροπές είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από τις ροπές του αρχικού υπολογισμού. Για τις μυκητοειδείς πλάκες οι κανονισμοί καθορίζουν ότι οι ροπές των ανοιγμάτων πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 1,10 και των στηρίξεων επί 1,50. Για τις επίπεδες οι αντίστοιχοι συντελεστές είναι 1,375 (11/8) και 1,875 (15/8).

Παράδειγμα.

Ας θεωρηθεί μία επίπεδη πλάκα (σχ. 18.7δ), με διάταξη παρόμοια με εκείνη της σταυροειδώς οπλισμένης πλάκας του σχήματος 18.5δ. Το πάχος κατά τους κανονισμούς είναι τουλάχιστον 15 cm, άρα: $g = 0,15 \times 2.400 = 360 \text{ kg/cm}^2$. Εάν τα άλλα φορτία διατηρηθούν τα ίδια, όπως και στα παραδείγματα των σχημάτων 18.3η και 18.5δ, θα είναι $g = 360 + 80 + 300 = 740 \text{ kg/m}^2$. Οι ροπές στα ακραία ανοίγματα θα είναι $\max M_1 = \frac{740}{11} 5,0^2 = 1.680 \text{ kgm/m}$ και στα μεσαία $\max M_2 = \frac{740}{15} 5,00^2$. Οι ροπές στις στηρίξεις θα είναι $\min M = - \frac{740}{9} 5,00^2 = - 2.060 \text{ kgm/m}$.

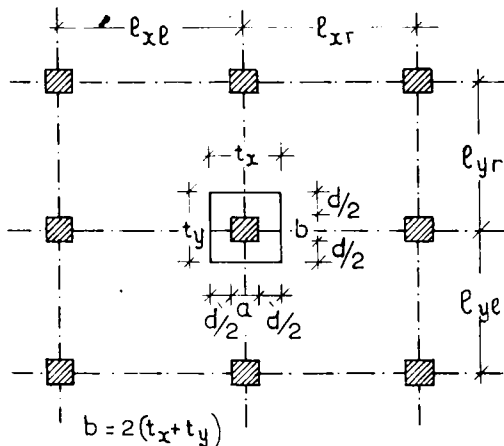
Οι μεσαίες λωρίδες των φατνωμάτων θα έχουν πλάτος 3,00 m και οι ακραίες 1,00 m. Για τις μεσαίες λωρίδες οι διορθωμένες ροπές θα είναι $\max M'_1 = 0,75 \times 1.680 = 1.260 \text{ kgm/m}$, $\max M'_2 = 0,75 \times 1.230 = 920 \text{ kgm/m}$ και $\min M' = - \frac{5}{12} 2.060 = - 860 \text{ kgm/m}$. Για τις ακραίες λωρίδες οι ροπές γίνονται $\max M''_1 = \frac{11}{8} 1.680 = 2.310 \text{ kgm/m}$, $\max M''_2 = \frac{11}{8} 1.230 = 1.690 \text{ kgm/m}$ και $\min M'' = - \frac{15}{8} 2.060 = - 3.850 \text{ kgm/m}$. Με τις τιμές αυτές των ροπών και για πάχος πλάκας $d = 20 \text{ cm}$ υπολογίστηκε ο απαιτούμενος οπλισμός, που έχει σημειωθεί στο σχήμα 18.7δ για σκυρόδεμα κατηγορίας Β 300 και χάλυβα κατηγορίας III [$\sigma_s = 2.200 \text{ kg/cm}$, παράγρ. 18.3 (Ζ)].

Οι τέμνουσες δυνάμεις στις μυκητοειδείς πλάκες δεν προκαλούν αξιόλογες τάσεις, εφ' όσον τα κιονόκρανα είναι κατασκευασμένα σύμφωνα προς τους όρους των κανονισμών, που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Δεν απαιτείται λοιπόν έλεγχος. Αντίθετα στις επίπεδες πλάκες οι τέμνουσες δυνάμεις προκαλούν διατμητικές τάσεις, οι οποίες είναι δυνατόν να φθάσουν σε απαγορευτικές τιμές. Στις πλάκες αυτές υπάρχει κίνδυνος να παρουσιασθεί το φαινόμενο της διατρήσεως, να δημιουργηθούν δηλαδή ρωγμές γύρω από τα υποστυλώματα, που κατά κάποιον τρόπο τείνουν να τρυπήσουν την πλάκα.

Στις επίπεδες πλάκες είναι πάντοτε απαραίτητο να γίνεται ο έλεγχος για τον κίνδυνο της διατρήσεως. Υπολογίζεται πρώτα το φορτίο, που αναλαμβάνει το υποστούλωμα από την πλάκα. Το φορτίο αυτό είναι $Q = \frac{q}{4} (l_{xl} + l_{xr}) \cdot (l_{yl} + l_{yr})$. Στον τύπο αυτό l_{xl} και l_{xr} είναι τα ανοίγματα κατά τη διεύθυνση x από τις δύο πλευρές του στύλου, που εξετάζεται. Αντίστοιχα l_{yl} και l_{yr} είναι τα δύο ανοίγματα κατά τη διεύθυνση y .

Εάν υπάρχουν πρόβολοι, το άνοιγμά τους διπλασιάζεται, πριν τοποθετηθεί στον τύπο αυτόν, ενώ από τη μια πλευρά δεν υπάρχει συνέχεια της πλάκας, στο αντίστοιχο l δίνεται τιμή ίση με το μηδέν.

Αφού βρεθεί το φορτίο Q , υπολογίζεται η διατμητική τάση τ_o με το γνωστό τύπο $\tau_o = \frac{Q}{b \cdot z}$, όπου όμως το b είναι η περίμετρος ενός ορθογωνίου (σχ. 18.7ε), το οποίο περιβάλλει το υποστούλωμα σε απόσταση από τις πλευρές τους ίση με το μισό του πάχους d της πλάκας. Εάν λοιπόν a και b είναι οι πλευρές της διατομής ενός ενδιάμεσου υποστυλώματος, θα είναι $\tau_o = \frac{Q}{2(a + b + 2d)z}$.



Σχ. 18.7ε.

Οι επίπεδες πλάκες πρέπει να ελέγχονται σε διάτρηση με τον τύπο:

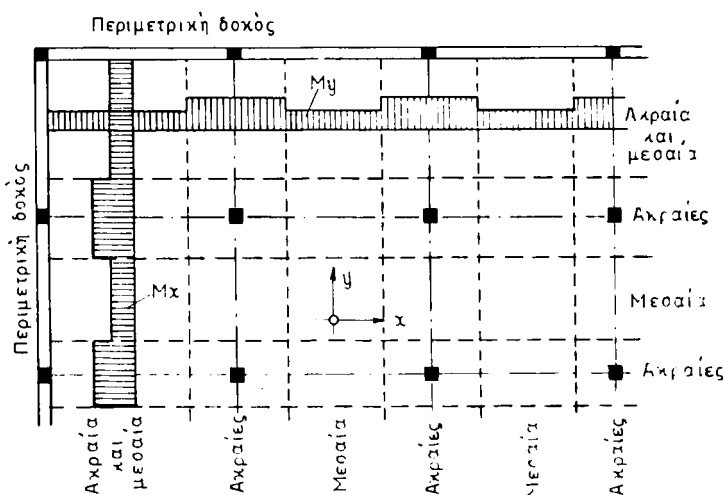
$$\tau_o = \frac{Q}{b \cdot z}, \text{ όπου } b = (t_x + t_y).$$

Για ακραίο υποστυλώμα ο τύπος γίνεται $\tau_o = \frac{Q}{(a + 2b + 2d)z}$ και για το γωνιακό $\tau_o = \frac{Q}{(a + b + d)z}$. Εάν το κέντρο του υποστυλώματος απέχει από τα χείλη της πλάκας περισσότερο από $a + d$ και από $b + d$ αντίστοιχα, τότε ισχύει και για τα ακραία ή γωνιακά υποστυλώματα ο τύπος των μεσαίων.

Η τιμή της τάσεως τ_o πρέπει να είναι μικρότερη από τα ανεκτά όρια, που έχουν αναφερθεί για τις πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση [παράγρ. 18.3 (Η)]. Τότε μόνο επιτρέπεται να κατασκευασθεί η επίπεδη πλάκα. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, πρέπει να αυξάνεται το πάχος της πλάκας ή οι διαστάσεις του υποστυλώματος ή και τα δύο.

Στο παράδειγμα του σχήματος 18.7δ τα υποστυλώματα πρέπει να έχουν διατομή τουλάχιστον 30×30 κατά τη γενική διάταξη των κανονισμών. Η διατομή αυτή είναι αρκετή από απόψεως ανοίγματος $\left(\frac{5,00}{20} < 0,30\right)$ και από απόψεως ύψους, εφ' όσον τα υποστυλώματα δεν είναι ψηλότερα από 4,50 m ($15 \times 0,30 = 4,50$). Ένα κεντρικό υποστυλώμα αναλαμβάνει φορτία $Q = \frac{740}{4} (5,00 + 5,00) (5,00 + 5,00) = 18.500$ kg, άρα $\tau_o = \frac{18.500}{2(30 + 30 + 2 \times 15)^{7/8} 13} = 9,03 \text{ kg/cm}^2 < 10$, δηλαδή η διατομή 30×30 ικανοποιεί τους περιορισμούς των κανονισμών. Για τα υποστυλώματα της περιμέτρου οι τιμές της τάσεως τ_o προκύπτουν μικρότερες ακόμη και συγκεκριμένα για τα ακραία $6,77 \text{ kg/cm}^2$ και για τα γωνιακά $5,42 \text{ kg/cm}^2$. Εάν η πλάκα κατασκευαζότανε από σκυρόδεμα κατηγορίας Β 160, η τ_o δεν θα ήταν ανεκτή και θα χρειαζότανε να αυξηθεί το πάχος της πλάκας ή η διατομή των υποστυλωμάτων ή και τα δύο.

Μερικές φορές στην περίμετρο των μυκητοειδών ή επιπέδων πλακών υπάρχει μία συνεχής στήριξη, δηλαδή μία δοκός, ένας τοίχος ή κάτι παρόμοιο (σχ. 18.7ζ). Στην περιοχή αυτή η πλάκα ανακουφίζεται, επειδή ένα μέρος των ροπών κάμψης αναλαμβάνεται από τη στήριξη. Επιτρέπεται λοιπόν κάποια ελάττωση του οπλισμού, που έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη στήριξη. Η ακραία λωρίδα των φατνωμάτων, που βρίσκεται σε επαφή με τη στήριξη, και η γειτονική της μεσαία λωρίδα συγχωνεύονται και σχηματίζουν μια πλατύτερη ζώνη. Το πλάτος της ζώνης αυτής



Σχ. 18.7ζ.

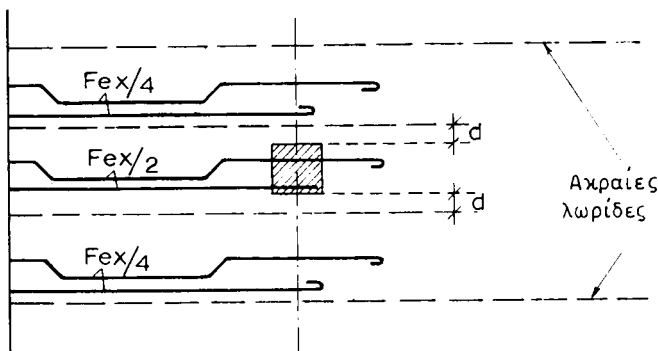
Διάρθρωση σε λωρίδες μιας επίπεδης ή μυκητοειδούς πλάκας, όταν στην περίμετρό της υπάρχει συνεχής στήριξη.

είναι ίσο με τα $3/4$ του πλάτους των ακραίων φανωμάτων για τις μυκητοειδείς πλάκες και με τα $4/5$ για τις επίπεδες. Στη ζώνη αυτή λαμβάνονται υπόψη οι ροπές κάμψεως των μεσαίων λωρίδων, αφού μάλιστα μειωθούν ακόμη περισσότερο, αφού δηλαδή πολλαπλασιασθούν με το συντελεστή $0,75$.

2. Τάσεις και οπλισμός.

Όταν υπολογισθούν οι ροπές κάμψεως της πλάκας σε κάθε θέση, ο υπολογισμός του οπλισμού f_b που απαιτείται και ο έλεγχος της μέγιστης θλιπτικής τάσεως του σκυροδέματος σ_b γίνεται ακριβώς, όπως και στις άλλες πλάκες. Προσοχή χρειάζεται, ώστε σε κάθε περίπτωση να χρησιμοποιείται το πραγματικό στατικό ύψος h της πλάκας, που δεν είναι παντού το ίδιο, εφ' όσον ο οπλισμός τοποθετείται σε δύο στρώσεις.

Ο οπλισμός, που προκύπτει από τον υπολογισμό, εφαρμόζεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το πλάτος της λωρίδας, για την οποία υπολογίσθηκε. Εξαίρεση γίνεται μόνο για τις ακραίες λωρίδες των **επιπέδων πλακών**. Σε αυτές ο μισός οπλισμός της όλης ακραίας λωρίδας πρέπει να βρίσκεται σε μια περιοχή της οποίας τα όρια να



Σχ. 18.7η.

Πύκνωση του οπλισμού κοντά στις στηρίξεις των επιπέδων πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

μην απέχουν από τις πλευρές του υποστυλώματος περισσότερο από το πάχος d της πλάκας (σχ. 18.7η).

Στο παράδειγμα του σχήματος 18.7δ οι δύο γειτονικές ακραίες λωρίδες έχουν μαζί πλάτος 2,00 m. Τα υποστυλώματα έχουν πλάτος 30 cm και η πλάκα πάχος 15 cm. Επομένως ο μισός οπλισμός των δύο ακραίων αυτών λωρίδων πρέπει να περιέχεται σε μία ζώνη με πλάτος $30 + 2 \times 15 = 60$ cm, ενώ ο άλλος μισός μοιράζεται εξ' ίσου στις δύο εκατέρωθεν λωρίδες που έχουν πλάτος 70 cm η κάθε μία. Παρουσιάζεται συνεπώς μία πύκνωση του οπλισμού στην περιοχή ακριβώς, όπου δημιουργείται η νοητή στήριξη για την πλάκα, δηλαδή η κρυφοδοκός, όταν αυτή θεωρηθεί ότι κάμπτεται κατά την έννοια την κάθετη προς τον οπλισμό, που εξετάζεται.

Ο οπλισμός των μυκητοειδών και των επιπέδων πλακών αποτελείται από ευθύγραμμες και κεκαμμένες ράβδους και από πρόσθετες ράβδους στην περιοχή των στηρίξεων άνω και κάτω, ακριβώς όπως συμβαίνει και με τον οπλισμό των άλλων πλακών.

18.8 Σχεδίαση πλακών.

Α. Σχέδια καλούπιών (ξυλοτύπων) γενικά.

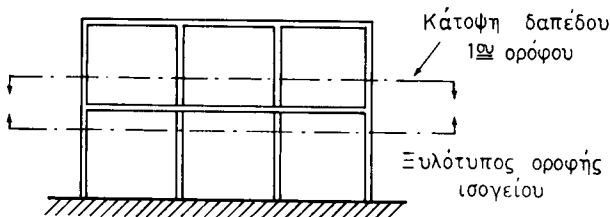
Για να σχεδιάσουμε μία κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, πρέπει να παρουσιάσουμε κατ' αρχήν στο σχέδιο όλα τα γεωμετρικά της στοιχεία, δηλαδή διαστάσεις, γωνίες κλπ. Με βάση τα γεωμετρικά αυτά δεδομένα κατασκευάζουμε στο εργοτάξιο τα καλούπια

(τους τύπους), μέσα στα οποία πρόκειται να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Γι' αυτό το λόγο τα σχέδια των κατασκευαστών από σκυρόδεμα λέγονται συνήθως σχέδια ξυλοτύπων. Ειδικότερα, όταν πρόκειται για κατασκευές οριζόντιες ή ελαφρά κεκλιμένες, όπως είναι π.χ. οι διάφορες οροφές, τα σχέδια αποτελούνται κυρίως από μία κάτοψη της κατασκευής και γι' αυτό λέγονται **κατόψεις ξυλοτύπων**.

Κατά κανόνα επάνω στα ίδια σχέδια σημειώνουμε και τα χαρακτηριστικά των υλικών, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Κυρίως δίνουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία, για να καθορισθεί ο οπλισμός, ο οποίος πρέπει να τοποθετηθεί σε κάθε στοιχείο της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό τα σχέδια των ξυλοτύπων είναι αρκετά, για να εκτελεσθεί μία κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.

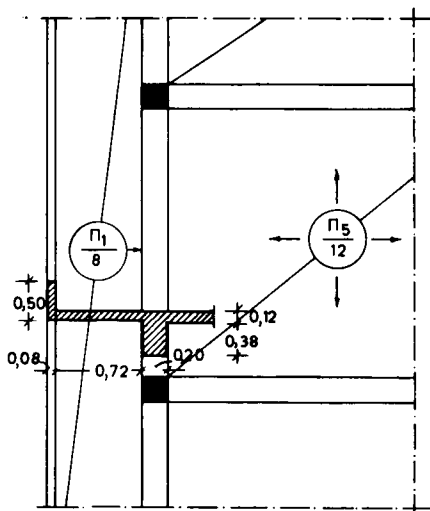
Στα σχέδια των ξυλοτύπων έχουν καθιερωθεί ορισμένοι συμβολισμοί, που πρέπει κάποιος να τους γνωρίζει, για να μπορεί να τα χρησιμοποιεί. Κατ' αρχήν στις κατόψεις των ξυλοτύπων γίνεται μία οριζόντια τομή κάτω από την κατασκευή, που παρίσταται στο σχέδιο. Το σχέδιο είναι μία άνοψη ή με άλλους λόγους μία οριζόντια τομή με προβολή προς τα πάνω. Έτσι παρουσιάζονται σε τομή τα κατακόρυφα στοιχεία, δηλαδή τοίχοι, υποστυλώματα κλπ., που βρίσκονται κάτω από την κυρίως κατασκευή. Αντίθετα σε μία συνηθισμένη κάτοψη έργου παρουσιάζονται σε τομή τα κατακόρυφα στοιχεία, που βρίσκονται επάνω από το τμήμα του έργου, στο οποίο αναφέρεται η κάτοψη (σχ. 18.8α). Η διαφορά αυτή μπορεί να ερμηνευθεί και διαφορετικά. Το σχέδιο αποτελεί μία κάτοψη των ξυλοτύπων, πριν ακόμη διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Το ίδιο λοιπόν σχέδιο δείχνει την κάτω όψη, δηλαδή την άνοψη της κατασκευής, που θα προκύψει, όταν διαστρωθεί το σκυρόδεμα.

Για τον ίδιο λόγο στις κατόψεις των ξυλοτύπων σχεδιάζουμε συνεχείς όλες τις γραμμές, που βρίσκονται κάτω από την οριζόντια κατασκευή, ενώ όσες είναι από επάνω θεωρούνται αόρατες και θα έπρεπε να τις σχεδιάζουμε διακεκομμένες. Συνήθως αποφεύγουμε τις διακεκομμένες γραμμές, για να μην συγχέονται με άλλες βοηθητικές νοητές γραμμές του σχεδίου, τότε όμως πρέπει απαραίτητα να σημειώνουμε ότι οι γραμμές αυτές βρίσκονται επάνω από την κατασκευή. Ο ορθότερος τρόπος είναι να γίνονται τοπικά μερικές τομές, ώστε να διευκρινίζεται τελείως η κατάσταση (σχ. 18.8β).



Σχ. 18.8α.

Διαφορετικός τρόπος προβολής για τη σχεδίαση των αρχιτεκτονικών κατόψεων και των κατόψεων ξυλοτύπων.



Σχ. 18.8β.

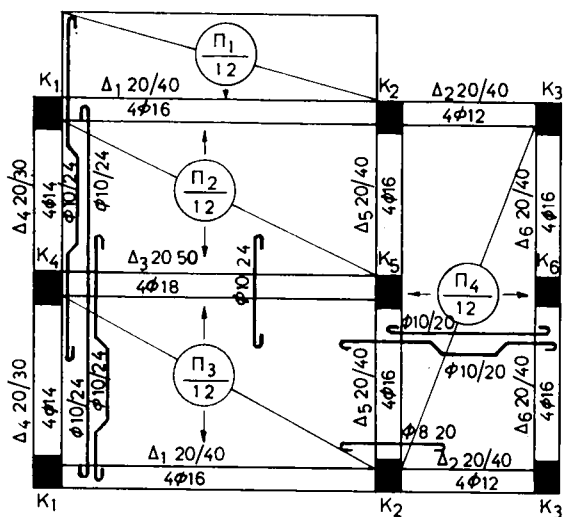
Στις κατόψεις ξυλοτύπων οι αόρατες γραμμές σχεδιάζονται συνεχείς και το σχήμα διευκρινίζεται με μία τομή, που σχεδιάζεται σε κατάκλιση.

Β. Τρόπος σχεδιάσεως πλακών.

Οι πλάκες κατά κανόνα είναι κατασκευές οριζόντιες ή ελαφρά κεκλιμένες, σχεδιάζονται επομένως γενικά σε κατόψεις ξυλοτύπων. Κάθε φάτνωμα πλάκας, άσχετα από το σχήμα της κατόψεώς του, πρέπει να παρουσιάζεται στην κάτοψη των ξυλοτύπων ως ένα επίπεδο σχήμα, που να περιβάλλεται από την κλειστή περίμετρό του. Όταν σε ολόκληρη την περίμετρο του φανώματος υπάρχουν στηρίξεις, σχεδιάζονται οι στηρίξεις αυτές (δοκοί, τοίχοι κλπ.) και έτσι

η περίμετρος σχηματίζεται από τις γραμμές της κατόψεως των στηρίξεων. Το ίδιο συμβαίνει, όταν ορισμένα τμήματα της περιμέτρου του φανώματος συμπίπτουν με τα άκρα της κατασκευής. Τότε ορισμένες από τις γραμμές της περιμέτρου της γενικής κατόψεως αποτελούν τα αντίστοιχα τμήματα της περιμέτρου του φανώματος (σχ. 18.8γ).

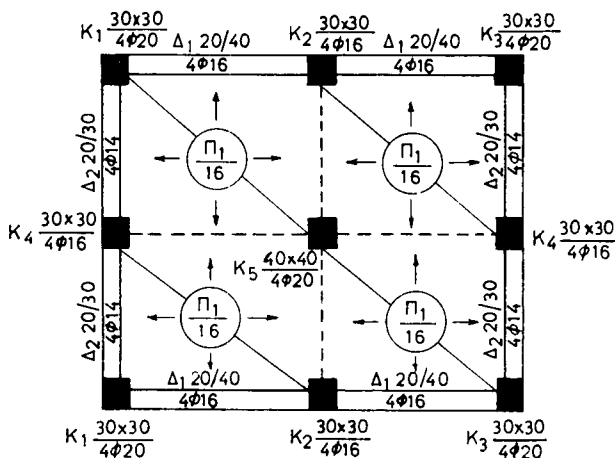
Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως π.χ. στις μυκητοειδείς ή τις επίπεδες πλάκες, αλλά και στις πλάκες, που οπλίζονται κατά μία διεύθυνση, ορισμένες ή όλες οι πλευρές της περιμέτρου του φανώματος είναι νοητές. Οι πλευρές αυτές δεν αντιπροσωπεύονται από πρόσθετες κατασκευές, π.χ. δοκούς ή τοίχους, που θα σχεδιάζονταν έτσι ή αλλιώς επάνω στην κάτοψη των ξυλοτύπων. Τα νοητά αυτά όρια του φανώματος πρέπει να σχεδιάζονται με διακεκομμένη γραμμή ή με μία πολύ λεπτή συνεχή γραμμή, που να ξεχωρίζει από τις άλλες, ώστε να φαίνεται στο σχέδιο καθαρά η κάτοψη του φανώματος (σχ. 18.8δ), αλλά και να διακρίνεται ότι οι γραμμές είναι νοητές.



Σχ.18.8γ.

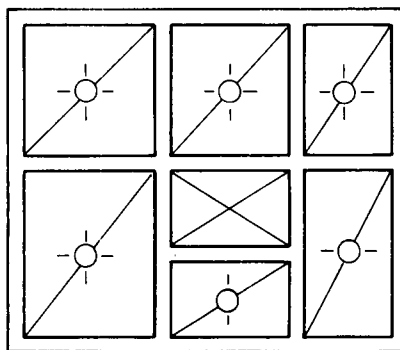
Οι πλευρές των φανωμάτων των πλακών είναι συνήθως γραμμές των πλευρών των στηρίξεων και τμήματα της περιμέτρου της κατασκευής, όπως π.χ. στην πλάκα Π_1 .

Εάν η κάτοψη του φανώματος είναι ορθογωνική ή γενικότερα τετραπλευρική, σημειώνουμε με λεπτή γραμμή μία διαγώνιο, για να τονίσουμε ότι πρόκειται περί φανώματος πλάκας. Αντίθετα, όταν υπάρχει ένα άνοιγμα στην κατασκευή, σημειώνουμε και τις δύο διαγωνίους, για να τονίσουμε ότι πρόκειται περί κενού (σχ. 18.8ε).



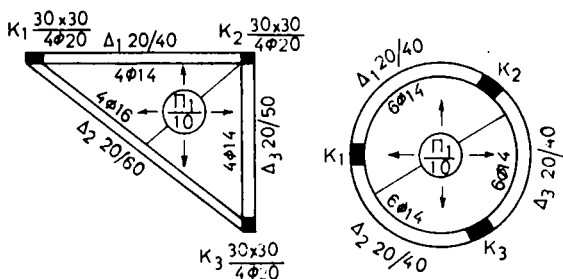
Σχ. 18.8δ.

Τα νοητά όρια των φανωμάτων των πλακών σχεδιάζονται με γραμμή διακεκομμένη.



Σχ. 18.8ε.

Τα κενά σε μία κάτοψη ξυλοτύπων διακρίνονται από τα φανώματα των πλακών με τη σχεδίαση και των δύο διαγωνίων.



Σχ. 18.8ζ.

Σχεδίαση πλακών με σχήμα διαφορετικό από το συνηθισμένο τετράπλευρο.

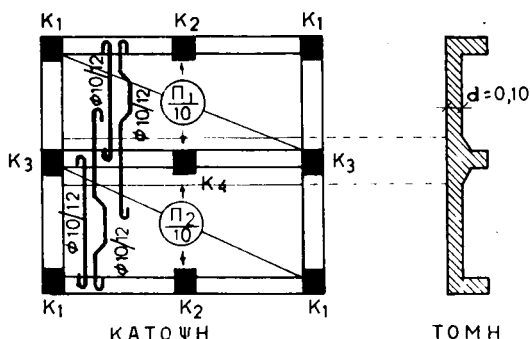
Όταν πρόκειται να σχεδιάσουμε κυκλικό φάτνωμα, αντί διαγωνίου σημειώνουμε μία διάμετρο και σε περίπτωση τριγωνικού μία διάμεσο. Γενικά σημειώνεται πάντοτε μία ευθεία, η οποία διέρχεται περίπου από το κέντρο βάρους της κατόψεως του φαντώματος και το χωρίζει σε δύο μέρη περίπου ισοδύναμα (σχ. 18.8ζ).

Στο μέσον της ευθείας αυτής, η συνεχής γραμμή διακόπτεται και σχεδιάζεται ένας μικρός κύκλος (σχ. 18.8δ, ε και ζ). Μέσα στον κύκλο αυτό γράφουμε το συμβολισμό του φαντώματος της πλάκας και το πάχος του. Τα φαντώματα των πλακών συμβολίζονται συνήθως με το κεφαλαίο γράμμα Π (= πλάκα) και με ένα αριθμό ως δείκτη, ο οποίος αποτελεί τον αύξοντα αριθμό του φαντώματος. Κατά κανόνα χρησιμοποιούμε διαφορετικό αριθμό για κάθε φάντωμα. Όταν όμως υπάρχουν σε ένα σχέδιο πολλά φαντώματα εντελώς όμοια μεταξύ τους, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για όλα τον ίδιο συμβολισμό.

Το πάχος των πλακών αναγράφεται απλώς ως ακέραιος αριθμός και παριστάνει εκατοστά του μέτρου. Καμιά φορά γράφουμε για να διευκρινίσουμε και το γράμμα d, π.χ. d = 10. Άλλοτε το πάχος δεν αναγράφεται μέσα στον κύκλο, αλλά κατά μήκος της διαγωνίου, οπότε είναι καλύτερο να μην παραλείπεται το γράμμα d.

Έξω από τον κύκλο, που σημειώνεται κοντά στο κέντρο κάθε φαντώματος, σχεδιάζουμε ένα έως τέσσερα βέλη. Κάθε βέλος σημαίνει δύο πράγματα:

- Ότι η πλάκα έχει οπλισμό αντοχής κατά τη διεύθυνσή του και
- ότι υπάρχει στήριξη του φαντώματος προς το μέρος, που δείχνει το βέλος.



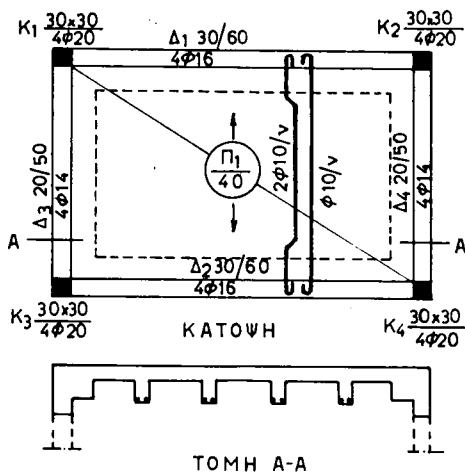
Σχ. 18.8η.

Σχεδίαση ενισχύσεων πλακών.

Έτσι σε ένα πρόβολο υπάρχει μόνο ένα βέλος, σε μία πλάκα με οπλισμό κατά μία διεύθυνση δύο, σε μία πλάκα, που στηρίζεται στις τρεις πλευρές της τρία και σε μία, που στηρίζεται προς όλες τις διευθύνσεις, τέσσερα (σχ. 18.8δ, ε, ζ, η, θ, ι).

Όταν οι πλάκες είναι συμπαγείς με ενιαίο πάχος σε όλη την έκταση κάθε φατνώματος, τα στοιχεία, που αναφέρθηκαν, είναι αρκετά για να κατασκευασθούν οι ξυλότυποι. Αν υπάρχουν ενισχύσεις κατά μήκος ορισμένων ή όλων των πλευρών ενός φατνώματος, πρέπει να σχεδιάζονται σε κάτοψη και σε τομή (σχ. 18.8η).

Για τις πλάκες με νευρώσεις δεν είναι απαραίτητο να σχεδιάζονται στην κάτοψη όλες οι λεπτομέρειες. Αρκεί συνήθως να σχεδιάζεται με μία διακεκομμένη ή λεπτή συνεχή γραμμή το περίγραμμα της περιοχής, όπου υπάρχουν οι νευρώσεις, ώστε να διακρίνονται οι συμπαγείς λωρίδες της πλάκας, οι οποίες προβλέπονται κοντά στην περίμετρο του φατνώματος (σχ. 18.8θ). Ως πάχος της πλάκας θεωρείται και αναγράφεται στην περίπτωση αυτή το συνολικό ύψος των νευρώσεων. Χρειάζεται και μία ενδεικτική τομή, για να προσδιορίζονται οι διαστάσεις και οι αποστάσεις των νευρώσεων, όπως και το είδος και το σχήμα των σωμάτων πληρώσεως (γεμίσματος), εάν υπάρχουν. Πρέπει επίσης να σημειώνονται και οι θέσεις των εγκαρσίων νευρώσεων. Εάν τα διάκενα των νευρώσεων δεν σταματούν όλα στην ίδια γραμμή ή εάν έχουν κεφαλές με τραπεζοειδή κάτοψη, οι λεπτομέρειες αυτές πρέπει να σχεδιάζονται ενδεικτικά σε ένα



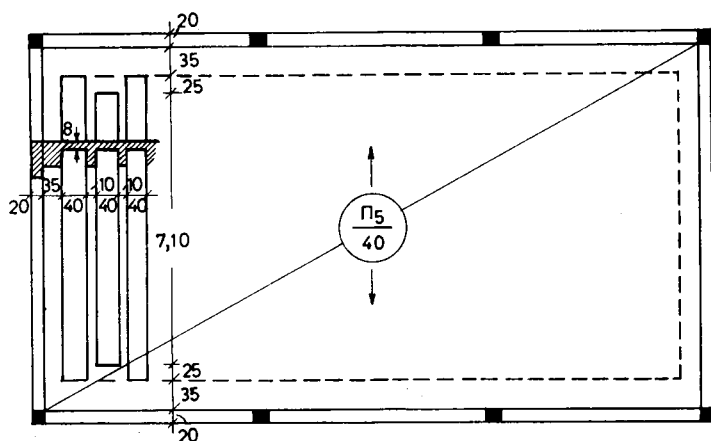
Σχ. 18.8θ.

Απλός τρόπος για σχεδίαση πλακών με νευρώσεις σε κάτοψη ξυλοτύπων.

τμήμα της πλάκας (σχ. 18.8ι).

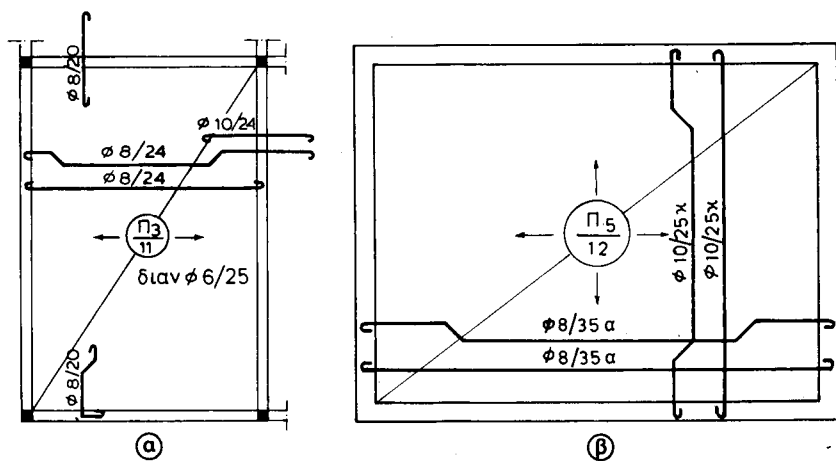
Για να συμπληρωθεί η σχεδίαση μιας πλάκας, πρέπει να σχεδιασθεί και ο οπλισμός της. Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο οπλισμός αποτελείται από ορισμένες ομάδες ράβδων. Οι ράβδοι κάθε ομάδας είναι όμοιες μεταξύ τους. Στην κάτοψη των ξυλοτύπων σχεδιάζουμε μία τυπική ράβδο από κάθε ομάδα, δηλαδή μία ευθύγραμμη, μία κεκαμμένη και, εφ' όσον υπάρχουν, μία πρόσθετη ράβδο σε κάθε στήριξη πάνω και κάτω από μία ευθύγραμμη θλιβόμενη ράβδο στο πάνω μέρος της πλάκας. Εννοείται ότι στις σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες, τις μυκητοειδείς και τις επίπεδες σχεδιάζουμε τον οπλισμό και κατά τις δύο διευθύνσεις. Όταν ο οπλισμός τοποθετείται κατά δύο διευθύνσεις, πρέπει να σημειώνουμε ποια είναι η κάτω και ποια η πάνω στρώση (σχ. 18.8κ). Σε ορισμένες περιπτώσεις σχεδιάζουμε και τον οπλισμό διανομής, συνήθως όπως τον παραλείπομε ως εύκολα εννοούμενο ή τον αναφέρουμε απλώς σε μία υποσημείωση.

Τις ράβδους του οπλισμού δεν τις σχεδιάζουμε, όπως θα ήταν ορθότερο, όπως φαίνονται στην κάτοψη, γιατί τότε όλες θα φαινόταν ευθύγραμμες και το σχήμα τους δεν θα διεκρίνετο. Θεωρούμε λοιπόν ότι έχουν κατακλιθεί και τις σχεδιάζουμε με το πραγματικό τους σχήμα, όπως φαίνονται από τα πλάγια. Στο σχέδιο δεν σημειώ-



Σχ. 18.8i.

Ορθότερος τρόπος σχεδιάσεως για πλάκες με νευρώσεις, ιδίως για μεγάλα ανοίγματα.



Σχ. 18.8κ.

Σχεδίαση οπλισμού πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Με οπλισμό κατά μία διεύθυνση. β) Με οπλισμό σταυροειδή.

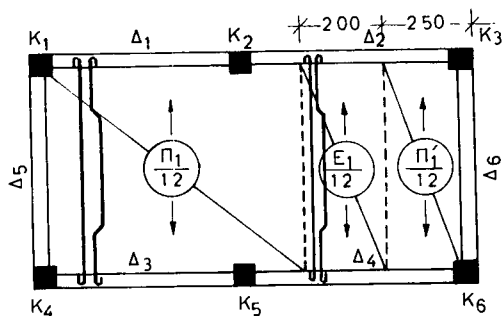
νονται μήκη, αλλά πρέπει να σχεδιάζονται οι ράβδοι υπό κλίμακα, ώστε ο κατάλογος του οπλισμού να μπορεί να συνταχθεί κατ' ευθείαν από το σχέδιο των ξυλοτύπων, τουλάχιστον στις πιο απλές περιπτώσεις. Δίπλα σε κάθε ράβδο σημειώνουμε τη διάμετρό της και τις αποστάσεις μεταξύ δύο γειτονικών ράβδων της ίδιας ομάδας, π.χ. $\varnothing 8/24$, δηλαδή μία ράβδος με διάμετρο 8 mm ανά 24 cm (σχ. 18.8κ). Η κατεύθυνση των γραμμάτων διευκρινίζει επίσης ποιο μέρος της ράβδου είναι το πάνω και ποιο κάτω.

Στις πλάκες με νευρώσεις δεν αναγράφουμε την απόσταση μεταξύ των ράβδων, αλλά πόσες ράβδοι από κάθε ομάδα αντιστοιχούν σε κάθε νεύρωση. Έτσι π.χ. $2\varnothing 10/v$ (σχ. 18.8θ) σημαίνει ότι σε κάθε νεύρωση υπάρχουν δύο ράβδοι διαμέτρου 10 mm με το σχήμα αυτό, που φαίνεται στο σχέδιο.

Όταν σε μία πλάκα περιλαμβάνεται μία ενισχυμένη ζώνη ή μία κρυφοδοκός, υπάρχουν δύο τρόποι για να τη σχεδιάσουμε. Ο πρώτος τρόπος, που είναι και ο πιο σαφής, είναι να θεωρήσουμε την ενισχυμένη ζώνη ή την κρυφοδοκό ως ένα ανεξάρτητο φάτνωμα πλάκας. Σημειώνουμε την περίμετρό της, γράφουμε τη διαγώνιο με τον κύκλο και τα βέλη και σχεδιάζουμε τον οπλισμό, όπως γίνεται για οποιοδήποτε άλλο φάτνωμα. Η μόνη διαφορά είναι στο συμβολισμό, όπου συνήθως αντί του γράμματος Π χρησιμοποιούμε το γράμμα ε ή Ε ή ΕΖ (σχ. 18.8λ).

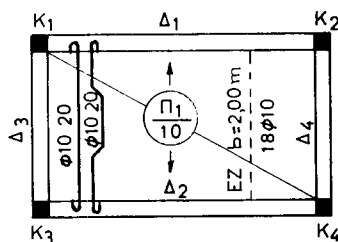
Ο δεύτερος τρόπος δεν είναι τόσο σαφής, είναι όμως πολύ απλούστερος και γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνότερα. Στην περίπτωση αυτή σημειώνουμε κατά μήκος του άξονα της ζώνης μία έντονη διακεκομμένη γραμμή. Δίπλα στη γραμμή αυτή γράφουμε το συμβολισμό, το πλάτος της ζώνης και τον οπλισμό της (σχ. 18.8μ). Είναι σκόπιμο να διευκρινίζουμε με μία υποσημείωση, αν στην ενισχυμένη ζώνη ή στην κρυφοδοκό συνεχίζεται ο κανονικός οπλισμός της πλάκας και προστίθεται σε αυτόν ο αναγραφόμενος ως οπλισμός της ζώνης, ή εάν αυτός, που αναγράφεται στο σχέδιο, είναι ο συνολικός οπλισμός.

Συχνά στις ενισχυμένες ζώνες απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός στο πάνω μέρος της πλάκας. Τότε αναγράφουμε τον οπλισμό με μορφή κλάσματος. Ένα κλάσμα $\frac{5 \varnothing 8}{10 \varnothing 12}$ π.χ. σημαίνει, ότι ο οπλι-



Σχ. 18.8λ.

Σχεδίαση ενισχυμένης ζώνης πλάκας, σαν να ήταν ιδιαίτερο φάνωμα.



Σχ. 18.8μ.

Συμβολική σχεδίαση ενισχυμένης ζώνης πλάκας.

σμός της ζώνης αποτελείται από 5 ράβδους διαμέτρου 8 mm στο πάνω μέρος της πλάκας και 10 ράβδους διαμέτρου 12 mm στο κάτω. Πέντε από τις τελευταίες ράβδους θα είναι ευθύγραμμα και πέντε κεκαμμένες, εκτός αν σημειώνεται στο σχέδιο ότι η κατανομή τους είναι διαφορετική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 19

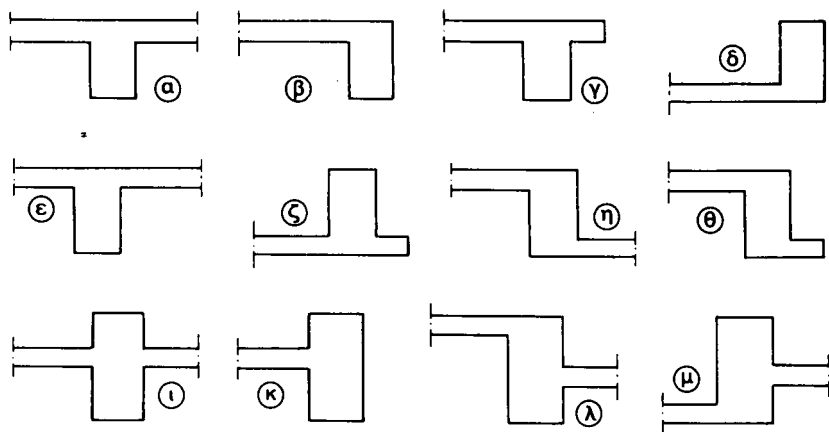
ΔΟΚΟΙ ΚΑΙ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΙ (ΔΟΚΑΡΙΑ ΚΑΙ ΠΛΑΚΟΔΟΚΑΡΙΑ)

19.1 Περιγραφή.

Δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα ονομάζουμε τα στοιχεία εκείνα, τα οποία έχουν μήκος πολύ μεγάλο σε σύγκριση με τις άλλες διαστάσεις τους, είναι οριζόντια ή κεκλιμένα και στηρίζονται μόνο σε ορισμένα τους σημεία. Οι δοκοί κατά κανόνα φέρουν εκτός από το βάρος τους και πρόσθετα φορτία. Τα φορτία των δοκών οφείλονται σε τοίχους, που βρίσκονται επάνω σε αυτές ή σε άλλες δοκούς και πιο συχνά σε πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα, που στηρίζονται επάνω σε αυτές. Τα φορτία μπορούν ακόμη να οφείλονται και σε ξύλινες ή μεταλλικές κατασκευές, όπως π.χ. σε στέγες ή και στα ωφέλιμα φορτία της κατασκευής, όπως π.χ. σε τροχούς οχημάτων κλπ.

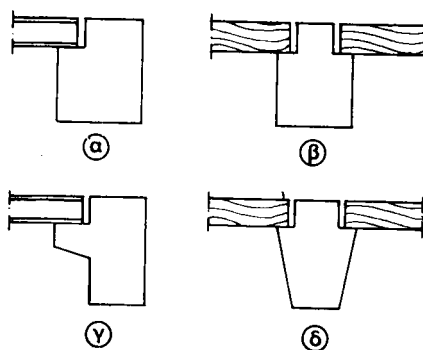
Όταν η δοκός δέχεται φορτίο από μία πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα, η πλάκα και η δοκός αποτελούν, εκτός από σπάνιες εξαιρέσεις, μία ολόσωμη ενιαία κατασκευή. Η δοκός τότε ονομάζεται και **πλακοδοκός**. Η νεύρωση της πλακοδοκού, δηλαδή η καθεαυτό δοκός, έχει σχεδόν πάντοτε διατομή ορθογωνική. Οι πλακοδοκοί συνεπώς έχουν μία από τις διατομές του σχήματος 19.1α. Κατά κανόνα οι πλάκες βρίσκονται στο ανώτερο μέρος των πλακοδοκών (περιπτώσεις α, β, γ). Όταν βρίσκονται στο κατώτερο μέρος, η δοκός ονομάζεται ανεστραμμένη (περιπτώσεις δ, ε, ζ). Οι περιπτώσεις η έως μ είναι μάλλον σπάνιες και χρησιμοποιούνται μόνο, όταν το επιβάλλουν ειδικοί λόγοι.

Όταν οι δοκοί δεν φορτίζονται από πλάκες, η διατομή τους είναι κατά κανόνα ορθογωνική. Δεν αποκλείονται όμως και άλλα παρόμοια σχήματα, που ευκολύνουν τη στήριξη των διαφόρων κατασκευών επάνω στη δοκό (σχ. 19.1β).



Σχ. 19.1α.

Συνηθισμένες μορφές διατομών δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

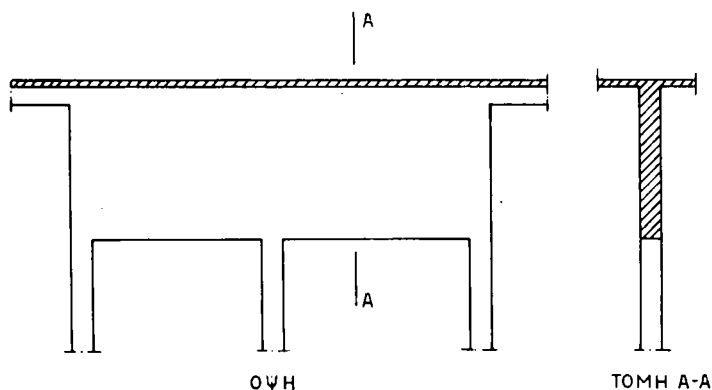


Σχ. 19.1β.

Μορφές διατομών δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα, που στηρίζουν κατασκευές από άλλα υλικά.

Είναι δυνατόν ορισμένα στοιχεία μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα να έχουν το σχήμα της δοκού ή της πλακοδοκού, χωρίς όμως να φέρουν άλλο φορτίο εκτός από το ίδιο βάρος τους. Τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται ως δοκοί συνδέσεως. Δοκοί συνδέσεως κατασκευάζονται συχνά στα θεμέλια, ιδίως σε περιοχές σεισμόπληκτες [Α' Τόμος, παράγρ. 5.2 (Β.2)].

Στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία εδράζονται σε ολόκληρο το μήκος τους και όχι σε ορισμένα μόνο σημεία, δεν



Σχ. 19.1γ.

Υψηλή δοκός (τοιχοδοκός) από οπλισμένο σκυρόδεμα.

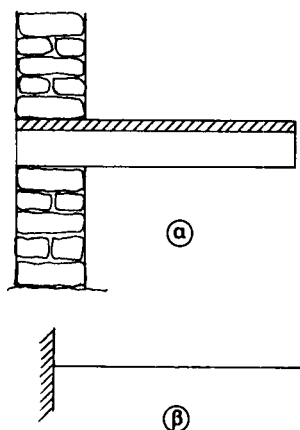
λέγονται δοκοί, έστω και αν έχουν το σχήμα δοκού. Τέτοια στοιχεία κατασκευάζονται συνήθως στη βάση, τη στέψη ή σε ενδιάμεσες θέσεις τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους και ονομάζονται **διαζώματα** (σαινάζ). Ο αντισεισμικός κανονισμός επιβάλλει να κατασκευάζονται πάντοτε τέτοια διαζώματα [Α' Τόμος, παράγρ. 9.5 (Α)].

Στις δοκούς υπάγονται και οι πεδιλοδοκοί, αν και εδράζονται σε ολόκληρο το μήκος τους. Για τις πεδιλοδοκούς έχει γίνει ήδη λόγος στον Α' Τόμο [παράγρ. 5.2 (Β.2)]. Για τις πεδιλοδοκούς, όπως είπαμε, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα φορτία προέρχονται από κάτω, ενώ οι στηρίξεις βρίσκονται προς τα επάνω.

Σύμφωνα προς τον ορισμό της δοκού, το μήκος της είναι πολύ μεγαλύτερο από το ύψος της. Όταν ο λόγος μήκους προς ύψος είναι μικρότερος από 2, το στοιχείο δεν μπορεί πια να θεωρηθεί ως δοκός. Τα στοιχεία αυτού του είδους υπάγονται σε μία ειδική κατηγορία και ονομάζονται **υψηλές δοκοί** ή **τοιχοδοκοί** (σχ. 19.1γ). Για τις υψηλές δοκούς δεν επιτρέπεται να εφαρμοσθούν οι τρόποι υπολογισμού των συνηθισμένων δοκών, αλλά χρησιμοποιούνται ειδικές μέθοδοι.

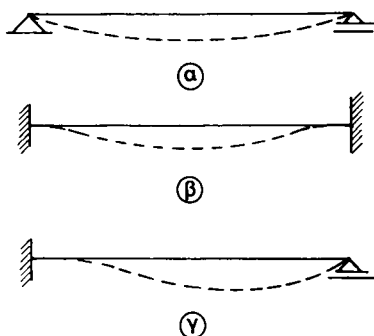
19.2 Στατική λειτουργία.

Όταν μία δοκός έχει ένα μόνο σημείο στηρίξεως, η στήριξη αυτή δεν πρέπει να επιτρέπει τη στροφή. Πρέπει δηλαδή να είναι



Σχ. 19.2α.

Δοκός πρόβολος: α) Όψη. β) Σχηματική παράσταση.



Σχ. 19.2β.

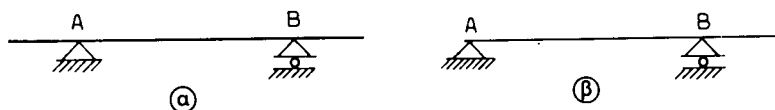
Δοκοί με δύο στηρίξεις: α) Αμφιέρειστη. β) Αμφίπακτη. γ) Μονόπακτη. Με διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η μορφή, που παίρνουν, όταν κάμπτονται.

πάκτωση. Αν δεν συνέβαινε αυτό, η δοκός δεν θα ήταν σε θέση να φέρει, έστω και το ελάχιστο φορτίο, γιατί θα κινδύνευε να ανατραπεί. Μία δοκός με μία μόνο στήριξη ονομάζεται **πρόβολος** (σχ. 19.2α).

Ο πρόβολος μπορεί να είναι απλός ή διπλός, ανάλογα με τη θέση, στην οποία βρίσκεται η στήριξη.

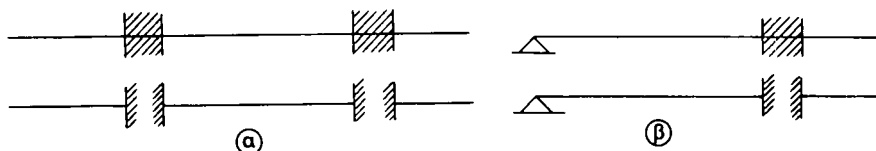
Όταν τα στηρίγματα είναι δύο, η δοκός μπορεί να είναι **αμφιέρειστη, μονόπακτη, αμφίπακτη, προέχουσα** ή **αμφιπροέχουσα**. Στις τρεις πρώτες περιπτώσεις οι στηρίξεις βρίσκονται στα άκρα της δοκού. Εάν οι στηρίξεις επιτρέπουν ελεύθερα τη στροφή, η δοκός λέγεται αμφιέρειστη, ενώ στην αντίθετη περίπτωση λέγεται αμφίπακτη. Μονόπακτη είναι μία δοκός, όταν η μία στήριξη επιτρέπει ελεύθερα τη στροφή και η άλλη όχι (σχ. 19.2β).

Αμφιπροέχουσα είναι μία δοκός, όταν τα στηρίγματά της δεν βρίσκονται στα άκρα της και προέχουσα, όταν το ένα στηρίγμά της βρίσκεται στο άκρο της και το άλλο όχι (σχ. 19.2γ). Οι στηρίξεις αυτές θεωρούνται ως απλές εδράσεις με ελευθερία στροφής. Σε αντίθετη περίπτωση η δοκός μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από μία αμφίπακτη δοκό και ένα ή δύο ανεξάρτητους προβόλους.



Σχ. 19.2γ.

Δοκοί με δύο στηρίξεις: α) Αμφιπροέχουσα. β) Προέχουσα.



Σχ. 19.2δ.

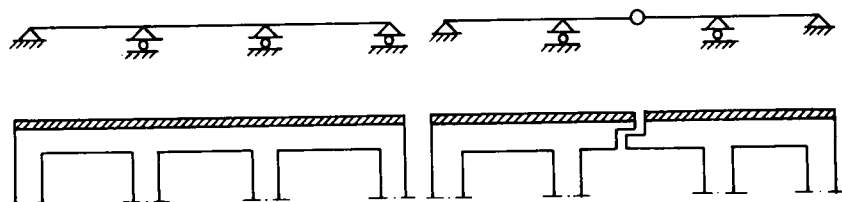
Όταν οι στηρίξεις είναι άστρεπτες, οι δοκοί μπορούν να αναλυθούν σε μικρότερα στοιχεία: α) Η αμφιπροέχουσα σε δύο πρόβλους και μία αμφίπακτη. β) Η προέχουσα σε πρόβλο και μονόπακτη.

Η ανάλυση αυτή είναι δυνατόν να γίνει, επειδή οι πρόβλοι δεν επηρεάζουν την κυρίως δοκό, αφού δεν μπορούν να προκαλέσουν στροφή στις στηρίξεις (σχ. 19.2δ).

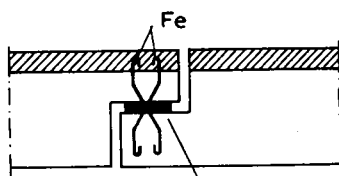
Όταν μία δοκός στηρίζεται σε περισσότερα από δύο σημεία, ονομάζεται **συνεχής**. Εάν σε ορισμένες θέσεις της υπάρχουν αρθρώσεις, η συνεχής δοκός λέγεται **αρθρωτή** ή δοκός **τύπου Gerber**. Στις δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα η διαμόρφωση αρθρώσεων παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες και γι' αυτό σπάνια κατασκευάζονται δοκοί τύπου Gerber (σχ. 19.2ε).

Κάθε τμήμα μιας συνεχούς δοκού, που βρίσκεται μεταξύ δύο γειτονικών στηριγμάτων, ονομάζεται **άνοιγμα**. Μία συνεχής δοκός αποτελείται συνεπώς από δύο ή περισσότερα ανοίγματα. Εκτός από τα ανοίγματα μία συνεχής δοκός είναι δυνατόν να έχει και στα άκρα της ένα ή δύο πρόβλους (σχ. 19.2ζ).

Οι ενδιάμεσες στηρίξεις μιας συνεχούς δοκού θεωρούνται απλές εδράσεις με πλήρη ελευθερία στροφής. Η μία ή και οι δύο ακραίες στηρίξεις μπορεί να είναι πακτώσεις [σχ. 19.2ζ (γ) και (δ)]. Εάν μία ενδιάμεση στήριξη είναι πάκτωση, είναι πολύ πιο απλό να θεωρηθεί ότι χωρίζει τη συνεχή δοκό σε δύο ανεξάρτητα τμήματα. Επειδή η στήριξη αυτή δεν μπορεί να στραφεί, η δοκός, που βρί-



α)

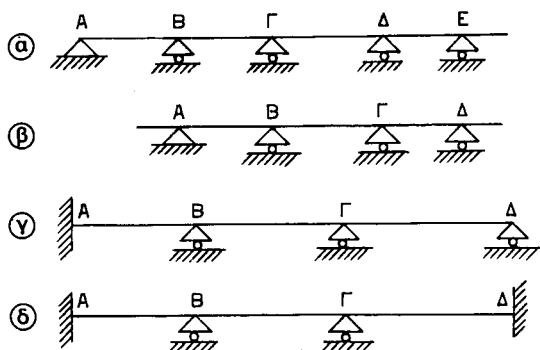


Πλάκα μολύβδου
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΡΘΡΩΣΕΩΣ

β)

Σχ. 19.2ε.

Συνεχείς δοκοί με τις σχηματικές τους παραστάσεις: α) Απλή περίπτωση. β) Δοκός με άρθρωση (Gerber).



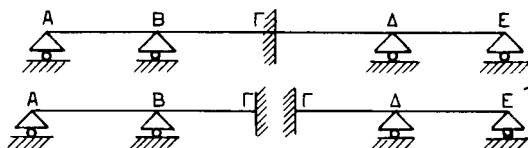
Σχ. 19.2ζ.

Σχηματική παράσταση συνεχών δοκών: α) Με ένα πρόβολο. β) Με δύο προβόλους γ) Με πάκτωση και στο ένα άκρο. δ) Με πάκτωση και στα δύο άκρα.

σκεται από το ένα της μέρος, δεν είναι σε θέση να επηρεάσει εκείνη, που βρίσκεται από το άλλο (σχ. 19.2η).

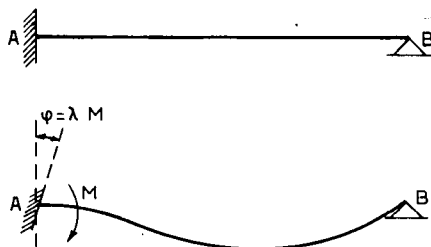
Στην πραγματικότητα καμιά στήριξη δεν επιτρέπει απόλυτη ελευθερία στροφής, όπως και καμιά στήριξη δεν έχει τα χαρακτηριστικά της πλήρους πακτώσεως. Πάντοτε υφίσταται μία ενδιάμεση κατάσταση, η οποία ονομάζεται **ελαστική πάκτωση**. Όταν δηλαδή εφαρμοσθεί στη στήριξη μία ροπή M , η στήριξη στρέφει κατά μία γωνία φ ανάλογη προς τη ροπή. Επομένως ισχύει η σχέση $\varphi = \lambda M$ (σχ. 19.2θ). Ο συντελεστής λ δεν είναι ο ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις. Όταν μία στήριξη έχει πολύ μεγάλο λ και μία άλλη πολύ μικρό, η πρώτη μπορεί να εξομοιωθεί με απλή έδραση και η δεύτερη με πάκτωση. Έτσι απλοποιούνται οι υπολογισμοί, οι οποίοι θα γίνονταν εξαιρετικά πολύπλοκοι, αν υπολογίζονταν σε κάθε στήριξη η ελαστική πάκτωση.

Οι κανονισμοί καθορίζουν, ότι μία έδραση δοκού μπορεί να θεωρηθεί ως πλήρης πάκτωση, αν αποτελείται από ένα υποστύλωμα ή τοίχωμα, του οποίου το ύψος δεν υπερβαίνει το πενταπλάσιο του πλάτους του κατά τη διεύθυνση της δοκού. Το ίδιο ισχύει και όταν η δοκός εδράζεται επάνω σε τοίχους από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, αρκεί να υπάρχουν από επάνω αρκετά φορτία, ώστε να μην αφήνουν τη δοκό να ανασηκωθεί και να εδρασθεί μόνο στο άκρο του τοίχου (σχ. 19.2ι).



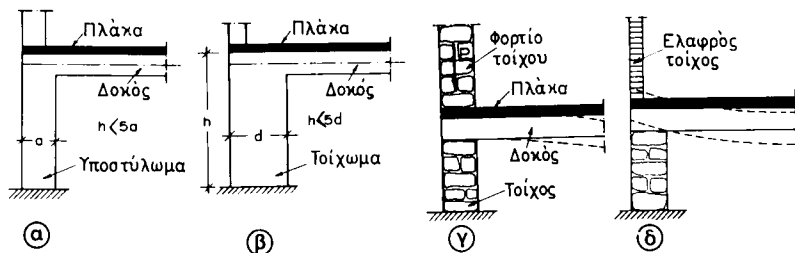
Σχ. 19.2η.

Η συνεχής δοκός με άστρεπτη ενδιάμεση στήριξη είναι δυνατόν να αναλυθεί σε δύο ανεξάρτητες δοκούς.



Σχ. 19.2θ.

Κάθε πάκτωση είναι στην πράξη ελαστική και στρέφει κατά μία γωνία $\varphi = \lambda M$, όταν της επιβληθεί μία ροπή M .



Σχ. 19.21.

Περίπτώσεις πακτώσεως δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Σε μεγάλο υποστύλωμα με $h < 5a$. β) Σε τοίχωμα με $h < 5d$. γ) Σε τοίχο με βαρύ υπερκείμενο φορτίο. δ) Αντίθετα στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει πάκτωση.

19.3 Κανονισμοί.

Α. Θεωρητικό άνοιγμα.

Ελεύθερο άνοιγμα μιας δοκού καλείται η απόσταση μεταξύ των πλησιεστέρων σημείων των στηρίξεών της. **Θεωρητικό άνοιγμα** της δοκού λέγεται εκείνο, που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

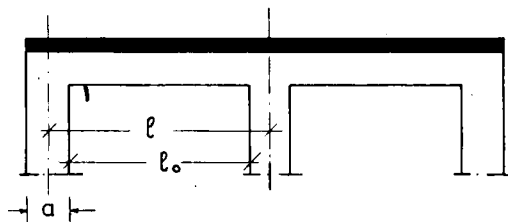
Στις συνεχείς δοκούς τα θεωρητικά μήκη των μεσαίων ανοιγμάτων παίρνονται ίσα προς την απόσταση του άξονα του ενός στηρίγματος από τον άξονα του γειτονικού του. Το ίδιο ισχύει και για τις προέχουσες ή αμφιπροέχουσες δοκούς.

Για τις αμφιέρειστες, αμφίπακτες και μονόπακτες δοκούς το θεωρητικό άνοιγμα παίρνεται μεγαλύτερο από το ελεύθερο κατά 5% υπό τον όρο ότι κάθε στήριξη έχει πλάτος τουλάχιστον ίσο προς τα 5% του ελεύθερου ανοίγματος. Το ίδιο ισχύει και για τις ακραίες στηρίξεις των συνεχών δοκών.

Όταν το πλάτος των ακραίων στηρίξεων είναι μικρότερο από τα 5% του ελεύθερου ανοίγματος, πρέπει να ελέγχεται αν είναι αρκετό. Αν πραγματικά είναι αρκετό, τότε ως θεωρητικό άνοιγμα μπορεί πάλι να ληφθεί η απόσταση μεταξύ των αξόνων των στηρίγμάτων (σχ. 19.3α).

Παράδειγμα.

Μία συνεχής δοκός εδράζεται σε υποστυλώματα με διατομή 25 x 25 cm. Εάν ένα από τα ελεύθερα ανοίγματά της είναι $l_0 = 3,75$ m, το αντίστοιχο θεωρητικό άνοιγμα θα είναι $l = 3,75 + 2 \times \frac{0,25}{2} = 4,00$ m.



Σχ. 19.3α.

Ελεύθερο και θεωρητικό άνοιγμα δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ας εξετασθεί και το ακραίο άνοιγμά της με την υπόθεση ότι το ελεύθερο άνοιγμα είναι πάλι 3,75 m. Το ακραίο στήριγμα έχει πλάτος 25 cm, δηλαδή μεγαλύτερο από τα 5% του ανοίγματος, αφού $0,05 \times 3,75 = 0,188 \approx 0,19$ m. Το θεωρητικό άνοιγμα είναι επομένως

$l_1 = 3,75 + \frac{0,19}{2} + \frac{0,25}{2} = 3,97$ m. Αν το ακραίο στήριγμα είχε πλάτος μόνο 10 cm $< 18,8$ και αποδεικνύονταν ότι είναι αρκετό, το θεωρητικό μήκος του ακραίου ανοίγματος θα ήταν $l_1' = 3,75 + \frac{0,10}{2} + \frac{0,25}{2} = 3,925$ m.

Β. Ελάχιστο ύψος.

Οι κανονισμοί δεν βάζουν περιορισμό στο ελάχιστο ύψος των δοκών. Όμως πρέπει να μην εκλέγονται ύψη δοκών πολύ μικρά, επειδή τότε οι δοκοί γίνονται πολύ εύκαμπτες και οι παραμορφώσεις είναι ενοχλητικές ή και επικίνδυνες για το έργο.

Πρακτικά μπορεί να εφαρμοσθεί ο εξής απλός κανόνας: Το ύψος μιας δοκού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το διπλάσιο του ελάχιστου πάχους, που επιτρέπουν οι κανονισμοί για μία πλάκα οπλισμένη κατά μία διεύθυνση. Η πλάκα, με την οποία γίνεται η σύγκριση, πρέπει να θεωρηθεί ότι έχει την ίδια στατική μορφή και το ίδιο μέγεθος ανοιγμάτων με τη δοκό που εξετάζεται.

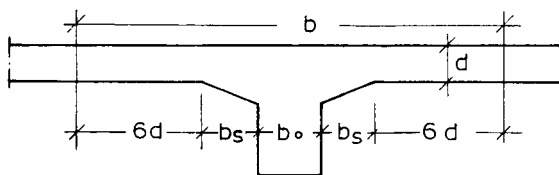
Εάν π.χ. πρόκειται για μία αμφιέρειστη δοκό με θεωρητικό άνοιγμα $l = 7,00$ m, το ύψος d_0 πρέπει να ληφθεί τουλάχιστον $\frac{2l}{35} = 0,40$ m. Αν πρόκειται για μεσαίο άνοιγμα συνεχούς δοκού, το ύψος μπορεί να είναι $d_0 \geq \frac{2l}{48} \approx 0,30$ m.

Γ. Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών.

Όταν η δοκός είναι κατασκευασμένη ολόσωμη με την πλάκα, όταν δηλαδή είναι πλακοδοκός, η διατομή της αποτελείται από τη νευρώση και από μία λωρίδα της πλάκας με πλάτος b , που θεωρείται ότι συνεργάζεται με τη νευρώση. Το συνεργαζόμενο πλάτος b το καθορίζουν οι κανονισμοί ως εξής:

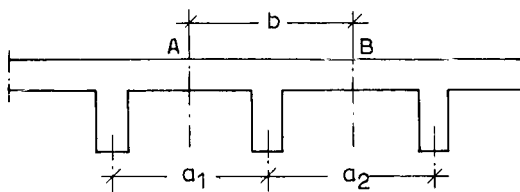
Έστω ότι το πλάτος της νευρώσεως είναι b_o , το πάχος της πλάκας d και ότι υπάρχουν και ενισχύσεις της πλάκας με πλάτος b_s από τις δύο πλευρές της νευρώσεως. Εάν δεν υπάρχουν ενισχύσεις, αρκεί να τεθεί $b_s = 0$ στους τύπους, που δίνουν το b (σχ. 19.3β).

Εάν πρόκειται να υπολογισθούν οι τάσεις σ_b του σκυροδέματος και σ_s του χάλυβα μιας ορισμένης διατομής, το συνεργαζόμενο πλάτος b παίρνεται από τον τύπο $b = b_o + 2 b_s + 12 d$. Εννοείται ότι σε όλο το πλάτος b πρέπει πράγματι να υφίσταται πλάκα. Αν η πλάκα είναι στενότερη, λαμβάνεται ως b το πραγματικό της πλάτος. Το ίδιο συμβαίνει, όταν υπάρχουν παράλληλες πλακοδοκοί σε μικρές αποστάσεις, οπότε το b δεν επιτρέπεται να ληφθεί μεγαλύτερο από την απόσταση AB του σχήματος 19.3γ. Τα σημεία A και B είναι τα μέσα των αποστάσεων της πλακοδοκού από τις δύο γειτονικές της.



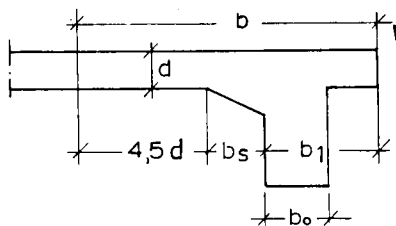
Σχ. 19.3β.

Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σε περίπτωση ενδιάμεσης πλακοδοκού.



Σχ. 19.3γ.

Όταν οι αποστάσεις μεταξύ των πλακοδοκών είναι πολύ μικρές, το συνεργαζόμενο πλάτος b δεν μπορεί να υπερβεί το $AB = 1/2 (a_1 + a_2)$.



Σχ. 19.3δ.

Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σε περίπτωση ακραίας πλακοδοκού.

Αν η πλάκα τελειώνει από τη μία πλευρά της νευρώσεως σε απόσταση από τον άξονά της μικρότερη από $b/2$ (σχ. 19.3δ), η πλακοδοκός θεωρείται ακραία. Το b στην περίπτωση αυτή δίνεται από τον τύπο $b = b_1 + b_s + 4,5d$.

Στον τύπο αυτό b_1 είναι το πλάτος της νευρώσεως **μαζί με το πλάτος της ακραίας λωρίδας της πλάκας**, που πιθανόν να υπάρχει πέρα από τη νεύρωση.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 18.2 (Β.4), το ύψος των ενισχύσεων των πλακών δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\frac{b_s}{3}$, δηλαδή το $1/3$ του πλάτους τους. Εάν το ύψος είναι μεγαλύτερο, π.χ. για λόγους αισθητικούς, το μέρος της ενισχύσεως, που υπερβαίνει το $\frac{b_s}{3}$, δεν λαμβάνεται υπόψη ούτε στον υπολογισμό των πλακών, ούτε στη διατομή της πλακοδοκού (σχ. 18.2υ).

Το συνεργαζόμενο πλάτος των πλακοδοκών έχει νόημα να υπολογίζεται μόνο, όταν οι πλάκες αντιστοιχούν στη θλιβόμενη ζώνη της διατομής. Εάν αντιστοιχούν στην εφελκυσόμενη ζώνη, το σκυρόδεμα, έτσι ή αλλιώς θεωρείται ότι δεν παίζει κανένα ρόλο, εφ' όσον δεν είναι ικανό να αναλάβει εφελκυστικές τάσεις. Έτσι, αν οι πλάκες βρίσκονται στο πάνω μέρος της πλακοδοκού, το b λαμβάνεται υπόψη εκεί, όπου οι ροπές είναι θετικές, εκεί δηλαδή όπου θλίβονται οι πάνω ίνες της πλακοδοκού. Αν οι πλάκες βρίσκονται στο κάτω μέρος της πλακοδοκού, το b λαμβάνεται υπόψη μόνο εκεί, όπου οι ροπές είναι αρνητικές. Τέλος αν οι πλάκες βρίσκονται σε ενδιάμεση θέση, η συνεργασία τους δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη και η δοκός θεωρείται ότι έχει μόνο τη διατομή της νευρώσεως.

Αυτό συμβαίνει π.χ. για πλακοδοκούς όπως οι ι και κ του σχήματος 19.1α.

Όλα τα πιο πάνω ισχύουν με την προϋπόθεση ότι οι πλάκες έχουν πάχος τουλάχιστον 7 cm. Λεπτότερες πλάκες δεν λαμβάνονται καθόλου υπόψη και η πλακοδοκός θεωρείται ότι έχει μόνο τη διατομή του κορμού της, δηλαδή της νευρώσεως.

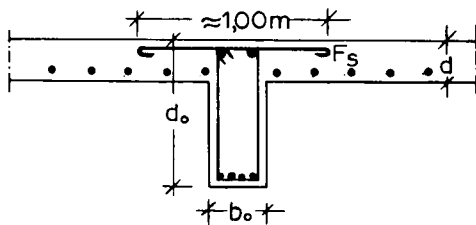
Όταν πρόκειται για οποιοδήποτε σκοπό να υπολογισθεί η ροπή αδρανείας ή το εμβαδόν της διατομής της πλακοδοκού, το μέσο συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας παίρνεται λίγο μικρότερο. Οι κανονισμοί καθορίζουν ότι το b στην περίπτωση αυτή λαμβάνεται από τον τύπο $b = b_o + 2b_s + 6d$ για τις ενδιάμεσες δοκούς και από τον τύπο $b = b_1 + b_s + 2,25d$ για τις ακραίες. Πάντοτε βέβαια το b δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό πλάτος της πλάκας, ούτε από την απόσταση AB του σχήματος 19.3γ.

Αυτά ισχύουν για πλακοδοκούς, οι οποίες έχουν τις πλάκες στο ανώτερο μέρος τους. Αν η πλάκα βρίσκεται στο κάτω μέρος της νευρώσεως (δοκός ανεστραμμένη), οι κανονισμοί δεν προβλέπουν πώς πρέπει να υπολογισθεί το b . Μία λύση με ικανοποιητική προσέγγιση είναι να λαμβάνεται το b από τον τύπο $b = b_o + 2b_s + 3d$ για τις ενδιάμεσες δοκούς και $b = b_1 + b_s + 1,125d$ για τις ακραίες. Βέβαια, αν η πλάκα βρίσκεται σε ενδιάμεσο ύψος, το b λαμβάνεται ίσο με το b_o , όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, όταν δηλαδή καθορίζεται το συνεργαζόμενο πλάτος, με σκοπό να υπολογισθούν οι τάσεις σ_b και σ_s σε μία συγκεκριμένη διατομή της δοκού.

Δ. Οπλισμός συνεργασίας.

Συμβαίνει συχνά στο συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας, είτε αυτό λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό, είτε όχι, να μην προβλέπεται οπλισμός αντοχής της πλάκας κάθετος προς τη νεύρωση. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να τοποθετούνται ορισμένες ράβδοι οπλισμού στο πάνω μέρος της πλάκας για να εξασφαλίζεται η συνεργασία της με τη δοκό (σχ. 19.3ε). Αν δεν τοποθετηθεί ο οπλισμός αυτός, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα παρουσιασθούν ρωγμές στην πλάκα παράλληλες προς τη δοκό.

Οι ράβδοι αυτές πρέπει να έχουν διατομή ίση με τα 60% του οπλισμού αντοχής εκείνης της πλάκας από τις δύο εκατέρωθεν, η οποία είναι περισσότερο οπλισμένη. Επίσης δεν επιτρέπεται να έ-



Σχ. 19.3ε.

Οπλισμός συνεργασίας F_s επάνω από πλακοδοκό παράλληλη προς τον κύριο οπλισμό των γειτονικών πλακών.

χουν διατομή μικρότερη από 3 cm^2 ανά μέτρο μήκους της δοκού για χάλυβα κατηγορίας I από $2,25 \text{ cm}^2$ για χάλυβα των λοιπών κατηγοριών. Για κεκλιμένες πλάκες στεγών το κατώτερο όριο είναι 2 cm^2 ανά μέτρο μήκους της δοκού.

Ε. Ενισχύσεις δοκών.

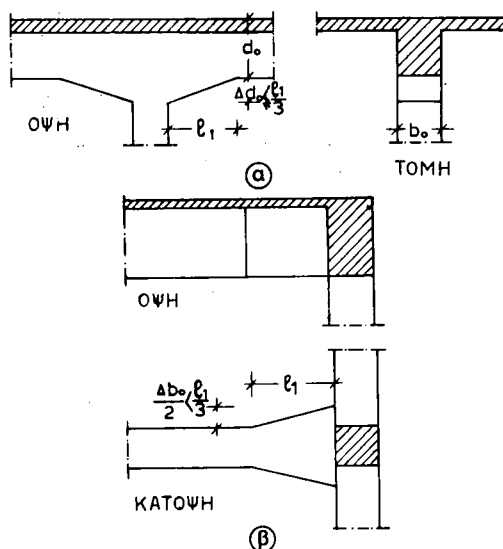
Στις στηρίξεις των δοκών επιτρέπεται να μορφώνονται ενισχύσεις καθ' ύψος ή κατά πλάτος. Στις ενισχύσεις καθ' ύψος, που είναι οι πιο συνηθισμένες, το ύψος τους δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το $1/3$ του μήκους τους. Εάν άλλοι λόγοι επιβάλλουν μεγαλύτερο ύψος, στον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη μόνον ύψος ίσο με το $1/3$ του μήκους της ενισχύσεως. Για τις ενισχύσεις κατά πλάτος δεν αναφέρουν τίποτε οι κανονισμοί. Όμως είναι σκόπιμο η αύξηση του πλάτους από κάθε πλευρά της νευρώσεως να μην υπερβαίνει το $1/3$ του μήκους της ενισχύσεως (σχ. 19.3ζ).

Αντί να κατασκευάζονται ενισχύσεις κοντά στις στηρίξεις των δοκών, επιτρέπεται να τοποθετείται θλιβόμενος οπλισμός, όπως ακριβώς και στις πλάκες.

Ζ. Διάταξη οπλισμού.

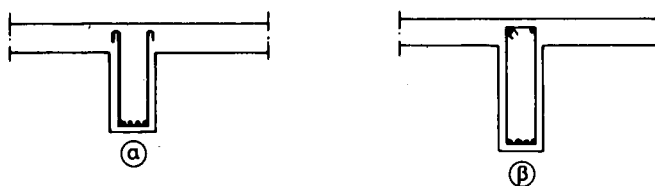
Ο οπλισμός των δοκών διακρίνεται κατ' αρχήν σε **διαμήκη** και **εγκάρσιο**. Τον εγκάρσιο οπλισμό τον αποτελούν οι συνδετήρες, οι οποίοι έχουν ή σχήμα αναβολέα, δηλαδή ενός ανεστραμμένου Π, ή σχήμα ορθογωνίου (σχ. 19.3η). Το επίπεδο των συνδετήρων είναι κάθετο προς τον άξονα της δοκού. Οι συνδετήρες πρέπει υποχρεωτικά να είναι κλειστοί, όταν στη δοκό υπάρχει θλιβόμενος οπλισμός.

Ο διαμήκης οπλισμός τοποθετείται πάντοτε στο εσωτερικό των



Σχ. 19.3ζ.

Ενισχύσεις δοκών: α) Κατά ύψος. β) Κατά πλάτος.



Σχ. 19.3η.

Συνδετήρες δοκών: α) Ανοικτοί (αναβολείς). β) Κλειστοί.

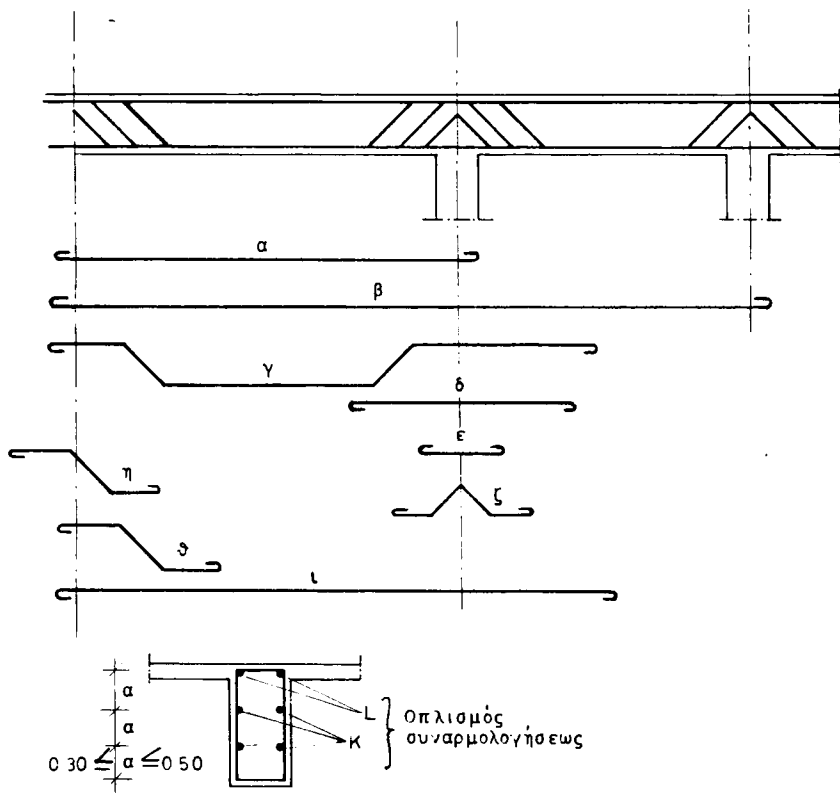
συνδετήρων και συνδέεται με αυτούς με σύρμα. Στο διαμήκη οπλισμό των δοκών υπάγεται ο οπλισμός αντοχής και ο οπλισμός συναρμολογήσεως. Για τον οπλισμό αντοχής χρησιμοποιούνται ράβδοι με διάμετρο τουλάχιστον 12 mm και κατ' εξαίρεση 10 mm, σε πολύ ελαφρές κατασκευές. Διάμετροι μεγαλύτερες από 26 mm πρέπει γενικά να αποφεύγονται για δύο λόγους: Πρώτα δεν κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μεγάλη κλίμακα και δεύτερον δεν επιτρέπεται να συνδέονται με απλή παράθεση (παρ. 17.4) και αυτό δυσκολεύει την κατασκευή. Όταν χρησιμοποιούνται ράβδοι με διάμετρο πάνω από

26 mm, χρειάζεται να γίνεται και ένας ειδικός έλεγχος του οπλισμού για να εξακριβώνεται, αν είναι εξασφαλισμένη η συνάφεια του χάλυβα με το σκυρόδεμα.

Ο οπλισμός αντοχής αποτελείται από ράβδους, των οποίων τα σχήματα είναι περίπου όμοια με τα σχήματα των ράβδων, που αποτελούν τον οπλισμό αντοχής των πλακών (σχ. 19.3θ). Μία πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει ευθύγραμμες ράβδους, που τοποθετούνται στο κατώτερο μέρος των δοκών και διέρχονται σε ολόκληρο το μήκος του ανοίγματος (σχ. 19.3θ, ράβδος α). Καλό είναι οι ράβδοι της κατηγορίας αυτής, που ανήκουν σε γειτονικά ανοίγματα να διασταυρώνονται στο στηρίγμα και να επικαλύπτονται σε ένα μήκος 30 έως 50 cm. Εννοείται ότι η επικάλυψη πρέπει να είναι μεγαλύτερη, εάν οι ράβδοι αυτές χρειάζονται ως θλιβόμενος οπλισμός στη θέση του στηρίγματος. Ράβδοι της κατηγορίας αυτής επιτρέπεται να διέρχονται συνεχώς κατά μήκος δύο ή περισσότερων ανοιγμάτων, ιδίως όταν τα ανοίγματα είναι πολύ μικρά (σχ. 19.3θ, ράβδος β). Αντίθετα απαγορεύεται να καλύπτουν μέρος μόνο ενός ανοίγματος.

Μία δεύτερη κατηγορία ράβδων τοποθετείται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε στη μέση του ανοίγματος, οι ράβδοι να βρίσκονται στο κάτω μέρος της δοκού, ενώ στην περιοχή των στηρίξεων το ένα ή και τα δύο άκρα τους να είναι στο πάνω μέρος της δοκού. Τα ενδιάμεσα τμήματα των ράβδων αυτών είναι λοξά και κλίνουν συνήθως κατά 45° (σχ. 19.3θ, ράβδος γ). Σχεδόν σε όλες τις δοκούς υπάρχουν ράβδοι της κατηγορίας αυτής. Όμως είναι δυνατόν και να παραλειφθούν, ενώ ράβδοι της πρώτης κατηγορίας είναι πάντοτε απαραίτητες.

Μία τρίτη κατηγορία ράβδων αποτελείται από τα τεμάχια, που προστίθενται στην περιοχή των στηρίξεων. Τα τεμάχια αυτά είτε είναι ευθύγραμμα και τοποθετούνται στο πάνω ή το κάτω μέρος της δοκού (σχ. 19.3θ, ράβδοι δ και ε), είτε έχουν μία ή δύο κάμψεις, ώστε στη θέση της στηρίξεως να βρίσκονται στο πάνω μέρος της δοκού, ενώ το ένα ή και τα δύο άκρα τους να είναι στο κάτω (σχ. 19.3θ, ράβδος ζ). Ράβδοι με μία μόνο κάμψη, δηλαδή με σχήμα ενός αμβλυγωνίου Z, απαγορεύονται κατά τους ελληνικούς και τους γερμανικούς κανονισμούς, εάν το πάνω σκέλος τους δεν επεκτείνεται σημαντικά πέρα από τη στηρίξη (σχ. 19.3θ, ράβδοι η και θ).



Σχ. 19.30.

Συνηθισμένες μορφές των ράβδων του οπλισμού σε δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα.

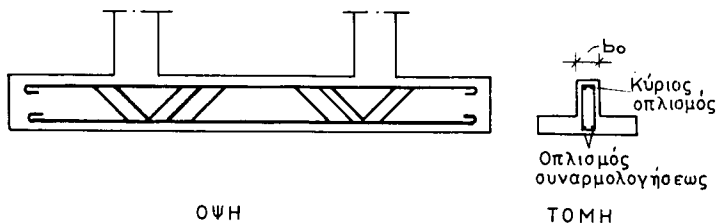
Ο οπλισμός συναρμογήσεως αποτελείται κατ' αρχήν από δύο ράβδους, που τοποθετούνται στις δύο άνω γωνίες των συνδετήρων (σχ. 19.30, ράβδος λ). Οι ράβδοι αυτές έχουν συνήθως διάμετρο 5 έως 6 mm και δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς ως οπλισμός αντοχής. Είναι ορθότερο να χρησιμοποιούνται ράβδοι διαμέτρου 10 mm τουλάχιστον και να λαμβάνονται υπόψη ως οπλισμός αντοχής στις στηρίξεις. Σε συνεχείς δοκούς οι ράβδοι αυτές αποτελούνται συνήθως από κομμάτια, που συνδέονται με απλή παράθεση. Οι συνδέσεις των ράβδων αυτών είναι καλύτερα να γίνονται στα μέσα των ανοιγμάτων και όχι στις στηρίξεις, επειδή εκεί συγκεντρώνονται

νεται ισχυρός οπλισμός και δεν συμφέρει να γίνεται και η παράθεση των ράβδων συναρμολογήσεως. Εννοείται ότι ο οπλισμός συναρμολογήσεως περιττεύει, εάν από τον υπολογισμό προκύψει ότι χρειάζεται οπλισμός αντοχής και στο πάνω μέρος της δοκού.

Όταν το ύψος της δοκού είναι αρκετά μεγάλο, πρέπει να τοποθετούνται ράβδοι οπλισμού συναρμολογήσεως και σε ενδιάμεσες θέσεις κοντά στις δύο κατακόρυφες έδρες της δοκού (σχ. 19.3θ, ράβδος κ). Οι ράβδοι αυτές διαμέτρου 5 έως 6 mm πρέπει να τοποθετούνται σε αποστάσεις 30 έως 50 cm η μία από την άλλη. Ο οπλισμός αυτός είναι υποχρεωτικός κατά τους κανονισμούς για δοκούς με ύψος μεγαλύτερο από 1,40 m. Στην περίπτωση αυτή πρέπει συνολικά να καλύπτει το 8% του οπλισμού αντοχής, που χρειάζεται στη μέση του ανοίγματος της δοκού. Εννοείται και πάλι ότι ο οπλισμός αυτός περιττεύει, εάν από τον υπολογισμό προκύπτει ότι χρειάζεται στις θέσεις αυτές περισσότερος οπλισμός αντοχής, για να αναλάβει π.χ. ροπές στρέψεως.

Όσα αναφέρονται εδώ για τη διάταξη του οπλισμού των δοκών ισχύουν και για τις πεδιλοδοκούς, με τη διαφορά ότι τα πάντα ανατρέφονται (σχ. 19.3ι).

Κατά την τοποθέτηση του οπλισμού των δοκών πρέπει να τηρούνται όλοι οι γενικοί περιορισμοί οι σχετικοί με τις επικαλύψεις του οπλισμού, τις αποστάσεις μεταξύ των ράβδων, τις ενώσεις των ράβδων κ.κ. [παρ. 17.2 (Γ) και 17.4]. Ο εφελκόμενος οπλισμός επιτρέπεται να τοποθετείται σε δύο στρώσεις, εάν δεν χωράει σε μία, ποτέ όμως σε περισσότερες. Ο θλιβόμενος οπλισμός αντίθετα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετείται σε μία στρώση. Συχνά οι τελευταίοι αυτοί περιορισμοί γίνονται αιτία να αυξηθούν οι διαστάσεις



Σχ. 19.3ι.

Διάταξη του οπλισμού σε πεδιλοδοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα.

των δοκών, έστω και αν οι τάσεις, που αναπτύσσονται σε αυτές, είναι ανεκτές.

19.4 Υπολογισμοί.

A. Φορτία.

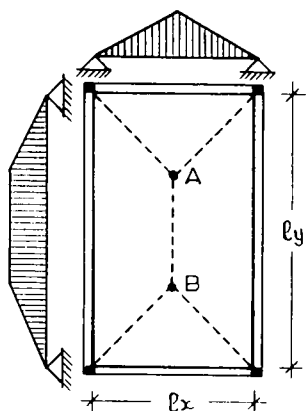
Οι δοκοί, όπως και οι πλάκες, υπόκεινται σε φορτία, από τα οποία άλλα είναι μόνιμα, υπάρχουν δηλαδή κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες, ενώ άλλα είναι κινητά, μπορούν δηλαδή ή να υπάρχουν, ή όχι. Επίσης τα κινητά φορτία μπορούν άλλοτε να φορτίζουν ένα μέρος της δοκού και άλλοτε ένα άλλο.

Στα μόνιμα φορτία περιλαμβάνεται το ίδιο βάρος των δοκών, το βάρος των τοίχων ή παρομοίων κατασκευών, που βρίσκονται πάνω στις δοκούς, το βάρος των πλακών, στεγών κλπ., που στηρίζονται επάνω στις δοκούς. Στα μόνιμα φορτία περιλαμβάνεται επίσης το βάρος των επιστρώσεων των πλακών αυτών ή των επιστεγάσεων κλπ. Τέλος περιλαμβάνεται το βάρος των κατασκευών, πλακών, στεγών κλπ., που πιθανόν να στηρίζονται επάνω στους τοίχους, που βρίσκονται επάνω στις δοκούς, όπως και των τοίχων, χωρισμάτων κλπ., που πιθανόν να εδράζονται επάνω στις πλάκες, που στηρίζονται στις δοκούς.

Στα κινητά φορτία περιλαμβάνεται κάθε πρόσκαιρο φορτίο, που μπορεί να ενεργήσει απ' ευθείας, επάνω στη δοκό ή επάνω σε οποιαδήποτε από τις κατασκευές, που τη φορτίζουν αμέσως ή εμμέσως. Τέτοια φορτία είναι εκείνα, που ενεργούν επάνω σε πλάκες, στέγες κλπ., που στηρίζονται είτε επάνω στις δοκούς απ' ευθείας, είτε επάνω σε υποστυλώματα, τοίχους κλπ., που πατούν επάνω στις δοκούς.

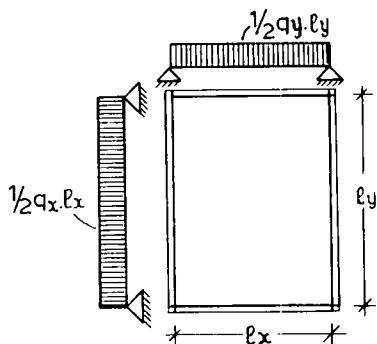
Τόσο τα μόνιμα, όσο και τα κινητά φορτία, μπορεί να είναι συγκεντρωμένα ή κατανεμημένα σε όλο το μήκος ή σε ένα τμήμα της δοκού.

Ως φορτία μόνιμα ή κινητά από πλάκες, στέγες κλπ. υπολογίζονται οι μέγιστες αντιδράσεις ή πιο σωστά οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις, που αναπτύσσονται στις κατασκευές αυτές στη θέση ακριβώς, όπου στηρίζονται στη δοκό. Οι απλοποιήσεις, που επιτρέπονται από τους κανονισμούς για τον υπολογισμό των τεμνουσών αυτών δυνάμεων, επιτρέπεται να γίνουν και για τον υπολογισμό των φορτίων της δοκού.



Σχ. 19.4α.

Κατανομή των φορτίων κατά μήκος των στηρίξεων μιας πλάκας οπλισμένης σταυροειδώς.



Σχ. 19.4β.

Πιο απλή παραδοχή για την κατανομή των φορτίων κατά μήκος των στηρίξεων πλάκας οπλισμένης σταυροειδώς.

Ειδικά για τις πλάκες, που οπλίζονται σταυροειδώς, οι κανονισμοί επιτρέπουν την εξής λύση, για να υπολογίζονται τα φορτία, τα οποία οι πλάκες αυτές επιβάλλουν στις δοκούς. Άγονται οι διχοτόμοι των τεσσάρων γωνιών του φατνώματος, που τέμνονται ανά δύο στα σημεία Α και Β, όπως και το ευθύγραμμο τμήμα ΑΒ (σχ. 19.4α). Έτσι το φάτνωμα χωρίζεται σε δύο τρίγωνα και δύο τραπέζια ή σε τέσσερα τρίγωνα, εάν το Α συμπίψει με το Β. Όσα φορτία μόνιμα και κινητά αντιστοιχούν σε καθένα από τα τρίγωνα ή τα τραπέζια αυτά, θεωρούνται ότι φορτίζουν τη δοκό εκείνη, που συμπίπτει με τη μία από τις πλευρές του. Επομένως τα διαγράμματα φορτίσεων των δοκών παρουσιάζουν συνήθως σχήματα τριγωνικά ή τραπεζοειδή. Στην πραγματικότητα τα φορτία διανέμονται με τρόπο λιγότερο απλό, αλλά οι κανονισμοί επιτρέπουν αυτή την απλοποίηση.

Συνήθως η φόρτιση απλοποιείται ακόμη περισσότερο και θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένη κατά μήκος των τεσσάρων πλευρών του φατνώματος. Παραδεχόμαστε ότι το q του φατνώματος κατανέμεται στα δύο φορτία q_x και q_y , που δίνει ο πίνακας 16 του Παραρτήματος. Το φορτίο q_x φορτίζει τις δύο δοκούς, που είναι παράλληλες προς τον άξονα των y , και το q_y τις άλλες δύο (σχ. 19.4β). Αυτή η παραδοχή δεν αναφέρεται στους κανονισμούς. Όμως γίνεται συνήθως σιωπηρά δεκτή από τις ελέγχουσες αρχές, επειδή τα αποτελέσματα του σχετικού υπολογισμού δεν απέχουν πολύ από τα αποτελέσματα του προηγούμενου.

Β. Στατικά μεγέθη.

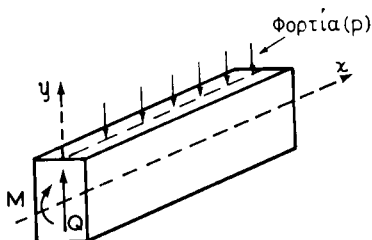
Όπως σε κάθε φορέα, τα φορτία προκαλούν και σε κάθε διατομή μιας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα εσωτερικές δυνάμεις και ροπές. Επειδή κατά κανόνα τα φορτία είναι κάθετα προς τον άξονα της δοκού και βρίσκονται μέσα στο αξονικό της επίπεδο (σχ. 19.4γ), σε κάθε διατομή αναπτύσσεται μόνο μία ροπή κάμψεως και μία τέμνουσα δύναμη.

Ο υπολογισμός των στατικών αυτών μεγεθών γίνεται, σύμφωνα με όσα διδάχθηκαν στο μάθημα της **Μηχανικής**. Ο πίνακας 8 του Παραρτήματος δίνει τις ροπές κάμψεως και τις τέμνουσες δυνάμεις για ορισμένες απλές περιπτώσεις. Σε άλλα βοηθήματα βρίσκονται πίνακες, που δίνουν τα στοιχεία αυτά και για περιπτώσεις λιγότερο απλές.

Ο πίνακας 8 είναι ο ίδιος, που χρησιμοποιείται και για τις πλάκες. Πράγματι και εκεί γίνεται ουσιαστικά ο υπολογισμός μιας δοκού με πλάτος 1,00 m ή όσο είναι το πλάτος μιας νευρώσεως.

Για τις δοκούς ισχύουν ορισμένες αρχές υπολογισμού, που αναφέρθηκαν ήδη για τις πλάκες. Έτσι, εάν τα κινητά φορτία μιας δοκού δεν υπερβαίνουν τα 30% των συνολικών της φορτίων, οι κανονισμοί επιτρέπουν να υπολογίζονται οι ροπές κάμψεως με την παραδοχή ότι ολόκληρη η δοκός φορτίζεται με το σύνολο των φορτίων. Στην αντίθετη περίπτωση οι ροπές κάμψεως πρέπει να υπολογίζονται με την παραδοχή ότι τα κινητά φορτία έχουν την πιο δύσκολη κατανομή.

Επίσης, εάν οι ροπές κάμψεως των ανοιγμάτων προκύπτουν από τον υπολογισμό πολύ μικρές ή και αρνητικές, πρέπει, όπως και



Σχ. 19.4γ.

Συνηθισμένη παραδοχή για τη διάταξη των φορτίων μιας δοκού.

για τις πλάκες, να λαμβάνονται υπόψη ροπές κάμψεως ίσες προς $\frac{ql^2}{24}$ για τα ενδιάμεσα ανοίγματα και προς $\frac{9}{128} ql^2$ για τα ακραία.

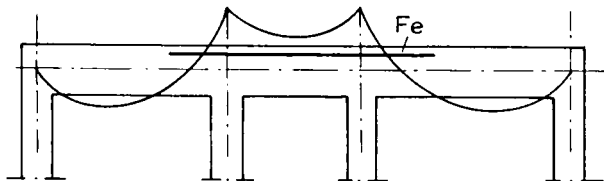
Οι απόλυτες τιμές των ροπών κάμψεως στις θέσεις των στηρίξεων επιτρέπεται να μειώνονται κατά 10%, όπως και για τις πλάκες.

Ανοίγματα δοκών, στα οποία είναι δυνατόν οι αρνητικές ροπές να εκτείνονται σε όλο το μήκος τους ή έστω στο μεγαλύτερο μέρος τους, πρέπει να έχουν αρκετό οπλισμό στο πάνω μέρος, ώστε να είναι ικανές να τις αναλάβουν (σχ. 19.45).

Οι τέμνουσες δυνάμεις των δοκών παρά τις στηρίξεις τους, δηλαδή οι αντιδράσεις τους, υπολογίζονται και ως φορτία για τον υπολογισμό των κατασκευών, επάνω στις οποίες στηρίζονται οι δοκοί. Οι κατασκευές αυτές είναι συνήθως άλλες δοκοί, υποστυλώματα, τοίχοι κλπ.

Σχετικά με τα πιο πάνω δίνονται και τα εξής συμπληρωματικά στοιχεία: Η πιο δύσκολη κατανομή των κινητών φορτίων των δοκών είναι η ίδια με εκείνη, που υποδείξαμε για την πιο δύσκολη φόρτιση των πλακών.

Η απομείωση των τιμών των ροπών στηρίξεως των δοκών είναι ίση με την ποσότητα $\Delta M = \frac{qb}{4} l_{\min}$, αν οι στηρίξεις είναι ολόσωμα κατασκευασμένες με τη δοκό ή $\Delta M = \frac{qb}{8} l_m$, αν δεν είναι. Στους τύπους αυτούς b είναι το πλάτος της στηρίξεως. Συνήθως επιτυγχάνεται ικανοποιητική προσέγγιση, όταν οι απόλυτες τιμές των ροπών στις στηρίξεις μειώνονται κατά 10%. Οι αρνητικές ροπές στηρίξεως όμως δεν επιτρέπεται να έχουν απόλυτη τιμή μικρότερη από $M' = \frac{q'l_o^2}{8}$, εάν η απέναντι στήριξη είναι ακραία, ή από $M' = \frac{q'l_o^2}{12}$, εάν δεν είναι. Στους τύπους αυτούς l_o είναι το ελεύθερο άνοιγμα της δοκού, που εξετάζεται.



Σχ. 19.45.

Συνεχής άνω οπλισμός F_e σε μικρά ανοίγματα συνεχών δοκών, που έχουν σε όλο το μήκος τους και αρνητικές ροπές.

κών αυτών αναπτύσσονται και ροπές στρέψεως, εκτός από τις ροπές κάμψεως και τις τέμνουσες δυνάμεις.

Ο υπολογισμός των ροπών στρέψεως δεν είναι συνήθως απλός, ενώ γενικά οι ροπές στρέψεως σε σύγκριση προς τις ροπές κάμψεως είναι πολύ μικρές. Οι δύο αυτοί λόγοι δικαιολογούν, γιατί κατά κανόνα δεν γίνεται έλεγχος των δοκών σε στρέψη.

Οι ροπές στρέψεως όμως είναι πολύ επικίνδυνες, γιατί η αντοχή των δοκών σε στρέψη είναι πολύ μικρότερη από την αντοχή τους σε κάμψη. Πρέπει λοιπόν να αποφεύγουμε να κατασκευάζουμε δοκούς, που είναι φανερό ότι υπόκεινται σε σημαντικές ροπές στρέψεως, εκτός εάν γίνεται ειδικός υπολογισμός.

Παρόμοιες δοκοί είναι:

α) Όσες έχουν κάτοψη καμπύλη ή τεθλασμένη.

β) Οι περιμετρικές δοκοί γενικά και κυρίως όσες έχουν ανοίγματα μικρά σε σύγκριση προς τα ανοίγματα των πλακών, επάνω στις οποίες στηρίζονται.

γ) Δοκοί, επάνω στις οποίες στηρίζονται μόνο από τη μία πλευρά άλλες δοκοί με μεγάλο άνοιγμα κοκ.

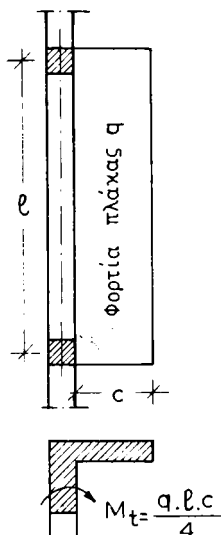
Πάρα πολύ επικίνδυνες ως προς τη στρέψη είναι οι δοκοί, που φορτίζονται μόνο από τη μία πλευρά από πλάκες ή δοκούς προβόλους. Μία δοκός π.χ. με άνοιγμα l , που φορτίζεται από μία πλάκα πρόβολο, που έχει προεξοχή c και φορτίο q , έχει μέγιστη ροπή στρέψεως $M_t \frac{qlc^2}{4}$ (σχ. 19.4ζ). Εάν δηλαδή ο πρόβολος έχει προεξοχή $c = 2,00$ m και φορτίο $q = 700$ kg/m², ενώ το άνοιγμα της δοκού είναι 4,00 m, τότε η ροπή στρέψεως είναι:

$$M_t = \frac{700 \times 4,00 \times 2,00^2}{4} = 2.800 \text{ kgm},$$

κάθε άλλο παρά αμελητέα. Η μέγιστη ροπή κάμψεως της ίδιας δοκού θα είναι $\max M = \frac{1.400}{8} \times 4,00^2 = 2.800 \text{ kgm}$, κατά σύμπτωση ίση με τη ροπή στρέψεως.

Δ. Τάσεις και οπλισμός.

Όταν καθορίσουμε τα γεωμετρικά στοιχεία της δοκού και υπολογίσουμε για τις διάφορες διατομές της τα στατικά μεγέθη, υπολογίζουμε τον απαιτούμενο οπλισμό και ελέγχουμε αν είναι ανεκτές οι



Σχ. 19.4ζ.

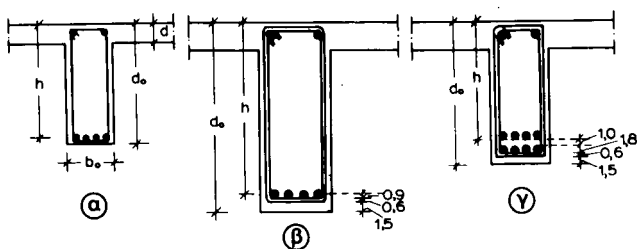
Παράδειγμα δοκού, που φορτίζεται από ένα ασύμμετρο πρόβολο.

τάσεις του σκυροδέματος. Αν ο έλεγχος δείξει ότι η εκλογή των γεωμετρικών στοιχείων της δοκού δεν ήταν επιτυχής, μεταβάλλουμε τις διαστάσεις και επαναλαμβάνουμε τον υπολογισμό από την αρχή. Ο υπολογισμός των δοκών διαιρείται συνήθως σε δύο μέρη, σχεδόν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο:

- α) Έλεγχος των διατομών σε κάμψη.
- β) Έλεγχος των διατομών σε διάτμηση.

Όποτε υπάρχουν ενδείξεις ότι στη δοκό αναπτύσσονται και στρεφτικές ροπές στρέψεως, πρέπει να υπολογίζουμε και αυτές και να επακολουθεί ο έλεγχος των διατομών σε στρέψη. Οι μέθοδοι, που αναπτύσσονται στη συνέχεια, αφορούν μόνο σε δοκούς με ορθογωνική διατομή νευρώσεως. Για τα άλλα σχήματα οι υπολογισμοί δεν είναι τόσο απλοί και απαιτείται κάθε φορά λύση συστημάτων εξισώσεων.

Για να ελέγξουμε μία διατομή σε κάμψη, πρέπει πρώτα να καθορίσουμε το στατικό της ύψος h , δηλαδή την απόσταση του κέντρου βάρους του εφελκυόμενου οπλισμού από την απέναντι έδρα της δοκού. Εάν το συνολικό ύψος της δοκού είναι d_o , η διαφορά $d_o - h$ [σχ. 19.4η (α)] αποτελείται από την επικάλυψη του οπλισμού, το



Σχ. 19.4η.

Στατικό ύψος h δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Γενική περίπτωση. β) Παράδειγμα με μία σειρά ράβδων κύριου οπλισμού. γ) Παράδειγμα με δύο σειρές ράβδων κύριου οπλισμού.

πάχος των συνδετήρων και τη μισή διάμετρο των ράβδων του εφελκυσμένου οπλισμού, αν αυτό είναι διατεταγμένος σε μία μόνο σειρά. Για μία δοκό π.χ., η οποία βρίσκεται σε κλειστό χώρο και έχει συνδετήρες με διάμετρο 6 mm και εφελκυσμένο οπλισμό από ράβδους διαμέτρου 18 mm, είναι $d_o - h = 1,5 + 0,6 + \frac{1,8}{2} = 3 \text{ cm}$ [σχ. 19.4η (β)].

Όταν ο οπλισμός είναι διατεταγμένος σε δύο σειρές με ίσο αριθμό ράβδων, το $d_o - h$ αποτελείται από την επικάλυψη, το πάχος των συνδετήρων, τη διάμετρο των ράβδων της κάτω σειράς και τη μισή ελεύθερη απόσταση μεταξύ των δύο σειρών του οπλισμού. Για μία δοκό με στοιχεία ίδια με του προηγούμενου παραδείγματος [σχ. 19.4η (γ)] θα είναι:

$$d_o - h = 1,5 + 0,6 + 1,8 + \frac{2,0}{2} = 4,9 \text{ cm} \simeq 5 \text{ cm}.$$

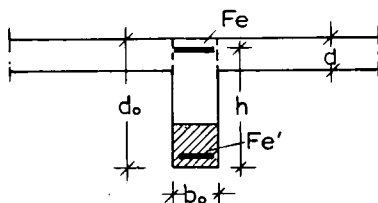
Γενικά επιτυγχάνουμε αρκετή προσέγγιση στις συνηθισμένες περιπτώσεις, όταν λαμβάνουμε το $h = d_o - 3 \text{ cm}$, εφόσον βέβαια προβλέπεται ότι ο εφελκυσμένος οπλισμός θα χωρέσει σε μία στρώση. Αν ο εφελκυσμένος οπλισμός προβλέπεται ότι θα τοποθετηθεί σε δύο στρώσεις περίπου ισότιμες, πρέπει να λαμβάνουμε το στατικό ύψος ίσο προς $d_o - 5 \text{ cm}$. Για ενδιάμεσες περιπτώσεις μπορούμε να λαμβάνουμε το h ίσο προς $d_o - 4 \text{ cm}$. Αυτά βέβαια ισχύουν για την ανωδομή των έργων. Στα θεμέλια ή μέσα στο νερό πρέπει να αφαιρούμε 2 έως 3 cm, ακόμη, επειδή τα πάχη της επικάλυψης είναι μεγαλύτερα.

1. Έλεγχος σε κάμψη δοκού με διατομή ορθογωνική.

Έστω μία δοκός με διατομή ορθογωνική πλάτους b_0 , συνολικό ύψος d_0 και στατικό ύψος h . Στην ίδια περίπτωση υπάγονται και οι πλακοδοκοί, εκεί όπου οι πλάκες τους αντιστοιχούν στην εφελκυστική ζώνη και επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη το συνεργαζόμενο πλάτος b (σχ. 19.4θ). Ο υπολογισμός γίνεται, όπως και για τις πλάκες, με τη βοήθεια των πινάκων 10α έως 15α, οι οποίοι βρίσκονται στο Παράρτημα στο τέλος αυτού του Τόμου.

Υπολογίζουμε πρώτα την ποσότητα $k_h = \frac{h}{\sqrt{M : b_0}}$ και βρίσκουμε

από τον κατάλληλο πίνακα την αντίστοιχη μέγιστη θλιπτική τάση σ_b του σκυροδέματος. Εννοείται ότι έχουμε προηγουμένως εκλέξει την κατηγορία του σκυροδέματος και του οπλισμού, που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε, επομένως έχουμε καθορίσει την επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση σ_s του χάλυβα και τον αντίστοιχο πίνακα. Το σ_s είναι 1.400 kg/cm² για χάλυβα κατηγορίας I, 1.800 kg/cm² για χάλυβα II και 2.000 kg/cm² για τις κατηγορίες III και IV. Στο B 120 μάλιστα το σ_s περιορίζεται στα 1.200 kg/cm². Γι' αυτό δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείται χάλυβας κατηγορίας II σε σκυρόδεμα κατηγορίας B 120 και χάλυβας κατηγορίας III ή IV σε σκυρόδεμα κατηγορίας B 120 ή B 160. Η τάση σ_b εξ' άλλου δεν πρέπει και αυτή να υπερβαίνει τα όρια, που επιτρέπονται για τις πλάκες, δηλαδή τα 40 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 60 kg/cm² για το B 160, τα 80 kg/cm² για το B 225 και τα 100 kg/cm² για το B 300. Στην περιοχή των στηρίξεων των πλακοδοκών, όπου οι ροπές κάμψης είναι αρνητικές και δεν λαμβάνεται υπόψη η συνεργασία της πλάκας, επιτρέπεται μία επαύξηση όλων αυτών των τάσεων κατά 10



Σχ. 19.4θ.

Όταν θλίβεται το άκρο της νευρώσεως μιας πλακοδοκού, δεν υπάρχει συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας.

kg/cm². Ειδικά η τάση 110 kg/cm² για το Β 300 είναι ανεκτή, μόνο εάν χρησιμοποιείται χάλυβας κατηγορίας II, III ή IV.

Εφόσον το k_h αντιστοιχεί σε τάση σ_b ανεκτή, εφόσον δηλαδή έχει τιμή μεγαλύτερη από εκείνη, που αντιστοιχεί στη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση σ_b , υπολογίζουμε τον εφελκούμενο οπλισμό, όπως και στις πλάκες. Βρίσκομε από τον κατάλληλο πίνακα το συντελεστή k_σ , τον αντίστοιχο με το k_h , που έχει υπολογισθεί προηγουμένως, και με τη βοήθειά του καθορίζουμε τον απαιτούμενο οπλισμό $F_\sigma = k_\sigma \frac{M}{h}$. Το M υπολογίζεται πάντοτε σε τοννόμετρα και το b_0 σε μέτρα. Αντίθετα το h υπολογίζεται σε εκατοστά του μέτρου για τον υπολογισμό του k_h και σε μέτρα όταν πρόκειται να υπολογισθεί το F_σ .

Παράδειγμα 1.

Έστω μία δοκός με ορθογωνική διατομή 20 x 50 cm με μέγιστη ροπή κάμψεως ίση προς 5 τοννόμετρα. Υπολογίζουμε την ποσότητα

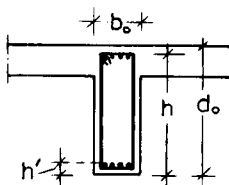
$$k_h = \frac{h}{\sqrt{M : b_0}} = \frac{47}{\sqrt{5,0 : 0,2}} = 9,4. \text{ Έστω ότι χρησιμοποιούμε σκυρό-}$$

δεμα κατηγορίας Β 225 και χάλυβα κατηγορίας I, οπότε από τον πίνακα 11α, που έχει τον τίτλο $\sigma_\sigma = 1.400 \text{ kg/cm}^2$, προκύπτει ότι είναι $\sigma_b = 64 \text{ kg/cm}$. Η τάση του σκυροδέματος είναι ανεκτή και ο

οπλισμός, που χρειάζεται, είναι $F_\sigma = 0,826 \frac{5,0}{0,47} = 8,79 \text{ cm}^2$, δηλαδή

2 $\varnothing 18 + 2 \varnothing 16$. Ο οπλισμός αυτός χωράει σε μία στρώση και επομένως σωστά ελήφθη $h = 47 \text{ cm} = 50 - 3$.

Όταν το k_h προκύψει μικρότερο από εκείνο, το οποίο αντιστοιχεί στη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση σ_b του σκυροδέματος, πρέπει ή να αυξήσουμε τις διαστάσεις της διατομής, ή να τοποθετήσουμε θλιβόμενο οπλισμό. Εάν η διατομή, που εξετάζουμε, βρίσκεται κοντά σε στήριξη, είναι δυνατόν να αυξήσουμε τις διαστάσεις της δοκού μόνο τυπικά, να κατασκευάσουμε δηλαδή ενισχύσεις κατά πλάτος ή καθ' ύψος. Εάν δεν αυξήσουμε τις διαστάσεις της διατομής της δοκού, ο θλιβόμενος οπλισμός υπολογίζεται, όπως και για τις πλάκες, με τη βοήθεια των πινάκων 10γ έως 15γ του Παραρτήματος. Καθορίζονται τα επιτρεπόμενα σ_σ και σ_b , ώστε να εκλεγεί η κατάλληλη στήλη στον κατάλληλο πίνακα και υπολογίζεται η ποσότητα k_h , οπότε στον πίνακα αυτόν βρίσκομε τους συντελεστές k_σ και k'_σ . Ο εφελκούμενος



Σχ. 19.4i.

Συμβολισμοί κατά τους κανονισμούς, των γεωμετρικών μεγεθών σε μία διατομή δοκού με θλιβόμενο οπλισμό.

οπλισμός βρίσκεται με τη βοήθεια του τύπου $F_e = k_e \frac{M}{h}$ και ο θλιβόμενος με τη βοήθεια του $F'_e = a \cdot k'_e \frac{M}{h}$.

Ο συντελεστής a λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα, όταν ο λόγος $\frac{h'}{h}$ είναι μικρότερος ή ίσος με 0,07. Το h' είναι η απόσταση του κέντρου βάρους του θλιβόμενου οπλισμού από την πλησιέστερη έδρα της δοκού (σχ. 19.4i). Το h' συνήθως λαμβάνεται ίσο προς 3 cm για δοκούς της ανωδομής και προς 5 ή 6 cm για δοκούς, που κατασκευάζονται στα θεμέλια ή μέσα στο νερό. Όταν το $\frac{h'}{h}$ είναι μεγαλύτερο από 0,07, το a είναι μεγαλύτερο από τη μονάδα και η τιμή του βρίσκεται στους πίνακες 10β έως 15β του Παραρτήματος.

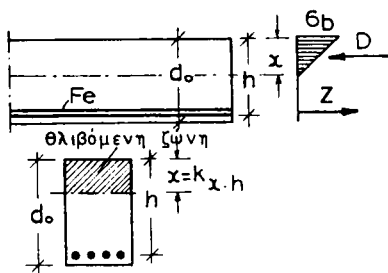
Παράδειγμα 2.

Έστω πάλι η δοκός του προηγούμενου παραδείγματος. Εάν επρόκειτο να την κατασκευάσουμε με σκυρόδεμα κατηγορίας B 160, η μέγιστη τάση σκυροδέματος $\sigma_b = 64 \text{ kg/cm}^2 > 60$ δεν θα ήταν ανεκτή. Για $k_h = 9,4$, $\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_e = 1.400 \text{ kg/cm}^2$ ο πίνακας 11 γ δίνει $k_e = 0,81$ και $k'_e = 0,14$. Εξ' άλλου είναι $\frac{h'}{h} = \frac{3}{47} = 0,064 < 0,07$, άρα $a = 1,00$. Η διατομή αυτή λοιπόν της δοκού χρειάζεται εφελκούμενο οπλισμό $F_e = 0,81 \times \frac{5,0}{0,47} = 8,63 \text{ cm}^2$, δηλαδή 2 $\varnothing 18 + 2 \varnothing 16$ και θλιβόμενο $F'_e = 0,14 \frac{50}{0,47} = 1,49 \text{ cm}^2$, δηλαδή 2 $\varnothing 10$.

2. Έλεγχος πλακοδοκού σε κάμψη.

Ας εξετάσουμε τώρα την περίπτωση της πλακοδοκού εκεί, όπου η πλάκα αντιστοιχεί στη θλιβόμενη ζώνη και επομένως λαμβάνεται υπόψη το συνεργαζόμενο πλάτος b . Υπολογίζουμε πάλι πρώτα την ποσότητα k_h με τη βοήθεια του τύπου $k_h = \frac{h}{\sqrt{M \cdot b}}$, στον οποίο τώρα λαμβάνουμε υπόψη όλο το πλάτος b και όχι μόνον το b_o της νευρώσεως. Από τον κατάλληλο πίνακα βρίσκουμε τη μέγιστη θλιπτική τάση του σκυροδέματος. Συνήθως προκύπτουν τιμές της σ_b πολύ μικρές και δεν απαιτείται καθόλου να τις ελέγξουμε, αν είναι ανεκτές. Οι κανονισμοί όμως καθορίζουν ότι στην περίπτωση αυτή η μέγιστη θλιπτική τάση σ_b του σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 50 kg/cm² για το B 160, τα 70 kg/cm² για το B 225 και τα 90 kg/cm² για το B 300. Όσον αφορά στο μέγιστο επιτρεπόμενο σ_s , αυτό είναι 1.400 kg/cm² για την κατηγορία χάλυβα I, 1.800 kg/cm² για την κατηγορία II και 2.000 kg/cm² για τις κατηγορίες III και IV. Ισχύουν επίσης και όλοι οι σχετικοί περιορισμοί, που αναφέρθηκαν για τις δοκούς με ορθογωνική διατομή.

Στους πίνακες του Παραρτήματος στην ίδια στήλη με το k_h βρίσκεται εκτός από το σ_b και ένας άλλος συντελεστής, ο k_x . Με το συντελεστή αυτόν υπολογίζουμε το ύψος της θλιβόμενης ζώνης $x = k_x \cdot h$ της διατομής (σχ. 19.4κ). Εάν το x προκύψει μικρότερο ή ίσο με το πάχος d της πλάκας, ο υπολογισμός μπορεί να συνεχισθεί, όπως και στην περίπτωση των δοκών με διατομή ορθογωνική. Πράγματι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η πλακοδοκός έχει και αυτή δια-



Σχ. 19.4κ.

Κατανομή των ορθών τάσεων σε μία διατομή δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα.

τομή ορθογωνική με πλάτος b και ύψος d_0 . Το γεγονός ότι λείπει το σκυρόδεμα από μία περιοχή της διατομής αυτής, δεν επηρεάζει τους υπολογισμούς, αφού το σκυρόδεμα αυτό, και αν υπήρχε, δεν θα το υπολογίζαμε, επειδή βρίσκεται στην εφελκυσόμενη ζώνη. Η ίδια μέθοδος υπολογισμού μπορεί να εφαρμοσθεί χωρίς σημαντικό λάθος και όταν $x > d$, αν και θεωρητικά φαίνεται λάθος.

Παράδειγμα 3.

Έστω μία μεσαία πλακοδοκός με νεύρωση 20×50 cm και με πλάκα πάχους 10 cm. Το συνεργαζόμενο πλάτος είναι $b = 0,20 + 12 \times 0,10 = 1,40$ m. Αν σε μία διατομή υπάρχει μία ροπή 5,0 τοννομέτρων, είναι $k_h = \frac{47}{\sqrt{5,0 \cdot 1,4}} = 24,85$, οπότε για χάλυβα κατηγορίας I, δηλαδή για $\sigma_e = 1.400$ kg/cm, $k_x = 0,174$, δηλαδή είναι $x = 0,174 \times 47 = 8,17$ cm < 10 . Είναι επομένως $\sigma_b = 20$ kg/cm² πολύ μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης και $F_e = 0,759 \frac{5,0}{0,47} = 8,07$ cm, δηλαδή $3 \varnothing 16 + 1 \varnothing 18$.

Εάν η τάση σ_b υπερβαίνει τα ανεκτά όρια, τότε αυξάνεται το ύψος d_0 της πλακοδοκού ή τοποθετείται θλιβόμενος οπλισμός, ο οποίος υπολογίζεται με τη βοήθεια των πινάκων 10γ έως 15γ, όπως και για τις δοκούς με διατομή ορθογωνική. Είναι όμως πολύ σπάνιο να υπερβαίνει η τιμή της τάσεως του σκυροδέματος σ_b τα επιτρεπόμενα όρια στις πλακοδοκούς. Όταν αυτό συμβαίνει, είναι πάντοτε προτιμότερο να αυξάνεται το ύψος της δοκού, επειδή ο θλιβόμενος οπλισμός είναι δαπανηρός.

Αν το x προκύψει μεγαλύτερο από το πάχος d της πλάκας, δεν ισχύουν πια οι πίνακες 10α έως 15α και χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα 19 του Παραρτήματος. Στον πίνακα αυτόν κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία τιμή του λόγου $\frac{d}{x}$ μικρότερη από τη μονάδα και κάθε στήλη σε μία τιμή του λόγου $\frac{b}{b_0}$ μεγαλύτερη από τη μονάδα. Για την κάθε περίπτωση βρίσκουμε ένα συντελεστή λ στην τομή της κατάλληλης γραμμής με την κατάλληλη στήλη. Ο συντελεστής λ είναι μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα και, επειδή οι μεταβολές του είναι πολύ μικρές, δεν χρειάζεται συνήθως να γίνονται παρεμβολές.

Ο συντελεστής λ δίνει ένα νέο ιδεατό συνεργαζόμενο πλάτος $b_1 =$

$\lambda \cdot b$. Με βάση το ιδεατό αυτό πλάτος b_i υπολογίζουμε πάλι την ποσότητα k_h με τη βοήθεια του τύπου $k_h = \frac{h}{\sqrt{M \cdot b_i}}$. Με το νέο αυτό k_h βρίσκουμε από τους πίνακες 10α έως 15α την πραγματική μέγιστη θλιπτική τάση σ_b του σκυροδέματος, που είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη, και ένα νέο k_e , με τη βοήθεια του οποίου υπολογίζουμε τον εφελκυσμένο οπλισμό $F_e = k_e \frac{M}{h}$.

Παράδειγμα 4.

Εάν στην πλακοδοκό του προηγούμενου παραδείγματος η πλάκα είχε πάχος μόνο 8 cm, το συνεργαζόμενο πλάτος θα ήταν μόνο $b = 0,20 + 12 \times 0,08 = 1,16$ m, οπότε $k_h = \frac{47}{\sqrt{5,0 \cdot 1,16}} = 22,63$. Στην περίπτωση αυτή $k_x = 0,190$, δηλαδή είναι $x = 0,190 \times 47 = 8,93$ cm > 8 . Από τον πίνακα 19 για $\frac{d}{x} = \frac{8,0}{8,93} \approx 0,9$ και για $\frac{b}{b_0} = \frac{1,16}{0,20} \approx 6,0$ είναι $\lambda = 0,99$, δηλαδή $b_i = 0,99 \times 1,16 = 1,15$ m. Το νέο $k_h = \frac{47}{\sqrt{5,0 \cdot 1,15}} = 22,54$, άρα $\sigma_b = 22$ kg/cm² και $F_e = 0,763 \frac{5,0}{0,47} = 8,12$ cm, δηλαδή $3 \varnothing 16 + 1 \varnothing 18$. Τελικά η διαφορά από το προηγούμενο παράδειγμα είναι εντελώς ασήμαντη ($8,12 - 8,07 = 0,05$ cm²).

Θεωρητικά πρέπει πάντοτε να χρησιμοποιούμε τον πίνακα 19, όταν είναι $x > d$. Όμως πρακτικά δεν προκύπτουν συνήθως αξιόλογες διαφορές ανάμεσα στον πράγματι απαιτούμενο οπλισμό F_e και εκείνον, που θα προέκυπτε, εάν χρησιμοποιούσαμε το αρχικό $k_h = \frac{h}{\sqrt{M \cdot b}}$. Όσο για την τάση σ_b του σκυροδέματος, μπορεί και αυτή να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση, επειδή είναι πάντοτε $\sigma_b < \sigma'_b \frac{x'}{d}$, όπου σ'_b και x' είναι εκείνα, τα οποία αντιστοιχούν στον πίνακα με το αρχικό k'_h .

Ε. Έλεγχος σε διάτμηση.

Η μέγιστη διατμητική τάση σε μία διατομή δοκού δίνεται από τον τύπο $\tau_0 = \frac{Q}{b_0 \cdot z'}$, όπως και για τις πλάκες. Στον τύπο αυτό το

b_0 είναι πάντοτε το πλάτος της νευρώσεως, είτε υπάρχει είτε δεν υπάρχει συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας. Το z μπορεί γενικά να λαμβάνεται ίσο προς τα $7/8$ του στατικού ύψους h της διατομής.

Εφόσον η τιμή της τάσεως τ_0 δεν υπερβαίνει τα 4 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 6 kg/cm^2 για το B 160, τα 7 kg/cm^2 για το B 225 και τα 8 kg/cm^2 για το B 300, δεν χρειάζεται κανένας άλλος έλεγχος. Αν η τάση τ_0 έχει μεγαλύτερη τιμή, πρέπει να ελέγχουμε, εάν υπάρχει αρκετός και κατάλληλος οπλισμός, ώστε η δοκός να μπορεί να αντέξει στις τέμνουσες δυνάμεις, που αναπτύσσονται στις διατομές της. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την παραδοχή ότι το σκυρόδεμα δεν είναι σε θέση να αναλάβει καμιά τάση και όλες οι διατμητικές τάσεις αναλαμβάνονται από τον οπλισμό. Η αυστηρή αυτή παραδοχή είναι απαραίτητη κατά τους γερμανικούς και τους ελληνικούς κανονισμούς. Άλλοι κανονισμοί απαιτούν να υπάρχει οπλισμός, για να αναλάβει ένα μέρος μόνο των τάσεων, που οφείλονται στις τέμνουσες δυνάμεις, ενώ οι υπόλοιπες υποτίθεται ότι αναλαμβάνονται από το σκυρόδεμα.

Αν και το σύνολο των τάσεων, που οφείλονται στις τέμνουσες δυνάμεις, αναλαμβάνεται από τον οπλισμό, όμως η τάση τ_0 δεν επιτρέπεται να υπερβεί τα 14 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 16 kg/cm^2 για το B 160, τα 18 kg/cm^2 για το B 225 και τα 20 kg/cm^2 για το B 300. Εάν η τιμή της τάσεως τ_0 υπερβαίνει τα όρια αυτά, πρέπει οπωσδήποτε να αυξάνονται οι διαστάσεις της δοκού. Επειδή οι μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις, συνεπώς και οι μέγιστες τάσεις τ_0 , παρουσιάζονται κοντά στις στηρίξεις, η αύξηση των διαστάσεων της δοκού μπορεί να είναι και τοπική. Οι ενισχύσεις λοιπόν των δοκών, είτε κατά πλάτος, είτε καθ' ύψος, οφείλονται καμιά φορά στις τέμνουσες δυνάμεις και όχι στις ροπές κάμψης.

Οι τέμνουσες δυνάμεις αναλαμβάνονται από οπλισμό, ο οποίος διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: τους **συνδετήρες** και τις **λοξές** ράβδους. Οι συνδετήρες, για τους οποίους έγινε ήδη λόγος, αναλαμβάνουν τάσεις, που οφείλονται στις τέμνουσες δυνάμεις, μόνο κατά μήκος των δύο κατακόρυφων σκελών τους. Γι' αυτό το λόγο η ωφέλιμη διατομή ενός συνδετήρα με διάμετρο d είναι $2 \frac{\pi d^2}{4}$. Τα οριζόντια σκέλη του συνδετήρα δεν χρειάζονται για τη διάτμηση και θεωρητικά θα μπορούσαν να παραλειφθούν.

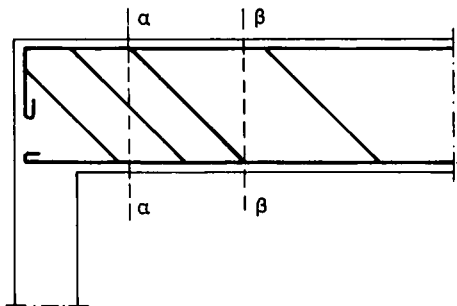
Οι λοξές ράβδοι είναι κατ' αρχήν τμήματα των ράβδων του κύριου οπλισμού της δοκού, εκείνων δηλαδή, που τοποθετούνται, για να αναλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις, που προκαλούν οι ροπές κάμψεως. Έτσι η ίδια ράβδος, εάν πάρει κατάλληλο σχήμα (σχ. 19.3θ, ράβδος γ) χρησιμεύει για τρεις διαφορετικούς σκοπούς.

α) Στο μέσο της αναλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις που προκαλεί η θετική ροπή κάμψεως του ανοίγματος.

β) Στα άκρα της αναλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις, που προκαλούν οι αρνητικές ροπές κάμψεως της περιοχής των στηρίξεων.

γ) Στα ενδιάμεσα λοξά τμήματά της αναλαμβάνει τις τάσεις, που προκαλούν οι τέμνουσες δυνάμεις.

Συνήθως οι συνδετήρες διατηρούνται οι ίδιοι σε ολόκληρο το άνοιγμα, έστω και αν περί το μέσο της δοκού είναι σε θέση να αναλάβουν τάσεις από τέμνουσες δυνάμεις μεγαλύτερες από εκείνες, που πράγματι αναπτύσσονται. Οι λοξές ράβδοι τοποθετούνται κοντά στις στηρίξεις και μάλιστα τόσο πυκνότερες, όσο πιο κοντά προς τις στηρίξεις βρίσκονται. Με αυτόν τον τρόπο οι λοξές ράβδοι αναλαμβάνουν το μέρος εκείνο των τάσεων, το οποίο οι συνδετήρες δεν επαρκούν, για να το αναλάβουν. Οι λοξές ράβδοι δεν επιτρέπεται να τοποθετούνται πολύ αραιά. Από την παρειά της στηρίξεως έως το σημείο, όπου τελειώνει η πιο κοντινή προς το μέσο του ανοίγματος λοξή ράβδος, δεν επιτρέπεται να υπάρχει καμιά διατομή κάθετη προς το διαμήκη άξονα της δοκού, η οποία να μην τέμνει μία τουλάχιστον λοξή ράβδο (σχ. 19.4λ).



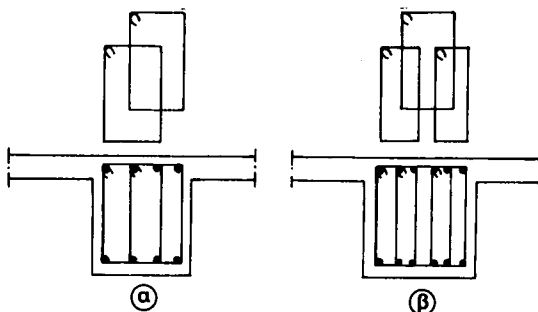
Σχ. 19.4λ.

Διάταξη των λοξών ράβδων στον οπλισμό δοκού: α-α Σωστή. β-β Λανθασμένη.

Μερικές φορές οι λοξές ράβδοι, που προέρχονται από τον κύριο οπλισμό της δοκού, δεν επαρκούν μαζί με τους συνδετήρες, για να αναλάβουν το σύνολο των τάσεων, που προκαλούν οι τέμνουσες δυνάμεις. Τότε τοποθετούμε και πρόσθετες λοξές ράβδους. Η γενική αύξηση των συνδετήρων είναι δαπανηρότερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνονται οι συνδετήρες και εκεί, όπου δεν είναι απαραίτητοι. Σε άλλες χώρες δεν συνηθίζονται οι πρόσθετες λοξές ράβδοι, αλλά πυκνώνονται τοπικά οι συνδετήρες κοντά στα στηρίγματα. Η λύση αυτή είναι λίγο επικίνδυνη, επειδή στην Ελλάδα υπάρχει γενική συνήθεια να διατηρούνται οι ίδιοι συνδετήρες σε όλο το άνοιγμα και επομένως μπορεί να μην εφαρμοσθεί σωστά.

Συνήθως χρησιμοποιούνται ως συνδετήρες ράβδοι με διάμετρο 5 έως 8 mm, χωρίς να αποκλείονται και διάμετροι μεγαλύτερες. Η απόστασή τους κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 cm, είναι όμως καλύτερα να μην υπερβαίνει το πλάτος b_0 της δοκού. Πυκνότεροι συνδετήρες πρέπει να αποφεύγονται ιδίως, όταν προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιηθεί δονητής, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος να μη χωράει το στέλεχός του στα διάκενα των συνδετήρων. Αντί να πυκνώσουμε υπερβολικά τους συνδετήρες, είναι προτιμότερο να αυξάνουμε τη διάμετρό τους. Σε δοκούς με πολύ μεγάλο b_0 μπορούμε να τοποθετούμε και διπλούς ή τριπλούς συνδετήρες, αντί να αυξάνουμε τη διάμετρο ή να μειώνουμε την απόστασή τους (σχ. 19.4μ).

Ο οπλισμός που χρειάζεται, για να αναλάβει τις τάσεις, που προέρ-



Σχ. 19.4μ.

Σε δοκούς με μεγάλο πλάτος οι συνδετήρες είναι δυνατόν να είναι πολλαπλοί:

α) Διπλοί. β) Τριπλοί.

χονται από τις τέμνουσες δυνάμεις, μπορεί να υπολογισθεί με διάφορους τρόπους. Ένας από τους πιο απλούς τρόπους, που δίνει ικανοποιητική προσέγγιση είναι ο εξής: Καλούμε F_B τη διατομή όλων των συνδετήρων και F_s τη διατομή όλων των λοξών ράβδων, που βρίσκονται στο μισό του ανοίγματος, δηλαδή μεταξύ του σημείου, όπου παρουσιάζεται η μέγιστη ροπή του ανοίγματος και της στηρίξεως, την οποία εξετάζουμε. Καλούμε επίσης $F_{\bullet 1}$ τον εφελκυσμένο οπλισμό, που χρειάζεται για τη μέγιστη ροπή κάμψεως του ανοίγματος, και $F_{\bullet 2}$ εκείνον, που χρειάζεται για τη ροπή κάμψεως στο εξεταζόμενο στήριγμα. Εάν v_B είναι ο αριθμός των συνδε-

τήρων και d_B η διάμετρός τους, τότε θα είναι $F_B = v_B \cdot 2 \frac{\pi d_B^2}{4} =$

$\frac{\pi v_B \cdot d_B^2}{2}$. Εάν v_s είναι ο αριθμός των λοξών ράβδων και d_s η διάμετρός

τους, τότε θα είναι $F_s = v_s \cdot \frac{\pi d_s^2}{4} = \frac{\pi v_s d_s^2}{4}$.

Για να είναι επαρκής ο οπλισμός για τη διάτμηση, αρκεί να ισχύει η ανισότητα:

$$F_B + \sqrt{2} F_s \geq F_{\bullet 1} + F_{\bullet 2}. \quad (1)$$

Παράδειγμα 5.

Έστω μία δοκός με απαιτούμενο οπλισμό στο άνοιγμα $F_{\bullet 1} = 8,00 \text{ cm}^2$ (4 $\varnothing 16$) και στο στήριγμα $F_{\bullet 2} = 11,80 \text{ cm}^2$ (6 $\varnothing 16$), με θεωρητικό άνοιγμα 6,00 m. Εάν έχει συνδετήρες, διαμέτρου 6 mm ανά 20 cm, το μισό της δοκού θα διαθέτει 15 συνδετήρες. Θα είναι λοιπόν: $F_B = \frac{\pi \cdot 15 \cdot 0,6^2}{2} = 8,48 \text{ cm}^2$. Η ανισότητα (1) μπορεί να γραφεί $8,48 + \sqrt{2} F_s$

$\geq 8,00 + 11,80$ ή $F_s \geq \frac{11,32}{\sqrt{2}} \approx 8,00 \text{ cm}$. Χρειάζονται λοιπόν 4 λοξές ράβδοι

των 16 mm, από τις οποίες οι δύο προέρχονται από τον οπλισμό του ανοίγματος και οι άλλες δύο πρέπει να είναι πρόσθετες. Στον υπολογισμό αυτό φαινομενικά οι τέμνουσες δυνάμεις δεν λαμβάνονται υπόψη, υπεισέρχονται όμως έμμεσα, επειδή εξαρτώνται από τη διαφορά της ροπής στηρίξεως από τη ροπή του ανοίγματος. Από τη διαφορά αυτή εξαρτάται άμεσα και το άθροισμα $F_{\bullet 1} + {}^{1/2} F_{\bullet 2}$.

Η ανισότητα της προηγούμενης παραγράφου είναι ορθή, όταν οι λοξές ράβδοι κλίνουν ως προς τον άξονα της δοκού κατά 45° , πράγμα που τηρείται κατά κανόνα. Όταν η κλίση είναι διαφορετική, έστω κατά μία γωνία φ , η ανισότητα (1) γίνεται:

$$F_B + \sqrt{2} F_s \sin(\varphi - 45^\circ) \geq F_{\bullet 1} + F_{\bullet 2}. \quad (2)$$

Σε ψηλές δοκούς, ιδίως στις πεδιλοδοκούς, συνηθίζεται καμιά φορά

οι λοξές ράβδοι να κλίνουν ως προς τον άξονα της δοκού κατά 60° . Η γωνία $\varphi - 45^\circ$ είναι τότε 15° και η ανισότητα γίνεται:

$$F_B + \sqrt{2} F_s \cdot \sin 15^\circ \geq F_{s1} + F_{s2}.$$

Επειδή όμως $\sin 15^\circ = 0,966$, δηλαδή περίπου ίσο με 1, μπορεί γενικά να παραλείπεται από την ανισότητα (2) το συννημίτονο και να χρησιμοποιείται πάντοτε η αρχική ανισότητα (1).

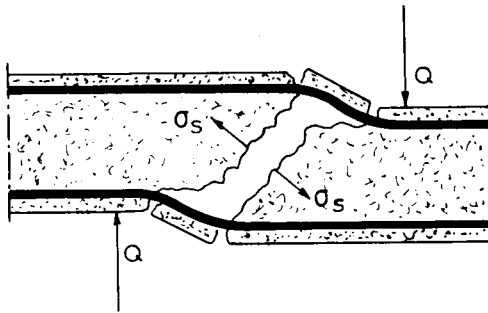
Η ανισότητα (1) δεν είναι ορθή, όταν στα άκρα της δοκού υπάρχουν ενισχύσεις καθ' ύψος. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να γραφεί στη θέση του F_{s2} ο εφελκυσμένος οπλισμός, που θα χρειαζότανε στη στήριξη, αν δεν υπήρχαν ενισχύσεις. Τότε η ανισότητα εξασφαλίζει ότι ο οπλισμός της διατμήσεως είναι επαρκής, αν και είναι κάπως αυστηρότερη, από όσο χρειάζεται.

Η σειρά των εργασιών για τον έλεγχο μιας δοκού σε διάτμηση είναι η εξής: Καθορίζουμε τη διάμετρο και την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων, ώστε το F_B να καλύπτει σχεδόν το μισό της ποσότητας $F_{s1} + F_{s2}$, που έχει καθορισθεί, επειδή έχει προηγηθεί ο έλεγχος της δοκού σε κάμψη.

Αφού καθορισθεί το F_B , βρίσκουμε πόσο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον το F_s , για να ικανοποιεί την ανισότητα. Αν το F_s , που προκύπτει, δεν υπερβαίνει τα $2/3$ του F_{s1} , μπορεί να καλυφθεί ολόκληρο από ράβδους του κύριου οπλισμού της δοκού. Αν το F_s είναι μεγαλύτερο, προσθέτουμε και άλλες λοξές ράβδους ειδικά για τη διάτμηση.

Εννοείται ότι, αν η τάση τ_0 δεν υπερβαίνει τα χαμηλότερα όρια των κανονισμών, δεν χρειάζεται καθόλου να ελέγξουμε αν ισχύει η ανισότητα (1). Όμως και στην περίπτωση αυτή τοποθετούμε απαραίτητα συνδετήρες και είναι σκόπιμο τουλάχιστον οι μισές ράβδοι του κάτω οπλισμού να κάμπτονται και να χρησιμοποιούνται ως λοξές ράβδοι για τη διάτμηση.

Διευκρινίζεται ότι τόσο οι συνδετήρες, όσο και οι λοξές ράβδοι, καταπονούνται σε εφελκυσμό και όχι σε διάτμηση, όταν αναλαμβάνουν τις τάσεις, που προκαλούν οι τέμνουσες δυνάμεις. Ο οπλισμός, που βρίσκεται στο άνω και το κάτω μέρος της δοκού είναι σε θέση να αναλάβει αξιόλογες τέμνουσες δυνάμεις, αν καταπονηθεί σε διάτμηση. Οι δυνάμεις αυτές είναι μάλιστα κατά κανόνα μεγαλύτερες από εκείνες, που πράγματι αναπτύσσονται στις δοκούς. Όμως, εάν δεν υπάρχουν συνδετήρες και λοξός οπλισμός, η δοκός θα διαρραγεί, γιατί ο ευθύγραμμος οπλισμός θα αντέξει στη διάτμηση, αλλά θα προκαλέσει την αποκόλληση του σκυροδέματος, που τον επικαλύπτει (σχ. 19.4ν).



Σχ. 19.4v.

Ο ευθύγραμμος οπλισμός είναι άχρηστος για την αντοχή της δοκού σε διάτμηση.

Πρέπει να τονισθεί, ότι ο υπολογισμός των δοκών σε διάτμηση είναι εξ ίσου σημαντικός με τον υπολογισμό τους σε κάμψη. Ο κίνδυνος να σπάσει μία δοκός ή να παρουσιάσει ρωγμές είναι γενικά εξ ίσου πιθανός, είτε είναι ανεπαρκής ο οπλισμός της κάμψεως, είτε της διατμήσεως. Ιδίως σε δοκούς με μικρά ανοίγματα και μεγάλα φορτία η διάτμηση μπορεί να είναι πολύ πιο επικίνδυνη από την κάμψη.

Ζ. Έλεγχος σε στρέψη.

Οι ροπές στρέψεως δεν προκαλούν στις διατομές της δοκού ορθές τάσεις, κάθετες δηλαδή προς τις διατομές, αλλά διατμητικές. Η καταπόνηση του υλικού είναι συνεπώς παρόμοια με εκείνη, που προκαλούν οι τέμνουσες δυνάμεις, και όχι με εκείνη, που οφείλεται στις ροπές κάμψεως. Το γεγονός αυτό μπορεί να συνδυασθεί με το ότι οι ροπές στρέψεως, όπως και οι τέμνουσες δυνάμεις, γίνονται μέγιστες κοντά στις στηρίξεις. Αντίθετα στα μέσα των ανοιγμάτων ροπές στρέψεως και τέμνουσες δυνάμεις είναι συνήθως αμελητέες. Για τους λόγους αυτούς ο υπολογισμός σε στρέψη συσχετίζεται με τον υπολογισμό σε διάτμηση.

Οι κανονισμοί καθορίζουν ανεκτά όρια τόσο για τη μέγιστη διατμητική τάση τ_i , που οφείλεται στη ροπή στρέψεως M_i , όσο και για το άθροισμα των τάσεων $\tau_o + \tau_i$. Με το σύμβολο τ_o εννοείται πάντοτε η μέγιστη διατμητική τάση, που οφείλεται στις τέμνουσες δυνάμεις. Η τάση τ_i δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει:

- Τα 14 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας Β 120.

β) Τα 16 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 160.

γ) Τα 18 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 225.

δ) Τα 20 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 300.

Το άθροισμα των τάσεων $\tau_0 + \tau_1$ δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει:

α) Τα 17 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120.

β) Τα 20 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 160.

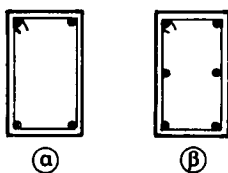
γ) Τα 23 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 225.

δ) Τα 26 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 300.

Ο οπλισμός της στρέψεως αποτελείται από συνδετήρες και διαμήκεις ράβδους. Οι συνδετήρες στην περίπτωση αυτή είναι χρήσιμοι καθ' όλο το μήκος τους και επομένως είναι απαραίτητο να είναι κλειστοί, ενώ η ωφέλιμη διατομή τους είναι μόνο $\frac{\pi d^2}{4}$ και όχι η διπλάσια, όπως και στην περίπτωση της διατμήσεως. Για το λόγο αυτό συνιστάται να χρησιμοποιούνται πάντοτε κλειστοί συνδετήρες, ώστε να μπορούν να αναλάβουν και μικρές ροπές στρέψεως, που πάντοτε υπάρχουν, αν και συνήθως δεν γίνεται κανένας υπολογισμός γι' αυτές.

Ο διαμήκης οπλισμός της στρέψεως αποτελείται από ράβδους ευθύγραμμες, που πρέπει να κατανέμονται όσο το δυνατόν ομοιόμορφα και στις τέσσερις έδρες της δοκού και όχι μόνο άνω και κάτω. Βέβαια, όταν ο οπλισμός αυτός αποτελείται από μικρό αριθμό ράβδων, η κατανομή δεν είναι πάντοτε δυνατή. Εάν οι ράβδοι είναι τέσσερις, τοποθετούνται κοντά στις τέσσερις ακμές. Εάν είναι έξι τοποθετούνται και δύο στα μέσα των κατακορύφων εδρών κοκ. (σχ. 19.4ξ).

Οι συνδετήρες, που χρειάζονται για τη στρέψη, δεν μπορούν συγχρόνως να αναλάβουν και τις τάσεις από τη διάτμηση. Το ίδιο



Σχ. 19.4ξ.

Τοποθέτηση του διαμήκους οπλισμού δοκού για την ανάληψη των τάσεων της στρέψεως: α) Για 4 ράβδους. β) Για 6 ράβδους.

και ο διαμήκης οπλισμός της στρέψεως δεν μπορεί να χρησιμεύσει συγχρόνως και για την κάμψη. Για το λόγο αυτό είναι ορθότερο να βρίσκομε το εμβαδόν των συνδετήρων F_B , που χρειάζεται για τη διάτμηση, και το εμβαδόν F_{Bt} των συνδετήρων, που χρειάζεται για τη στρέψη. Έπειτα από τον τύπο:

$$\frac{F_B}{2} + F_{Bt} = \frac{100}{a} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

καθορίζομε την απόσταση a μεταξύ των συνδετήρων, εάν έχομε εκλέξει τη διάμετρό τους d , ή αντίστροφα.

Παράδειγμα 6.

Έστω μία δοκός που χρειάζεται συνδετήρες $F_B = 4,00 \text{ cm}^2/\text{m}$ για τις τάσεις που προκαλούν οι τέμνουσες δυνάμεις, και $F_{Bt} = 6,00 \text{ cm}^2/\text{m}$ για τις τάσεις, που προκαλούν οι ροπές στρέψεως. Θα είναι τότε για συνδετήρες με διάμετρο 10 mm:

$$\frac{4,00}{2} + 6,00 = \frac{100}{a} \cdot \frac{\pi \cdot 1,0^2}{4} \quad \text{ή} \quad 8,00 = \frac{25\pi}{a}.$$

Από την εξίσωση αυτή προκύπτει η απόσταση $a = \frac{25\pi}{8} = 9,8 \text{ cm} \simeq 10 \text{ cm}$. Αντίστροφα, εάν καθορίσομε την απόσταση, π.χ. $a = 14 \text{ cm}$, η εξίσωση γράφεται:

$$\frac{4,00}{2} + 6,00 = \frac{100}{14} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{ή} \quad 8,00 = 1,786 \pi d^2.$$

$$\text{Επομένως } d = \sqrt{\frac{8,00}{1,786\pi}} = 1,19 \text{ cm} \simeq 12 \text{ mm}, \text{ πρέπει δηλαδή}$$

να χρησιμοποιήσομε συνδετήρες από ράβδους $\varnothing 12$.

Οι υπολογισμοί, που χρειάζονται, για να ελέγξομε μία δοκό σε στρέψη, είναι σε γενικές γραμμές οι εξής:

Μόλις βρεθεί με κάποιον τρόπο η μέγιστη ροπή στρέψεως M_t της δοκού, πρέπει πρώτα να υπολογισθεί η μέγιστη διατμητική τάση τ_t , που προκαλείται από αυτήν. Ο τύπος είναι $\max \tau_t = \frac{\psi M_t}{b^2 d}$. Στον τύπο αυτό b είναι η μικρότερη και d η μεγαλύτερη πλευρά της ορθογωνικής διατομής της δοκού. Συνήθως δηλαδή b είναι το πλάτος και d το ύψος της δοκού, δεν αποκλείεται όμως και το αντίθετο. Το ψ είναι ένας αριθμητικός συντελεστής, που κυμαίνεται μεταξύ του 3 και του 4,81 και εξαρτάται από το λόγο $\frac{d}{b}$ των πλευρών της ορθογωνικής διατομής. Στις πλακοδοκούς

δεν λαμβάνεται υπόψη η συνεργαζόμενη λωρίδα της πλάκας, μολονότι έχει πράγματι ως αποτέλεσμα μία μικρή ανακούφιση της νευρώσεως της δοκού. Εάν η τάση τ_i ή το άθροισμά της με την τάση τ_o προκύπτουν μεγαλύτερα από τα ανεκτά όρια, πρέπει απαραίτητα να αυξάνονται οι διαστάσεις της διατομής της δοκού.

Αν με την εφαρμογή του πιο πάνω τύπου προκύψει τάση τ_i μικρότερη από 4 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, από 5 kg/cm^2 για το B 160, από 6 kg/cm^2 για το B 225 ή από 8 kg/cm^2 για το B 300, περιπτώσεις κάθε άλλος έλεγχος. Αυτή η απλοποίηση των υπολογισμών ισχύει όμως μόνο, όταν και το άθροισμα των τάσεων $\tau_o + \tau_i$ είναι μικρότερο ή ίσο προς 6 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, προς 8 kg/cm^2 για το B 160, προς 9 kg/cm^2 για το B 225 ή προς 10 kg/cm^2 για το B 300.

Εάν η τάση τ_i ή το άθροισμα των τάσεων $\tau_o + \tau_i$ υπερβαίνουν τις τιμές αυτές, εξακολουθούν όμως να έχουν τιμές ανεκτές, οι τάσεις, που προκαλούν οι ροπές στρέψεως, πρέπει να αναλαμβάνονται εξ ολοκλήρου από τον ειδικό οπλισμό της στρέψεως. Ο οπλισμός αυτός, όπως είπαμε, είναι ανεξάρτητος από εκείνον, που χρειάζεται για να αναλάβει τις τάσεις, που προκαλούν οι ροπές κάμψεως και οι τέμνουσες δυνάμεις.

Για τον υπολογισμό του οπλισμού της στρέψεως δεν λαμβάνονται υπόψη οι διαστάσεις b και d της δοκού, αλλά οι διαστάσεις b' και d' των συνδετήρων. Τα b' και d' είναι μικρότερα από τα b και d αντίστοιχα κατά 4 cm περίπου για συνηθισμένες κατασκευές, κατά 5 cm για κατασκευές, που μένουν εκτεθειμένες στο ύπαιθρο, και κατά 8 cm ή περισσότερο για κατασκευές, που είναι μέσα στο έδαφος, ή το νερό.

Ο απαιτούμενος οπλισμός με μορφή συνδετήρων ανά μέτρο μήκους της δοκού βρίσκεται από τον τύπο:

$$F_{Bt} = \frac{100 M_t}{2 \sigma_e b' d'} \quad (4)$$

όπου το M_t είναι η ροπή στρέψεως σε χιλιόγραμμα - εκατοστά, τα b' και d' οι διαστάσεις των συνδετήρων σε εκατοστά του μέτρου και το σ_e η επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση του χάλυβα σε χιλιόγραμμα ανά τετραγωνικό εκατοστό. Αν a είναι η απόσταση σε εκατοστά του μέτρου από τον ένα συνδετήρα έως το γειτονικό του, είναι:

$$F_{Bt} = \frac{100}{a} \times \frac{\pi d^2}{4} \quad (5)$$

Από τους δύο αυτούς τύπους μπορεί να καθορισθεί η απόσταση από τον ένα συνδετήρα στον άλλο, όταν εκλεγεί η διάμετρός τους, ή αντίστροφα να καθορισθεί η διάμετρος των συνδετήρων, όταν εκλεγεί η απόστασή τους.

Ο απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός της στρέψεως βρίσκεται από τον τύπο:

$$F_t = \frac{(b' + d') M_t}{\sigma_e b' d'} \quad (6)$$

είναι δηλαδή:

$$F_t = F_{Bt} \cdot \frac{2(b' + d')}{100} \quad (7)$$

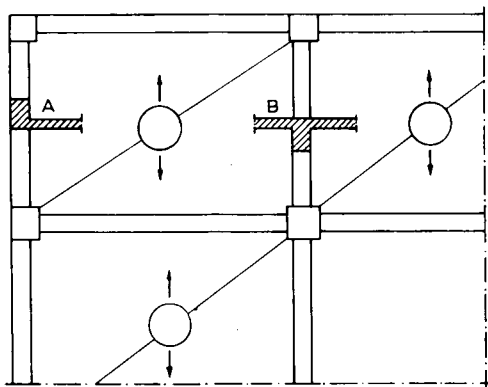
19.5 Σχεδίαση δοκών.

Α. Σχέδια ξυλοτύπων (καλουπιών).

Στα σχέδια των ξυλοτύπων οι δοκοί σχεδιάζονται με δύο παράλληλες ευθείες, που παριστάνουν τις δύο κατακόρυφες έδρες τους. Έτσι στο σχέδιο φαίνεται μόνο το πλάτος b_o της νευρώσεως της δοκού (σχ. 19.5α).

Όταν η δοκός είναι ανεστραμμένη, οι δύο ευθείες θα έπρεπε να σχεδιάζονται διακεκομμένες, σύμφωνα προς τους κανόνες της Γεωμετρίας και του Σχεδίου. Είναι όμως σκόπιμο να αναγράφεται σαφώς ότι η δοκός είναι ανεστραμμένη ή να σχεδιάζεται μία τομή της δοκού και να χρησιμοποιούνται πάλι συνεχείς γραμμές, για να μη γίνεται σύγχυση με άλλες βοηθητικές γραμμές του σχεδίου, όπως έγινε για τη δοκό Α του σχήματος 19.5α.

Όταν μία δοκός στηρίζεται επάνω σε μία άλλη, η πρώτη λέγεται **δευτερεύουσα** και η δεύτερη **κύρια** δοκός. Οι δύο ευθείες που παριστάνουν την κύρια δοκό, δεν διακόπτονται στη θέση της στηρί-

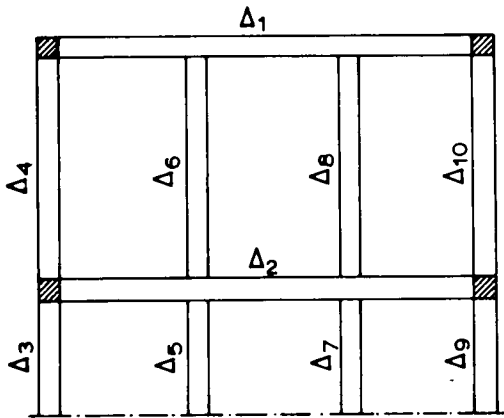


Σχ. 19.5α.

Σχεδίαση δοκών σε κάτοψη ξυλοτύπων. Το σχήμα διευκρινίζεται με τομές, που σχεδιάζονται σε κατάκλιση: Α = ανεστραμμένη δοκός. Β = συνηθισμένη δοκός.

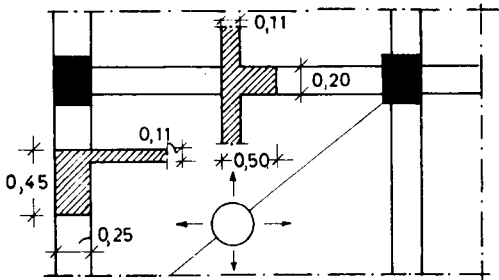
Ξεως, έστω και αν οι δύο δοκοί έχουν το ίδιο ύψος (ισοϋψείς). Τα ευθύγραμμα τμήματα των πλευρών της κύριας δοκού, που περιέχονται μεταξύ των πλευρών των δευτερευουσών δοκών, στην περίπτωση αυτή δεν ανταποκρίνονται σε πραγματικές, αλλά σε νοητές γραμμές (σχ. 19.5β).

Για να καθορίζεται πλήρως το σχήμα των δοκών, οι κανονισμοί απαιτούν να γίνεται σε κάθε δοκό μία τομή κάθετη προς το διαμήκη άξονά της και να σχεδιάζεται εν κατακλίσει επί τόπου (σχ. 19.5γ). Για απλοποίηση των σχεδίων η εργασία αυτή μπορεί να παραλείπε-



Σχ. 19.5β.

Σχεδίαση ισοϋψών δοκών σε κάτοψη ξυλοτύπων. Διάκριση κυρίων (Δ_1 , Δ_2) και δευτερευουσών (Δ_3 , Δ_4 , Δ_5 , Δ_6 , Δ_7 , Δ_8).



Σχ. 19.5γ.

Οι διαστάσεις των δοκών είναι δυνατόν να αναγραφούν στις κατακλίσεις των τομών τους.

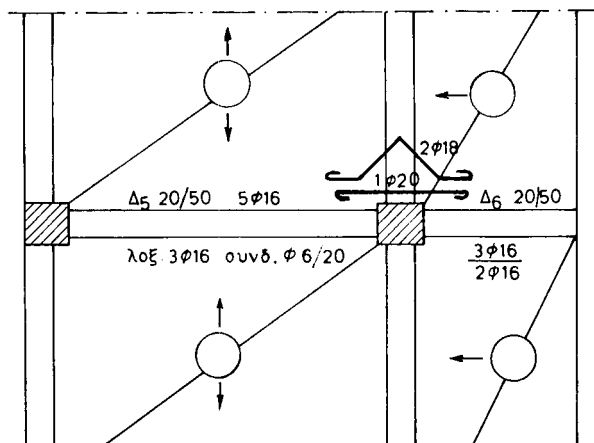
ται, όταν οι δοκοί έχουν ορθογωνική διατομή ή όταν είναι πλακοδοκοί με την πλάκα στο άνω μέρος τους. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, που δεν είναι άλλωστε και πολύ συνηθισμένες, η σχεδίαση της τομής είναι απαραίτητη.

Είτε σχεδιάζεται η τομή της δοκού είτε όχι, πρέπει οπωσδήποτε να αναγράφονται κατά μήκος της δοκού ορισμένα στοιχεία. Πρώτα γράφεται ο συμβολισμός της, που αποτελείται από το κεφαλαίο γράμμα Δ (δοκός) και τον αύξοντα αριθμό της, π.χ. Δ₂₇. Ο συμβολισμός χρειάζεται, για να αναφέρεται κανείς στη συγκεκριμένη δοκό κατά τη διάρκεια της κατασκευής και για να μπορεί να βρίσκει στη στατική μελέτη το σχετικό υπολογισμό. Για κάθε άνοιγμα της δοκού δίνεται ιδιαίτερος συμβολισμός. Οι πρόβολοι άλλοτε θεωρούνται ως ιδιαίτερα ανοίγματα και άλλοτε όχι (σχ. 19.5δ).

Όταν σε ένα σχέδιο υπάρχουν πολλά ανοίγματα δοκών εντελώς ίδια μεταξύ τους, δηλαδή με τις ίδιες διαστάσεις και τον ίδιο οπλισμό, επιτρέπεται να χρησιμοποιείται για όλα ο ίδιος συμβολισμός. Η μέθοδος αυτή απλοποιεί την αρίθμηση, αλλά μπορεί να γίνει και αιτία συγχύσεως. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο, όταν ο αριθμός των ομοίων ανοιγμάτων είναι σημαντικός.

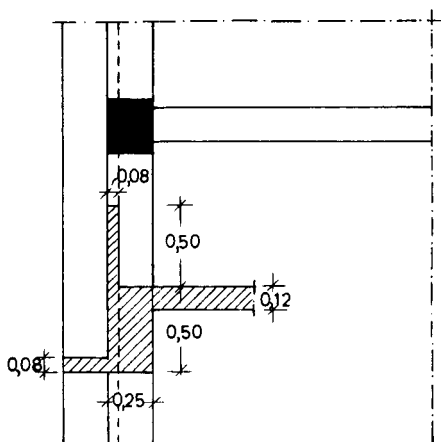
Μετά το συμβολισμό του ανοίγματος αναγράφονται με μορφή κλάσματος οι διαστάσεις της διατομής της δοκού σε εκατοστά του μέτρου, π.χ. 25/55. Ως αριθμητής αναγράφεται το πλάτος της νευρώσεως b_0 και ως παρονομαστής το **συνολικό** της ύψος d_0 . Εάν η διατομή της νευρώσεως δεν έχει σχήμα ορθογωνικό, όλες οι απαραίτητες διαστάσεις πρέπει να σημειώνονται στην κατάκλιση της τομής (σχ. 19.5ε).

Τέλος αναγράφονται για κάθε άνοιγμα ορισμένα στοιχεία σχετικά με τον οπλισμό του. Συνήθως αναγράφεται μόνο ο αριθμός και η διάμετρος των ράβδων, που αποτελούν τον κύριο οπλισμό στο μέσο του ανοίγματος. Είναι δυνατόν επίσης να αναφέρεται πόσες από αυτές είναι λοξές (σχ. 19.5δ). Αυτό δεν είναι απαραίτητο, όταν τηρούνται οι συνηθισμένες αναλογίες ή όταν υπάρχει σχεδιασμένο το ανάπτυγμα του οπλισμού. Κατά κανόνα οι λοξές ράβδοι είναι 2 για σύνολο 4 ράβδων, 3 για σύνολο 5, 4 για σύνολο 6 ή 7, 5 για σύνολο 8 και 6 για σύνολο 9 ή 10. Σπάνια οι ράβδοι του κύριου οπλισμού υπερβαίνουν τις δέκα, ενώ συνιστάται γενικά να μην είναι



Σχ. 19.5δ.

Σχεδίαση δοκών σε κάτοψη ξυλοτύπων. Ο πρόβολος Δ_6 ήταν δυνατόν να μην αριθμηθεί, αλλά να θεωρηθεί μέρος της δοκού Δ_5 . Επίσης δεν είναι απαραίτητο να αναγράφεται πόσες ράβδοι είναι λοξές.



Σχ. 19.5ε.

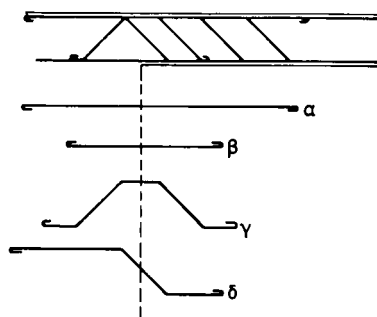
Σε δοκούς με διατομή όχι απλή πρέπει να δίνονται στην κατάκλιση της τομής τους όλες οι διαστάσεις.

λιγότερες από τέσσερις, εκτός αν δεν υπάρχουν καθόλου λοξές ράβδοι.

Κατά μήκος της δοκού καλόν είναι να αναγράφονται και στοιχεία σχετικά με τους συνδετήρες. Επειδή συνήθως όλες ή σχεδόν όλες οι δοκοί, που περιέχονται σε ένα σχέδιο, έχουν τους ίδιους συνδετήρες, είναι δυνατόν να μην αναγράφονται χωριστά για κάθε άνοιγμα δοκού, αλλά να γίνεται απλώς μία σχετική παρατήρηση. Η παρατήρηση αυτή πρέπει να βρίσκεται σε εμφανές μέρος του σχεδίου και να έχει αυτήν περίπου τη διατύπωση: "Συνδετήρες για τις δοκούς Δ_{22} και Δ_{27} : $\varnothing 8$ ανά 20 cm. Για όλες τις υπόλοιπες δοκούς: $\varnothing 6$ ανά 20 cm".

Εάν υπάρχει οπλισμός στο άνω μέρος της δοκού σε όλο το μήκος του ανοίγματος, πρέπει και αυτός να αναγράφεται στο σχέδιο, π.χ. Δ_{27} 25/55 4 $\varnothing$ 16 κάτω, 2 $\varnothing$ 12 άνω ή πιο απλά Δ_{27} 25/55 $\frac{2\varnothing 12}{4\varnothing 16}$.

Ο πρόσθετος οπλισμός των στηρίξεων δεν αναγράφεται, αλλά σχεδιάζεται εν κατακλίσει κοντά στη στήριξη της δοκού (σχ. 19.5δ). Ο πρόσθετος αυτός οπλισμός μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ράβδων, που φαίνονται στο σχήμα 19.5ζ: α) Ευθύγραμμες άνω. β) Ευθύγραμμες κάτω. γ) Άνω στη θέση της στηρίξεως με λοξό τμήμα από τις δύο πλευρές και δ) άνω στη θέση της στηρίξεως με λοξό τμήμα μόνο από τη μία πλευρά.



Σχ. 19.5ζ.

Μορφές ράβδων πρόσθετου οπλισμού δοκού στην περιοχή της στηρίξεως.

B. Αναπτύγματα οπλισμού.

Με τα στοιχεία, τα οποία αναγράφονται στα σχέδια των ξυλοτύπων, είναι δυνατόν σε συνδυασμό με τη στατική μελέτη να συνταχθούν οι κατάλογοι του οπλισμού. Επίσης τα στοιχεία αυτά είναι υπέρ αρκετά, για να διαμορφωθούν οι ξυλότυποι των δοκών. Σε σοβαρά όμως έργα πρέπει τα σχέδια ξυλοτύπων να συνοδεύονται με αναπτύγματα οπλισμού, δηλαδή με πίνακες, στους οποίους είναι σχεδιασμένες υπό κλίμακα όλες οι ράβδοι του οπλισμού κάθε δοκού. Οι κανονισμοί επιβάλλουν να συντάσσονται αναπτύγματα οπλισμού για ανοίγματα μεγαλύτερα από 8,00 m, η σύνταξή τους όμως είναι συχνά απαραίτητη και για μικρότερα ανοίγματα.

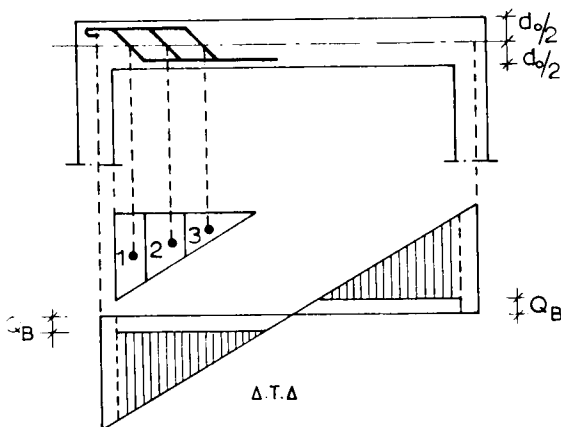
Στα αναπτύγματα οπλισμού καθορίζονται κυρίως: η ακριβής θέση των κάμψεων των ράβδων, το ακριβές τους μήκος και η στρώση στην οποία τοποθετείται κάθε ράβδος. Για τη σύνταξή τους χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα των ροπών κάμψεως και τεμνουσών δυνάμεων του ανοίγματος της δοκού, που εξετάζεται. Τα διαγράμματα αυτά συντάσσονται και σχεδιάζονται με τις οδηγίες του διπλωματούχου μηχανικού, που έχει εκπονήσει το στατικό υπολογισμό. Επειδή κατά κανόνα αναπτύγματα οπλισμού σχεδιάζονται μόνο για σοβαρά έργα, υποχρεωτικά οι στατικοί υπολογισμοί συντάσσονται από διπλωματούχο μηχανικό. Η σχεδίαση εντούτοις των αναπτυγμάτων γίνεται κατά κανόνα από τους τεχνικούς βοηθούς των γραφείων μελετών.

Για να συνταχθεί το ανάπτυγμα οπλισμού μίας δοκού, καθορίζονται πρώτα με τη βοήθεια του διαγράμματος των τεμνουσών δυνάμεων οι θέσεις, όπου πρέπει να καμφθούν οι ράβδοι. Έπειτα ελέγχεται με τη βοήθεια του διαγράμματος ροπών κάμψεως αν και πού χρειάζονται πρόσθετες ράβδοι οποιαδήποτε κατηγορίας.

Αν η μέγιστη τέμνουσα δύναμη προκαλεί διατμητική τάση τ_0 τόσο μικρή, ώστε να απαιτείται έλεγχος του οπλισμού, το διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων δεν εξετάζεται καθόλου. Οι κάμψεις γίνονται στις θέσεις, όπου επιτρέπει το διάγραμμα ροπών κάμψεως, με την προσπάθεια να υπάρχουν και αρκετές λοξές ράβδοι για τη διάτμηση.

1. Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων.

Στο διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων του ανοίγματος, που προ-



Σχ. 19.5η.

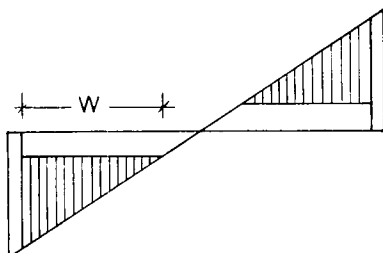
Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων δοκού. Διάκριση περιοχής, που αντιστοιχεί στο λοξό οπλισμό.

κύπτει από τους υπολογισμούς (σχ. 19.5η), φέρονται κατ' αρχήν δύο ευθείες κάθετες προς τον άξονα στις θέσεις, όπου βρίσκονται οι παρειές των στηρίξεων. Εξετάζεται έτσι μόνο το μέρος του διαγράμματος, που αντιστοιχεί στο ελεύθερο άνοιγμα. Φέρονται έπειτα δύο ευθείες παράλληλες προς τον άξονα και σε απόσταση Q_B από αυτόν, ίση δηλαδή προς την τέμνουσα δύναμη, που μπορούν να αναλάβουν οι συνδετήρες. Η δύναμη Q_B δίνεται από τον τύπο:

$$Q_B = \frac{\pi d^2 \sigma_e z}{2a},$$

όπου d είναι η διάμετρος και a η απόσταση των συνδετήρων, ενώ το z μπορεί να ληφθεί ίσο προς $7/8 h$.

Έτσι απομένουν στο διάγραμμα τα δύο διαγραμμισμένα τμήματα, που αντιστοιχούν στο μέρος των τεμνουσών δυνάμεων, που πρέπει να αναληφθεί από λοξές ράβδους. Ο αριθμός και η διάμετρος των λοξών αυτών ράβδων έχει ήδη καθορισθεί κατά τη σύνταξη της στατικής μελέτης. Πρέπει τώρα κάθε διαγραμμισμένη περιοχή να χωρισθεί με ευθείες κάθετες προς τον άξονα σε τόσα ισοδύναμα τμήματα, όσες είναι και οι λοξές ράβδοι. Πρέπει έπειτα να βρεθούν τα κέντρα βάρους κάθε τμήματος. Κάθε μία από τις λοξές ράβδους πρέπει να τέμνει το μέσο επίπεδο της δοκού. Δηλαδή εκείνο που βρίσκεται στο μέσο του ύψους d_o , στα σημεία, που απέχουν από τη



Σχ. 19.5θ.

Γραφική κατασκευή του μήκους W , για το οποίο χρειάζεται ο λοξός οπλισμός της δοκού.

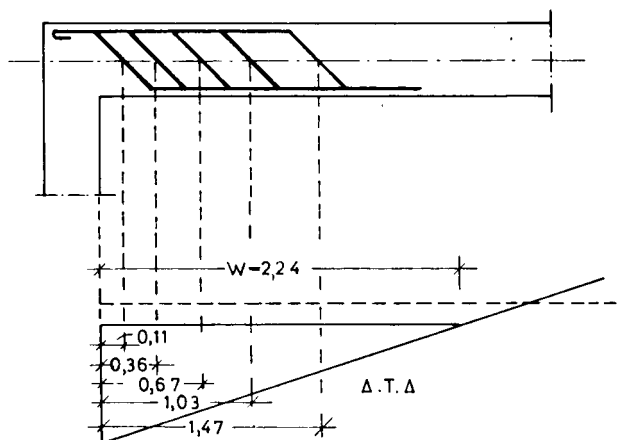
στήριξη, όσο και το κέντρο βάρους του αντίστοιχου τμήματος (σχ. 19.5η).

Η εργασία αυτή ενώ είναι πολύ κοπιώδης, είναι και εντελώς άσκοπο να εφαρμοσθεί με μαθηματική ακρίβεια. Συνήθως αρκεί να γίνεται η διαίρεση σε ισοδύναμα τμήματα και ο καθορισμός των κέντρων βάρους με μία χονδρική εκτίμηση. Ειδικά για τις συνηθισμένες περιπτώσεις, κατά τις οποίες η διαγραμμισμένη περιοχή έχει σχήμα τριγωνικό, μπορεί να χρησιμοποιείται ο πίνακας 20 του Παραρτήματος. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει ευθείες τις θέσεις, όπου οι λοξές ράβδοι πρέπει να τέμνουν το μέσο επίπεδο της δοκού. Αρκεί να βρεθεί γραφικά από το διάγραμμα ή και λογιστικά το μήκος W της βάσεως του τριγώνου (σχ. 19.5θ). Οι αποστάσεις των θέσεων, όπου κάθε λοξή ράβδος τέμνει το μέσο επίπεδο της δοκού, από την παρειά της στηρίξεως βρίσκονται, εάν το W πολλαπλασιασθεί με τους κατάλληλους συντελεστές του πίνακα 20.

Παράδειγμα 1.

Έστω μία δοκός με 5 λοξές ράβδους με την ίδια βέβαια διάμετρο κοντά σε μία στήριξη (σχ. 19.5ι). Εάν στο διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων το μήκος W προκύπτει ίσο με 2,24 m, τα σημεία, όπου οι 5 λοξές ράβδοι τέμνουν το μέσο επίπεδο της δοκού, πρέπει να απέχουν αντίστοιχα από την παρειά της στηρίξεως $0,05 \times 2,24 \simeq 0,11$ m, $0,16 \times 2,24 = 0,36$ m, $0,30 \times 2,24 = 0,67$ m, $0,46 \times 2,24 = 1,03$ m και $0,70 \times 2,24 = 1,47$ m.

Συνήθως στα αναπτύγματα αναγράφονται οι θέσεις κάμψεως και όχι οι θέσεις τομής με το μέσο επίπεδο. Εάν η δοκός έχει ύψος



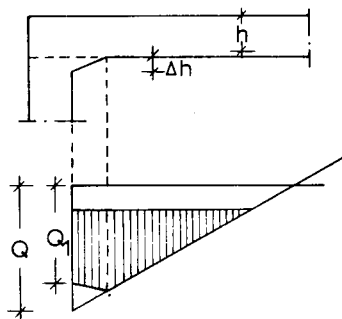
Σχ. 19.51.

Παράδειγμα, που δείχνει πώς καθορίζονται οι θέσεις, όπου πρέπει να καμφθούν οι ράβδοι του λοξού οπλισμού.

$d_o = 50$ cm, η απόσταση $h - h'$ μεταξύ των αξόνων του κάτω και του άνω οπλισμού μπορεί να ληφθεί 44 cm, οπότε για κλίση 45° θα είναι 44 cm και η οριζόντια απόσταση των κάμψεων της ίδιας ράβδου. Οι κάτω κάμψεις θα απέχουν δηλαδή από την παρειά της στηρίξεως $11 + 22 = 33 \simeq 35$ cm, $36 + 22 = 58 \simeq 60$ cm, $67 + 22 = 89 \simeq 90$ cm, $103 + 22 = 125$ cm και $147 + 22 = 169 \simeq 170$ cm.

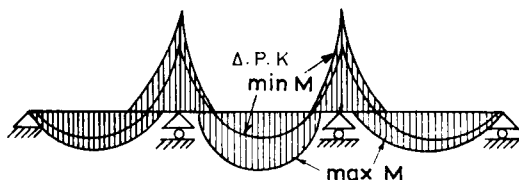
Οι κάμψεις των λοξών ράβδων πρέπει να μην απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από ένα μέγιστο όριο. Η άνω κάμψη της πιο κοντινής προς τη στηρίξη λοξής ράβδου πρέπει να απέχει από τον άξονα της στηρίξεως το πολύ όσο και η παρειά της. Η άνω κάμψη κάθε μίας από τις επόμενες ράβδους δεν πρέπει να απέχει από την στηρίξη περισσότερο από όσο απέχει η κάτω κάμψη της προηγούμενης ράβδου. Στο προηγούμενο παράδειγμα ο πρώτος όρος τηρείται σαφώς ($11 - 22 < 0$) και ο δεύτερος με αρκετή προσέγγιση ακόμη και για την τελευταία ράβδο ($1,70 - 1,25 = 0,45 \simeq 0,44$). Αν οι συνθήκες αυτές δεν πληρούνται, πρέπει να αυξάνεται ο αριθμός των λοξών ράβδων.

Όταν υπάρχουν ενισχύσεις καθ' ύψος κοντά στις στηρίξεις ενός ανοίγματος, πρέπει να γίνεται μία διόρθωση στο διάγραμμα τεμνουσών



Σχ. 19.5κ.

Διόρθωση διαγράμματος τεμνουσών δυνάμεων σε δοκό με ενίσχυση κατά ύψος.



Σχ. 19.5λ.

Περιβάλλουσα ροπών κάμψεως συνεχούς δοκού.

δυνάμεων. Η τεταγμένη του διαγράμματος στη θέση της παρειάς της στηρίξεως πρέπει να μικραίνει. Εάν η αρχική της τιμή είναι Q , η διορθωμένη τιμή Q_1 δίνεται από τον τύπο:

$$Q_1 = Q \frac{z}{z_1} = Q \frac{h}{h_1}. \quad (1)$$

Στον τύπο αυτό h είναι το στατικό ύψος της δοκού και $h_1 = h + \Delta h$ το αυξημένο στατικό της ύψος ακριβώς στην παρειά της στηρίξεως. Από τη θέση Q_1 άγεται μία ευθεία, που συναντάει το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων ακριβώς στο σημείο, όπου αρχίζει η ενίσχυση. Έτσι αποκόπτεται ένα μικρό τρίγωνο από τη διαγραμματισμένη περιοχή (σχ. 19.5κ) και το υπόλοιπο πια πρέπει να χωρισθεί σε ισοδύναμα τμήματα, για να καθορισθούν οι θέσεις των λοξών ράβδων.

2. Διάγραμμα ροπών κάμψεως.

Αφού καθορισθούν οι θέσεις των λοξών ράβδων, εξετάζεται το διάγραμμα των ροπών κάμψεως. Συνήθως γράφονται επάνω στο ίδιο σχήμα περισσότερα από ένα διαγράμματα (σχ. 19.5λ), που αντιστοιχούν σε διάφορες φορτίσεις και λαμβάνεται υπόψη σε κάθε

περιοχή της δοκού το δυσμενέστερο από αυτά. Το διάγραμμα, που προκύπτει με αυτόν τον τρόπο, λέγεται **περιβάλλουσα των ροπών κάμψεως**.

Στο ίδιο σχήμα σχεδιάζεται ένα ακόμη ιδεατό διάγραμμα ροπών κάμψεως. Το διάγραμμα αυτό παριστάνει τις μέγιστες ροπές, που μπορεί να αναλάβει σε κάθε θέση της δοκού ο οπλισμός, ο οποίος υπάρχει εκεί, χωρίς η εφελκυστική του τάση να υπερβεί τα επιτρεπόμενα όρια. Πρέπει προφανώς το τελευταίο αυτό διάγραμμα, το οποίο λέγεται **διάγραμμα ροπών κάμψεως του οπλισμού**, να περιβάλλει παντού την περιβάλλουσα των ροπών κάμψεως της δοκού.

Για να απλοποιήσουμε την κατασκευή του διαγράμματος ροπών κάμψεως του οπλισμού, παραδεχόμαστε ότι η ροπή κάμψεως, που μπορεί να αναλάβει κάθε ράβδος του οπλισμού, είναι ανάλογη με το εμβαδόν της διατομής της. Έτσι, εάν προκύπτει από τη μελέτη ότι χρειάζεται οπλισμός F_e για να αναλάβει τη μέγιστη ροπή του ανοίγματος $\max M$, τότε μία ράβδος με διάμετρο d μπορεί να αναλάβει μία ροπή M_d , η οποία δίνεται από τον τύπο:

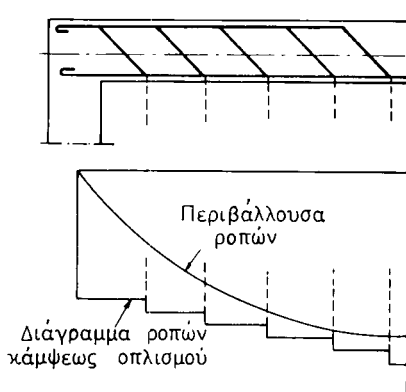
$$M_d = \max M \frac{\pi d^2}{4F_e} . \quad (2)$$

Η σχέση αυτή ισχύει για τις ράβδους του εφελκυσμένου οπλισμού του ανοίγματος. Μία παρόμοια σχέση ισχύει και για τον εφελκυσμένο οπλισμό στις περιοχές των στηρίξεων.

Όταν είναι γνωστή η ροπή M_d για κάθε ράβδο, όπως και ο αριθμός και η διάμετρος των ράβδων του οπλισμού, που υπάρχει σε κάθε θέση, μπορεί να κατασκευασθεί το διάγραμμα των ροπών κάμψεως του οπλισμού, το οποίο έχει μορφή κλιμακωτή (σχ. 19.5μ). Οι πλευρές του διαγράμματος, οι οποίες είναι κάθετες προς τον άξονα της δοκού, φέρονται στα σημεία όπου κάμπτονται οι ράβδοι και συνεπώς δεν είναι πια χρήσιμες.

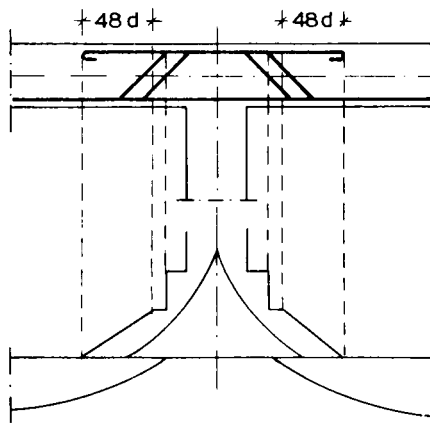
Στις περιοχές των στηρίξεων λαμβάνονται υπόψη, εφόσον υπάρχουν, και οι ράβδοι, που προέρχονται από τον οπλισμό των γειτονικών ανοιγμάτων (σχ. 19.5ν). Το διάγραμμα των ροπών κάμψεως του οπλισμού χρησιμεύει εκτός από τα άλλα και για να καθορισθούν οι θέσεις, όπου οι ράβδοι αυτές επιτρέπεται να τελειώσουν.

Στις θέσεις, όπου τελειώνουν ράβδοι του γειτονικού ανοίγματος, το διάγραμμα δεν έχει πλευρές κάθετες προς τον άξονα της δοκού, αλλά



Σχ. 19.5μ.

Οι θέσεις κάμψεως των ράβδων του λοξού οπλισμού δίνουν το διάγραμμα ροπών κάμψεως του οπλισμού.



Σχ. 19.5ν.

Διάγραμμα ροπών κάμψεως οπλισμού στην περιοχή στηρίξεως μιας δοκού.

λοξές. Το μήκος του τριγωνικού τμήματος του διαγράμματος είναι ίσο με το μήκος αγκυρώσεως της ράβδου, π.χ. $48 d$ για σκυρόδεμα Β 160 και χάλυβα κατηγορίας Ι. Το ίδιο βέβαια ισχύει και για τα σημεία, όπου τελειώνουν οι πρόσθετες ευθύγραμμες ράβδοι στο άνω μέρος της δοκού (σχ. 19.5ν).

Εάν υπάρχουν και λοξές πρόσθετες ράβδοι σε μία στήριξη, το άνω μέρος τους μέχρι το σημείο κάμψεώς τους λαμβάνεται υπόψη στο διάγραμμα ροπών κάμψεως του οπλισμού. Στο κάτω μέρος της

δοκού υπάρχουν τα άκρα των προσθέτων αυτών ράβδων, που πρέπει να έχουν μήκος ίσο με το μήκος αγκυρώσεως (σχ. 19.5Ξ). Τα άκρα όμως αυτά δεν λαμβάνονται υπόψη στο διάγραμμα των θετικών ροπών κάμψεως του οπλισμού.

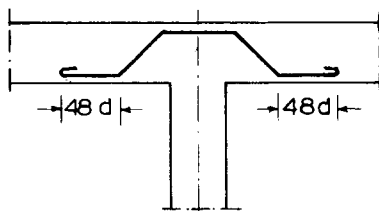
Οι γερμανικοί κανονισμοί, επομένως και οι ελληνικοί, που τους ακολουθούν, επιβάλλουν να γίνεται η αγκύρωση των ράβδων του οπλισμού σε θλιβόμενη περιοχή. Άλλοι κανονισμοί δεν βάζουν τέτοιο περιορισμό. Για να τηρηθεί ο περιορισμός αυτός, οι πρόσθετες λοξές ράβδοι πρέπει να είναι πλησιέστερες προς το στήριγμα, ώστε η αγκύρωσή τους να γίνεται στην περιοχή των αρνητικών ροπών κάμψεως ή τουλάχιστον των μικρών θετικών ροπών.

Η λύση αυτή είναι οικονομική για τις πρόσθετες λοξές ράβδους, επειδή μειώνεται το μήκος τους. Μπορεί όμως να έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη να αυξηθεί ο άνω πρόσθετος οπλισμός στις στηρίξεις, αυτός που χρειάζεται, για να αναλάβει τις ροπές κάμψεως. Επίσης, επειδή ο κύριος οπλισμός αρχίζει να κάμπτεται στην περίπτωση αυτή πολύ κοντά στο μέσον της δοκού, παρουσιάζεται συχνά έλλειμμα οπλισμού στη θέση της πρώτης κάμψεως (σχ. 19.5ο). Η μόνη λύση τότε είναι να αυξάνεται λίγο ο κύριος οπλισμός του ανοίγματος.

Παράδειγμα 2.

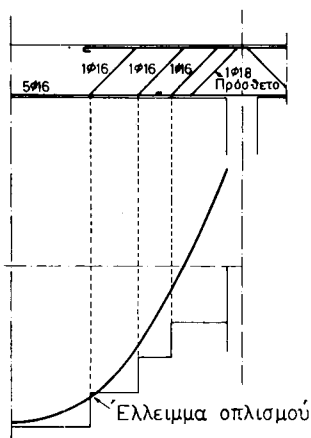
Έστω π.χ. μία δοκός με οπλισμό 5 $\emptyset 16$ στο άνοιγμά της. Εάν στη θέση, όπου κάμπτεται η πλησιέστερη προς το μέσον λοξή ράβδος, η ροπή είναι πάντοτε μικρότερη από τα 80% της μέγιστης ροπής κάμψεως της δοκού, αρκούν εκεί οι υπόλοιπες 4 ράβδοι. Εάν αντίθετα στη θέση αυτή η ροπή κάμψεως μπορεί για ορισμένη περίπτωση φορτίσεως να φθάσει π.χ. το 87% της $\max M$ και για τη $\max M$ χρειάζονται ακριβώς $F_e = 9,75 \text{ cm}^2$, σημαίνει ότι στη θέση κάμψεως χρειάζονται $0,87 \times 9,75 = 8,48 \text{ cm}^2$, δηλαδή 3 $\emptyset 16 + 1 \emptyset 18$. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο κύριος οπλισμός της δοκού είναι ανεπαρκής και πρέπει να αυξηθεί από 5 $\emptyset 16$ σε 4 $\emptyset 16 + 1 \emptyset 18$.

Όταν σε μία στήριξη απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός, άγεται στο διάγραμμα μία γραμμή παράλληλη προς τον άξονα και σε απόσταση M_i από αυτόν. Η ροπή M_i είναι η απολύτως μέγιστη ροπή κάμψεως, που μπορεί να αναλάβει η δοκός στην περιοχή της στηρίξεως χωρίς θλιβό-



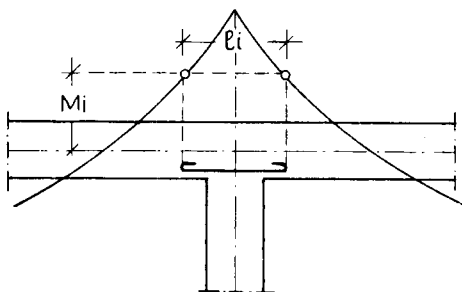
Σχ. 19.5ξ.

Πρόσθετες λοξές ράβδοι στην περιοχή στηρίξεως δοκού.



Σχ. 19.5ο.

Έλλειμμα οπλισμού στη θέση κάμψης της πρώτης ράβδου του ανοίγματος.

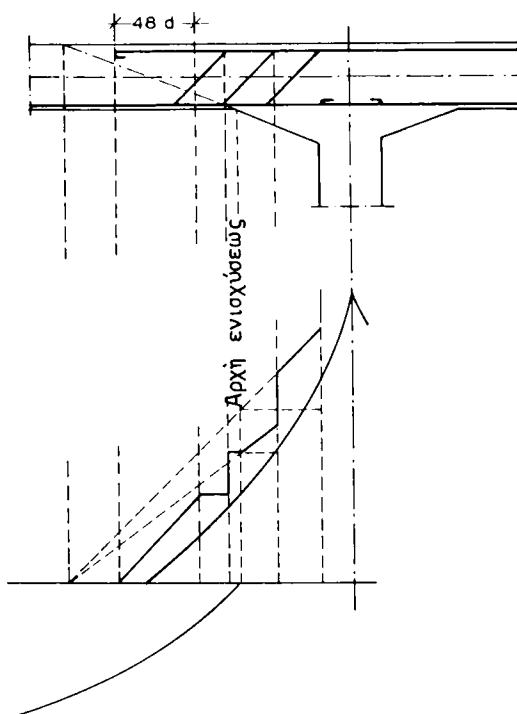


Σχ. 19.5π.

Καθορισμός του μήκους των ράβδων του θλιβόμενου οπλισμού στην περιοχή στηρίξεως μιας δοκού.

μενο οπλισμό. Η ευθεία αυτή τέμνει την περιβάλλουσα των ροών κάμψεως σε δύο σημεία, τα οποία καθορίζουν τις θέσεις, όπου μπορούν να διακοπούν οι ράβδοι του θλιβόμενου οπλισμού, είτε προέρχονται από το γειτονικό άνοιγμα, είτε είναι πρόσθετες (σχ. 19.5π).

Εάν στην περιοχή της στηρίξεως η δοκός έχει ενίσχυση καθ' ύψος, το διάγραμμα των ροών κάμψεως του οπλισμού πρέπει να υποστεί ορισμένες διορθώσεις. Οι ευθείες του διαγράμματος, που θα έπρεπε να είναι παράλληλες με τον άξονα, γίνονται λοξές στην περιοχή της ενισχύσεως. Όλες αυτές οι ευθείες, εάν προεκταθούν, τέμνουν τον άξονα σε ένα σημείο, το οποίο αντιστοιχεί με το σημείο, όπου η κάτω έδρα της ενισχύσεως θα έτεμνε, εάν προεκτεινόταν, την άνω έδρα της δοκού. Οι λοξές αυτές ευθείες εξ' άλλου τέμνουν την κάθετη προς τον άξονα, που περνά από την αρχή της ενισχύσεως, στα σημεία από όπου θα διήρχονταν οι αντίστοιχες παράλληλες προς τον άξονα ευθείες του διαγράμματος, εάν δεν υπήρχε η ενίσχυση (σχ. 19.5ρ).



Σχ. 19.5ρ.

Γεωμετρική κατασκευή για τη διόρθωση του διαγράμματος ροών κάμψεως του οπλισμού σε δοκό με ενίσχυση κατά ύψος.

3. Συνδετήρες, οπλισμός συναρμολογήσεως κλπ.

Για να συμπληρωθεί το ανάπτυγμα του οπλισμού για ένα άνοιγμα δοκού, πρέπει να σχεδιασθούν και τα υπόλοιπα στοιχεία του οπλισμού εκτός από τον κύριο οπλισμό κάμψεως και διατμήσεως. Σχεδιάζονται κατ' αρχήν οι συνδετήρες και οι ράβδοι του οπλισμού συναρμολογήσεως. Επίσης σχεδιάζονται, εάν υπάρχουν οι ράβδοι του οπλισμού, ο οποίος χρειάζεται για να αναλάβει τις ροπές στρέψεως.

Από τα αναπτύγματα του οπλισμού προκύπτουν εύκολα οι κατάλογοι του οπλισμού, για τους οποίους έγινε λόγος στην παράγραφο 17.2 (Γ). Δεν πρέπει να γίνεται σύγχυση μεταξύ των δύο αυτών εννοιών. Η σύνταξη των αναπτυγμάτων του οπλισμού υπάγεται στη μελέτη ενός έργου. Η σύνταξη των καταλόγων ανάγεται στην κατασκευή του. Τα μήκη των ράβδων κατά τη σύνταξη των καταλόγων οπλισμού δεν αντιγράφονται από τα αναπτύγματα, αλλά ελέγχονται και πάλι και προσαρμόζονται προς τις πραγματικές διαστάσεις του έργου, που μπορούν να διαφέρουν ελαφρά από τις διαστάσεις των σχεδίων. Οι κατάλογοι του οπλισμού εξ άλλου έχουν και στοιχεία επιμετρητικά, που δεν υπάρχουν στα αναπτύγματα του οπλισμού των δοκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20

ΣΤΥΛΟΙ Ή ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

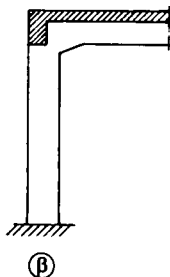
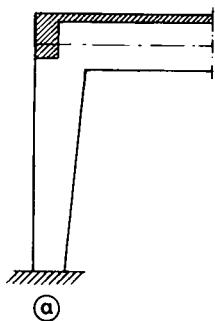
20.1 Περιγραφή.

Σε μία κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα **στύλους** ή **υποστυλώματα** ονομάζομε τα στοιχεία εκείνα, τα οποία είναι κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα και φορτίζονται κυρίως από δυνάμεις, που ενεργούν κατά τη διεύθυνση του άξονά τους. Το ύψος των υποστυλωμάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από τις εγκάρσιες διαστάσεις τους. Το σχήμα τους είναι κατά κανόνα πρισματικό ή κυλινδρικό, η διατομή τους δηλαδή διατηρείται σταθερή καθ' όλο το ύψος τους. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις η διατομή μπορεί να είναι μεταβλητή, ή σε όλο το ύψος ή μόνο στο ανώτατο μέρος του υποστυλώματος (σχ. 20.1α).

Ένα υποστύλωμα μπορεί να είναι μονώροφο ή πολυώροφο. Μονώροφο λέγεται το υποστύλωμα, που συνδέεται με άλλα στοιχεία της κατασκευής μόνο στο ανώτερο και στο κατώτερο μέρος του. Αντίθετα ένα πολυώροφο υποστύλωμα συνδέεται με άλλα στοιχεία της κατασκευής και σε ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα σημεία του (σχ. 20.1β).

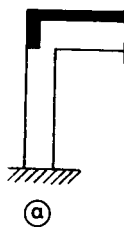
Η διατομή ενός πολυώροφου υποστυλώματος αλλάζει συνήθως από τον ένα όροφο στον άλλο, αυξάνεται δηλαδή προς τα κάτω, όσο αυξάνονται και οι δυνάμεις, που το φορτίζουν. Δεν αποκλείεται πάντως σε εντελώς εξαιρετικές περιπτώσεις, η διατομή του υποστυλώματος σε έναν όροφο να είναι μικρότερη από τη διατομή, που έχει το ίδιο υποστύλωμα στον αμέσως ανώτερο όροφο.

Τα φορτία των υποστυλωμάτων ως επί το πλείστον προέρχονται από δοκούς, που είναι κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα και στηρίζονται επάνω σε αυτά. Άλλοτε προέρχονται απ' ευθείας από πλάκες, όταν αυτές είναι μυκητοειδείς ή επίπεδες. Σπανιότερα



Σχ. 20.1α.

Υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα:
α) Με μεταβλητή διατομή. β) Με σταθερή διατομή.



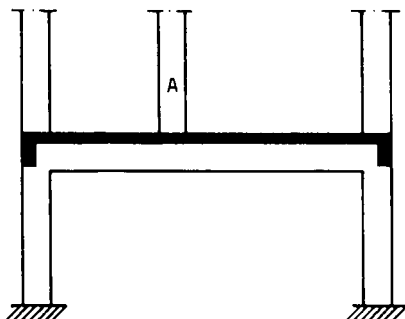
Σχ. 20.1β.

Υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Μονώροφο. β) Πολύωροφο.

προέρχονται από ξύλινες ή μεταλλικές κατασκευές, π.χ. στέγες, πατώματα, που στηρίζονται σε υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πιθανόν βέβαια να παρουσιάζεται και η αντίστροφη περίπτωση, μεταλλικά δηλαδή υποστυλώματα να φέρουν φορτία από στέγες ή πατώματα κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η λύση αυτή εφαρμόζεται συχνά σε άλλες χώρες για πολύ ψηλά κτήρια, στην Ελλάδα όμως είναι μάλλον ασυνήθιστο.

Τα υποστυλώματα στηρίζονται κατά κανόνα επάνω στα θεμέλια, που αποτελούνται και αυτά από στοιχεία κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να είναι μεμονωμένα πέδιλα, πεδילוδοκοί, μερική ή ολική κοιτόστρωση, πασσαλοεσχίρες, κεφαλές καταδυομένων φρεάτων κοκ., που περιεγράφησαν στο πρώτο μέρος της Γενικής Δομικής (Α' Τόμος), που αναφέρεται στις Θεμελιώσεις.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, κατά τις οποίες τα υποστυλώματα εδράζονται σε στοιχεία της ανωδομής, π.χ. σε τοίχους από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, σε δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα ή ακόμη και σε πλάκες. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις τα υποστυλώματα λέγονται **φυτευτά** (σχ. 20.1γ). Γενικά δεν επιτρέπεται να στηρίζονται υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα επάνω σε ξύλινες ή μεταλλικές κατασκευές.



Σχ. 20.1γ.

Το υποστυλώμα Α είναι φυτευτό, γιατί εδράζεται επάνω σε μία δοκό.

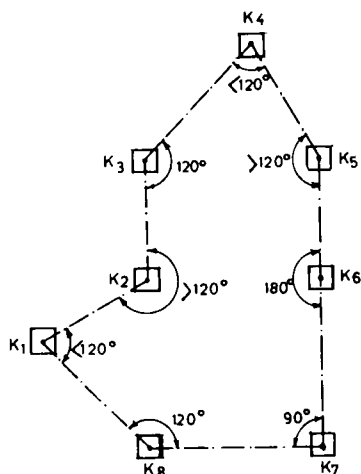
20.2 Κανονισμοί.

Α. Διαστάσεις.

Το πιο συνηθισμένο σχήμα διατομής για τα υποστυλώματα είναι το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Οι κανονισμοί καθορίζουν τα εξής σχετικά με τις διαστάσεις των ορθογωνικών υποστυλωμάτων. Για να επιτρέπεται σε ένα υποστυλώμα οι τάσεις σκυροδέματος και οπλισμού να φθάσουν στα ανώτατα ανεκτά όρια των κανονισμών, πρέπει αυτό να έχει διατομή με διαστάσεις τουλάχιστον 25 x 25 cm. Επιτρέπεται η μία διάσταση να είναι μικρότερη, όχι όμως λιγότερο από 20 cm, τότε όμως οι τάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 80% των μεγίστων, που επιτρέπουν οι κανονισμοί. Αν και οι δύο διαστάσεις είναι μικρότερες από 25 cm, οι τάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 2/3 των μεγίστων επιτρεπομένων. Πάντως η ορθογωνική διατομή υποστυλώματος κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες πρέπει να έχει διαστάσεις τουλάχιστον 20 x 20 cm.

Για τα γωνιακά υποστυλώματα δεν επιτρέπονται διατομές μικρότερες από 25 x 25 cm. Ο αντισεισμικός μάλιστα κανονισμός επιβάλλει για τα υποστυλώματα αυτά διατομή με διαστάσεις τουλάχιστον 30 x 30 cm για τους τρεις ανώτατους ορόφους και 35 x 35 cm για τους κατώτερους. Στα γωνιακά υποστυλώματα εξ άλλου οι μέγιστες τάσεις πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 2/3 των μεγίστων επιτρεπομένων, οποιοσδήποτε και αν είναι οι διαστάσεις τους.

Οι κανονισμοί καθορίζουν ποια υποστυλώματα θεωρούνται γωνιακά και υπόκεινται στους πιο πάνω ειδικούς περιορισμούς. Σε μία



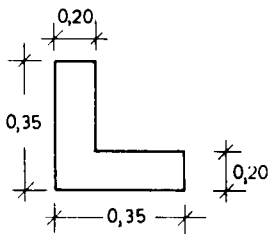
Σχ. 20.2α.

Κατά τους κανονισμούς τα υποστυλώματα K_1 , K_4 και K_7 μόνον υπόκεινται στους περιορισμούς των γωνιακών υποστυλωμάτων.

κάτοψη του έργου σχεδιάζεται το πολύγωνο, που σχηματίζεται με κορυφές τα κέντρα των διατομών των υποστυλωμάτων, που βρίσκονται κοντά στην περίμετρο της κατόψεως (σχ. 20.2α). Όπου οι πλευρές του πολυγώνου αυτού σχηματίζουν προς το εσωτερικό της κατόψεως γωνίες μικρότερες από 120° , το αντίστοιχο υποστύλωμα θεωρείται γωνιακό. Έτσι το υποστύλωμα K_1 του σχήματος 20.2α είναι γωνιακό, ενώ τα K_2 και K_3 δεν είναι.

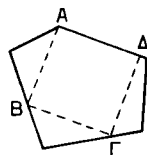
Τα γωνιακά υποστυλώματα επιτρέπεται και συνιστάται να έχουν διατομή με σχήμα γωνίας. Κατά τον αντισεισμικό κανονισμό το πάχος των σκελών της γωνίας (σχ. 20.2β) πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 cm και το μήκος τους 35 cm για τους τρεις ανώτατους ορόφους και 40 cm για τους υπόλοιπους. Εκτός από αυτούς τους περιορισμούς το μήκος των σκελών της γωνίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% μεγαλύτερο από εκείνο, που θα ήταν επαρκές, για να είναι οι τάσεις του σκυροδέματος και του οπλισμού μικρότερες από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια.

Οι κανονισμοί δεν αναφέρουν τίποτε για τις διαστάσεις των υποστυλωμάτων, που έχουν ορθογωνική διατομή. Προφανώς, εάν η διατομή είναι τόσο μεγάλη, ώστε να μπορεί να εγγραφεί μέσα σε



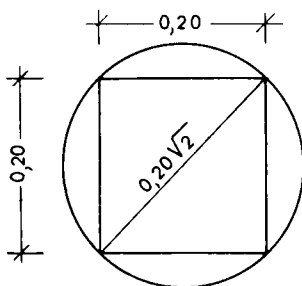
Σχ. 20.2β.

Ελάχιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις γωνιακού υποστυλώματος σχήματος Γ.



Σχ. 20.2γ.

Υποστυλώματα με διατομή μη ορθογωνική έχουν επαρκείς διαστάσεις, όταν στη διατομή τους εγγράφεται το τετράγωνο, που απαιτούν οι κανονισμοί.

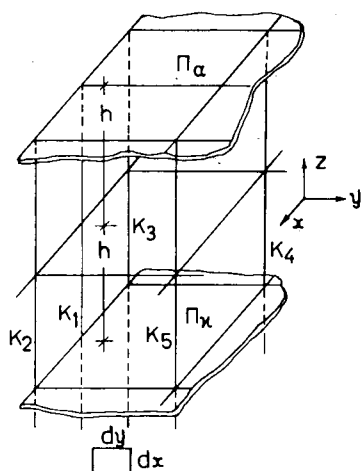


Σχ. 20.2δ.

Ελάχιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις υποστυλώματος με κυκλική διατομή.

αυτή μία ορθογωνική διατομή, που οι κανονισμοί την επιτρέπουν, τότε και η διατομή αυτή είναι επιτρεπτή (σχ. 20.2γ). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ένα υποστυλόμε με κυκλική διατομή θα πρέπει να έχει διάμετρο: $25 \cdot \sqrt{2} \approx 35$ cm, για να μπορούν οι τάσεις να φθάσουν τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια. Εάν οι τάσεις δεν υπερβαίνουν τα 2/3 των επιτρεπομένων ορίων, η διάμετρος μπορεί να είναι και μικρότερη, τουλάχιστον όμως $20 \cdot \sqrt{2} \approx 28$ cm (σχ. 20.2δ).

Μπορεί να δοθεί και κάποια ευνοϊκότερη ερμηνεία, τουλάχιστον για τα υποστυλώματα με κυκλική διατομή. Ένα κυλινδρικό υποστυλόμε με διάμετρο 28 cm έχει διατομή περίπου ισοδύναμη με ένα τετράγωνο με πλευρές 25 cm ($\frac{\pi}{4} 28^2 \approx 25^2$). Ένα κυλινδρικό υποστυλόμε με διάμετρο 23 cm έχει διατομή ισοδύναμη περίπου με



Σχ. 20.2ε.

Το υποστυλώμα K_1 έχει ύψος λυγισμού h κατά τη διεύθυνση x και $2h$ κατά τη διεύθυνση y .

ένα τετράγωνο με πλευρές 20 cm ($\frac{\pi}{4} 23^2 \simeq 20^2$). Είναι επομένως λογικό να γίνουν δεκτά κυλινδρικά υποστυλώματα με διάμετρο τουλάχιστον 23 cm , εφ' όσον οι τάσεις δεν υπερβαίνουν τα $2/3$ των μεγίστων επιτρεπομένων. Οι τάσεις εξάλλου μπορούν να φθάσουν στα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια, όταν η διάμετρος υπερβαίνει τα 28 cm .

Όταν τα υποστυλώματα έχουν μεγάλο ύψος, οι εγκάρσιες διαστάσεις τους, δεν πρέπει να είναι πολύ μικρές, για να μην υπάρχει ο κίνδυνος του **λυγισμού**. Ύψος του υποστυλώματος στην περίπτωση αυτή, δηλαδή ύψος λυγισμού, θεωρείται η απόσταση από τον ένα όροφο στον άλλον. Αυτό ισχύει υπό τον όρο ότι η σύνδεση του υποστυλώματος με τους ορόφους είναι τέτοια, ώστε αποκλείεται να μετακινηθεί το σημείο συνδέσεως προς οποιαδήποτε διεύθυνση. Ως παράδειγμα δίνεται το υποστυλώμα K_1 του σχήματος 20.2ε, το οποίο συνδέεται στο ανώτερο και στο κατώτερο σημείο του με πλάκες και δοκούς, που δεν επιτρέπουν καμιά μετακίνηση. Στο μέσο του το υποστυλώμα K_1 συνδέεται μόνο με δύο δοκούς, που είναι παράλληλες προς τη διεύθυνση x , τίποτε όμως δεν εμποδίζει το

μέσον του υποστυλώματος να μετακινηθεί κατά τη διεύθυνση y . Το ύψος λυγισμού h_{kx} του υποστυλώματος K_1 κατά τη διεύθυνση x είναι ίσο προς το ύψος ενός ορόφου h , ενώ το ύψος λυγισμού h_{ky} κατά τη διεύθυνση y είναι διπλάσιο.

Έστω d η μικρότερη πλευρά της διατομής ενός ορθογωνικού υποστυλώματος και D η διάμετρος ενός κυλινδρικού. Ο κίνδυνος του λυγισμού εξαρτάται αντίστοιχα από την τιμή του λόγου $\frac{h_k}{d}$ ή $\frac{h_k}{D}$. Οι κανονισμοί δεν θέτουν ρητά κανένα περιορισμό στις τιμές των λόγων αυτών. Υπάρχουν όμως πίνακες στους κανονισμούς, που περιέχουν τις τιμές $\frac{h_k}{d}$ και $\frac{h_k}{D}$. Στους πίνακες αυτούς η μέγιστη τιμή του λόγου $\frac{h_k}{d}$, που αναγράφεται, είναι 40 και του λόγου $\frac{h_k}{D}$ είναι 25. Προκύπτει λοιπόν έμμεσα ότι η μικρότερη πλευρά της διατομής των ορθογωνικών υποστυλωμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση προς το $1/40$ του ύψους λυγισμού. Επίσης η διάμετρος των κυλινδρικών υποστυλωμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση προς το $1/25$ του ίδιου ύψους. Εννοείται ότι, αν υπάρχουν δύο ύψη λυγισμού, όπως στο υποστυλώμα K_1 του σχήματος 20.2ε, η κάθε μία διάσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον $1/40$ του αντίστοιχου ύψους λυγισμού. Στο παράδειγμα αυτό η διάσταση d_x πρέπει να είναι τουλάχιστον $\frac{h}{40}$, αλλά η διάσταση d_y πρέπει να είναι τουλάχιστον $\frac{h}{20}$.

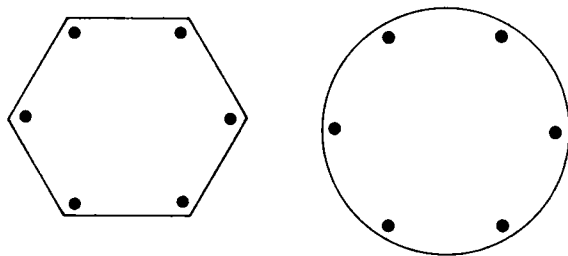
Β. Οπλισμός.

Τα υποστυλώματα υπόκεινται κατά κύριο λόγο σε μία θλιπτική αξονική δύναμη, η οποία προκαλεί θλιπτικές τάσεις. Το σκυρόδεμα, όπως είναι γνωστό, έχει σημαντική αντοχή σε θλίψη, επομένως τα υποστυλώματα μπορούν κάλλιστα να αναλάβουν τα κύρια φορτία τους, έστω και αν δεν έχουν καθόλου οπλισμό. Οι κανονισμοί όμως επιβάλλουν να υπάρχει πάντοτε οπλισμός. Ο οπλισμός αυτός αυξάνει λίγο και την αντοχή του υποστυλώματος σε θλίψη, κυρίως όμως χρειάζεται, για να αναλαμβάνει τις εφελκυστικές ή διατμητικές τάσεις, που μπορούν να αναπτυχθούν σε ορισμένες θέσεις των υποστυλωμάτων. Οι τάσεις αυτές οφείλονται σε καμπτικές ροπές και τέμνουσες δυνάμεις, τις οποίες προκαλούν διάφορα δευτερεύοντα φορτία. Τα φορτία αυτά δεν ενεργούν κατά τη διεύθυνση του άξονα

των υποστυλωμάτων και είναι δυνατόν να υπάρχουν σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, είτε λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, είτε όχι.

Ο οπλισμός των υποστυλωμάτων, όπως και των δοκών, διακρίνεται σε **διαμήκη** και σε **εγκάρσιο**. Ο διαμήκης οπλισμός είναι γενικά κατακόρυφος και αποτελείται από τέσσερις τουλάχιστον ράβδους. Οι ράβδοι αυτές τοποθετούνται κατά μήκος των τεσσάρων ακμών του υποστυλώματος, εάν η διατομή του είναι τετραπλευρική. Εάν η διατομή είναι πολυγωνική, πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία ράβδος κατά μήκος κάθε ακμής και, εάν είναι κυκλική, οι ράβδοι πρέπει να είναι τουλάχιστον έξι (σχ. 20.2ζ). Για τον οπλισμό αυτό οι κανονισμοί επιβάλλουν να έχει διάμετρο τουλάχιστον 14 mm. Μόνο για υποστυλώματα με τετραγωνική διατομή και με διαστάσεις 20 x 20 cm επιτρέπονται 4 ράβδοι με διάμετρο 12 mm.

Ο διαμήκης οπλισμός των υποστυλωμάτων πρέπει να έχει διατομή ίση τουλάχιστον με 8 χιλιοστά της συνολικής διατομής τους. Ειδικά για τα γωνιακά υποστυλώματα ο αντισεισμικός κανονισμός απαιτεί διαμήκη οπλισμό με διατομή τουλάχιστον 12 cm². Εάν άλλοι λόγοι, π.χ. αισθητικοί, επιβάλλουν να έχει ένα υποστυλώμα διαστάσεις μεγαλύτερες από τις απαραίτητες, επιτρέπεται να μην αυξηθεί ανάλογα και ο οπλισμός του. Στην περίπτωση αυτή ο οπλισμός μπορεί να μείνει ίσος με τα 8 χιλιοστά της διατομής, με την οποία το υποστυλώμα θα είχε την απαραίτητη αντοχή. Και πάλι όμως δεν είναι σκόπιμο ο οπλισμός να είναι λιγότερος από τα 5 χιλιοστά της πραγματικής διατομής του υποστυλώματος. Λιγότερος διαμήκης οπλισμός από τα 8 χιλιοστά της διατομής επιτρέπεται να τοποθετείται και σε υποστυλώματα, που έχουν πολύ μικρό ύψος σε σύγκριση με τη μικρότερη πλευρά της διατομής τους.



Σχ. 20.2ζ.

Οπλισμός υποστυλωμάτων με διατομή πολυγωνική ή κυκλική.

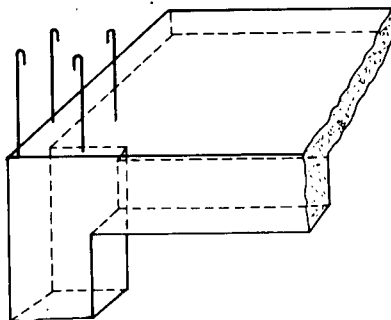
Εάν ο λόγος $\frac{h_k}{d}$ του μήκους λυγισμού προς τη μικρότερη πλευρά της διατομής είναι μικρότερος ή ίσος προς 5, ο διαμήκης οπλισμός μπορεί να είναι μόνο τα 5 χιλιοστά της διατομής του υποστυλώματος. Για λόγο $\frac{h_k}{d} = 6$ η αναλογία του οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον τα 5,6 χιλιοστά της διατομής, για λόγο $\frac{h_k}{d} = 7$ τουλάχιστον τα 6,2 χιλιοστά, για λόγο $\frac{h_k}{d} = 8$ τουλάχιστον τα 6,8 χιλιοστά και για λόγο $\frac{h_k}{d} = 9$ τουλάχιστον τα 7,4 χιλιοστά. Για λόγο $\frac{h_k}{d} \geq 10$ ισχύει ο γενικός κανόνας των 8 χιλιοστών.

Παράδειγμα.

Έστω ένα υποστύλωμα με διατομή 35 x 40 cm μεταξύ δύο ορόφων, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους 2,80 m. Είναι τότε $\frac{h_k}{d} = \frac{2,80}{35} = 8$ και ο ελάχιστος οπλισμός είναι $F_o = 0,0068 \times 35 \times 40 = 9,52 \text{ cm}^2$, δηλαδή 4 $\varnothing$ 18. Ένα άλλο υποστύλωμα με την ίδια διατομή, αλλά μεταξύ ορόφων, που απέχουν μεταξύ τους 4,20 m, έχει $\frac{h_k}{d} = \frac{4,20}{35} = 12 > 10$ και επομένως ο ελάχιστος οπλισμός του είναι $F_o = 0,08 \times 35 \times 40 = 11,2 \text{ cm}^2$, δηλαδή 8 $\varnothing$ 14 ή 4 $\varnothing$ 16 + 2 $\varnothing$ 14 ή 4 $\varnothing$ 20.

Οι κανονισμοί δεν καθορίζουν μόνο ελάχιστα, αλλά και μέγιστα όρια για το διαμήκη οπλισμό των υποστυλωμάτων. Έτσι για σκυροδέματα κατηγορίας B 120 και B 160 ο οπλισμός αυτός δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 3% της συνολικής διατομής του υποστυλώματος. Για σκυροδέματα κατηγορίας B 225 και B 300 μπορεί να φθάσει και τα 6% αυτής. Ο αντισεισμικός κανονισμός επιτρέπει ακόμη να αυξάνεται τοπικά ο οπλισμός αυτός στην κεφαλή και το πόδι των υποστυλωμάτων, για να αναλάβει τις πρόσθετες τάσεις, που οφείλονται στις σεισμικές δυνάμεις. Η αύξηση αυτή δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από τα 50% του διαμήκους οπλισμού, που υπάρχει σε όλο το ύψος του υποστυλώματος.

Όταν τα υποστυλώματα είναι πολυώροφα, η κατασκευή των ξυλοτύπων, η τοποθέτηση του οπλισμού και η διάστρωση του σκυροδέματος δεν γίνονται σε μία φάση για ολόκληρο το ύψος τους, αλλά για κάθε όροφο χωριστά. Για να επιτυγχάνεται η σύνδεση των



Σχ. 20.2η.

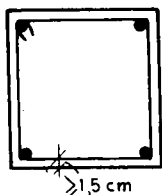
Οπλισμός αναμονής υποστυλώματος σε πολυώροφη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.

υποστυλωμάτων από όροφο σε όροφο, ο διαμήκης οπλισμός τους κατασκευάζεται μακρότερος από το ύψος του ορόφου, ώστε ένα τμήμα των ράβδων να παραμένει έξω από το σκυρόδεμα (σχ. 20.2η). Τα τμήματα αυτά των ράβδων λέγονται **αναμονές** και πρέπει να καταλήγουν σε άγκιστρο. Το μήκος τους πρέπει να είναι αρκετό, ώστε να επιτυγχάνεται η σύνδεση του οπλισμού των δύο ορόφων με τη μέθοδο της παραθέσεως. Όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 17.4, το μήκος αυτό πρέπει να είναι τουλάχιστον $\frac{\sigma_e}{6\tau_i} d$, όπου

σ_e είναι η επιτρεπόμενη εφελκυστική τάση του οπλισμού, τ_i η επιτρεπόμενη τάση συνάφειας του σκυροδέματος και d η διάμετρος των ράβδων.

Ο εγκάρσιος οπλισμός των υποστυλωμάτων αποτελείται από συνδετήρες. Οι συνδετήρες κατ' αρχήν έχουν το σχήμα της διατομής του υποστυλώματος και τοποθετούνται κοντά στην περίμετρό της. Οι συνδετήρες πρέπει να απέχουν από την επιφάνεια τόσο, ώστε να εξασφαλίζεται η επικάλυψη του οπλισμού, που απαιτούν οι κανονισμοί για κάθε περίπτωση (σχ. 20.2θ). Η απλή αυτή διάταξη εφαρμόζεται, όταν η διατομή έχει σχήμα κυρτό. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, όπως π.χ. για το υποστυλόμετρο του σχήματος 20.2ι, τότε τοποθετούνται δύο τουλάχιστον κατηγορίες συνδετήρων, ώστε καθένας από αυτούς να έχει σχήμα κυρτό.

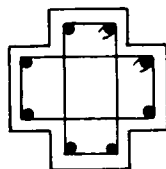
Όταν όλες οι ράβδοι του διαμήκους οπλισμού περνούν από



Στο ύψαιθρο $\geq 2 \text{ cm}$

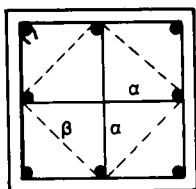
Σχ. 20.2θ.

Συνδετήρες υποστυλώματος για ορθογωνική διατομή και τέσσερις ράβδους κύριου οπλισμού.



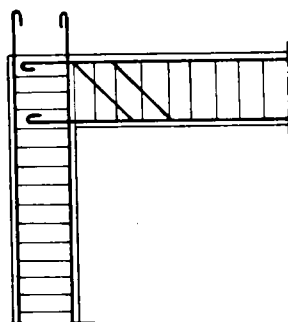
Σχ. 20.2ι.

Διάταξη συνδετήρων σε υποστύλωμα με διατομή μη κυρτή.



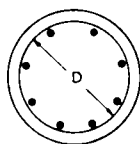
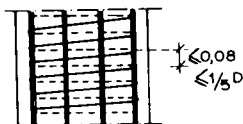
Σχ. 20.2κ.

Διάταξη συνδετήρων σε υποστύλωμα με οκτώ ράβδους κύριου οπλισμού. Εκτός των κυρίων συνδετήρων τοποθετούνται πρόσθετοι είτε οι α, είτε οι β.



Σχ. 20.2λ.

Οι συνδετήρες των υποστυλωμάτων συνεχίζονται και μέσα στα οριζόντια μέλη της κατασκευής.



Σχ. 20.2μ.

Υποστύλωμα με σπειροειδή οπλισμό.

κορυφές των συνδετήρων ή από σημεία, όπου διασταυρώνονται δύο κατηγορίες συνδετήρων, τότε επαρκούν οι συνδετήρες της περιμέτρου. Όταν υπάρχουν ράβδοι και σε ενδιάμεσα σημεία των πλευρών των συνδετήρων (σχ. 20.2κ), τότε χρειάζονται και πρόσθετοι συνδετήρες, ώστε κάθε ράβδος του διαμήκους οπλισμού στα σημεία διασταυρώσεώς της με τους συνδετήρες να μην μπορεί να μετακινηθεί προς οποιαδήποτε διεύθυνση και να εξασφαλίζεται έτσι από τον κίνδυνο του λυγισμού.

Η απόσταση από το επίπεδο κάθε συνδετήρα έως το επίπεδο του επομένου δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από τη μικρότερη πλευρά της διατομής του υποστυλώματος, ούτε το 12πλάσιο της διαμέτρου της λεπτότερης ράβδου του διαμήκους οπλισμού. Οι αποστάσεις αυτές είναι υποχρεωτικές για τους κύριους συνδετήρες της περιμέτρου. Οι πρόσθετοι συνδετήρες, εάν υπάρχουν, μπορούν να είναι λίγο αραιότεροι. Οι συνδετήρες πρέπει να συνεχίζονται και στα τμήματα των υποστυλωμάτων, τα οποία βρίσκονται μέσα σε δοκούς, πλάκες ή άλλα μέλη της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα (σχ. 20.2λ).

Γ. Υποστυλώματα με σπειροειδή οπλισμό.

Σε πολυώροφες κατασκευές χρησιμοποιούνται καμιά φορά υποστυλώματα με σπειροειδή οπλισμό, για να επιτυγχάνονται διατομές όσο το δυνατόν μικρότερες. Τα υποστυλώματα αυτά κατασκευάζονται μόνο από σκυρόδεμα κατηγορίας Β 225 ή Β 300 και έχουν διατομή με σχήμα κύκλου ή κανονικού πολυγώνου, συνήθως οκταγώνου. Ο διαμήκης τους οπλισμός διατάσσεται επάνω στην περιφέρεια ενός κύκλου και περιβάλλεται από ένα σπειροειδή εγκάρσιο οπλισμό (σχ. 20.2μ).

Υποστυλώματα με σπειροειδή οπλισμό κατασκευάζονται πολύ σπάνια στην Ελλάδα. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους: Πρώτον στο ότι δεν κατασκευάζονται πολύ υψηλά κτήρια και δεύτερον στο μεγάλο κόστος των υποστυλωμάτων αυτών. Το μεγάλο κόστος οφείλεται στην υψηλή αναλογία του χάλυβα και στην πρόσθετη εργασία, που απαιτείται, για να διαμορφωθεί ο σπειροειδής οπλισμός.

Ωφέλιμη διατομή των υποστυλωμάτων αυτών θεωρείται μόνον εκείνη, η οποία βρίσκεται μέσα στο σπειροειδή οπλισμό και έχει διάμετρο D

και εμβαδόν $F_k = \pi \frac{D^2}{4}$. Αυτή η διάμετρος D λαμβάνεται υπόψη και ως προς τον έλεγχο του υποστυλώματος σε λυγισμό, επομένως δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από $\frac{h_k}{25}$.

Ο διαμήκης οπλισμός F_θ των υποστυλωμάτων με σπειροειδή οπλισμό πρέπει να αποτελείται τουλάχιστον από έξι ράβδους και να κυμαίνεται μεταξύ του ενός και των έξι εκατοστών της ωφέλιμης διατομής τους F_k . Ο σπειροειδής οπλισμός είναι πολύ πυκνός σε σύγκριση προς τους απλούς συνδετήρες των άλλων υποστυλωμάτων. Το βήμα του s δεν πρέπει να υπερβαίνει το $1/5$ της διαμέτρου της σπείρας D ούτε τα 8 cm.

Ο σπειροειδής οπλισμός όμως δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει και ορισμένα μέγιστα όρια. Το συνολικό του βάρος πρέπει να μην υπερβαίνει το τριπλάσιο του βάρους του διαμήκους οπλισμού. Η σχέση αυτή γράφεται:

$$F_s = \frac{\pi D}{s} f_s \leq 3 f_\theta,$$

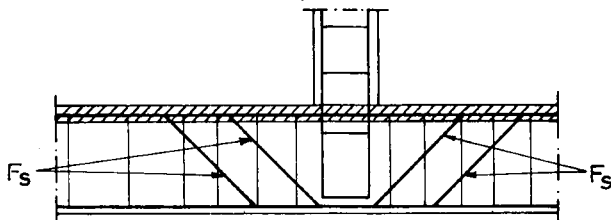
όπου f_s είναι η διατομή της ράβδου, που αποτελεί το σπειροειδή οπλισμό, F_θ η συνολική διατομή των ράβδων, που αποτελούν το διαμήκη οπλισμό, D η διάμετρος και s το βήμα της σπείρας.

Για το σπειροειδή οπλισμό υπάρχει και άλλος περιορισμός. Η ποσότητα $F_s = \frac{\pi D}{s} f_s$ μπορεί να υπερβεί τα τρία εκατοστά της ωφέλιμης διατομής F_k του υποστυλώματος μόνον, όταν το υποστυλώμα αντέχει στα μισά από τα φορτία, που ενεργούν σε αυτό, χωρίς να ληφθεί καθόλου υπόψη ο σπειροειδής οπλισμός. Με τον περιορισμό αυτό εξασφαλίζεται ότι δεν θα χρησιμοποιούνται υποστυλώματα με μεγάλη αναλογία οπλισμού και επικίνδυνα μικρές διαστάσεις.

Δ. Φυτευτά υποστυλώματα.

Τα φυτευτά υποστυλώματα γενικά είναι στοιχεία, που αυξάνουν το κόστος της κατασκευής και πρέπει να αποφεύγονται. Ιδιαίτερα δυσμενή είναι εκείνα, που εδράζονται επάνω σε πλάκες και όχι επάνω σε δοκούς.

Σε σεισμοπαθείς περιοχές υπάρχει και πρόσθετος λόγος να αποφεύγονται τα φυτευτά υποστυλώματα, επειδή αποτελούν ευπαθή σημεία της κατασκευής σε περίπτωση σεισμού. Για το λόγο αυτό ο αντισεισμικός κανονισμός είναι πολύ αυστηρός για τα υποστυλώματα αυτά. Οι όροι, που ο αντισεισμικός κανονισμός απαιτεί να πληρούνται, είναι πολύ δυσμενείς και δαπανηροί. Πρέπει λοιπόν να



Σχ. 20.2ν.

Πρόσθετος λοξός οπλισμός F_s στη δοκό, που φέρει φυτευτό υποστυλωμα, ακριβώς κάτω από αυτό.

γίνεται κάθε προσπάθεια, ώστε να αποφεύγονται τα φυτευτά υποστυλώματα, ιδίως όταν ο σεισμικός συντελεστής είναι μεγάλος.

Οι δοκοί, επάνω στις οποίες στηρίζονται φυτευτά υποστυλώματα, δεν αρκεί να υπολογίζονται για το μέγιστο πραγματικό φορτίο τους P , αλλά για ένα άλλο ιδεατό φορτίο P_i , μεγαλύτερο από το P . Το φορτίο P_i δίνεται από τον τύπο $P_i = (1 + 3\varepsilon) P$, όπου ε είναι ο σεισμικός συντελεστής (όχι όμως λιγότερο από 0,05). Έτσι για τις λιγότερο σεισμοπαθείς περιοχές της Ελλάδας η επαύξηση των φορτίων είναι 15%. Για τις πιο σεισμοπαθείς περιοχές και τα χειρότερα εδάφη θεμελιώσεως, όπου ο σεισμικός συντελεστής φθάνει το 0,16, η επαύξηση των φορτίων του φυτευτού υποστυλώματος φθάνει τα 48%.

Εκτός από την επαύξηση των φορτίων της, η δοκός, που φέρει το φυτευτό υποστυλωμα, πρέπει να έχει συνδετήρες κατά 50% περισσότερους από εκείνους, που προκύπτουν από τον υπολογισμό και οπωσδήποτε τουλάχιστον $\varnothing 6$ ανά 15 cm. Τέλος εκτός από τις λοξές ράβδους, που χρειάζονται, για να αναλάβουν τις τέμνουσες δυνάμεις, πρέπει να τοποθετούνται κάτω από το φυτευτό υποστυλωμα και πρόσθετες λοξές ράβδοι (σχ. 20.2ν). Η συνολική διατομή F_s των προσθέτων αυτών ράβδων από κάθε πλευρά του υποστυλώματος ορίζεται από τη σχέση: $F_s = \frac{(1 + 3\varepsilon) P}{3\sqrt{2} \sigma_g}$.

Στη σχέση αυτή P είναι το μέγιστο πραγματικό φορτίο του φυτευτού υποστυλώματος, ε είναι ο σεισμικός συντελεστής, οπωσδήποτε όχι λιγότερο από 0,05, και σ_g η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του χάλυβα σε εφελκυσμό.

20.3 Υπολογισμός υποστυλωμάτων.

Ο υπολογισμός των υποστυλωμάτων περιλαμβάνει την εκλογή

του σχήματος και των διαστάσεων της διατομής τους και τον καθορισμό του οπλισμού. Τα στοιχεία αυτά εκλέγονται έτσι, ώστε οι θλιπτικές τάσεις, που προκαλούνται από τα δυσμενέστερα φορτία, να είναι ανεκτές.

Όταν τα φορτία ενεργούν κατά μήκος του άξονά τους, το υποστύλωμα υφίσταται μία κεντρική θλίψη. Σε κάθε διατομή του αναπτύσσονται μόνο θλιπτικές τάσεις κάθετες προς τη διατομή και ομοιόμορφα κατανεμημένες. Ολόκληρη η διατομή είναι ωφέλιμη και επομένως ο υπολογισμός των τάσεων θα μπορούσε να γίνει με την παραδοχή του σταδίου I. Όπως εξηγήθηκε, όταν έγινε λόγος για τις πλάκες [παράγρ. 18.3 (E)], το υποστύλωμα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει μία ιδεατή διατομή F_i , που δίνεται από τη σχέση $F_i = F_b + nF_e$. Στη σχέση αυτή F_b είναι το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος, F_e το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού και $n = \frac{E_e}{E_b}$ ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα και σκυροδέματος. Πράγματι οι κανονισμοί παλαιότερα καθόριζαν ότι η θλιπτική τάση του σκυροδέματος σ_b βρίσκεται με τον τύπο:

$$\sigma_b = \frac{P}{F_i} = \frac{P}{F_b + nF_e},$$

όπου P είναι το μέγιστο αξονικό φορτίο του υποστυλώματος.

Οι κανονισμοί, που ισχύουν σήμερα, τόσο οι γερμανικοί όσο και οι ελληνικοί, καθορίζουν ότι ο υπολογισμός των υποστυλωμάτων γίνεται στο στάδιο III, δηλαδή με βάση το φορτίο θραύσεως (Ultimate Strength). Είναι προς το παρόν το μόνο σημείο, στο οποίο οι κανονισμοί επιτρέπουν να εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή, η οποία, όπως φαίνεται θα γενικευθεί στο μέλλον και για τα άλλα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το φορτίο $P_{\theta\rho}$, το οποίο προκαλεί τη θραύση ενός υποστυλώματος, βρίσκεται από τον τύπο $P_{\theta\rho} = K_b \cdot F_b + \sigma_s \cdot F_e$. Στη σχέση αυτή K_b είναι η θλιπτική τάση, στην οποία θραύεται ένα πρισματικό δοκίμιο από άοπλο σκυρόδεμα. Οι τιμές του K_b είναι 108 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, 144 kg/cm² για το B 160, 195 kg/cm² για το B 225 και 240 kg/cm² για το B 300. Το σ_s είναι το όριο διαρροής του χάλυβα, που λαμβάνεται ίσο προς 2.400 kg/cm² για την κατηγορία I, 3.600 kg/cm² για την κατηγορία II και 4.200

kg/cm² για τις κατηγορίες III και IV. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι κανονισμοί επιτρέπουν να χρησιμοποιείται μόνο χάλυβας κατηγορίας I σε υποστυλώματα από σκυρόδεμα B 120 και των κατηγοριών I και II σε υποστυλώματα από σκυρόδεμα B 160. Για τις κατηγορίες σκυροδέματος B 225 και B 300 μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε κατηγορία χάλυβα.

Το πραγματικό φορτίο P του υποστυλώματος δεν πρέπει να υπερβαίνει ποτέ το $1/3$ του φορτίου θραύσεως, ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να είναι τουλάχιστον 3. Επομένως πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$P \leq \frac{1}{3} (K_b F_b + \sigma_s F_s).$$

Αν τεθεί $\sigma_{\text{βεπ}} = \frac{K_b}{3}$ και $\lambda = \frac{\sigma_s}{K_b}$, η σχέση αυτή μπορεί να γραφεί

ως εξής:

$$P \leq \sigma_{\text{βεπ}} (F_b + \lambda F_s) \text{ ή } \sigma_{\text{βεπ}} \geq \frac{P}{F_b + \lambda F_s}.$$

Μπορεί λοιπόν πάλι να θεωρηθεί ότι το υποστυλώμα έχει μία ιδεατή διατομή $F_i = F_b + \lambda F_s$. Εάν το μέγιστο φορτίο του υποστυλώματος διαιρεθεί με το εμβαδόν της ιδεατής αυτής διατομής, προκύπτει μία ιδεατή τάση θλίψεως, που δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το $\frac{K_b}{3}$. Η μόνη διαφορά από την παλαιότερη μέθοδο είναι ότι το λ εξαρτάται από τις κατηγορίες του χάλυβα και του σκυροδέματος, ενώ το n είναι πάντοτε ίσο προς 15.

Η ιδεατή τάση θλίψεως πρέπει να μην υπερβαίνει το $\frac{K_b}{3}$, δηλαδή:

- α) Τα 36 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120.
- β) Τα 48 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 160.
- γ) Τα 65 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 225.
- δ) Τα 80 kg/cm² για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 300.

Επαναλαμβάνεται ότι για τα γωνιακά υποστυλώματα γενικά, όπως και για εκείνα, που έχουν διατομή 20 x 20 cm, οι επιτρεπόμενες τάσεις περιορίζονται στα $2/3$ των τιμών αυτών. Επίσης για τα υποστυλώματα, που η μία μόνο διάστασή τους είναι μικρότερη από 25 cm, οι επιτρεπόμενες τάσεις περιορίζονται στα $4/5$ αυτών, που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Παράδειγμα 1.

Έστω ένα υποστύλωμα με διαστάσεις διατομής 25 x 30 cm και διαμήκη οπλισμό, που αποτελείται από 4 ράβδους των 18 mm, οπότε $F_b = 25 \times 30 = 750 \text{ cm}^2$ και $F_e = 10,18 \text{ cm}^2$. Το F_e υπερβαίνει τα 8 χιλιοστά του F_b και είναι μικρότερο από τα 3 εκατοστά του, άρα είναι σύμφωνο προς τους κανονισμούς. Για κατηγορία σκυροδέματος B 160 και χάλυβα I, δηλαδή για $K_b = 144 \text{ kg/cm}^2$ και $\sigma_s = 2.400 \text{ kg/cm}^2$, είναι $\sigma_{\text{βεν}} = \frac{K_b}{3} = 48 \text{ kg/cm}^2$ και $\lambda = \frac{2.440}{144} = 16,67$.

Το μέγιστο αξονικό φορτίο που μπορεί να φέρει το υποστύλωμα αυτό, είναι $\max P = 48 (750 + 16,67 \times 10,18) = 44.100 \text{ kg}$. Για τις ίδιες κατηγορίες υλικών ένα υποστύλωμα με διατομή 20 x 20 cm και οπλισμό 4 $\varnothing$ 12 μπορεί να φέρει αξονικό φορτίο το πολύ ίσο με $P = \frac{2}{3} 48 (400 + 16,67 \times 4,52)$, δηλαδή $\max R = 12.200 \text{ kg}$.

Τα παραπάνω ισχύουν μόνον, εφ' όσον το μήκος λυγισμού των υποστυλωμάτων h_k είναι τόσο μικρό, ώστε να μην παρουσιάζεται κίνδυνος λυγισμού. Ο κίνδυνος αυτός αρχίζει να παρουσιάζεται, όταν το μήκος h_k υπερβαίνει το 15πλάσιο της μικρότερης πλευράς d της διατομής των ορθογωνικών υποστυλωμάτων ή το 10πλάσιο της διαμέτρου D των κυλινδρικών. Όταν το h_k υπερβαίνει τα όρια αυτά, ο υπολογισμός του υποστυλώματος δεν γίνεται πια με το πραγματικό φορτίο P , αλλά με ένα μεγαλύτερο ιδεατό P_i . Το $P_i = \omega P$ προκύπτει από το πραγματικό, όταν αυτό πολλαπλασιασθεί με ένα συντελεστή ω μεγαλύτερο από τη μονάδα, που ονομάζεται **συντελεστής λυγισμού**. Οι τιμές του ω για τις διάφορες τιμές των λόγων $\frac{h_k}{d}$ και $\frac{h_k}{D}$ δίνονται στον πίνακα 21 του Παραρτήματος.

Ο υπολογισμός των υποστυλωμάτων με τον τρόπο, που αναπτύχθηκε, είναι ορθός, όταν υπάρχει μόνο κεντρική θλίψη, η οποία στην πραγματικότητα σπάνια υφίσταται μόνη της. Συνήθως υπάρχουν και δευτερεύοντα φορτία, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ροπές κάμψεως, τέμνουσες δυνάμεις και ροπές στρέψεως. Τα στατικά αυτά μεγέθη όμως είναι ως επί το πλείστον ασήμαντα σε σύγκριση προς την αξονική θλιπτική δύναμη και γι' αυτό επιτρέπεται να μην εξετάζονται καθόλου. Το υποστύλωμα είναι ικανό να αντιμετωπίσει

και τα δευτερεύοντα αυτά φορτία πρώτον, επειδή έχει οπλισμό και δεύτερον, επειδή οι τάσεις, που επιτρέπονται για την κεντρική θλίψη του σκυροδέματος, καθορίζονται από τους κανονισμούς σκόπιμα πολύ μικρότερες από εκείνες, που επιτρέπονται για σύγχρονη θλίψη και κάμψη.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, κατά τις οποίες στα υποστυλώματα αναπτύσσονται τόσο μεγάλες ροπές κάμψεως, ώστε να επιτρέπεται να αγνοηθούν. Αυτό συμβαίνει π.χ. στα υποστυλώματα, που αποτελούν τις ακραίες στηρίξεις δοκών με μεγάλα ανοίγματα. Επίσης οριζόντιες δυνάμεις, που μπορούν να οφείλονται σε σεισμό, σε άνεμο, σε ωθήσεις γαιών κ.ο.κ., προκαλούν σημαντικές ροπές κάμψεως στα υποστυλώματα, όταν η κατασκευή στο σύνολό της στηρίζεται μόνο σε υποστυλώματα. Ο υπολογισμός των υποστυλωμάτων αυτών γίνεται τότε σε έκκεντρη θλίψη και όχι σε κεντρική.

Κατά παρόμοιο τρόπο με αυτόν, που περιγράψαμε τα υποστυλώματα με απλούς συνδετήρες, γίνεται και ο υπολογισμός των υποστυλωμάτων με σπειροειδή οπλισμό. Η μέγιστη ιδεατή τάση θλίψεως πρέπει να μην υπερβαίνει τις ίδιες επιτρεπόμενες τάσεις. Η μόνη διαφορά παρουσιάζεται στον τρόπο υπολογισμού της ιδεατής διατομής F_i που δίνεται από τη

σχέση $F_i = F_K + \lambda F_\sigma + 2,5 \lambda' F_s$. Στη σχέση αυτή $F_K = \frac{\pi D^2}{4}$ είναι η ωφέλιμη

διατομή του υποστυλώματος, F_σ η διατομή του διαμήκους οπλισμού και

$F_s = \frac{\pi D}{s} f_s$ η διατομή του σπειροειδούς οπλισμού για ένα μέτρο ύψους

του υποστυλώματος. Επίσης λ και λ' είναι οι λόγοι $\frac{\sigma_s}{K_b}$ και $\frac{\sigma'_s}{K_b}$ των αντι-

στοίχων ορίων διαρροής του χάλυβα προς την αντοχή του πρισματικού δοκιμίου του σκυροδέματος. Τα λ και λ' μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους, όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικές ποιότητες χάλυβα για τις δύο κατηγορίες του οπλισμού.

Παράδειγμα 2.

Έστω ένα υποστυλώμα με σπειροειδή οπλισμό με εξωτερική διάμετρο 30 cm. Η διάμετρος D μπορεί να ληφθεί ίση με 27 cm, ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη επικάλυψη του οπλισμού πά-

χους 1,5 cm. Είναι επομένως $F_K = \frac{\pi \cdot 27^2}{4} = 573 \text{ cm}^2$. Το υποστυ-

λώμα κατασκευάζεται από σκυρόδεμα κατηγορίας B 225, οπότε K_b

= 195 kg/cm². Ο διαμήκης οπλισμός του είναι κατηγορίας I με $\sigma_s = 2.400$ kg/cm² και ο σπειροειδής κατηγορίας III με $\sigma'_s = 4.200$ kg/cm². Είναι επομένως:

$$\lambda = \frac{2.400}{195} = 12,3 \text{ και } \lambda' = \frac{4.200}{195} = 21,55.$$

Ο διαμήκης οπλισμός αποτελείται από 8 ράβδους διαμέτρου 14 mm, δηλαδή $F_\phi = 12,32$ cm² και ο σπειροειδής από ράβδους διαμέτρου 5 mm με βήμα 5 cm, που είναι μικρότερο από $\frac{D}{5}$, άρα σύμφωνο με τους κανονισμούς. Το F_s είναι ίσο προς:

$$\frac{\pi \cdot 27}{5} \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} = 3,33 \text{ cm}^2.$$

Το μέγιστο φορτίο, που μπορεί να αναλάβει το υποστύλωμα αυτό είναι: $\max P = \frac{195}{3} (573 + 12,3 \times 12,32 + 2,5 \times 21,55 \times 3,33) = 65 (573 + 151,4 + 179,6) = 58,700$ kg.

Αν ληφθεί υπόψη και η περίπτωση του λυγισμού, ο γενικός τύπος υπολογισμού των υποστυλωμάτων είναι:

$$\frac{\omega P}{F_i} \leq \sigma_{\text{βελ}},$$

όπου $F_i = F_b + \lambda F_\phi$ για τα υποστυλώματα με κοινούς συνδετήρες και $F_i = F_k + \lambda F_\phi + 2,5 \lambda' F_s$ για τα υποστυλώματα με σπειροειδή οπλισμό. Η έννοια του γενικού αυτού τύπου είναι ότι ένα υποστύλωμα πρέπει να αντέχει σε απλή κεντρική θλίψη σε ένα φορτίο ωP , για να μπορεί να παραλάβει το μικρότερο από αυτό φορτίο P , χωρίς να κινδυνεύει από το λυγισμό. Εξ άλλου το ωP είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο λυγηρότερο είναι το υποστύλωμα, δηλαδή όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος $\frac{h_k}{d}$ ή $\frac{h_k}{D}$.

Παράδειγμα 3.

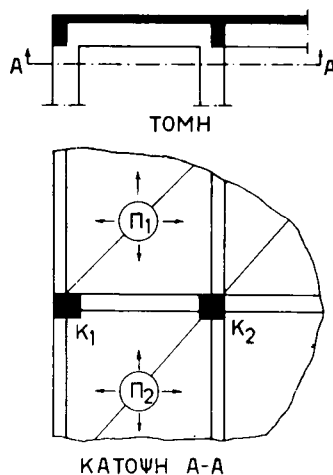
Έστω και πάλι το υποστύλωμα του παραδείγματος 1 με απλούς συνδετήρες και διατομή 25 x 30 cm. Για ορόφους ύψους το πολύ 15 x 25 = 3,75 m το μέγιστο φορτίο, που μπορεί να φέρει το υποστύλωμα αυτό, είναι 44,1 τόννοι, όπως υπολογίσθηκε προηγουμένως. Εάν το ύψος του ορόφου είναι 5,00 m, τότε $\frac{h_k}{d} = \frac{5,00}{0,25} = 20$ και $\omega = 1,08$. Πρέπει τότε να είναι το $P_i = 1,08 P \leq 44,1$ τόννοι. Το

μέγιστο φορτίο δηλαδή, που μπορεί να φέρει το υποστύλωμα, είναι μόνο $\frac{44,1}{1,08} = 40,9$ τόνοι.

Αντίστοιχα το υποστύλωμα με σπειροειδή οπλισμό, που λάβαμε υπόψη στο παράδειγμα 2, μπορεί να φέρει φορτίο 58,7 τόννων, εφ' όσον το ύψος του ορόφου δεν υπερβαίνει τα $10 D = 2,70$ m. Εάν το ύψος του ορόφου είναι 5,00 m, τότε $\frac{h_k}{D} = \frac{5,00}{0,27} = 18,5$ και $\omega = 1,40$. Το μέγιστο φορτίο επομένως, που μπορεί να φέρει το υποστύλωμα, είναι μόνο $\frac{58,7}{1,40} = 42,0$ τόνοι.

20.4 Σχεδίαση υποστυλωμάτων.

Στις κατόψεις των ξυλοτύπων παρουσιάζεται η διατομή των υποστυλωμάτων, που σχεδιάζεται υπό κλίμακα με έντονη γραμμή. Καλόν είναι η διατομή των υποστυλωμάτων να σκιαζεται ή να διαγραμμίζεται, για να τονίζεται ότι πρόκειται για τομή και όχι για προβολή, όπως συμβαίνει με τις πλάκες και τις δοκούς. Επαναλαμβάνεται ότι σε κάθε κάτοψη ξυλοτύπων σχεδιάζονται τα υποστυλώματα, που βρίσκονται κάτω, και όχι εκείνα που βρίσκονται επάνω από την κυρίως κατασκευή, που απεικονίζει το σχέδιο (σχ. 20.4α).



Σχ. 20.4α.

Σχεδίαση υποστυλωμάτων σε κάτοψη ξυλοτύπων.

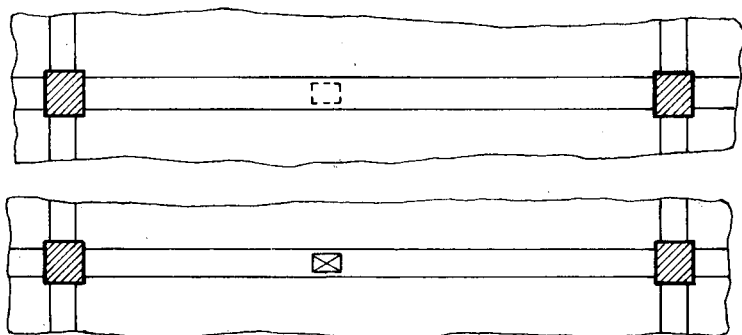
Αν ένα υποστυλώμα βρίσκεται μόνο επάνω από την κατασκευή αυτή, είναι δηλαδή φυτευτό, πρέπει πάλι να σημειώνεται. Τα φυτευτά υποστυλώματα σχεδιάζονται με διακεκομμένη ή λεπτή συνεχή γραμμή. Συνήθως εκτός από την περίμετρό τους γράφονται και δύο διαγώνιοι (σχ. 20.4β), ώστε να υπάρχει σαφής διάκριση από τα άλλα υποστυλώματα.

Τα φυτευτά υποστυλώματα πρέπει οπωσδήποτε να σχεδιάζονται, για να μη λησμονηθεί κατά την κατασκευή να τοποθετηθεί ο οπλισμός τους, που είναι απαραίτητο να ενσωματώνεται και στο στοιχείο, που φέρει το υποστυλώμα. Συνήθως, επειδή είναι δύσκολο να ενσωματωθούν τα άκρα των κυρίων ράβδων του οπλισμού, τοποθετούνται μικρά μόνο κομμάτια έτσι, ώστε να περισσεύουν έξω από το σκυρόδεμα αναμονές. Οι αναμονές αυτές (σχ. 20.4γ) είναι παρόμοιες με εκείνες, που προβλέπονται για τα συνηθισμένα πολυώροφα υποστυλώματα, όταν αυτά συνεχίζονται στον υπερκείμενο όροφο.

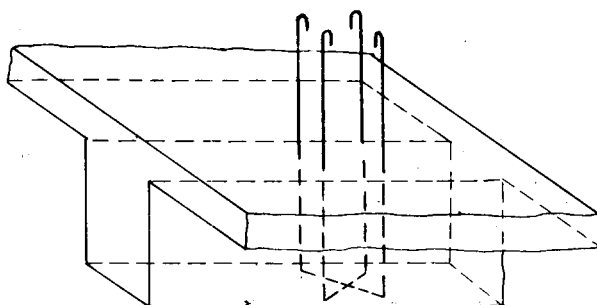
Δίπλα στη διατομή κάθε υποστυλώματος αναγράφονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με αυτό. Πρώτα γράφεται ο συμβολισμός του, που αποτελείται από το κεφαλαίο γράμμα Κ (κολώνα) και τον αύξοντα αριθμό του, π.χ. Κ₂₅. Σπανιότερα χρησιμοποιείται το γράμμα Σ (στύλος).

Μετά το συμβολισμό αναγράφονται σε εκατοστά του μέτρου οι διαστάσεις του υποστυλώματος. Αν η διατομή είναι ορθογωνική, οι διαστάσεις γράφονται υπό μορφή κλάσματος, π.χ. 25/30. Αριθμητής είναι πάντα το μήκος της πλευράς, που είναι παράλληλη ή σχεδόν παράλληλη με την άνω πλευρά του σχεδίου. Εάν η διατομή είναι κυκλική, αναγράφεται μόνο η διάμετρός της σε cm μετά από το σύμβολο $\varnothing$, π.χ. $\varnothing 30$. Για οποιοδήποτε άλλο σχήμα διατομής είναι ορθότερο να μην αναγράφονται συμβολικά οι διαστάσεις αλλά να σημειώνονται όλες στη θέση τους επάνω στο σχέδιο. Στην ανάγκη πρέπει να σχεδιάζεται σε ένα σημείο του σχεδίου μία λεπτομέρεια με τη διατομή του υποστυλώματος σε μεγαλύτερη κλίμακα, ώστε να γίνεται πιο καλά κατανοητό το σχήμα της (σχ. 20.4δ).

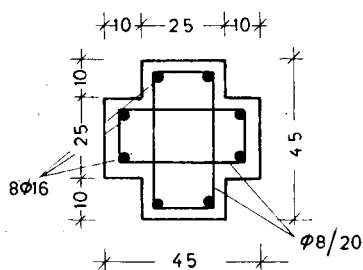
Μετά τις διαστάσεις αναγράφεται ο διαμήκης οπλισμός του υποστυλώματος. Εάν οι ράβδοι του οπλισμού αυτού είναι περισσότερες από τις κορυφές της διατομής, η θέση τους πρέπει να

**Σχ. 20.4β.**

Δύο συνηθισμένοι τρόποι για τη σήμανση φυτευτού υποστυλώματος σε σχέδιο κατόψεως ξυλοτύπων.

**Σχ. 20.4γ.**

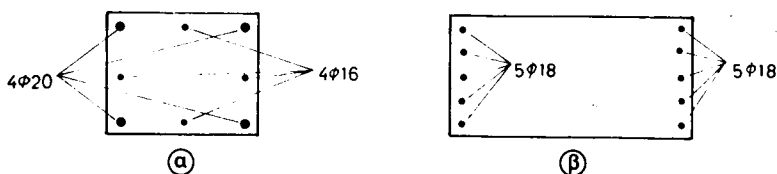
Κατά την κατασκευή της δοκού τοποθετείται ο οπλισμός αναμονής για το φυτευτό υποστύλωμα.

**Σχ. 20.4δ.**

Για υποστυλώματα με διατομή μη ορθογωνική δίνονται στην κάτοψη όλες οι διαστάσεις της διατομής τους.

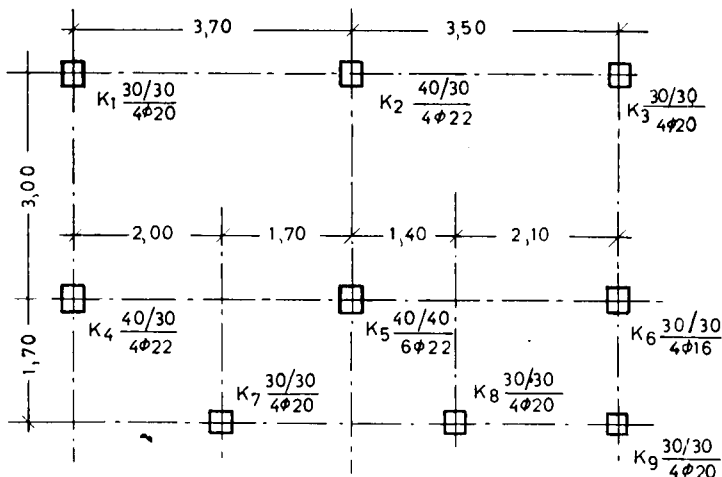
καθορίζεται στο σχέδιο, ώστε να αποφεύγονται λάθη κατά την τοποθέτησή τους (σχ. 20.4ε). Ο εγκάρσιος οπλισμός των υποστυλωμάτων δεν αναγράφεται συνήθως στο σχέδιο των ξυλοτύπων, εκτός αν είναι σπειροειδής. Πρέπει όμως να δίνονται στο σχέδιο στοιχεία και για τους συνδετήρες, ιδίως στις περιπτώσεις, που χρειάζονται και βοηθητικοί (σχ. 20.4δ).

Στα σχέδια των ξυλοτύπων πρέπει να δίνονται και όλες οι απαραίτητες διαστάσεις, ώστε να ορίζεται ακριβώς η θέση των υποστυλωμάτων. Κατά την κατασκευή ενός έργου είναι πολύ εξυπηρετικό να συντάσσονται και σχέδια ειδικά για τα υποστυλώματα. Τα σχέδια



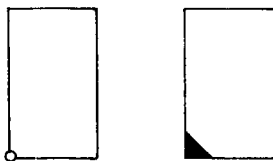
Σχ. 20.4ε.

Ο διαμήκης οπλισμός των υποστυλωμάτων πρέπει να σχεδιάζεται, όταν (α) αποτελείται από ράβδους διαφόρων διαμέτρων ή (β) δεν κατανέμεται ομοιόμορφα στις πλευρές της διατομής.



Σχ. 20.4ζ.

Σχέδιο αξόνων υποστυλωμάτων.



Σχ. 20.4η.

Δύο συνηθισμένοι τρόποι για τη σήμανση της ακμής του υποστυλώματος, που συνεχίζεται και στον από κάτω όροφο.

αυτά λέγονται σχέδια **αξόνων υποστυλωμάτων** και έχουν ως κύριο σκοπό να καθορίσουν τη θέση τους με ακρίβεια. Με την ευκαιρία αυτή περιέχουν και όλα τα άλλα στοιχεία των υποστυλωμάτων, δηλαδή συμβολισμό, διαστάσεις και οπλισμό (σχ. 20.4ζ).

Στις πολυώροφες κατασκευές οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων μεταβάλλονται κατά κανόνα από όροφο σε όροφο και ελαττώνονται προς τους ανώτερους ορόφους. Η μεταβολή της διατομής μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Συνήθως διατηρείται σταθερά σε όλο το ύψος του υποστυλώματος μία από τις ακμές του ή ορθότερα τα επίπεδα δύο εδρών του. Άλλοτε διατηρείται σταθερό το επίπεδο μόνο μίας από τις έδρες του και σπανιότερα ο άξονάς του. Το στοιχείο, που διατηρείται σταθερό, πρέπει να σημειώνεται στα σχέδια (σχ. 20.4η), επειδή έτσι διευκολύνεται η χάραξη των υποστυλωμάτων.

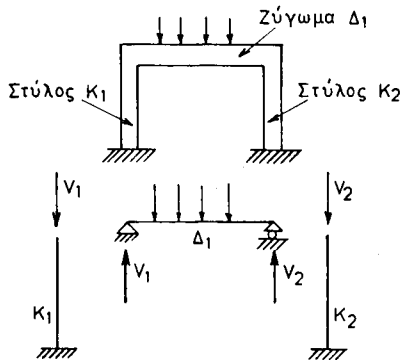
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 21

ΠΛΑΙΣΙΑ

21.1 Περιγραφή.

Τα πλαίσια είναι συνδυασμός δοκών και υποστυλωμάτων. Οι δοκοί αποτελούν τα **ζυγώματα** και τα υποστυλώματα τους **στύλους** του πλαισίου.

Ουσιαστικά κάθε κατασκευή, που περιέχει δοκούς, που στηρίζονται σε υποστυλώματα, είναι μία **πλαισιωτή κατασκευή**. Η έννοια του πλαισίου συνδέεται με το γεγονός ότι οι στηρίξεις των δοκών επάνω στα υποστυλώματα είναι πάντοτε ελαστικές πακτώσεις. Όπως αναφέρθηκε ήδη σχετικά με τις δοκούς, οι στηρίξεις αυτές στις συνηθισμένες κατασκευές επιτρέπεται να θεωρούνται απλές εδράσεις με πλήρη ελευθερία στροφής. Έτσι σχεδόν πάντοτε τα πλαίσια μπορούν να αναλυθούν σε απλές δοκούς και σε υποστυλώματα, που υπόκεινται μόνο σε κεντρική θλίψη (σχ. 21.1α).



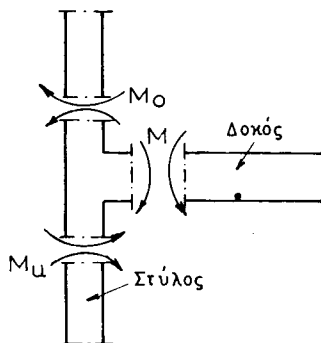
Σχ. 21.1α.

Για απλοποίηση των υπολογισμών συνήθως τα πλαίσια αναλύονται σε δοκούς και υποστυλώματα.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που η απλοποίηση αυτή δεν επιτρέπεται να γίνει, γιατί απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Η **πλαισιακή λειτουργία**, δηλαδή ο βαθμός της ελαστικής πακτώσεως, γίνεται εντονότερος, όσο τα ανοίγματα των δοκών είναι μεγαλύτερα σε σύγκριση προς το ύψος των υποστυλωμάτων. Οι κανονισμοί δεν θέτουν σαφή όρια, αλλά, όταν τα ανοίγματα των δοκών υπερβαίνουν το διπλάσιο του ύψους των υποστυλωμάτων, είναι ορθό να υπολογίζεται όλο το σύστημα ως πλαίσιο.

Όταν τα ανοίγματα δεν είναι τόσο μεγάλα, υπερβαίνουν όμως τα 4 έως 5 m, επιτρέπεται να εφαρμοσθεί μία μέση λύση. Όλες οι ενδιάμεσες στηρίξεις θεωρούνται απλές εδράσεις και μόνον οι ακραίες θεωρούνται ελαστικές πακτώσεις. Οι ροπές κάμψης των δοκών στις ακραίες στηρίξεις δεν λαμβάνονται πια ίσες προς μηδέν, αλλά υπολογίζονται κατά προσέγγιση με ένα οποιοδήποτε απλό τρόπο. Βρίσκεται έτσι μία ροπή M για το άκρο της δοκού, μία ροπή M_o για το άνω υποστύλωμα, εάν βέβαια υπάρχει, και μία ροπή M_u για το κάτω υποστύλωμα. Οι ροπές αυτές λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της δοκού και των υποστυλωμάτων (σχ. 21.1β).

Τα πλαίσια γενικά είναι **επίπεδα** ή **στερεά**. Ένα πλαίσιο λέγεται επίπεδο, όταν οι άξονες όλων των δοκών και υποστυλωμάτων, που το αποτελούν βρίσκονται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο. Κατά κανόνα στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ο όρος αυτός δεν ισχύει και επομένως τα πλαίσια είναι στερεά, αποτελούν δηλαδή



Σχ. 21.1β.

Ροπές δοκού και υποστυλωμάτων στην ακραία στήριξη συνεχούς δοκού.

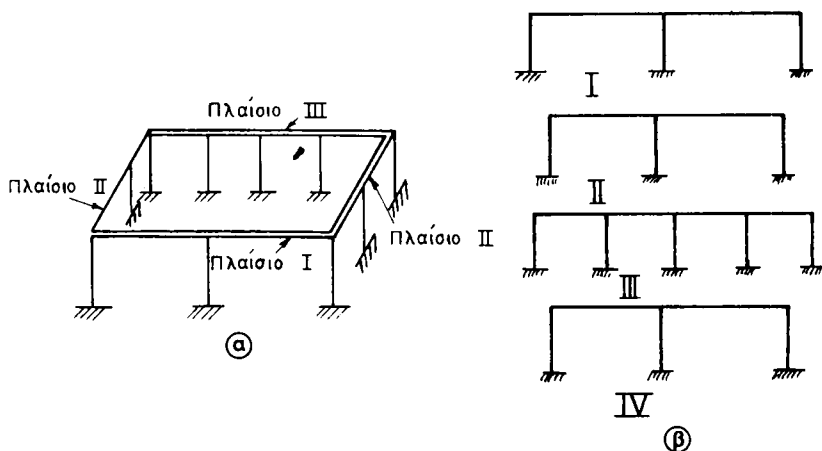
φορείς στο χώρο [σχ. 21.1γ (α)]. Σχεδόν πάντοτε όμως οι φορείς αυτοί επιτρέπεται να αναλύονται σε επίπεδα πλαίσια, για να απλοποιούνται οι υπολογισμοί [σχ. 21.1γ (β)].

Τα πλαίσια διαιρούνται επίσης σε **μονώροφα** και **πολυώροφα**. Μονώροφο λέγεται ένα πλαίσιο, όταν όλα του τα υποστυλώματα είναι μονώροφα, και πολυώροφο στην αντίθετη περίπτωση (σχ. 21.1δ). Τα πολυώροφα πλαίσια επιτρέπεται να αναλύονται και αυτά συνήθως σε περισσότερα από ένα μονώροφα πλαίσια, επειδή ο υπολογισμός των πολυωρόφων είναι επίπονος, ενώ οι διαφορές των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν, δεν είναι αξιόλογες.

Μία ακόμη διαίρεση των πλαισίων αναφέρεται στον αριθμό των στύλων. Έτσι υπάρχουν πλαίσια **δίστυλα** και **πολύστυλα** (σχ. 21.1ε).

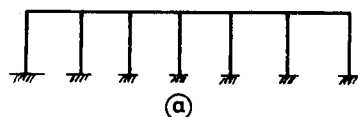
Οι άξονες των διαφόρων στοιχείων, που αποτελούν κάθε πλαίσιο, σχηματίζουν μία γραμμή επίπεδη ή στερεά. Το σχήμα της αξονικής αυτής γραμμής μπορεί να παρουσιάζει εξαιρετική ποικιλία. Ως παραδείγματα στο σχήμα 21.1ζ δίνονται λίγα τυπικά σχήματα μόνο για την απλούστερη περίπτωση, δηλαδή για πλαίσια επίπεδα, μονώροφα και δίστυλα. Προφανώς πολύ μεγαλύτερη ποικιλία παρουσιάζεται στα πολύστυλα, πολυώροφα ή στερεά πλαίσια.

Η αξονική γραμμή των πλαισίων είναι κατά κανόνα τεθλασμένη και σπανιότερα μικτή. Όταν είναι καμπύλη, τα πλαίσια ονομάζονται

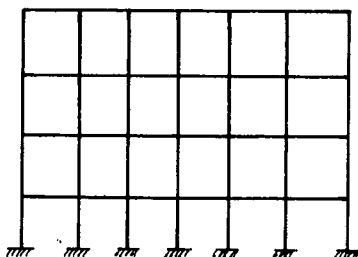


Σχ. 21.1γ.

Για απλοποίηση των υπολογισμών συνήθως τα στερεά πλαίσια (α) αναλύονται σε περισσότερα επίπεδα πλαίσια (β).



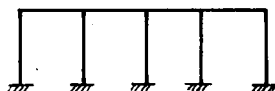
α



β



α



β

Σχ. 21.1ε.

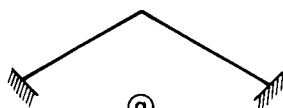
Πλαίσια από οπλισμένο
σκυρόδεμα: α) Δίστυλο.

β) Πολύστυλο.

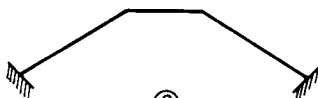
Σχ. 21.1δ.

Πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα:

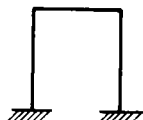
α) Μονώροφο. β) Πολυώροφο.



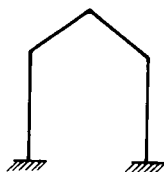
α



β



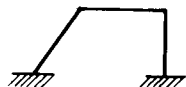
γ



δ



ε



ζ

Σχ. 21.1ζ.

Συνηθισμένες μορφές για δίστυλα πλαίσια.

και τόξα, όπως π.χ. το πλαίσιο (ε) του σχήματος 21.1ζ.

Κάθε πλαίσιο στηρίζεται σε ένα δύο ή περισσότερα σημεία επάνω στο έδαφος ή επάνω σε άλλη κατασκευή. Οι στηρίξεις είναι και αυτές γενικά ελαστικές πακτώσεις, αλλά εξιδανικεύονται κατάλληλα σε κάθε περίπτωση, για να απλοποιούνται οι υπολογισμοί. Έτσι οι στηρίξεις των πλαισίων θεωρούνται ότι ανήκουν σε μία από τις πιο κάτω τρεις απλές περιπτώσεις:

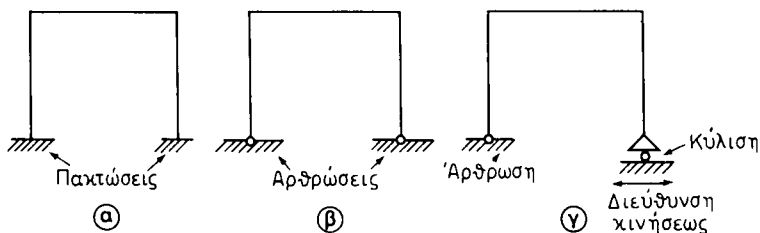
α) Πακτώσεις χωρίς καμιά ελευθερία κινήσεως.

β) Αρθρώσεις με πλήρη ελευθερία στροφής, αλλά χωρίς ελευθερία μετακινήσεως.

γ) Κυλίσεις με πλήρη ελευθερία στροφής και ελευθερία μετακινήσεως κατά μία μόνο διεύθυνση (σχ. 21.1η).

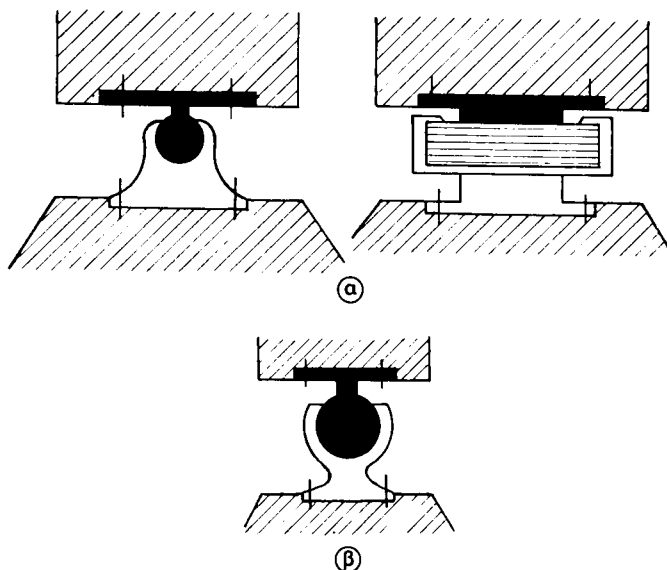
Αυτά ισχύουν για τα επίπεδα πλαίσια. Στα στερεά η ποικιλία των στηρίξεων είναι λίγο μεγαλύτερη.

Η κατάταξη κάθε στηρίξεως στην κατάλληλη κατηγορία είναι μία εργασία πολύ λεπτή και πρέπει να γίνεται υπεύθυνα από διπλωματούχο μηχανικό. Όμως μερικές φορές υπάρχουν σημαντικές ασάφειες και για να περιορισθούν οι ασάφειες αυτές, διαμορφώνονται



Σχ. 21.1η.

Περιπτώσεις στηρίξεων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 21.1θ.

Πραγματικές αρθρώσεις στην στήριξη πλαισίου από οπλισμένο σκυρόδεμα:

α) Κυλινδρική. β) Σφαιρική.

στις στηρίξεις αρθρώσεις πραγματικές. Η κατασκευή των αρθρώσεων παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες και αρκετά λειτουργικά μειονεκτήματα, γι' αυτό και εφαρμόζεται μάλλον σπάνια (σχ. 21.1θ).

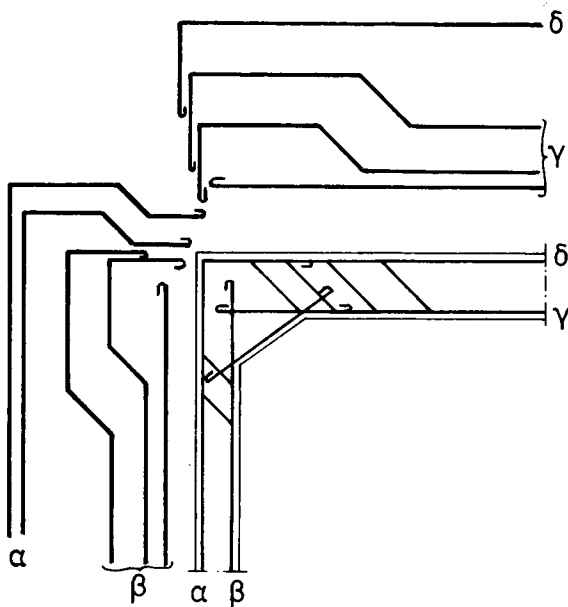
21.2 Κανονισμοί.

Α. Σχήμα και διάταξη οπλισμού.

Δεν υπάρχουν ιδιαίτεροι κανονισμοί για τα πλαίσια. Για τα ζυγώματά τους ισχύουν, όσα και για τις απλές δοκούς, ενώ για τους στύλους τους εφαρμόζονται οι κανονισμοί των απλών υποστυλωμάτων. Η μόνη διαφορά είναι ότι οι κανονισμοί απαγορεύουν να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα κατηγορίας B 120 για την κατασκευή πλαισίων.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη διάταξη και στην διαμόρφωση του οπλισμού, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα διάφορα μέλη του πλαισίου συνδέονται άκαμπτα μεταξύ τους.

Για το σκοπό αυτό ο οπλισμός κάθε μέλους πρέπει να συνεχίζεται επί αρκετό μήκος μέσα στα γειτονικά του μέλη (σχ. 21.2α).



Σχ. 21.2α.

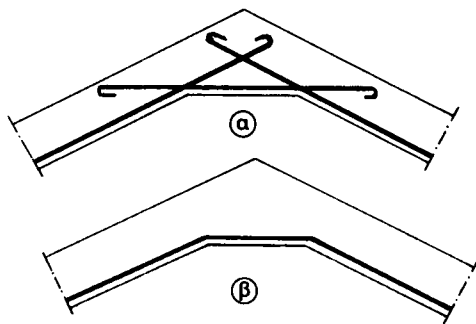
Διάταξη οπλισμού στη γωνία πλαισίου.

Είναι ακόμη σκόπιμο να δημιουργούνται στις εισέχουσες γωνίες ενισχύσεις, έστω και εάν προκύπτει από τον υπολογισμό ότι δεν είναι απαραίτητες (σχ. 21.2α). Η ανάγκη των ενισχύσεων είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο οξύτερη είναι η γωνία που σχηματίζεται. Στην ενίσχυση πρέπει πάντοτε να τοποθετείται οπλισμός, είτε αυτός λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό, είτε όχι. Οι ράβδοι του οπλισμού στις εισέχουσες γωνίες δεν πρέπει να ακολουθούν το σχήμα του πλαισίου, αλλά να προεκτείνονται ευθύγραμμες στο εσωτερικό του πλαισίου και να κάμπτονται κοντά στην απέναντι έδρα του (σχ. 21.2β), είτε υπάρχουν ενισχύσεις, είτε όχι.

Σχετικά με τις ενισχύσεις πρέπει να τονισθεί ότι οι υπολογισμοί των πλαισίων γίνονται με την παραδοχή ότι οι εγκάρσιες διαστάσεις των μελών τους είναι εντελώς ασημαντες. Στην πραγματικότητα αυτό δεν συμβαίνει, αντίθετα μάλιστα οι διαστάσεις αυτές κάποτε είναι μεγάλες και υπερβαίνουν ακόμη και το ένα μέτρο. Δημιουργείται λοιπόν μία κατάσταση, η οποία διαφέρει αρκετά από εκείνη, που δίνει ο υπολογισμός. Μία από τις κυριότερες διαφορές είναι ότι οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα στις περιοχές, όπου σχηματίζονται γωνίες, και γενικά, όπου υπάρχουν απότομες αλλαγές, στη μορφή της επιφάνειας του πλαισίου. Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο οι ενισχύσεις στις εισέχουσες γωνίες των πλαισίων πρέπει να θεωρούνται απαραίτητες. Εάν λόγοι λειτουργικοί ή αισθητικοί τις αποκλείουν απολύτως, πρέπει τουλάχιστον να στρογγυλεύονται οι εισέχουσες γωνίες με μία καμπύλη συναρμογής, της οποίας η ακτίνα να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη (σχ. 21.2γ).

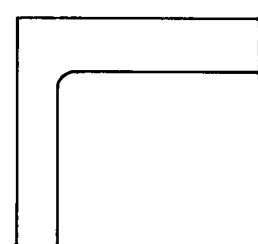
B. Επιτρεπόμενες τάσεις.

Στα πλαίσια ο υπολογισμός γίνεται, όπως εξηγείται στη συνέχεια, όχι μόνο σε κάμψη, αλλά συγχρόνως σε κάμψη και σε αξονική δύναμη. Για το λόγο αυτό επιτρέπεται οι τάσεις να είναι λίγο μεγαλύτερες από τις επιτρεπόμενες σε απλές δοκούς. Οι κανονισμοί επιτρέπουν, ώστε η μέγιστη θλιπτική τάση σ_b του σκυροδέματος να φθάνει τα 70 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 160, τα 90 kg/cm^2 για το B 225 και τα 110 kg/cm^2 για το B 300. Όταν λαμβάνεται υπόψη συνεργασία πλάκας, όταν δηλαδή ένα στοιχείο του πλαισίου υπολογίζεται ως πλακοδοκός, τα όρια αυτά μικραίνουν κατά 10 kg/cm^2 . Αντίθετα, όταν λαμβάνεται υπόψη ροπή κάμψεως και κατά την εγκάρσια έννοια της δοκού ή του στύλου, τα επιτρεπόμενα όρια για την τάση σ_b αυξάνουν κατά 10 kg/cm^2 . Πάντως σε οποιαδήποτε περίπτωση η σ_b δεν επιτρέπεται να υπερβεί τα 100 kg/cm^2 , εάν χρησιμοποιείται χάλυβας κατηγορίας I.



Σχ. 21.2β.

Τοποθέτηση οπλισμού σε εισέχουσα γωνία πλαισίου: α) Ορθή. β) Λανθασμένη.



Σχ. 21.2γ.

Όταν αποκλείεται η κατασκευή ενισχύσεως, πρέπει τουλάχιστον να στρογγυλεύονται οι εισέχουσες γωνίες των πλαισίων.

Για τις τάσεις του οπλισμού ισχύουν τα ίδια όρια, όπως και για τις απλές δοκούς. Η εφελκυστική τάση σ_s του οπλισμού δεν επιτρέπεται να υπερβεί τα 1.400 kg/cm^2 για χάλυβα κατηγορίας I, τα 1.800 kg/cm^2 για χάλυβα κατηγορίας II και τα 2.000 kg/cm^2 για χάλυβα κατηγορίας III ή IV. Οι δύο τελευταίες κατηγορίες χάλυβα δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται, όταν το πλαίσιο κατασκευάζεται από σκυρόδεμα Β 160.

Για τις τάσεις διατμήσεως και στρέψεως ισχύουν τα ίδια όρια, όπως και για τις απλές δοκούς.

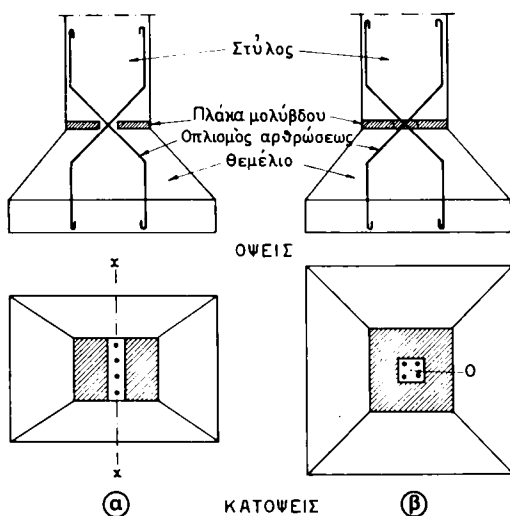
Γ. Αρθρώσεις.

Πολύ σπάνια σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα δημιουργούνται πραγματικές αρθρώσεις. Στην περίπτωση αυτή τα δύο μέλη, που βρίσκονται από τις δύο πλευρές της αρθρώσεως, απολή-

γουν σε πέλματα από χυτοχάλυβα, με τα οποία συνδέεται με ηλεκτροσυγκόλληση ο οπλισμός τους. Τα πέλματα αυτά έχουν το κατάλληλο σχήμα (σχ. 21.1θ), ώστε να επιτυγχάνεται κυλινδρική ή σφαιρική άρθρωση.

Πολύ πιο συνηθισμένες είναι οι αρθρώσεις, στις οποίες δεν διακόπτεται τελείως η κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στις αρθρώσεις αυτές τα δύο μέλη χωρίζονται με αρμό, ο οποίος γεμίζεται με ένα φύλλο μολύβδου ή με άλλο κατάλληλο υλικό. Το υλικό αυτό πρέπει να είναι μαλακό, για να επιτρέπει κάποια στροφή, αλλά να είναι και σε θέση να αντέξει στο βάρος του σκυροδέματος, το οποίο βρίσκεται από επάνω του κατά τη διάστρωσή του.

Ο αρμός δεν διακόπτει τελείως τη συνέχεια των δύο μελών της κατασκευής. Στο μέσο της διατομής τα δύο μέλη συνδέονται σε μια μικρή περιοχή (σχ. 21.2δ). Στην περίπτωση (α) η άρθρωση είναι κυλινδρική, επιτρέπει δηλαδή κάποια στροφή γύρω από τον άξονα $x - x$. Στην περίπτωση (β) η άρθρωση είναι σφαιρική, επιτρέπει δηλαδή στροφή γύρω από οποιονδήποτε άξονα, ο οποίος περνά από το κέντρο O της αρθρώσεως.



Σχ. 21.2δ.

Συνηθισμένος τρόπος για την κατασκευή αρθρώσεως σε πλαίσια από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Άρθρωση κυλινδρική. β) Άρθρωση σφαιρική.

Από τη μικρή περιοχή, η οποία συνδέει τα δύο μέλη της κατασκευής, περνάει ο οπλισμός της αρθρώσεως. Ο οπλισμός πρέπει να είναι αρκετός, ώστε να μπορεί να παραλάβει μόνος του την αξονική και την τέμνουσα δύναμη, που υπάρχουν στη θέση της αρθρώσεως. Όπως είναι γνωστό, όπου υπάρχει άρθρωση, μηδενίζεται η ροπή κάμψεως, όχι όμως και οι αξονικές και οι τέμνουσες δυνάμεις. Το σκυρόδεμα στη θέση αυτή χρησιμεύει μόνο, για να επικαλύπτει και να προστατεύει τον οπλισμό. Οι διαστάσεις μάλιστα του τμήματος αυτού της κατασκευής καθορίζονται από τις απαιτήσεις επικαλύψεως του οπλισμού.

21.3 Υπολογισμός.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι, για να υπολογισθούν τα στατικά μεγέθη, που αναπτύσσονται στις διατομές των μελών κάθε πλαισίου. Η ανάπτυξη των μεθόδων αυτών ξεφεύγει από το αντικείμενο του βιβλίου της Γενικής Δομικής. Υπάρχουν επίσης διάφορα βοηθήματα, όπως π.χ. τα βιβλία του Kleinlogel: *Rahmen Formeln* και *Mehrstilige Rahmen*, τα οποία δίνουν τύπους, με τους οποίους υπολογίζονται εύκολα τα στατικά αυτά μεγέθη για τα πιο συνηθισμένα σχήματα πλαισίων.

Τα στατικά μεγέθη δεν αρκεί να υπολογίζονται για μία μόνο περίπτωση φορτίσεως. Αντίθετα πρέπει να εξετάζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί φορτίσεων και να βρίσκονται για κάθε διατομή οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των στατικών μεγεθών, που είναι δυνατόν να παρουσιασθούν. Κάθε συνδυασμός φορτίσεων περιλαμβάνει οπωσδήποτε τα μόνιμα φορτία και μέρος ή όλα από τα υπολοίπα φορτία. Στα φορτία, που δεν είναι μόνιμα, δεν ανήκουν μόνον τα ωφέλιμα φορτία της κατασκευής, κατακόρυφα ή όχι, αλλά και ο άνεμος, το χιόνι, ο σεισμός, η μεταβολή της θερμοκρασίας, η συστολή του σκυροδέματος κατά την πήξη κοκ.

Αφού βρεθούν οι διάφοροι δυσμενείς συνδυασμοί των στατικών μεγεθών για κάθε διατομή, επακολουθεί ο έλεγχός της, για να εξακριβωθεί αν οι τάσεις του σκυροδέματος, που αναπτύσσονται σε αυτήν, είναι πάντοτε ανεκτές και για να υπολογισθεί πόσος οπλισμός χρειάζεται. Κατά τον έλεγχο αυτόν εφαρμόζονται γενικά οι μέθοδοι, που αναπτύχθηκαν για τις δοκούς και τα υποστυλώματα.

Η κυριότερη διαφορά είναι ότι στις διατομές των πλαισίων παρουσιάζονται συγχρόνως ροπές κάμψεως και αξονικές διατομές.

Στην πραγματικότητα το ίδιο φαινόμενο παρουσιάζεται και στις απλές δοκούς, η αξονική όμως δύναμη είναι τόσο μικρή, ώστε δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη. Στα απλά υποστυλώματα επίσης υπάρχει πάντοτε και μία ροπή κάμψεως, αλλά και αυτή είναι κατά κανόνα πολύ μικρή και δεν λαμβάνεται υπόψη. Στον υπολογισμό των πλαισίων δεν επιτρέπεται να γίνονται αυτές οι απλοποιήσεις και ο έλεγχος των διατομών εκτελείται συγχρόνως για ροπή κάμψεως και αξονική δύναμη. Πάντοτε βέβαια στα ζυγώματα κυριαρχεί η ροπή κάμψεως και στους στύλους η αξονική δύναμη, γι' αυτό και ο υπολογισμός διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις, μία για τα ζυγώματα και μία για τους στύλους.

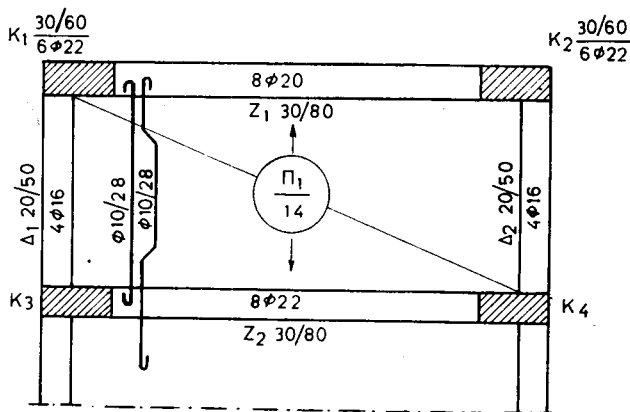
Τα ζυγώματα και οι στύλοι των πλαισίων υπολογίζονται και σε διάτμηση. Υπολογίζονται επίσης σε στρέψη, εάν στις διατομές τους αναπτύσσονται σημαντικές ροπές στρέψεως. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται ακριβώς, όπως και στην περίπτωση των απλών δοκών.

21.4 Σχεδίαση πλαισίων.

Στις κατόψεις των ξυλοτύπων τα μεν ζυγώματα των πλαισίων σχεδιάζονται, όπως οι απλές δοκοί, οι δε στύλοι τους, όπως τα απλά υποστυλώματα. Συνήθως για το συμβολισμό των ζυγωμάτων χρησιμοποιείται πάλι το γράμμα Δ' και των στύλων το γράμμα Κ. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και άλλα γράμματα π.χ. Ζ από τη λέξη ζύγωμα, για να γίνεται διάκριση από τις απλές δοκούς και τα απλά υποστυλώματα και να τονίζεται ότι έγινε υπολογισμός της κατασκευής ως πλαισίου (σχ. 21.4α).

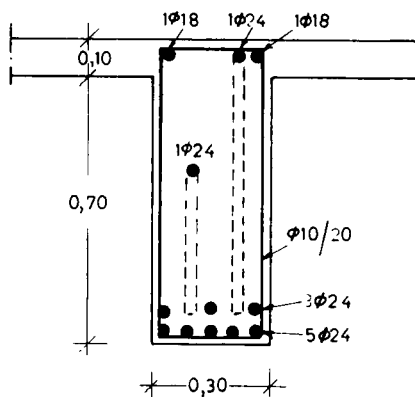
Είναι χρήσιμο εκτός από την κάτοψη να σχεδιάζεται πάντοτε και μία όψη του πλαισίου, στην οποία να φαίνεται και η διάταξη του οπλισμού. Επίσης χρήσιμες είναι και μερικές τομές σε χαρακτηριστικές θέσεις. Οι τομές αυτές πρέπει να γίνονται σε μεγαλύτερη κλίμακα, π.χ. 1:20 ή 1:10, να σχεδιάζεται σε αυτές η ακριβής θέση κάθε μιας ράβδου του οπλισμού και να αναγράφονται οι διαστάσεις της διατομής και οι διάμετροι των ράβδων (σχ. 21.4β).

Τέλος οι κανονισμοί απαιτούν να σχεδιάζεται οπωσδήποτε και το ανάπτυγμα του οπλισμού. Το ανάπτυγμα του οπλισμού κατα-



Σχ. 21.4α.

Σχεδίαση πλαισίων σε κάτοψη ξυλοτύπων.



ΔΙΑΤΟΜΗ Γ-Γ

Σχ. 21.4β.

Τομή πλαισίου σε χαρακτηριστική θέση, που σχεδιάζεται ως λεπτομέρεια δίπλα στην κάτοψη των ξυλοτύπων ή στην όψη του πλαισίου.

σκευάζεται όπως και στις απλές δοκούς, περιλαμβάνει όμως και τον οπλισμό των στύλων εκτός από τον οπλισμό των ζυγωμάτων. Στο ανάπτυγμα του οπλισμού πρέπει να φαίνεται πώς και πόσο εισδύει ο οπλισμός κάθε μέλους του πλαισίου στα γειτονικά του μέλη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 22

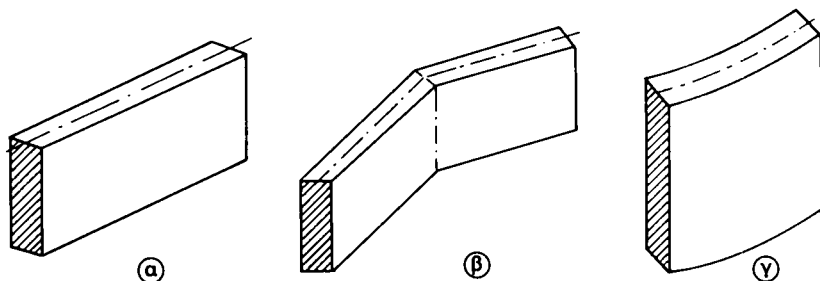
ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

22.1 Περιγραφή.

Τοιχώματα λέγονται όλα τα κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα στοιχεία μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία έχουν τη μία οριζόντια τους διάσταση πολύ μικρή σε σύγκριση προς την άλλη.

Τα τοιχώματα μπορούν να είναι **επίπεδα**, **τεθλασμένα** ή **καμπύλα**, μπορεί δηλαδή η μέση γραμμή της κατόψεώς τους να είναι ευθεία, τεθλασμένη ή καμπύλη (σχ. 22.1α). Το πάχος τους, η μικρή δηλαδή οριζόντια διάσταση, είναι συνήθως σταθερό σε όλη τους την έκταση, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, κατά τις οποίες μεταβάλλεται από τη μία θέση στην άλλη (σχ. 22.1β).

Ένα τοίχωμα μπορεί να είναι **μονώροφο** ή **πολυώροφο**. Μονώροφο λέγεται, όταν συνδέεται με οριζόντια στοιχεία της κατασκευής μόνο στο κατώτερο μέρος του ή στο ανώτερο και στο κατώτερο. Όταν υπάρχει σύνδεση με οριζόντια στοιχεία της κατασκευής και

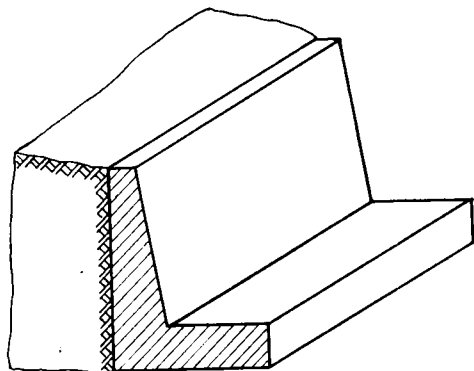


Σχ. 22.1α.

Τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Επίπεδο. β) Τεθλασμένο. γ) Καμπύλο.

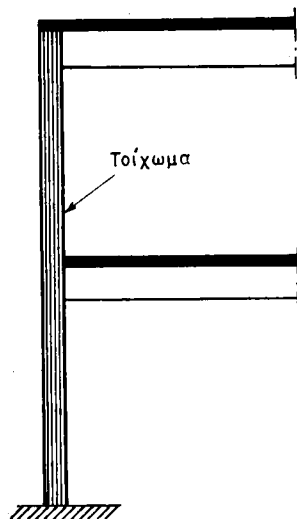
σε θέσεις ενδιάμεσες, το τοίχωμα λέγεται πολυώροφο (σχ. 22.1γ).

Τα τοιχώματα εδράζονται κατά κανόνα σε κάποιο στοιχείο της θεμελιώσεως του έργου. Το στοιχείο αυτό μπορεί να είναι ένα μεμονωμένο επίμηκες πέδιλο, ένα τμήμα μερικής ή γενικής κοιτοστρώσεως, μία πασσαλοεσχάρα κ.ο.κ. (σχ. 22.1δ).



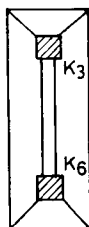
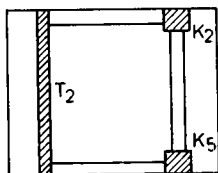
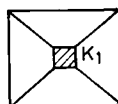
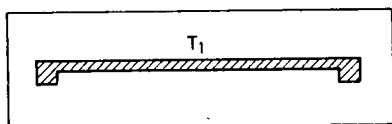
Σχ. 22.1β.

Παράδειγμα τοιχώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα με μεταβλητό πάχος.



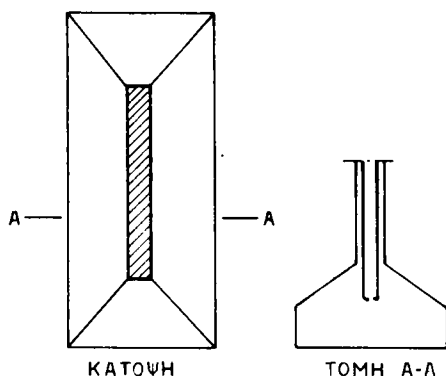
Σχ. 22.1γ.

Πολυώροφο τοίχωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 22.1δ.

Παράδειγμα θεμελιώσεως τοιχωμάτων σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, δηλαδή σε μεμονωμένο πέδιλο (T_1) ή μερική κοιτόστρωση (T_2).

**Σχ. 22.1ε.**

Θεμελίωση τοιχώματος σε πέδιλο από άοπλο σκυρόδεμα.

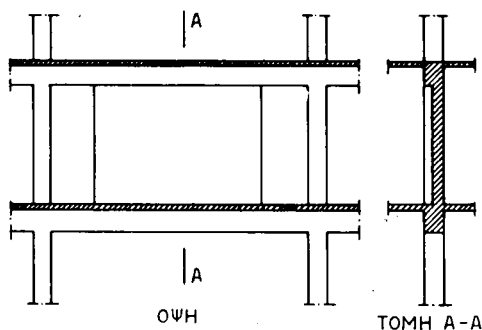
Σπανιότερα η θεμελίωση τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζεται από διαφορετικό υλικό, δηλαδή από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, απλό σκυρόδεμα κλπ. (σχ. 22.1ε).

Υπάρχουν περιπτώσεις, κατά τις οποίες τα τοιχώματα δεν επεκτείνονται έως τα θεμέλια του έργου, αλλά εδράζονται σε στοιχεία της ανωδομής. Τα στοιχεία αυτά είναι τοίχοι από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, δοκοί ή πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις τα τοιχώματα λέγονται **φυτευτά** (σχ. 22.1ζ).

Τα τοιχώματα μπορούν να χωρισθούν στις πιο κάτω τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το ρόλο, που παίζουν στην κατασκευή:

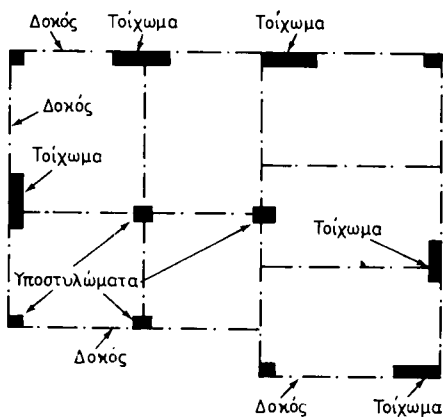
α) Τοιχώματα, που φορτίζονται έμμεσα, που δέχονται δηλαδή τα κυριότερα φορτία τους από τα οριζόντια στοιχεία της κατασκευής. Τα φορτία είναι τότε κατά κύριο λόγο κατακόρυφα και εφαρμόζονται στα σημεία, όπου τα οριζόντια στοιχεία στηρίζονται επάνω στα τοιχώματα. Τα τοιχώματα αυτής της κατηγορίας μπορούν να θεωρηθούν ότι παίζουν ρόλο υποστυλωμάτων. Η μόνη διαφορά είναι ότι η μία διάσταση της διατομής τους είναι πολύ μεγάλη. Τέτοια τοιχώματα κατασκευάζονται πολύ συχνά στις αντισεισμικές κατασκευές, οπότε λέγονται και τοιχώματα **ακαμψίας** (σχ. 22.1η).

β) Τοιχώματα, που φορτίζονται άμεσα σε όλη τους την έκταση. Τα φορτία στην περίπτωση αυτή είναι κατά κύριο λόγο οριζόντια. Είναι δυνατόν λοιπόν να θεωρηθεί ότι τα τοιχώματα αυτά παίζουν το ρόλο πλακών ή γενικότερα κελυφών, που έχουν στραφεί κατά



Σχ. 22.1ζ.

Φυτευτό τοίχωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

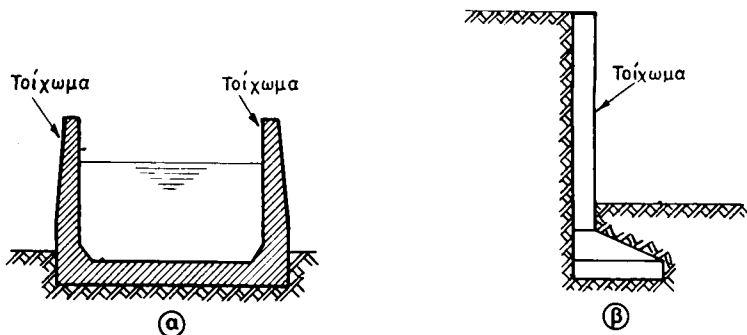


Σχ. 22.1η.

Τοιχώματα ακαμψίας στην κάτοψη ενός κτηρίου.

90° περίπου. Έτσι το ρόλο της κατακόρυφης διευσθύνσεως τον παίξει η οριζόντια και αντίστροφα. Τέτοια τοιχώματα συναντάμε στις δεξαμενές διαφόρων υγρών, υπέργειες ή υπόγειες στους σιρούς (σιλό), στην περίμετρο υπογείων χώρων, όπου τα τοιχώματα λειτουργούν ως τοίχοι αντιστηρίξεως, κ.ο.κ. (σχ. 22.1θ).

γ) Τοιχώματα, που δεν φέρουν κανένα αξιόλογο φορτίο εκτός από το βάρος τους. Τα τοιχώματα αυτά χρησιμεύουν απλώς, για να χωρίζουν δύο χώρους τον ένα από τον άλλον.



Σχ. 22.19.

Τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, που φορτίζονται σε όλη τους την επιφάνεια ως πλάκες: α) Τοιχώματα δεξαμενής. β) Τοίχος αντιστηρίξεως.

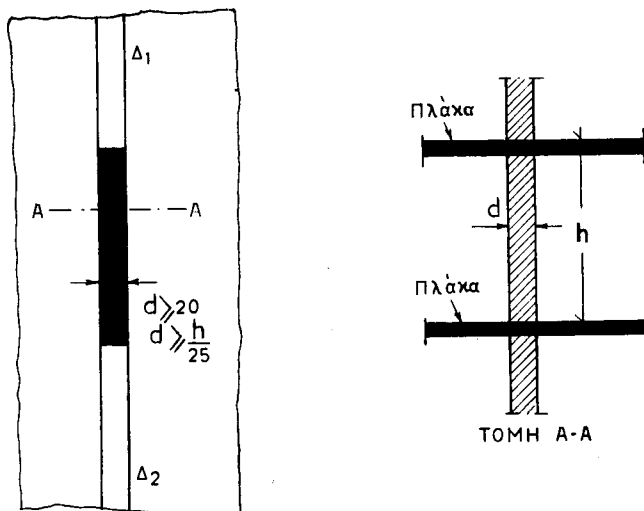
22.2 Κανονισμοί.

Α. Διαστάσεις.

Οι κανονισμοί δεν καθορίζουν ελάχιστα όρια για το πάχος των τοιχωμάτων γενικά. Όταν ένα τοίχωμα λειτουργεί ως πλάκα, πρέπει να ισχύουν για το πάχος του οι περιορισμοί, που ισχύουν για τις πλάκες. Όταν λειτουργεί ως υποστυλώμα πρέπει πάλι να υπάρχει μία ανεκτή σχέση ύψους και πάχους, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος λυγισμού, που στην περίπτωση των τοιχωμάτων λέγεται **ύβωση**. (Η λέξη προέρχεται από το ύβος = καμπούρα και σημαίνει κύρτωση). Η τιμή του λόγου ύψους προς πάχος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40, όπως αναφέρθηκε και για τα υποστυλώματα.

Επίσης λόγοι κατασκευαστικοί δεν επιτρέπουν να δίνονται στα τοιχώματα πάχη μικρότερα από 6 έως 7 cm. Ο περιορισμός αυτός ισχύει για τα τοιχώματα όλων των κατηγοριών.

Ο αντισεισμικός κανονισμός απαιτεί για τα τοιχώματα ακαμψίας πάχος 15 cm τουλάχιστον και μάλιστα με την προϋπόθεση ότι στα δύο άκρα τους υπάρχουν υποστυλώματα. Όταν υπάρχουν τα υποστυλώματα αυτά, το πάχος των τοιχωμάτων ακαμψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 cm και όχι λιγότερο από το 1/25 του ύψους του ορόφου. Οι ίδιοι περιορισμοί ισχύουν για όλα τα τοιχώματα που παίζουν ρόλο υποστυλωμάτων, έστω και εάν δεν προβλέπεται ότι θα φορτισθούν από σεισμικές δυνάμεις (σχ. 22.2α).



Σχ. 22.2α.

Ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος για τοιχώματα, που παίζουν ρόλο υποστυλωμάτων.

Για τις μέγιστες διαστάσεις των τοιχωμάτων δεν υπάρχει κανένας περιορισμός. Πράγματι σε τοίχους αντιστηρίξεως, βάθρα γεφυρών και παρόμοιες κατασκευές το πάχος των τοιχωμάτων μπορεί να είναι και ολόκληρα μέτρα.

Β. Οπλισμός.

Τα τοιχώματα της πρώτης κατηγορίας, εκείνα δηλαδή που φορτίζονται έμμεσα, πρέπει να έχουν οπλισμό κατακόρυφο και οριζόντιο, όπως και τα υποστυλώματα. Ο κατακόρυφος οπλισμός πρέπει συνεπώς να έχει διατομή τουλάχιστον ίση προς τα 8 χιλιοστά της διατομής ενός ιδεατού υποστυλώματος, το οποίο θα ήταν ικανό να αναλάβει τα κατακόρυφα φορτία του τοιχώματος. Επειδή συνήθως η διατομή του ιδεατού αυτού υποστυλώματος είναι πολύ μικρή σε σύγκριση προς τη διατομή του τοιχώματος, ο οπλισμός, ο οποίος προκύπτει με αυτόν τον τρόπο, είναι πολύ λίγο. Ο κατακόρυφος οπλισμός πρέπει να έχει διατομή τουλάχιστον ίση με τα 2 χιλιοστά της διατομής του τοιχώματος. Σε ένα τοίχωμα π.χ. με μήκος 4,00 m και πάχος 20 cm, που έχει διατομή $400 \times 20 = 8.000 \text{ cm}^2$, ο κατα-

κόρυφος οπλισμός πρέπει να είναι τουλάχιστον $0,002 \times 8.000 = 16 \text{ cm}^2$, δηλαδή $32 \varnothing 8$.

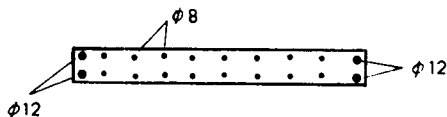
Ο οπλισμός των τοιχωμάτων πρέπει να κατανέμεται σε όλες τις έδρες τους. Ιδιαίτερα είναι σκόπιμο να προβλέπονται ράβδοι με διάμετρο κάπως μεγαλύτερη κοντά στις ακμές και στις στενές έδρες (σχ. 22.2β).

Εννοείται ότι για τα τοιχώματα ισχύουν και οι περιορισμοί, που αναφέρθηκαν για τα υποστυλώματα, σχετικά με το μέγιστο ποσοστό οπλισμού, παρόλο ότι είναι εντελώς απίθανο να υπάρχει τόσοσ πολύς οπλισμός σε ένα τοίχωμα.

Επειδή στην Ελλάδα όλες οι κατασκευές πρέπει υποχρεωτικά να είναι αντισεισμικές, όλα τα τοιχώματα, που φορτίζονται έμμεσα, πρέπει να θεωρούνται ως αντισεισμικά τοιχώματα ακαμψίας. Ο αντισεισμικός κανονισμός για τα τοιχώματα αυτά καθορίζει ως ελάχιστο κατακόρυφο οπλισμό μία ράβδο διαμέτρου 8 mm ανά 25 cm σε κάθε από τις δύο όψεις του τοιχώματος. Κατά μήκος κάθε κατακόρυφης ακμής του απαιτεί να υπάρχει μία ράβδος διαμέτρου τουλάχιστον 12 mm (σχ. 22.2γ).

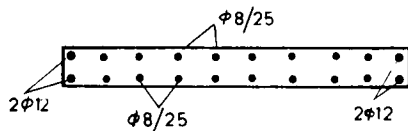
Ο οριζόντιος οπλισμός των τοιχωμάτων αυτής της κατηγορίας αντιστοιχεί με τους συνδετήρες των υποστυλωμάτων και τοποθετείται έξω από τον κατακόρυφο οπλισμό. Ο αντισεισμικός κανονισμός καθορίζει ως ελάχιστο όριο και για τον οπλισμό αυτό μία ράβδο των 8 mm κάθε 25 cm σε κάθε από τις δύο όψεις του τοιχώματος. Επίσης ορίζει ότι οι δύο σχάρες, που σχηματίζονται έτσι, πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με δύο τουλάχιστον συνδετήρες ανά m^2 τοιχώματος (σχ. 22.2δ), οι οποίοι κατασκευάζονται από ράβδους με διάμετρο 6 mm.

Για τα τοιχώματα της δεύτερης κατηγορίας, αυτά δηλαδή που λειτουργούν ως πλάκες, ισχύουν οι περιορισμοί, οι οποίοι ισχύουν και για τις πλάκες σχετικά με τις αποστάσεις των ράβδων του οπλισμού, τη διάταξή τους και τις διαμέτρους τους. Πρέπει όμως να υπάρχει πάντοτε οπλισμός κατακόρυφος και οριζόντιος και στις δύο όψεις του τοιχώματος, έστω και αν δεν χρειαζόταν στην περίπτωση μίας απλής πλάκας. Ο οπλισμός αυτός για κάθε από τις δύο όψεις και για κάθε από τις δύο διευθύνσεις καλόν είναι να έχει μία διατομή τουλάχιστον ίση με το ένα χιλιοστό της αντίστοιχης διατομής του



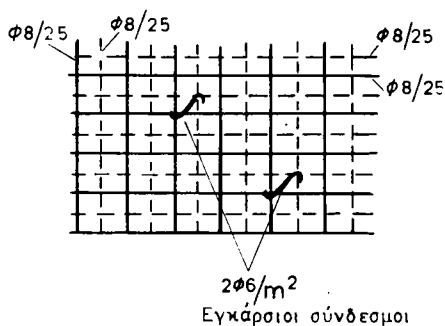
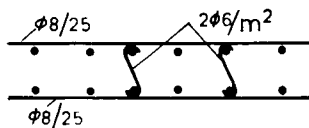
Σχ. 22.2β.

Οπλισμός με μεγαλύτερη διάμετρο στα άκρα των τοιχωμάτων.



Σχ. 22.2γ.

Ελάχιστος κατακόρυφος οπλισμός τοιχώματος ακαμψίας σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό.



Σχ. 22.2δ.

Ελάχιστος οριζόντιος οπλισμός και αριθμός συνδετήρων σε τοιχώματα ακαμψίας κατά τον αντισεισμικό κανονισμό.

τοιχώματος. Ο ελάχιστος αυτός οπλισμός δεν χρειάζεται μόνο για λόγους αντοχής, αλλά και για να αντιμετωπίσει τις εφελκυστικές τάσεις, που δημιουργούνται, όταν το σκυρόδεμα συστέλλεται κατά την πήξη του ή επειδή χαμηλώνει η θερμοκρασία. Οι τάσεις αυτές γίνονται σημαντικές, όταν τα τοιχώματα έχουν μεγάλο μήκος σε σύγκριση με το ύψος τους.

Για τα τοιχώματα της τρίτης κατηγορίας, εκείνα δηλαδή που δεν φέρουν αξιόλογα φορτία, ο οπλισμός μπορεί να περιορισθεί και να καταργηθεί η μία σχάρα, όταν το πάχος είναι μικρότερο από 15 cm. Στην περίπτωση αυτή ο οπλισμός, τόσο ο κατακόρυφος, όσο και ο οριζόντιος, καλόν είναι να έχει πάλι διατομή τουλάχιστον ίση με τα 2 χιλιοστά της αντίστοιχης διατομής του τοιχώματος. Η απλή σχάρα του οπλισμού τοποθετείται στο μέσο του πάχους του τοιχώματος.

Γ. Αντισεισμικά τοιχώματα ακαμψίας.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε δομικό έργο στην Ελλάδα πρέπει να κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι αντισεισμικό. Για να επιβεβαιώνεται αυτό χρειάζεται να γίνεται ένας ειδικός αντισεισμικός έλεγχος. Ο αντισεισμικός κανονισμός όμως επιτρέπει να παραλείπεται ο έλεγχος αυτός σε απλά οικοδομικά έργα, τα οποία έχουν σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν υπάρχουν επαρκή τοιχώματα ακαμψίας.

Για να χαρακτηριστεί ένα οικοδομικό έργο απλό, πρέπει να μην έχει ασυνήθιστη διάταξη στο φέροντα οργανισμό του, οι πλάκες και οι δοκοί του να μην έχουν ανοίγματα μεγαλύτερα από 6,50 m, και το ύψος των ορόφων του να μην υπερβαίνει τα 5,50 m. Τέλος πρέπει το έργο να κατασκευάζεται σε περιοχή, η οποία να χαρακτηρίζεται από τον κανονισμό ως λίγο ή μέτρια σεισμόπληκτος και ο σεισμικός συντελεστής να είναι το πολύ $\varepsilon = 0,08$.

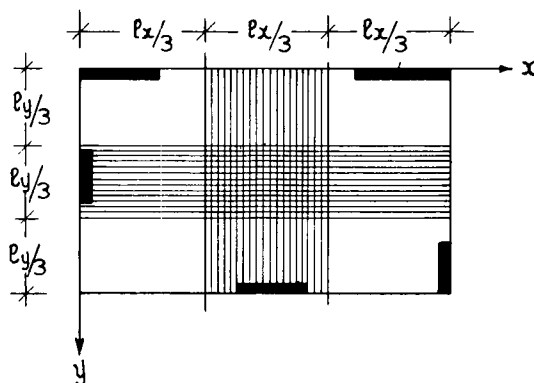
Εκτός από τις πιο πάνω προϋποθέσεις πρέπει να υπάρχουν και επαρκή τοιχώματα ακαμψίας. Τα τοιχώματα είναι διατεταγμένα παράλληλα προς δύο κύριες διευθύνσεις κάθετες ή σχεδόν κάθετες μεταξύ τους (σχ. 22.1η). Για κάθε όροφο και για κάθε από τις δύο διευθύνσεις τα τοιχώματα πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο και να έχουν εμβαδόν κατόψεως ίσο τουλάχιστον με το 1/800 του αθροίσματος των εμβαδών των πλακών, που βρίσκονται επάνω από τον

όροφο αυτόν. Τα τοιχώματα αυτά θεωρούνται επαρκή, εάν ο σεισμικός συντελεστής είναι $\varepsilon = 0,04$. Όταν η τιμή του σεισμικού συντελεστή κυμαίνεται μεταξύ του 0,04 και του 0,08, το ποσοστό πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με 1/500.

Για να θεωρηθεί ένα τοίχωμα ως αντισεισμικό τοίχωμα ακαμψίας, πρέπει να έχει μήκος 1,00 m τουλάχιστον, όταν είναι $\varepsilon = 0,04$ και 1,20 m, όταν είναι $0,04 < \varepsilon \leq 0,08$.

Τα τοιχώματα ακαμψίας δεν επιτρέπεται να έχουν μεγάλο πάχος και μικρό μήκος. Γι' αυτό υπάρχει ο περιορισμός ότι το συνολικό τους μήκος σε μέτρα πρέπει να είναι τουλάχιστον πενταπλάσιο από τον αριθμό, ο οποίος παριστάνει σε τετραγωνικά μέτρα το ελάχιστο απαιτούμενο εμβαδόν τους. Ο περιορισμός αυτός προφανώς τηρείται οπωσδήποτε, όταν τα πάχη των τοιχωμάτων δεν υπερβαίνουν τα 20 cm.

Τέλος, εάν η κάτοψη του έργου χωριστεί σε τρεις λωρίδες με ίσο πλάτος η κάθε μία κατά τη διεύθυνση των τοιχωμάτων (σχ. 22.2ε), πρέπει το κέντρο βάρους των κατόψεων των τοιχωμάτων, τα οποία έχουν τη διεύθυνση αυτή, να βρίσκεται σαφώς μέσα στη μεσαία λωρίδα. Αυτό βέβαια πρέπει να συμβαίνει και κατά τις δύο κύριες διευθύνσεις. Αν πληρούνται όλοι αυτοί οι όροι, τα τοιχώματα θεωρούνται επαρκή και ο αντισεισμικός έλεγχος περιττεύει.



Σχ. 22.2ε.

Το κέντρο βάρους των τοιχωμάτων κάθε διεύθυνσεως πρέπει να βρίσκεται μέσα στη λωρίδα, που έχει διαγράμμιση παράλληλη προς αυτά.

Για μικρά έργα είναι πολύ εύκολο να τηρηθούν όλοι οι πιο πάνω περιορισμοί και να προβλεφθούν επαρκή τοιχώματα ακαμψίας, χωρίς να μεγαλώσει το κόστος του έργου. Έτσι αποφεύγεται ο αντισεισμικός έλεγχος, ενώ συγχρόνως επιτυγχάνεται μία κατασκευή, η οποία είναι σαφώς αντισεισμική. Για μεγαλύτερα όμως έργα και ιδίως, όταν υπάρχουν πολλοί όροφοι, είναι οικονομικότερο να γίνεται ο αντισεισμικός έλεγχος, οπότε μπορεί να περιορισθεί το πλήθος και το μέγεθος των τοιχωμάτων ακαμψίας, τα οποία αυξάνουν το κόστος της κατασκευής.

Παράδειγμα.

Έστω ένα κτήριο με διαστάσεις κατόψεως 16×25 m, δηλαδή με εμβαδόν κατόψεως 400 m^2 . Αν το κτήριο κατασκευάζεται π.χ. στην Αθήνα και σε περιοχή με καλό έδαφος, όπου ο σεισμικός συντελεστής είναι 0,04, χρειάζονται στον ανώτατο όροφό του για κάθε κύρια διεύθυνση τοιχώματα με εμβαδόν διατομής $\frac{400}{800} = 0,5 \text{ m}^2$ και μήκος $0,5 \times 5 = 2,50$ m. Αρκούν δηλαδή για κάθε διεύθυνση δύο τοιχώματα με διατομή $1,25 \times 0,20$.

Εάν το κτήριο είναι διώροφο, στον κάτω όροφο χρειάζονται για κάθε κύρια διεύθυνση δύο τοιχώματα με διατομή $2,50 \times 0,20$ ή πέντε με διατομή $1,00 \times 0,20$ κ.ο.κ. Η δαπάνη για τα τοιχώματα αυτά είναι σχετικά μικρή και είναι πάντοτε εύκολο να βρεθούν οι κατάλληλες θέσεις για αυτά.

Εάν αντίθετα το κτήριο έχει δέκα ορόφους (υπόγειο, ισόγειο και οκτώ ορόφους), στο υπόγειο για κάθε κύρια διεύθυνση χρειάζονται τοιχώματα πάχους 20 cm με συνολικό μήκος τουλάχιστον 25 m. Τα τοιχώματα αυτά δεν είναι πια εύκολο να προσαρμοσθούν με την αρχιτεκτονική διάταξη του κτηρίου, ενώ αντιπροσωπεύουν σημαντικό πρόσθετο κόστος.

22.3 Υπολογισμοί.

A. Τοιχώματα με ρόλο υποστυλώματος.

Τα τοιχώματα της κατηγορίας αυτής υπολογίζονται κατ' αρχήν σε κεντρική θλίψη, όπως και τα υποστυλώματα. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με την ίδια μέθοδο και οι τάσεις επιτρέπεται να φθάνουν

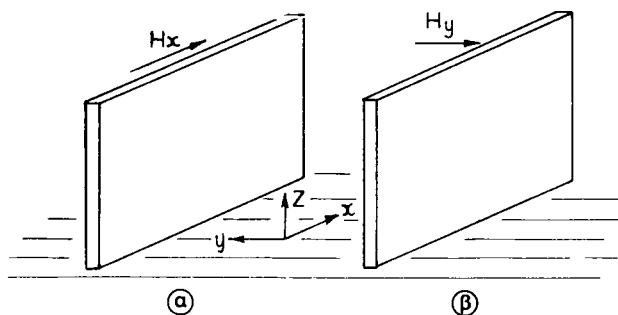
τα ίδια μέγιστα όρια. Κατά τον υπολογισμό διαπιστώνομε ότι η διατομή και ο ελάχιστος επιτρεπόμενος οπλισμός των τοιχωμάτων είναι υπεραρκετά, γι' αυτό και πολύ συχνά ο υπολογισμός παραλείπεται τελείως.

Μεγαλύτερη σημασία έχει ο υπολογισμός των τοιχωμάτων σε έκκεντρη θλίψη, η οποία μπορεί να οφείλεται σε διάφορα οριζόντια φορτία ή σε ροπές κάμψεως, που πάντοτε συνυπάρχουν με τα κατακόρυφα φορτία. Τα σημαντικότερα από τα οριζόντια αυτά φορτία είναι οι σεισμικές ώθησεις, επειδή αυτές αναλαμβάνονται σχεδόν στο σύνολό τους από τα αντισεισμικά τοιχώματα ακαμψίας. Σε κάθε τοίχωμα η σεισμική ώθηση έχει σχεδόν την ίδια διεύθυνση με το μήκος του και έτσι το τοίχωμα κάμπτεται, σαν να ήταν μία υψηλή δοκός (σχ. 22.3α). Εκτός από τις ροπές κάμψεως, που προκαλεί ο σεισμός, μπορεί να υπάρχουν και άλλες, που προέρχονται από δοκούς ή πλάκες πακτωμένες ελαστικά στο τοίχωμα. Και αυτές οι ροπές τις περισσότερες φορές κάμπτουν το τοίχωμα σαν υψηλή δοκό και όχι σαν πλάκα (σχ. 22.3β).

Τα τοιχώματα πρέπει να ελέγχονται και σε διάτμηση. Η προσέγγιση είναι αρκετή, εάν εφαρμοσθεί ο τύπος των δοκών:

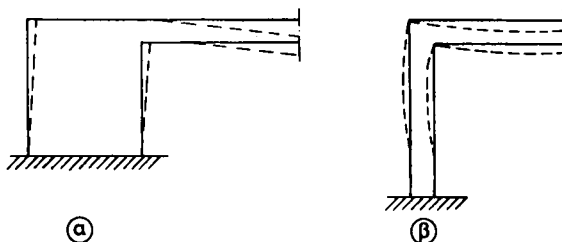
$$\tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z},$$

όπου b_o είναι το πάχος του τοιχώματος και ως z μπορεί να ληφθούν τα $3/4$ του μήκους του. Πρέπει να επιδιώκεται, ώστε η τάση τ_o να μην υπερβαίνει τις τιμές, πέρα από τις οποίες οι



Σχ. 22.3α.

Συνήθως η σεισμική δύναμη H κάμπτει το τοίχωμα σαν υψηλή δοκό (α) και όχι σαν πλάκα (β).



Σχ. 22.3β.

Οι ροπές από τα στατικά φορτία κάμπτουν συνήθως το τοίχωμα σαν υψηλή δοκό (α) και όχι σαν πλάκα (β).

κανονισμοί απαιτούν να παραλαμβάνεται ολόκληρη η τέμνουσα δύναμη από τον οπλισμό. Αν η τάση υπερβαίνει τα όρια αυτά, είναι ορθότερο να αυξάνονται οι διαστάσεις του τοιχώματος και ιδίως το πάχος του.

Η άλλη λύση, που είναι πιο δαπανηρή, είναι να αυξηθεί ο κατακόρυφος και ο οριζόντιος οπλισμός, ώστε να επαρκέσει, για να παραλάβει το σύνολο της τέμνουσας δυνάμεως.

Ο υπολογισμός των τοιχωμάτων σε έκκεντρη θλίψη θα έπρεπε να γίνεται με τις ακριβείς μεθόδους υπολογισμού των υψηλών δοκών. Οι ροπές κάμψεως όμως, που αναπτύσσονται στα τοιχώματα, υπολογίζονται με τόσο χονδροειδείς προσεγγίσεις, ώστε δεν δικαιολογείται η μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό των τάσεων και του οπλισμού. Για το λόγο αυτό μπορεί κάλλιστα να εφαρμόζεται και στα τοιχώματα ο τρόπος υπολογισμού των υποστυλωμάτων σε έκκεντρη θλίψη, που εφαρμόζεται για τα πλαίσια. Στον υπολογισμό αυτό είναι πιο ασφαλές να λαμβάνεται υπόψη μόνο ο οπλισμός, ο οποίος βρίσκεται στις δύο μικρές πλευρές των τοιχωμάτων (σχ. 22.2β), και να αγνοείται εντελώς ο υπόλοιπος.

Ο υπολογισμός του οπλισμού, που χρειάζεται για να αναλάβει τις τέμνουσες δυνάμεις, γίνεται ως εξής:

Έστω F_{eh} η συνολική διατομή των οριζοντίων ράβδων, που αντιστοιχούν σε ένα μέτρο ύψους του τοιχώματος, και F_{ev} των κατακορύφων ράβδων, που αντιστοιχούν σε ένα μέτρο μήκους του. Για να είναι επαρκής ο οπλισμός αυτός, πρέπει να ισχύει η ανισότητα:

$$F_{eh} + F_{ev} \geq \frac{Q}{z \cdot \sigma_e}$$

Στη σχέση αυτή το Q εκφράζεται σε kg, το z σε m, το σ_e σε kg/cm² και τα F_{eh} και F_{ev} σε cm²/m. Στον υπολογισμό του F_{ev} δεν πρέπει να

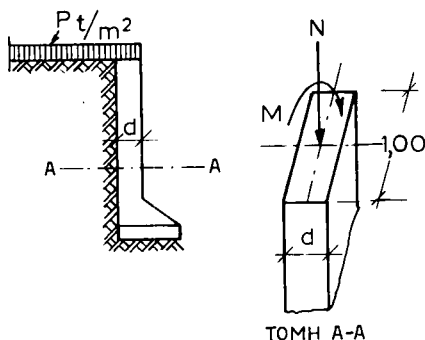
λαμβάνεται υπόψη ο οπλισμός των μικρών εδρών του τοιχώματος, που έχει ήδη ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό του σε έκκεντρο θλίψη.

Β. Τοιχώματα με ρόλο πλάκας (ή κελύφους).

Τα τοιχώματα της κατηγορίας αυτής συναντώνται σε δεξαμενές, σε υπόγειους χώρους κλπ. και φορτίζονται από τις ωθήσεις των υγρών, των γαιών ή από άλλα παρόμοια φορτία. Όταν είναι επίπεδα, υπολογίζονται κυρίως σε κάμψη, όπως και οι πλάκες. Τα τοιχώματα αυτά λειτουργούν είτε ως πλάκες οπλισμένες κατά μία διεύθυνση, είτε ως πλάκες οπλισμένες σταυροειδώς. Και στις δύο περιπτώσεις υπολογίζονται οι ροπές κάμψεως, ως να επρόκειτο για κοινές πλάκες, και έπειτα ελέγχεται αν η μέγιστη θλιπτική τάση σ_b του σκυροδέματος είναι ανεκτή. Τέλος υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός σε κάθε θέση.

Όταν οι ροπές κάμψεως εμφανίζονται σε οριζόντιες διατομές του τοιχώματος, στις ίδιες αυτές διατομές συνυπάρχουν πάντοτε και αξονικές δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές οφείλονται στο ίδιο βάρος του τοιχώματος ή και σε άλλα κατακόρυφα φορτία, τα οποία πιθανόν να ενεργούν επάνω στο τοίχωμα (σχ. 22.3γ). Για τις διατομές αυτές είναι ορθότερο να εφαρμόζεται η μέθοδος υπολογισμού σε κάμψη και αξονική δύναμη, όπως και στην περίπτωση των πλαισίων.

Οι υπολογισμοί των τοιχωμάτων, που ακολουθούν τις μεθόδους των πλακών ή των πλαισίων είναι επαρκείς, όταν ενδιαφέρει μόνο η



Σχ. 22.3γ.

Εσωτερικές δυνάμεις και ροπές σε διατομή τοιχώματος, που φορτίζεται ως πλάκα σε όλη του την έκταση.

στερεότητα του τοιχώματος. Μερικές φορές όμως ενδιαφέρει εξ' ίσου και η σταγερότητα των τοιχωμάτων, όπως π.χ. συμβαίνει γενικά στα τοιχώματα των δεξαμενών. Στα τοιχώματα αυτά το σκυρόδεμα πρέπει να καταπονείται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να παραμένει στο στάδιο I, να διατηρείται δηλαδή ολόκληρο ενεργό είτε θλίβεται είτε εφελκείται. Εάν περάσει στο στάδιο II, θα δημιουργηθούν ρωγμές και δεν θα υφίσταται πια στεγανότητα.

Για το σκοπό αυτό πρέπει κατ' αρχήν να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα καλής ποιότητας, επομένως σε κατασκευές αυτού του είδους απαγορεύεται να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα κατηγορίας B 120. Πρέπει εξ' άλλου να γίνεται και υπολογισμός των τάσεων του σκυροδέματος στο στάδιο I, δηλαδή με την προϋπόθεση ότι δεν δημιουργούνται ρωγμές, και να ελέγχεται αν οι εφελκυστικές τάσεις του σκυροδέματος που προκύπτουν μπορούν να συμβιβασθούν με την προϋπόθεση αυτήν.

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται ως εξής: Βρίσκεται η ισοδύναμη διατομή του τοιχώματος:

$$F_i = F_b + (n - 1) F_e,$$

όπου F_b είναι το συνολικό εμβαδόν της διατομής, F_e η διατομή του οπλισμού και $n = 15$ ο λόγος $\frac{E_e}{E_b}$ των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα και σκυροδέματος. Βρίσκεται έπειτα το κέντρο βάρους K της ιδεατής αυτής ισοδύναμης διατομής, ο ουδέτερος άξονας $x - x$, ο οποίος διέρχεται από το K και είναι παράλληλος προς τις δύο μεγάλες έδρες του τοιχώματος (σχ. 22.3δ) και η ροπή αδρανείας I_i της ιδεατής διατομής ως προς τον ουδέτερο άξονά της.

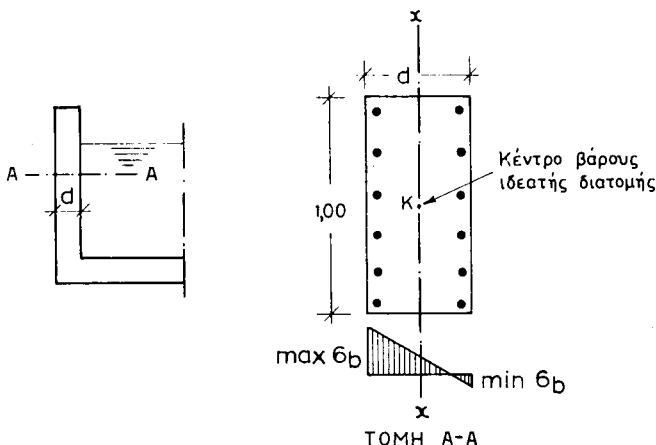
Με τα στοιχεία αυτά είναι δυνατόν να βρεθεί η μέγιστη θλιπτική και η μέγιστη εφελκυστική τάση του σκυροδέματος, ως να επρόκειτο για ένα ομοιογενές υλικό, π.χ. χάλυβα, ξύλο κ.ο.κ.

Η μέγιστη θλιπτική τάση του σκυροδέματος:

$$\max \sigma_{bi} = \frac{N}{F_i} + \frac{M}{I_i} y_d,$$

είναι πάντοτε ανεκτή. Αυτό συμβαίνει, επειδή είναι μικρότερη από την σ_{bII} , η οποία βρίσκεται τους πίνακες 10α έως 15α κατά το συνηθισμένο υπολογισμό της διατομής στο στάδιο II. Ο υπολογισμός αυτός υποτίθεται ότι έχει προηγηθεί.

Η ελάχιστη θλιπτική ή η μέγιστη εφελκυστική τάση δίνεται από τη σ'νέση:



Σχ. 22.35.

Έλεγχος διατομής τοιχώματος δεξαμενής στο στάδιο Ι για την εξασφάλιση της στεγανότητας.

$$\min \sigma_{bl} = \frac{N}{F_l} - \frac{M}{I_l} y_z.$$

Στις σχέσεις αυτές η αξονική δύναμη N και η ορθή τάση σ_{bl} θεωρούνται θετικές για την περίπτωση της θλίψεως.

Παράδειγμα.

Έστω ένα τοίχωμα δεξαμενής πάχους 30 cm, σε μία διατομή του οποίου ενεργεί μία αξονική θλιπτική δύναμη $N = 3.000 \text{ kg/m}$ και μία καμπτική ροπή 1.500 kgm/m . Έστω ότι ο κάθετος προς τη διατομή αυτή οπλισμός είναι συμμετρικός ως προς τον άξονα του τοιχώματος και αποτελείται από 10 ράβδους των 10 mm ανά μέτρο για κάθε όψη του τοιχώματος με επικάλυψη 1,5 cm. Θα είναι συνεπώς:

$$F_l = 100 \times 30 + 14 \times 20 \times 0,785 = 3.220 \text{ cm}^2 \text{ και}$$

$$\begin{aligned} I_l &= \frac{100 \times 30^3}{12} + 14 \times 20 \times 0,785 \times (15 - 2)^2 = \\ &= 225.000 + 37.180 = 262.180 \text{ cm}^4, \end{aligned}$$

$$\text{ενώ } y_z = y_d = \frac{d}{2} = 15 \text{ cm.}$$

$$\text{Τελικά θα είναι } \max \sigma_{bl} = \frac{3.000}{3.220} + \frac{150.000}{262.180} 15 = 9,52 \text{ kg/cm}^2 \text{ και}$$

$$\min \sigma_{bl} = \frac{3.000}{3.220} - \frac{150.000}{262.180} 15 = -7,66 \text{ kg/cm}^2.$$

Οι ελληνικοί κανονισμοί δεν καθορίζουν όρια για τις εφελκυστικές

τάσεις του σκυροδέματος για την περίπτωση, κατά την οποία γίνεται υπολογισμός στο στάδιο Ι, ενώ άλλοι, όπως οι αγγλικοί, καθορίζουν. Σύμφωνα με το πνεύμα των κανονισμών εκείνων η εφελκυστική τάση του σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 160, τα 11 kg/cm^2 για το B 225 και τα 15 kg/cm^2 για το B 300 ή έστω να τα υπερβαίνει πολύ λίγο. Οι τάσεις του οπλισμού, είναι 15πλάσιες από τις τάσεις του σκυροδέματος στην ίδια θέση, επομένως είναι πάντοτε πολύ μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια και ο έλεγχός τους περιττεύει.

Ο έλεγχος των στεγανών τοιχωμάτων στο στάδιο Ι έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται αρκετά οι διαστάσεις και ο οπλισμός τους. Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη, όταν οι ροπές κάμψεως αναπτύσσονται σε κατακόρυφες διατομές, όπου συνήθως δεν υπάρχει καθόλου θλιπτική αξονική δύναμη N, για να περιορίσει κάπως τις εφελκυστικές τάσεις. Οι κατασκευές έτσι γίνονται ογκώδεις και δαπανηρές και για αυτό μερικές φορές συμφέρει να χρησιμοποιείται προεντεταμένο σκυρόδεμα, οπότε το πρόβλημα της στεγανότητας λύνεται με απόλυτη ασφάλεια.

Όταν τα τοιχώματα, που φορτίζονται άμεσα σε όλη τους την έκταση, είναι καμπύλα, συμπεριφέρονται ως κελύφη. Για τα κελύφη αναφέρονται μερικές στοιχειώδεις πληροφορίες στο επόμενο κεφάλαιο. Στις διατομές τους αναπτύσσονται κυρίως αξονικές θλιπτικές ή εφελκυστικές δυνάμεις, των οποίων το μέγεθος υπολογίζεται κάθε φορά με κατάλληλες μεθόδους. Οι θλιπτικές τάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια, που επιτρέπουν οι κανονισμοί για τις πλάκες, ενώ πρέπει να υπάρχει αρκετός οπλισμός, για να αναλαμβάνει εξ ολοκλήρου τις εφελκυστικές δυνάμεις, χωρίς η εφελκυστική του τάση σε να υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια.

Κοντά στις στηρίξεις των καμπύλων τοιχωμάτων αναπτύσσονται εκτός από τις αξονικές δυνάμεις και μικρές ροπές κάμψεως και τέμνουσες δυνάμεις. Ο υπολογισμός των τάσεων και του οπλισμού στις θέσεις αυτές γίνεται, όπως και στα πλαίσια, δηλαδή και για τα επίπεδα τοιχώματα.

Εννοείται ότι για τα καμπύλα τοιχώματα, όταν χρειάζεται να είναι στεγανά, πρέπει να γίνεται έλεγχος και στο στάδιο Ι. Με τον έλεγχο αυτόν εξασφαλίζεται ότι η μέγιστη εφελκυστική τάση του σκυροδέματος δεν υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια και για την περίπτωση αυτήν.

22.4 Σχεδίαση τοιχωμάτων.

Στις απλούστερες περιπτώσεις τα τοιχώματα αρκεί αν σχεδιάζονται στις κατόψεις των ξυλοτύπων με τον τρόπο, που σχεδιάζονται και τα υποστυλώματα. Σχηματίζουμε με έντονη γραμμή το περίγραμμα της κατόψεώς τους και σκιάζουμε ή διαγραμμίζουμε το εσωτερικό της. Δίπλα στην κάτοψη αναγράφουμε:

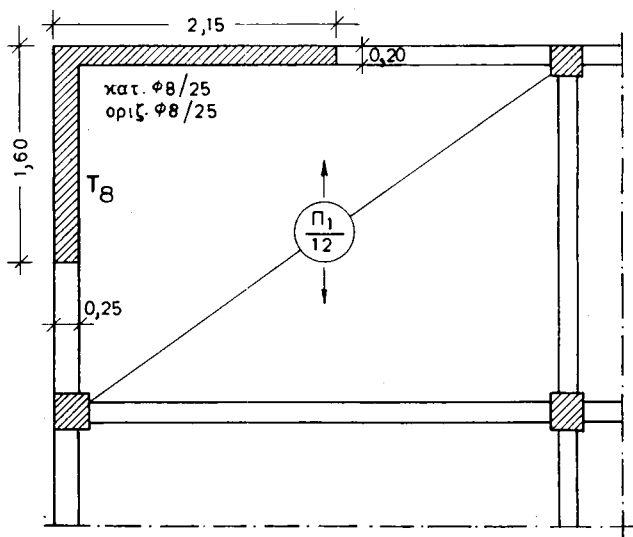
α) Το συμβολισμό του τοιχώματος, που αποτελείται συνήθως από το κεφαλαίο γράμμα T και τον αύξοντα αριθμό του.

β) Τις διαστάσεις του υπό μορφή κλάσματος.

γ) Τον οπλισμό του κατακόρυφο και οριζόντιο.

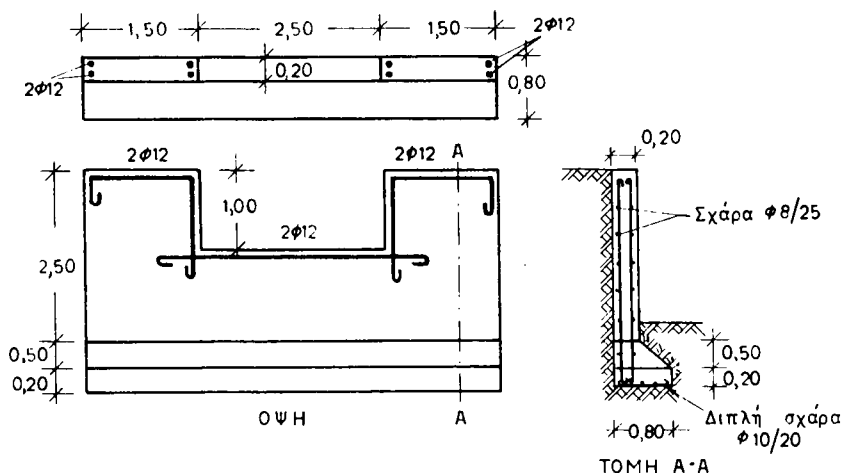
Όταν η κάτοψη του τοιχώματος δεν είναι απλό ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, οι διαστάσεις της δεν αναγράφονται υπό μορφή κλάσματος, αλλά σημειώνονται στις κατάλληλες θέσεις (σχ. 22.4α).

Όταν η περίπτωση δεν είναι τόσο απλή και υπάρχει κίνδυνος να γίνουν λάθη και στη διαμόρφωση του ξυλοτύπου του τοιχώματος, είτε στη διάταξη του οπλισμού του, δεν αρκεί να σχεδιάζουμε μόνο την κάτοψή του. Πρέπει τότε να σχεδιάζουμε μία πρόσοψη και μία κατακόρυφη τομή. Και στις τρεις απεικονίσεις του τοιχώματος



Σχ. 22.4α.

Σχεδίαση τοιχωμάτων σε σχέδιο κατόψεως ξυλοτύπων.



Σχ. 22.4β.

Σχεδίαση κατόψεως, όψεως και τομής τοιχώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

πρέπει να δίνονται όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία, για να είναι απολύτως σαφές και κατανοητό το ακριβές του σχήμα. Επίσης πρέπει να δίνονται με λεπτομέρεια όλα τα στοιχεία, που έχουν σχέση με τον οπλισμό του (σχ. 22.4β).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 23

ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

23.1 Γενικά.

Εκτός από τις πλάκες, τις δοκούς, τα υποστυλώματα, τα πλαίσια και τα τοιχώματα, που συναντάμε σχεδόν σε όλες τις κατασκευές, κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και διάφορα άλλα στοιχεία της ανωδομής ενός έργου. Τα στοιχεία αυτά είναι διαφόρων ειδών και αποτελούν άλλοτε ουσιώδη και άλλοτε δευτερεύοντα μέλη της κατασκευής. Επειδή η εφαρμογή τους δεν είναι τόσο συχνή, όπως για τα στοιχεία που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δεν έχει τυποποιηθεί ούτε η διαμόρφωσή τους ούτε η σχεδίασή τους. Ειδικότερα, όταν σχεδιάζονται τέτοια στοιχεία, πρέπει να δίνονται όλες οι αναγκαίες προβολές και τομές τους με διαστάσεις, για να καθορίζεται απόλυτα το σχήμα τους, όπως και όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τον οπλισμό τους.

Η ποικιλία των στοιχείων αυτών είναι τόσο μεγάλη, ώστε σε πολλές περιπτώσεις δεν έχει καθιερωθεί ούτε μία ονομασία για αυτά. Από όλη αυτή την ποικιλία θεωρείται σκόπιμο να εξετασθούν ιδιαίτερα δύο ομάδες:

- α) Τα **κελύφη** και **πλακοκελύφη**.
- β) Οι **ελκυστήρες** και **αναρτήρες**.

Οι δύο αυτές ομάδες αποτελούν ουσιώδη μέλη του φέροντα οργανισμού των έργων. Στα δευτερεύοντα μέλη υπάγονται τα **ανώφλια** των κουφωμάτων (πρέκια), τα **στηθαία**, οι **στυλίσκοι**, τα **κράσπεδα** και άλλα παρόμοια.

23.2 Κελύφη και πλακοκελύφη.

Κελύφη και **πλακοκελύφη** ονομάζονται τα στοιχεία εκείνα μιας

κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία έχουν μικρό πάχος σε σχέση με τις δύο άλλες διαστάσεις τους, δεν είναι επίπεδα και στηρίζονται σε ορισμένες μόνο περιοχές τους. Όταν η μορφή τους είναι καμπύλη, ονομάζονται **κελύφη**, ενώ όταν είναι τεθλασμένη, **πλακοκελύφη** ή **πτυχωτές κατασκευές**.

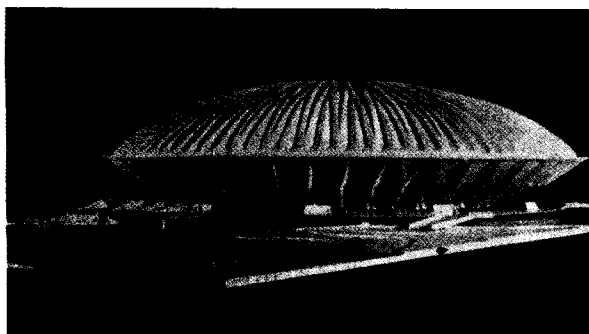
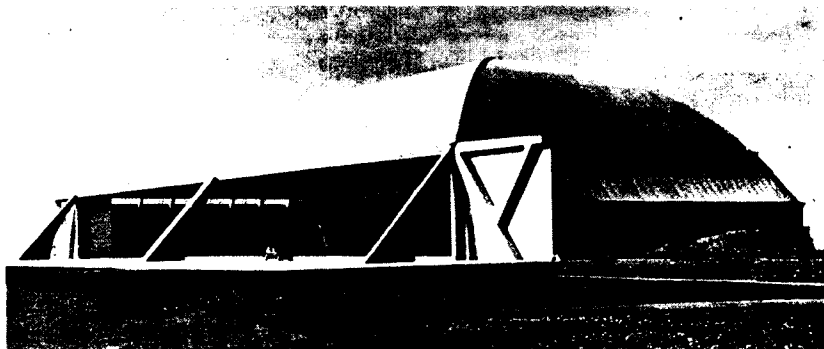
Ο υπολογισμός των κελυφών και πλακοκελυφών είναι αρκετά δύσκολος και πολύ λεπτός. Μία αποτυχία μπορεί να γίνει αιτία καταστρεπτικών σφαλμάτων. Για αυτό μόνον πεπειραμένοι διπλωματούχοι μηχανικοί επιτρέπεται να μελετούν κατασκευές αυτού του είδους.

Τα κελύφη και πλακοκελύφη μπορούν να έχουν πάχη πολύ μικρά και ανοίγματα, δηλαδή αποστάσεις μεταξύ των θέσεων στηρίξεως, πολύ μεγάλα. Έχουν κατασκευασθεί κελύφη με ανοίγματα της τάξεως των 100 m, ενώ έχουν εφαρμοσθεί πάχη μικρότερα από 4 cm. Θα ήταν μάλιστα δυνατόν να μειωθούν τα πάχη ακόμη περισσότερο, αν το υλικό επέτρεπε αυτή τη μείωση από την κατασκευαστική άποψη.

Η ελαφρότητα και η μεγάλη αντοχή των κελυφών είχε ως αποτέλεσμα να αναπτυχθεί εξαιρετικά η εφαρμογή τους τα τελευταία χρόνια. Το γεγονός βέβαια ότι δεν είναι επίπεδα αποκλείει την εφαρμογή τους στην κατασκευή πατωμάτων, καταστρωμάτων γεφυρών και γενικά στοιχείων, επάνω στα οποία προβλέπεται να κυκλοφορούν πεζοί ή οχήματα. Η κυριότερη εφαρμογή τους γίνεται, όταν πρόκειται να καλυφθούν μεγάλοι μονώροφοι χώροι και τίθεται ο όρος να μην υπάρξουν στηρίξεις στο εσωτερικό τους, όπως π.χ. σε εκκλησίες, θέατρα, στάδια, αίθουσες εκθέσεων, εργοστασίων κ.ο.κ.

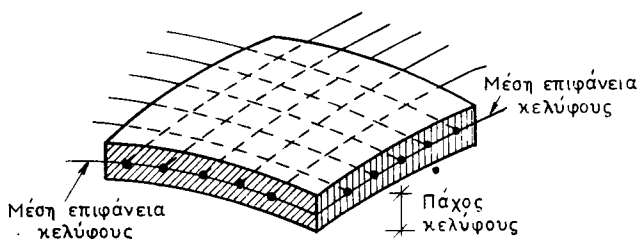
Η ιδέα κελυφωτών κατασκευών είναι πολύ παλαιά. Από τα αρχαιότερα κελύφη ήταν οι κυλινδρικοί σφαιρικοί θόλοι που κάλυπταν τα Ασσυριακά και τα Ρωμαϊκά έργα και αργότερα τις Χριστιανικές Εκκλησίες. Εξέλιξή τους είναι τα παραδείγματα, τα οποία εικονίζονται στις φωτογραφίες του σχήματος 23.2α.

Στα κελύφη και πλακοκελύφη αναπτύσσονται κυρίως αξονικές δυνάμεις και μόνο κοντά στις στηρίξεις τους υπάρχουν σχετικά μικρές ροπές κάμψεως και τέμνουσες δυνάμεις. Ο οπλισμός τοποθετείται κατά κανόνα στο μέσο του πάχους και ακολουθεί πάντοτε δύο διευθύνσεις περίπου κάθετες μεταξύ τους (σχ. 23.2β).



Σχ. 23.2α.

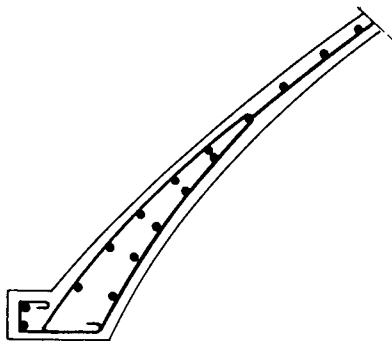
Παραδείγματα κελυφωτών κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 23.2β.

Τοποθέτηση οπλισμού σε κέλυφος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σκοπός του οπλισμού είναι να αναλάβει τις εφελκυστικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές οφείλονται είτε στις εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις, είτε σε άλλες δευτερεύουσες αιτίες, όπως είναι η συστολή κατά την πήξη του σκυροδέματος, τοπικές διαφορές θερμοκρα-



Σχ. 23.2γ.

Κοντά στις στηρίξεις των κελυφών ο οπλισμός συνήθως διατάσσεται σε διπλή σχάρα.

σίας, τοπικές ανομοιογένειες του υλικού κ.ο.κ. Στις περιοχές, όπου παρουσιάζονται και ροπές κάμψεως, ο οπλισμός είναι διατεταγμένος συνήθως σε δύο σχάρες, μία σε κάθε όψη του κελύφους (σχ. 23.2γ).

Πολύ μεγάλη σημασία έχει η μελέτη και η κατασκευή των ικριωμάτων και των τύπων (καλούπια) για τα μεγάλα κελύφη. Τα ικριώματα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή, ώστε να μπορούν να φέρουν το βάρος του νωπού σκυροδέματος. Οι τύποι πρέπει να έχουν διαμορφωθεί έτσι, ώστε μετά την παραμόρφωσή τους, την οποία προκαλούν τα φορτία του νωπού σκυροδέματος, να αποκτούν ακριβώς την επιθυμητή μορφή του κελύφους. Κάτι παρόμοιο αναφέρθηκε στον Α' Τόμο της Γένικης Δομικής σχετικά με τους θολοτύπους, όπου προβλέπεται μία αρχική υπερύψωση για τον ίδιο ακριβώς λόγο [παράγρ. 9.5 (Γ)].

Χρειάζεται επίσης προσοχή στο πρόγραμμα διαστρώσεως του σκυροδέματος. Τα φορτία επάνω στους τύπους (καλούπια) πρέπει να αυξάνονται με τη σειρά, που έχει προβλεφθεί στη μελέτη, ενώ οι αρμοί εργασίας πρέπει να είναι πάντοτε κάθετοι όσο είναι δυνατόν προς τη διεύθυνση, που ακολουθούν οι μέγιστες θλιπτικές τάσεις. Επίσης, πρέπει να αποφεύγονται εντελώς αρμοί εργασίας σε περιοχές, όπου οι τάσεις είναι εφελκυστικές προς όλες τις διευθύνσεις.

Τέλος μεγάλη προσοχή χρειάζεται και για την αφαίρεση των τύπων. Για την αφαίρεση των τύπων πρέπει να γίνεται σοβαρή με-

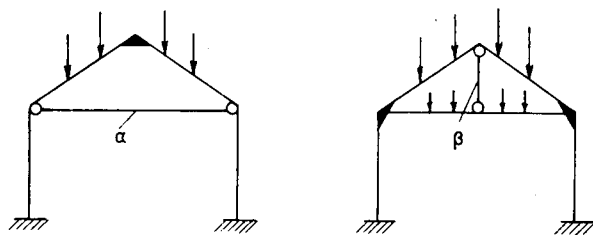
λέτη και η αφαίρεση να πραγματοποιείται με σχολαστικότητα σύμφωνα με τη μελέτη αυτή. Αν οι τύποι δεν αφαιρεθούν σωστά είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σε διάφορα σημεία του κελύφους προσωρινές στηρίξεις και να προκαλέσουν στην κατασκευή εσωτερικές δυνάμεις και ροπές εντελώς διαφορετικές από εκείνες, για τις οποίες έχει υπολογισθεί. Υπάρχει έτσι κίνδυνος να υπερβούν οι τάσεις τα επιτρεπόμενα όρια και να ακολουθήσουν πολύ δυσάρεστα αποτελέσματα, χωρίς να αποκλείεται και αυτή η κατάρρευση του έργου.

23.3 Ελκυστήρες και αναρτήρες.

Ελκυστήρες λέγονται τα στοιχεία εκείνα μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία υπόκεινται κατά κύριο λόγο σε εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις. Οι ελκυστήρες κατά κανόνα είναι ευθύγραμμοι και οι εγκάρσιες διαστάσεις τους είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με το μήκος τους. Οι κατακόρυφοι ελκυστήρες ονομάζονται και **αναρτήρες**. Οι ελκυστήρες και αναρτήρες αποτελούν συνήθως μέλη πλαισιωτών ή τοξοτών κατασκευών (σχ. 23.3α).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά τους υπολογισμούς γίνεται παραδεκτό, ότι το σκυρόδεμα δεν είναι σε θέση να αναλάβει καμιά εφελκυστική τάση, όσο μικρή και εάν είναι. Επομένως το σκυρόδεμα, που αποτελεί τους ελκυστήρες, θεωρείται εντελώς αδρανές και η όλη εφελκυστική δύναμη πρέπει να αναλαμβάνεται από τον οπλισμό.

Ο οπλισμός στους ελκυστήρες είναι διαμήκης. Πρέπει να εξα-



Σχ. 23.3α.

Μέλη κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, που υπόκεινται σε καθαρό εφελκυσμό: α) Ελκυστήρας. β) Αναρτήρας.

σφαλίζεται ότι είναι καλά αγκυρωμένος στα δύο του άκρα μέσα στα στοιχεία της κατασκευής, όπου καταλήγει ο ελκυστήρας.

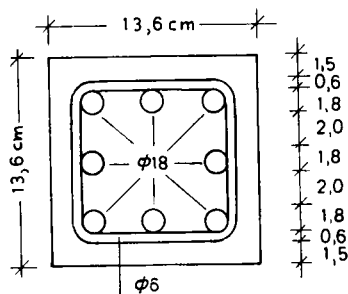
Ο οπλισμός αυτός πρέπει, εάν είναι δυνατόν, να αποτελείται από ράβδους, που να διέρχονται συνεχώς από το ένα άκρο του ελκυστήρα έως το άλλο. Εάν το μήκος είναι πολύ μεγάλο, οι ράβδοι μπορούν να αποτελούνται από δύο ή περισσότερα κομμάτια, αλλά αυτά πρέπει απαραίτητα να συνδέονται με αρμοκλείδες ή με ηλεκτροσυγκόλληση. Εάν συμβαίνει κάτι τέτοιο, στον υπολογισμό των τάσεων λαμβάνονται υπόψη μόνο τα 4/5 της διατομής των ράβδων.

Εκτός από το διαμήκη οπλισμό τοποθετείται στους ελκυστήρες και ένας στοιχειώδης εγκάρσιος οπλισμός με την ίδια διάταξη περίπου, όπως και στα υποστυλώματα. Γενικά οι ελκυστήρες και αναρτήρες είναι κατασκευές πολύ συγγενείς με τα υποστυλώματα. Υπόκεινται και αυτές κατά κύριο λόγο σε μία αξονική δύναμη και η μόνη διαφορά είναι ότι η δύναμη αυτή είναι εφελκυστική και όχι θλιπτική.

Αν και αδρανές το σκυρόδεμα των ελκυστήρων δεν είναι τελείως άχρηστο και δεν επιτρέπεται να παραλειφθεί. Ο κυριότερος ρόλος του είναι να προστατεύει τον οπλισμό. Μεταξύ των ράβδων του διαμήκους οπλισμού πρέπει να υπάρχουν οι ελάχιστες αποστάσεις, που καθορίζουν οι κανονισμοί, και γύρω από αυτές το ελάχιστο πάχος επικάλυψης. Προκύπτουν έτσι οι ελάχιστες δυνατές διαστάσεις της διατομής του ελκυστήρα. Οι διαστάσεις αυτές όμως δεν είναι συνθήως επαρκείς. Ο κίνδυνος είναι ότι μπορεί να δημιουργηθούν από τις εφελκυστικές τάσεις ρωγμές με μεγάλο πλάτος, με αποτέλεσμα να διαβρωθεί ο οπλισμός και να θρυμματισθεί το σκυρόδεμα, που τον προστατεύει. Γι' αυτό οι διαστάσεις των ελκυστήρων και αναρτήρων καθορίζονται μετά από υπολογισμό.

Για να καθορισθούν οι διαστάσεις του ελκυστήρα πρέπει να γίνεται έλεγχος στο στάδιο Ι. Οι ελληνικοί κανονισμοί δεν καθορίζουν όρια για την εφελκυστική τάση σ_{bz} του σκυροδέματος, η οποία προκύπτει από τον υπολογισμό στο στάδιο Ι. Είναι σκόπιμο η τάση αυτή να μην υπερβαίνει ή έστω να υπερβαίνει λίγο τα 16 kg/cm² για σκυρόδεμα κατηγορίας Β 160, τα 18 kg/cm² για το Β 225 και τα 20 kg/cm² για το Β 300. Ελκυστήρες και αναρτήρες δεν επιτρέπεται να κατασκευάζονται με σκυρόδεμα κατηγορίας Β 120.

Για τον υπολογισμό στο στάδιο Ι βρίσκεται πρώτα η ιδεατή ισοδύναμη διατομή του ελκυστήρα:

**Σχ. 23.3β.**

Οι ελάχιστες διαστάσεις των ελκυστήρων καθορίζονται έτσι, ώστε απλά να επικαλύπτεται ο οπλισμός τους.

$$F_l = F_b + (n - 1) F_e,$$

όπου F_b είναι η συνολική διατομή, F_e η διατομή του διαμήκου οπλισμού και $n = 15$ ο λόγος $\frac{E_e}{E_b}$ των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα και σκυροδέματος. Στη συνέχεια υπολογίζεται μία ιδεατή εφελκυστική τάση του σκυροδέματος:

$$\sigma_{bz} = \frac{N}{F_l},$$

όπου N είναι η εφελκυστική αξονική δύναμη. Η τάση αυτή σ_{bz} δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια, που αναφέρθηκαν πιο πάνω, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα παρουσιασθούν ρωγμές με επικίνδυνο πλάτος.

Παράδειγμα.

Έστω ένας ελκυστήρας με αξονική δύναμη 28 τόννων από σκυρόδεμα κατηγορίας B 225 και με οπλισμό κατηγορίας I. Ο οπλισμός που χρειάζεται, είναι $F_e = \frac{28.000}{1.400} = 20 \text{ cm}^2$, δηλαδή 8 ϕ 18.

Εάν ο οπλισμός αυτός διαταχθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 23.3β, η διατομή του ελκυστήρα πρέπει να είναι τετράγωνο με πλευρά τουλάχιστον ίση προς:

$$b_{\min} = 2 \times 1,5 + 2 \times 0,6 + 3 \times 1,8 + 2 \times 2,0 = 13,6 \text{ cm}.$$

Για να είναι όμως η τάση του σκυροδέματος $\sigma_{bz} \leq 18 \text{ kg/cm}^2$, πρέπει $F_l = b^2 + (15 - 1) 20,36 \geq \frac{28.000}{18} = 1.555 \text{ cm}^2$ ή $b^2 \geq 1.555 - 285$ ή $b^2 \geq 1.270 \text{ cm}^2$. Επομένως ο ελκυστήρας πρέπει να έχει διατομή τουλάχιστον $36 \times 36 \text{ cm}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 24

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

24.1 Γενικά.

Στο πρώτο Μέρος (Α' Τόμος) της Γενικής Δομικής, που αναφέρεται στις Θεμελιώσεις, έχουν περιγραφεί τα διάφορα συστήματα θεμελιώσεων και ειδικότερα τα στοιχεία τους, τα οποία μπορούν να κατασκευασθούν από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα στοιχεία αυτά είναι μεμονωμένα πέδιλα, πεδιλοδοκοί, πλάκες μερικών ή γενικών κοιτοστρώσεων, πάσσαλοι πρόχυτοι, πάσσαλοι έγχυτοι, που κατασκευάζονται δηλαδή μέσα στο έδαφος, πασσαλοεσχάρες, τοιχώματα και κεφαλές καταδυομένων φρεάτων κλπ.

Έχουν περιγραφεί επίσης οι τρόποι, με τους οποίους καθορίζονται οι διαστάσεις των στοιχείων αυτών, ώστε να εξασφαλίζεται ότι μέσα στο έδαφος αναπτύσσονται τάσεις ανεκτές και επέρχονται καθιζήσεις ακίνδυνες για το έργο.

Δεν έχει όμως εξετασθεί πώς υπολογίζονται οι διαστάσεις και ο οπλισμός αυτών των ιδίων των στοιχείων της θεμελιώσεως, ώστε να αντέχουν στις δυνάμεις, που τους επιβάλλει αφ' ενός η ανωδομή και αφ' ετέρου το έδαφος.

Για ορισμένα από τα στοιχεία αυτά των θεμελιώσεων η μέθοδος υπολογισμού δεν διαφέρει από εκείνην, που εφαρμόζεται στα αντίστοιχα στοιχεία της ανωδομής. Έτσι π.χ. οι πλάκες των μερικών ή γενικών κοιτοστρώσεων και οι πεδιλοδοκοί υπολογίζονται ως συνηθισμένες πλάκες, δοκοί ή πλακοδοκοί. Η μόνη διαφορά είναι ότι τα φορτία διευθύνονται από κάτω προς τα πάνω. Επίσης οι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα, που χύνονται μέσα στο έδαφος, υπολογίζονται ως απλά υποστυλώματα, τα τοιχώματα των καταδυομένων φρεάτων ως τοιχώματα υπογείων χώρων, που φορτίζονται και από τις ωθήσεις των γαιών κ.ο.κ.

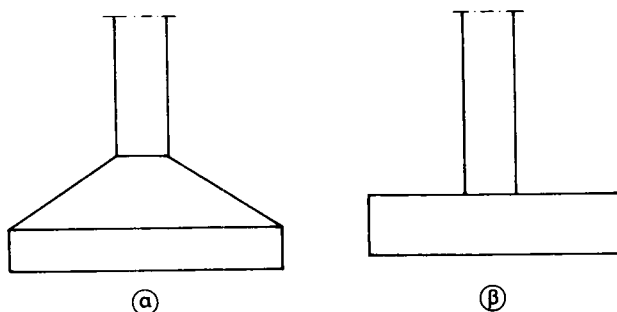
Αντίθετα υπάρχουν ορισμένα στοιχεία των θεμελιώσεων, τα οποία δεν έχουν τα αντίστοιχά τους στην ανωδομή και επομένως υπολογίζονται με μεθόδους, που δεν έχουν αναπτυχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Από τα στοιχεία αυτά των θεμελίων εξετάζονται ιδιαίτερα μόνο τα μεμονωμένα πέδιλα και πρόχυτοι πάσσαλοι, επειδή αυτά συναντώνται σχετικά συχνότερα στις κατασκευές.

24.2 Μεμονωμένα πέδιλα.

Τα μεμονωμένα πέδιλα μπορούν να θεωρηθούν ως ανεστραμμένες πλάκες, που φορτίζονται από το έδαφος σε όλη τους την έκταση και στηρίζονται σε μία μικρή περιοχή τους εκεί, όπου καταλήγει το υποστύλωμα.

Επειδή η πλάκα αυτή στηρίζεται απ' ευθείας στο υποστύλωμα, χωρίς να μεσολαβούν δοκοί, πρέπει να θεωρηθεί ότι υπάγεται στις μυκητοειδείς ή στις επίπεδες πλάκες. Συγκεκριμένα η πλάκα είναι μυκητοειδής, όταν το πέδιλο έχει σχήμα κολούρου πυραμίδας, που εδράζεται πάνω σε ένα πρίσμα, και επίπεδη, όταν το πάχος του πέδιλου είναι σταθερό (σχ. 24.2α).

Το συνηθισμένο σχήμα των πεδίων είναι ο συνδυασμός μίας κολούρου πυραμίδας και ενός πρίσματος. Όταν από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι το μέγιστο πάχος μπορεί να είναι σχετικά μικρό, δηλαδή 30 έως 40 cm το πολύ, είναι οικονομικότερο να διατηρείται το πάχος αυτό σταθερό σε ολόκληρη την έκταση του πέδιλου.



Σχ. 24.2α.

Μεμονωμένα πέδιλα από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Με κεκλιμένες έδρες. β) Με σταθερό πάχος.

Όπως για κάθε άλλη πλάκα, χρειάζεται και για τα πέδιλα ένας έλεγχος σε κάμψη και ένας σε διάτμηση. Επίσης χρειάζεται και ένας τρίτος έλεγχος σε διάτμηση, κατά τον οποίον εξετάζεται, αν οι διαστάσεις του πεδίου είναι αρκετές, ώστε να αποκλείουν ότι αυτό θα αποχωρισθεί από το υποστύλωμα με τον τρόπο, που εικονίζεται στο σχήμα 24.2β. Κατά τον έλεγχο αυτό βρίσκεται μία τάση διατρήσεως τ_1 με την παραδοχή, ότι οι επιφάνειες αποχωρισμού κλίνουν προς τον ορίζοντα κατά μία γωνία α , η οποία συνήθως λαμβάνεται τόση, ώστε να είναι:

$$\epsilon\phi\alpha = 2$$

Η τάση διατρήσεως τ_1 δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 6 kg/cm^2 για το B 160, τα 7 kg/cm^2 για το B 225 και τα 8 kg/cm^2 για το B 300. Αν ο όρος αυτός δεν πραγματοποιείται, πρέπει να αυξάνεται το πάχος d του πέδιλου.

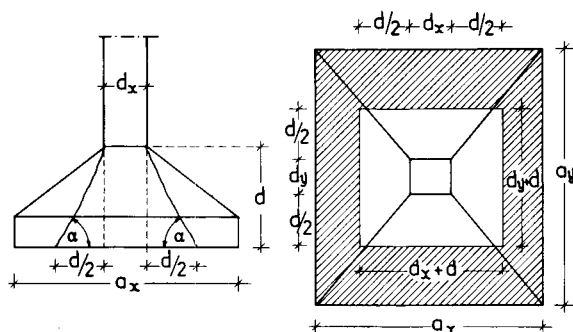
Μετά τον έλεγχο σε διάτμηση πρέπει να γίνεται ο έλεγχος σε διάτμηση. Η μέγιστη διατμητική τάση τ_0 υπολογίζεται με το γνωστό τύπο:

$$\tau_0 = \gamma \frac{Q \max}{b \cdot z},$$

όπου b είναι το πλάτος a_x ή a_y του πέδιλου, ενώ το z μπορεί να ληφθεί ίσο προς $7/8 (d - 6 \text{ cm})$, αφού η επικάλυψη του οπλισμού είναι περίπου 5 cm . Το γ είναι ένας διορθωτικός συντελεστής (σχ. 24.2β).

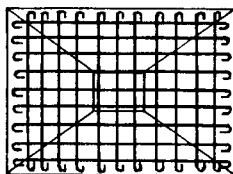
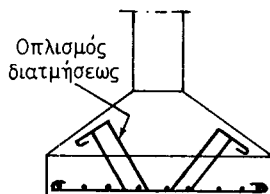
Η τάση διατμήσεως τ_0 δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6 kg/cm^2 για το σκυρόδεμα κατηγορίας B 120, τα 8 kg/cm^2 για το B 160, τα 9 kg/cm^2 για το B 225 και τα 10 kg/cm^2 για το B 300. Εφ' όσον τα πέδιλα είναι πλάκες, σύμφωνα με τους κανονισμούς δεν χρειάζεται ιδιαίτερος οπλισμός για τη διάτμηση, όταν η τάση τ_0 δεν υπερβαίνει τα όρια αυτά. Όμως στα μεγάλα τουλάχιστον πέδιλα πρέπει να τοποθετείται κάποιος λοξός οπλισμός (σχ. 24.2γ), έστω και αν δεν το απαιτούν οι κανονισμοί.

Ο έλεγχος σε κάμψη γίνεται με τη βοήθεια των πινάκων 10α έως 15α του Παραρτήματος. Ο οπλισμός της κάμψεως αποτελείται απο ευθύγραμμες ράβδους, που σχηματίζουν μία σχάρα στο κατώτερο μέρος του πέδιλου (σχ. 24.2γ).



Σχ. 24.2β.

Έλεγχος αντοχής πεδίλου από οπλισμένο σκυρόδεμα σε διάτρηση.



Σχ. 24.2γ.

Σε μεγάλα πέδιλα πρέπει να τοποθετείται εκτός της κάτω σχάρας και λοξός οπλισμός για τη διάτρηση.

Η σειρά των εργασιών για τον υπολογισμό ενός μεμονωμένου πεδίλου είναι οι εξής:

Πρώτα γίνεται ο έλεγχος σε διάτρηση. Έστω ότι d είναι το πάχος του πεδίλου στη θέση του υποστυλώματος, a_x και a_y οι οριζόντιες διαστάσεις του και d_x και d_y οι αντίστοιχες πλευρές της διατομής του υποστυλώματος. Το συνολικό εμβαδόν των επιφανειών αποχωρισμού θα είναι:

$$F_1 \simeq 2d \left[\frac{(d_x + d) + d_x}{2} \right] + 2d \left[\frac{(d_y + d) + d_y}{2} \right] = 2d (d + d_x + d_y).$$

Η δύναμη, που προκαλεί τη διάτρηση, είναι η συνισταμένη των πιέσεων του εδάφους, που ενεργούν στο διαγραμματισμένο τμήμα της κατόψεως του πέδιλου (σχ. 24.2β), που τείνει να αποχωρισθεί από το υποστύλωμα. Το εμβαδόν της επιφάνειας εδράσεως του τμήματος αυτού είναι $F_2 = a_x a_y - (d_x + d)(d_y + d)$. Επειδή η μέση πίεση του εδάφους είναι $\sigma_{εδ} = \frac{P}{a_x a_y}$, η δύναμη διατρήσεως είναι:

$$P' = F_2 \sigma_{εδ} = P \left[1 - \frac{(d_x + d)(d_y + d)}{a_x a_y} \right] < P.$$

Εάν η δύναμη αυτή κατανεμηθεί σε όλη την επιφάνεια αποχωρισμού ομοιόμορφα, προκύπτει μία τάση διατρήσεως:

$$\tau_1 = \frac{P'}{F_1} = \frac{1 - \frac{(d_x + d)(d_y + d)}{a_x a_y}}{2d(d + d_x + d_y)} P. \quad (1)$$

Κατόπιν γίνεται ο έλεγχος σε διάτμηση. Για κεντρικά πέδιλα η μέγιστη τέμνουσα δύναμη είναι:

$$Q_{\max} = \frac{P(a_x - d_x)}{2a_x} \quad \text{ή} \quad Q_{\max} = \frac{P(a_y - d_y)}{2a_y}. \quad \text{Επομένως είναι} \quad (2)$$

$$\tau_o = \gamma \frac{P(a_x - d_x)}{2a_x a_y z} \quad \text{ή} \quad \tau_o = \gamma \frac{P(a_y - d_y)}{2a_x a_y z}.$$

Η μέγιστη δηλαδή διατμητική τάση είναι η μεγαλύτερη από τις δύο τελευταίες ποσότητες. Όταν το πέδιλο είναι έκκεντρο, οι τύποι δεν είναι τόσο απλοί και χρειάζεται προσοχή, για να υπολογισθεί σωστά η τάση τ_o .

Τελευταίος γίνεται ο έλεγχος σε κάμψη. Αν M_x και M_y είναι οι μέγιστες ροπές κάμψεως του πέδιλου κατά τις δύο κύριες διευθύνσεις, υπολογίζονται οι ποσότητες:

$$k_{hx} = \frac{h}{\sqrt{a \frac{M_x}{a_y}}} \quad \text{και} \quad k_{hy} = \frac{h}{\sqrt{a \frac{M_y}{a_x}}} \quad (3)$$

Το στατικό ύψος μπορεί γενικά να λαμβάνεται $h = d - 6 \text{ cm}$, ενώ το a είναι ένας διορθωτικός συντελεστής. Από τους πίνακες βρίσκονται οι μέγιστες τάσεις σ_b του σκυροδέματος, που αντιστοιχούν στο k_{hx} και στο k_{hy} . Οι τάσεις αυτές δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα όρια, που επιτρέπουν οι κανονισμοί για τις πλάκες. Βρίσκονται επίσης οι συντελεστές k_{ex} και k_{ey} και από αυτούς ο απαιτούμενος οπλισμός:

$$F_{ex} = \beta \cdot k_{ex} \frac{M_x}{h}, \quad \text{και} \quad F_{ey} = \beta \cdot k_{ey} \frac{M_y}{h}. \quad (4)$$

Το β είναι πάλι ένας διορθωτικός συντελεστής.

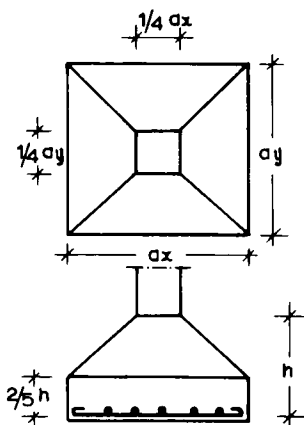
Όταν το πέδιλο είναι κεντρικό, οι μέγιστες ροπές κάμψεως παρου-

σιάζονται στις διατομές του πέδιλου, που διέρχονται από τον άξονα του υποστυλώματος. Οι τιμές τους είναι $M_x = \frac{P(a_x - d_x)}{8}$ και $M_y = \frac{P(a_y - d_y)}{8}$. Στα έκκεντρα πέδιλα οι μέγιστες ροπές πρέπει να υπολογίζο-

νται κάθε φορά με κατάλληλους τύπους σύμφωνα με τα γεωμετρικά στοιχεία του πέδιλου και την κατανομή των πιέσεων του εδάφους.

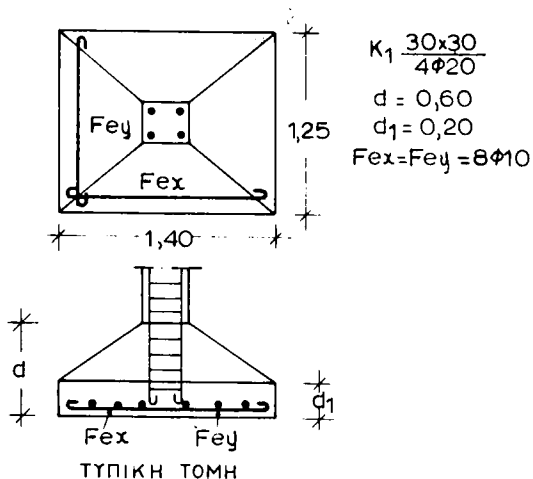
Σχετικά με τους διορθωτικούς συντελεστές, α , β και γ δίνονται τα εξής στοιχεία: Σε τετραγωνικά πέδιλα με ενιαίο πάχος είναι $\alpha = 1,94$ και $\beta = \gamma = 0,97$. Οι τιμές αυτές ισχύουν με αρκετή προσέγγιση και για ορθογωνικά πέδιλα με ενιαίο πάχος. Αν τα τετραγωνικά πέδιλα έχουν σχήμα κολούρου πυραμίδας, που εδράζεται επάνω σε ένα πρίσμα, τότε είναι $\alpha = 2,25$, $\beta = 1,11$ και $\gamma = 1,34$. Οι τιμές αυτές ισχύουν ακριβώς, όταν οι πλευρές της άνω βάσεως της κολούρου πυραμίδας είναι το $1/4$ των αντιστοίχων πλευρών της κάτω, ενώ το στατικό ύψος στα άκρα του πέδιλου είναι τα $2/5$ του στατικού ύψους στο κέντρο του (σχ. 24.28). Οι ίδιες τιμές μπορούν όμως να χρησιμοποιούνται με ικανοποιητική προσέγγιση και για ορθογωνικά πέδιλα ή όταν οι σχέσεις πλευρών και υψών δεν είναι ακριβώς αυτές, που αναφέρονται πιο πάνω.

Τα πέδιλα σχεδιάζονται στην κάτοψη των θεμελίων και, εάν χρειάζεται, σχεδιάζεται και μία τομή ή μία όψη τους. Συνήθως επαρκεί η κάτοψη, όταν γραφούν δίπλα της τα απαιτούμενα στοιχεία,



Σχ. 24.28.

Αναλογίες διαστάσεων πέδιλου με κεκλιμένες έδρες, για τις οποίες ισχύουν ακριβώς οι τύποι υπολογισμού τάσεων και οπλισμού.



Σχ. 24.2ε.

Σχεδίαση πεδίου σε κάτοψη θεμελίων. Από κάτω η τυπική τομή, που πρέπει να σχεδιάζεται σε κάποια θέση του σχεδίου.

δηλαδή τα μήκη των πλευρών της κατόψεως a_x και a_y , τα πάχη d και d_1 , και ο οπλισμός F_{ex} και F_{ey} (σχ. 24.2ε). Μία τυπική τομή πέδιλου αρκεί για κάθε σχέδιο, ώστε να καταδεικνύεται σε αυτήν, τι ακριβώς παριστάνει καθένα από τα αναγραφόμενα σύμβολα. Εκτός από τα στοιχεία του πέδιλου πρέπει να δίνονται στην κάτοψη των θεμελίων και όλα τα στοιχεία του υποστυλώματος, πρέπει δηλαδή να επαναλαμβάνονται, όσα ακριβώς στοιχεία για τα υποστυλώματα αναγράφονται και στις κατόψεις των ξυλοτύπων της ανωδομής. Αυτό είναι απαραίτητο, επειδή κατά την κατασκευή των πεδίων ενσωματώνεται σε αυτά ο οπλισμός των υποστυλωμάτων. Εάν είναι δύσκολο να τοποθετηθεί από την αρχή όλος ο διαμήκης οπλισμός, τοποθετούνται μόνο αναμονές.

24.3 Πρόχυτοι πάσσαλοι.

Οι πρόχυτοι πάσσαλοι πρέπει να κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε:

α) Να είναι δυνατόν να μεταφερθούν με γερανό, χωρίς να κινδυνεύουν να υποστούν ζημιές από το ίδιο τους το βάρος.

β) Να μπορούν να αντέξουν στα δυναμικά φορτία, τα οποία

τους επιβάλλονται κατά την έμψηξή τους από τον κριό του πασσάλοπληκτη.

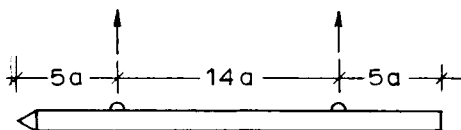
γ) Να μπορούν να φέρουν με ασφάλεια τα στατικά φορτία της ανωδομής και να μεταφέρουν στο έδαφος.

Ο τρίτος όρος ικανοποιείται προφανώς, όταν ικανοποιείται ο δεύτερος, επειδή τα δυναμικά φορτία κατά την έμψηξη του πασσάλου είναι πολύ μεγαλύτερα από τα στατικά φορτία της ανωδομής. Το αντίθετο δεν είναι δυνατόν να συμβαίνει, αφού τα δυναμικά φορτία προκαλούν διείσδυση του πασσάλου μέσα στο έδαφος, ενώ τα στατικά πρέπει να μην είναι σε θέση να την προκαλέσουν. Συνεπώς ο υπολογισμός των προχύτων πασσάλων περιορίζεται στον έλεγχο των δύο πρώτων από τις τρεις συνθήκες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Για τη μεταφορά των προχύτων πασσάλων, ιδίως όταν το μήκος τους είναι πολύ μεγάλο, προβλέπονται κατά την κατασκευή τους κατάλληλες διατάξεις, ώστε να είναι εύκολη η ανάρτησή τους. Τα σημεία αναρτήσεως είναι συνήθως δύο και χωρίζουν τον πάσσαλο σε τρία μέρη, των οποίων τα μήκη είναι περίπου ανάλογα με τους αριθμούς 5, 14 και 5 (σχ. 24.3α).

Έτσι όταν ο πάσσαλος αναρτηθεί, λειτουργεί ως μία αμφιπροέχουσα δοκός, της οποίας το άνοιγμα έχει μήκος $14a$ και οι δύο πρόβολοι έχουν μήκος $5a$ ο καθένας. Ο οπλισμός και οι μέγιστες θλιπτικές τάσεις σ_b του σκυροδέματος υπολογίζονται, όπως και σε μία συνηθισμένη δοκό με ορθογωνική διατομή.

Εάν το βάρος του πασσάλου ανά μέτρο μήκους είναι g , στα σημεία αναρτήσεως υπάρχουν αρνητικές ροπές $M_1 = -\frac{g}{2}(5a)^2 = -12,5 ga^2$. Στο μέσο του πασσάλου αναπτύσσεται η μέγιστη θετική ροπή, που είναι



Σχ. 24.3α.

Ευνοϊκές θέσεις για την πρόβλεψη σημείων αναρτήσεως πρόχυτου πασσάλου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

$M_2 = \frac{g}{8} (14a)^2 - \frac{g}{2} (5a)^2 = + 12 ga^2$. Ο πάσσαλος επομένως οπλίζεται συμμετρικά, ώστε να μπορεί να αντέχει σε οποιαδήποτε θέση του σε μία ροπή ίση με $12,5 ga^2$, είτε θετική είτε αρνητική.

Για τα δυναμικά φορτία υπάρχουν διάφοροι τύποι, περισσότερο εμπειρικοί παρά θεωρητικοί, οι οποίοι τα καθορίζουν, όταν είναι γνωστές οι διαστάσεις και το βάρος του πασσάλου, το βάρος και το ύψος πτώσεως του κριού και η μικρότερη διείσδυση του πασσάλου, που προβλέπεται ότι θα παρουσιασθεί για κάθε κρούση. Για τους τύπους αυτούς έγινε λόγος και στον Α΄ Τόμο της Γενικής Δομικής. Οι ίδιοι αυτοί τύποι χρησιμεύουν για να βρεθεί το δυναμικό φορτίο του πασσάλου και από αυτό να εκτιμηθεί η ποιότητα του εδάφους, η αντοχή του και οι πιθανές υποχωρήσεις του πασσάλου [παράγρ. 3.3 (Γ) και 6.4].

Όταν πρόκειται να κατασκευασθεί μία πασάλλωση με πρόχυτους πασσάλους, είναι γνωστά τα στοιχεία του πασσάλου και του κριού. Είναι επίσης καθορισμένο το φορτίο, που πρέπει τελικά να μπορεί να αναλάβει κάθε πάσσαλος. Το φορτίο αυτό, όταν πολλαπλασιασθεί με ένα κατάλληλο συντελεστή μεγαλύτερο της μονάδας, δίνει το μέγιστο δυναμικό φορτίο.

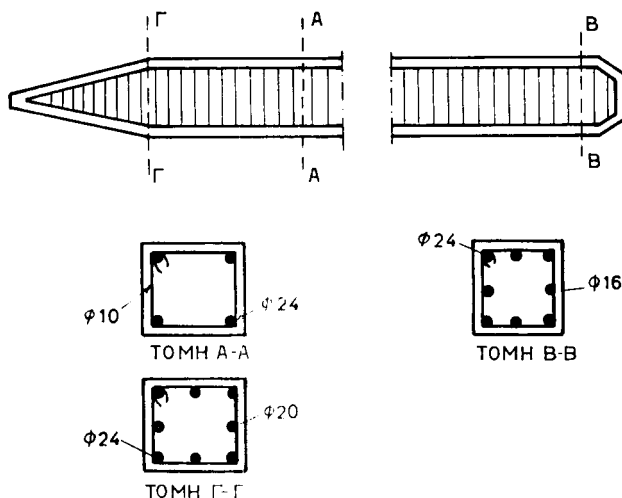
Από αυτό, με τη βοήθεια του κατάλληλου τύπου, υπολογίζεται η ελάχιστη διείσδυση, που πρέπει να παρουσιάζεται σε κάθε κρούση του κριού, για να θεωρηθεί ότι ο πάσσαλος έχει εισδύσει αρκετά, ώστε να έχει την αντοχή, που χρειάζεται.

Εφ' όσον το μέγιστο δυναμικό φορτίο του πασσάλου είναι έτσι καθορισμένο, ο υπολογισμός γίνεται, όπως σε ένα απλό υποστύλωμα. Χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\sigma_{\text{επ}} \geq \frac{\omega P}{F_i},$$

όπου $F_i = F_b + \frac{\sigma_s}{K_b} F_\phi$. Ο έλεγχος δηλαδή γίνεται σε κεντρική θλίψη και λαμβάνεται υπόψη ο κίνδυνος λυγισμού.

Για το διαμήκη οπλισμό F_ϕ ισχύουν τα ελάχιστα και μέγιστα όρια, που καθορίζουν οι κανονισμοί για τα υποστυλώματα. Ο οπλισμός αυτός βέβαια, όπως αναφέρθηκε ήδη, πρέπει να είναι επαρκής, για να αναλάβει και τις ροπές κάμψης, που αναπτύσσονται



Σχ. 24.3β.

Παράδειγμα πρόχυτου πασσάλου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

κατά τη μεταφορά του πασσάλου. Ο εγκάρσιος οπλισμός τοποθετείται, όπως και στα υποστυλώματα. Στην κεφαλή και στην αιχμή του πασσάλου ο εγκάρσιος οπλισμός αυξάνεται τοπικά έτσι, ώστε οι συνδετήρες να απέχουν μεταξύ τους το πολύ 5 έως 6 cm. Είναι επίσης σκόπιμο να αυξάνεται λίγο και ο διαμήκης οπλισμός στις θέσεις αυτές (σχ. 24.3β).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 25

ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

25.1 Εισαγωγή.

Το προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι ένα οικοδομικό υλικό, το οποίο φαινομενικά δεν διαφέρει και πολύ από το οπλισμένο σκυρόδεμα. Πράγματι είναι και αυτό ένα σκυρόδεμα κατασκευασμένο με σκύρα (χαλίκια), άμμο, τσιμέντο και νερό, στο οποίο ενσωματώνεται χάλυβας. Όμως από την άποψη της λειτουργίας τους το προεντεταμένο και το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι δύο υλικά εντελώς διαφορετικά το ένα από το άλλο.

Στο οπλισμένο σκυρόδεμα ο χαλύβδινος οπλισμός παίζει ρόλο παθητικό, χρειάζεται δηλαδή, για να αναλαμβάνει το μέρος εκείνο από τις τάσεις, τις οποίες δημιουργούν τα φορτία, και το οποίο το σκυρόδεμα δεν μπορεί ή δεν επαρκεί, για να το αναλάβει. Αντίθετα το προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι σε θέση να αναλάβει μόνο του όλες τις τάσεις, που προκαλούν τα φορτία. Ο χάλυβας στην περίπτωση αυτή παίζει ρόλο ενεργητικό, χρειάζεται δηλαδή για να επιβάλλει επάνω στο σκυρόδεμα ένα ακόμη φορτίο. Το φορτίο αυτό συνδυάζεται με τα εξωτερικά φορτία με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι τιμές των τάσεων του σκυροδέματος μέσα σε εκείνα τα όρια, στα οποία αυτό είναι σε θέση να τις αναλάβει μόνο του.

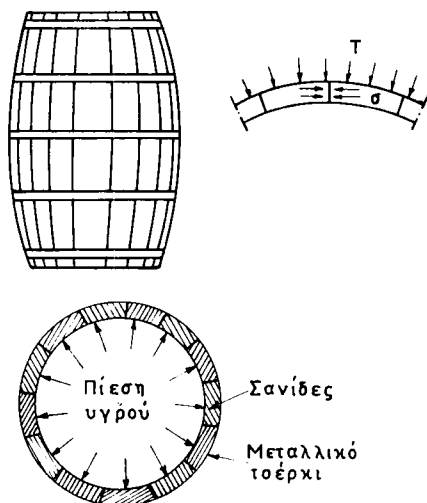
Πρακτικά δεν είναι σχεδόν ποτέ δυνατόν να επιτευχθεί το αποτέλεσμα αυτό σε όλα τα σημεία της κατασκευής. Γι' αυτό σε όλες τις κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα προβλέπεται και κάποιος οπλισμός. Ο οπλισμός αυτός, ο οποίος παίζει ρόλο παθητικό, όπως και ο οπλισμός του οπλισμένου σκυροδέματος, αναλαμβάνει κυρίως δευτερεύουσες τάσεις.

Η ιδέα του προεντεταμένου σκυροδέματος είναι αρκετά παλιά. Αφού το μεγαλύτερο ποσοστό του σκυροδέματος σε μία κατασκευή

από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί μόνο νεκρό φορτίο, χωρίς να μπορεί να αναλάβει τάσεις, πολλοί σκέφθηκαν να επιτύχουν μία καλύτερη εκμετάλλευσή του. Η πείρα, που υπήρχε από παλαιότερα υλικά με παρόμοιες ιδιότητες, όπως οι λιθοδομές και οι πλινθοδομές, δίδασκε ότι τέτοια υλικά γίνονται πολύ χρήσιμα, όταν υπόκεινται σε θλιπτικές δυνάμεις συγχρόνως με τα κύρια φορτία τους. Η αρχή αυτή είχε ήδη εφαρμοσθεί από τα πολύ παλιά χρόνια στους θόλους, τις ασίδες, τους τοίχους αντιστηρίξεως κλπ.

Η πλήρης εκμετάλλευση του σκυροδέματος φαινόταν ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί, εάν κάθε στοιχείο της κατασκευής αποκτούσε εκ των προτέρων θλιπτικές τάσεις στις διατομές του. Τα στοιχεία αυτά θα μπορούσαν να ονομάζονται **προεντεταμένα**, αφού θα βρίσκονταν σε ενταντική κατάσταση, προτού τεθούν σε λειτουργία.

Η μέθοδος αυτή είχε ήδη χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιπτώσεις με άλλα υλικά, όπως π.χ. την κατασκευή των βαρελιών. Πράγματι τα μεταλλικά **τσέρκια** των βαρελιών δημιουργούν σημαντικές αρχικές θλιπτικές τάσεις στους αρμούς των σανίδων, που αποτελούν τα τοιχώματά τους. Όταν το βαρέλι είναι γεμάτο, το υγρό



Σχ. 25.1α.

Οι αρχικές πιέσεις μεταξύ των σανίδων του βαρελιού μειώνονται, όταν γεμίσει, αλλά δεν μηδενίζονται, ώστε να κινδυνεύει η στεγανότητά του.

πιέζει τα τοιχώματα και προκαλεί εφελκυστικές τάσεις, που θα ήταν σχεδόν αδύνατον να μεταδοθούν από τη μία σανίδα στην άλλη. Εξ' άλλου, όπως και να ήταν συνδεδεμένες οι σανίδες, θα ήταν αδύνατο να διατηρηθεί η στεγανότητα. Επειδή όμως υπάρχει η προένταση, δηλαδή οι αρχικές θλιπτικές τάσεις στους αρμούς, η πίεση του υγρού απλά τις μειώνει, χωρίς να κινδυνεύει ούτε η αντοχή ούτε η στεγανότητα του βαρελιού (σχ. 25.1).

Η ιδέα λοιπόν υπήρχε, η εφαρμογή της όμως παρουσίαζε δυσκολίες. Μία δυσκολία ήταν πώς θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν οι αρχικές τάσεις στο σκυρόδεμα. Στο πρόβλημα αυτό γρήγορα βρέθηκαν διάφορες λύσεις, που φαίνονταν να είναι κατάλληλες. Όμως οι προσπάθειες προσέκρουσαν σε μία άλλη δυσκολία: πώς θα ήταν δυνατόν οι αρχικές τάσεις να διατηρηθούν επ' άπειρον. Πράγματι τα πειράματα αποτύχαιναν, επειδή σιγά σιγά οι αρχικές τάσεις μειώνονταν ή ακόμη και εξαφανίζονταν.

Η λύση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε, όταν έγινε δυνατόν να βελτιωθεί η ποιότητα των υλικών. Πάντοτε οι αρχικές τάσεις μειώνονται σιγά σιγά, οι απώλειες όμως είναι περίπου ίδιες σε όλες τις περιπτώσεις. Έτσι, εάν οι αρχικές τάσεις είναι πολύ μεγάλες, απομένει τελικά ένα σημαντικό ωφέλιμο ποσοστό τους. Το προεντεταμένο σκυρόδεμα έγινε λοιπόν πραγματικότητα μόνον, όταν έγινε δυνατή η κατασκευή σκυροδεμάτων με αντοχή σε θλίψη 300 έως 600 kg/cm², κυρίως όμως, όταν κατασκευάσθηκαν χάλυβες με όριο διαρροής γύρω στα 15.000 kg/cm². Δεδομένου ότι ο κοινός χάλυβας έχει όριο διαρροής περίπου 2.400 kg/cm², καταλαβαίνουμε αμέσως την τεράστια διαφορά μεταξύ των ποιοτήτων των δύο υλικών.

Πατέρας του προεντεταμένου σκυροδέματος υπήρξε ο Γάλλος μηχανικός Freyssinet, ο οποίος ήδη το 1926 δημοσίευσε τα αποτελέσματα των πρώτων σχετικών πειραμάτων. Σοβαρά όμως έργα από προεντεταμένο σκυρόδεμα κατασκευάσθηκαν μόλις το 1940.

25.2 Η λειτουργία της προεντεταμένης δοκού.

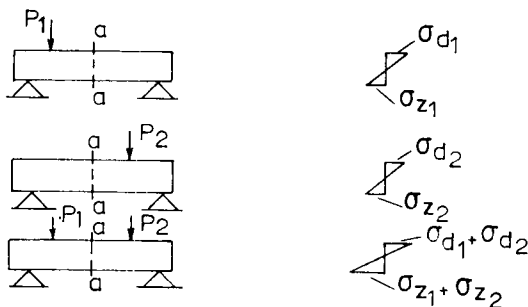
Σε όλα σχεδόν τα υλικά και μέσα σε ορισμένα όρια ισχύει με αρκετή προσέγγιση η *αρχή της επαλληλίας των τάσεων*. Σύμφωνα με αυτήν την αρχή, όταν επάνω σε ένα σώμα ενεργούν συγχρόνως δύο φορτίσεις, οι ορθές και διατμητικές τάσεις σε κάθε σημείο του σώματος ισούνται με το αλγεβρικό άθροισμα των δύο αντιστοίχων τάσεων, τις οποίες θα προ-

καλούσαν στο ίδιο σημείο οι δύο αυτές φορτίσεις, εάν ενεργούσαν χωριστά η κάθε μία.

Έστω δηλαδή ότι μία φόρτιση προκαλεί μία ορθή τάση σ_1 και μία διατμητική τ_1 σε ένα σημείο μίας κατασκευής, ενώ μία δεύτερη φόρτιση προκαλεί στο ίδιο σημείο μία ορθή τάση σ_2 και μία διατμητική τ_2 . Εάν οι δύο φορτίσεις ενεργήσουν συγχρόνως, στο ίδιο σημείο θα αναπτυχθεί μία ορθή τάση περίπου ίση με $\sigma_1 + \sigma_2$ και μία διατμητική τάση περίπου ίση με $\tau_1 + \tau_2$.

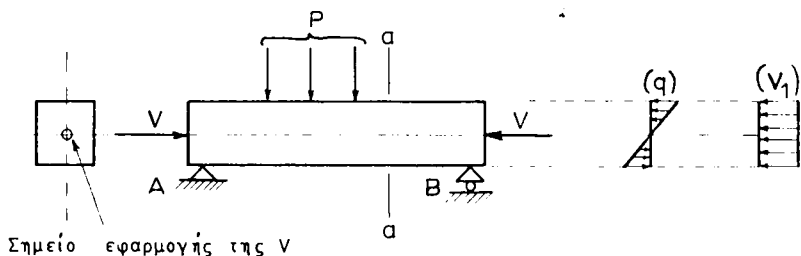
Η αρχή της επαλληλίας ισχύει, εφ' όσον οι τάσεις, που αντιστοιχούν στις πραγματικές φορτίσεις, περιέχονται μεταξύ ορισμένων ορίων, έστω και αν οι τάσεις, που αντιστοιχούν στις δύο φανταστικές φορτίσεις, εξέρχονται από αυτή την περιοχή. Τα όρια αυτά για τις ορθές τάσεις είναι μία εφελκυστική τάση σ_z και μία θλιπτική σ_d . Μεταξύ των δύο αυτών τάσεων ισχύει με ικανοποιητική προσέγγιση ο νόμος του Hooke, γι' αυτό οι τάσεις αυτές λέγονται και **όρια αναλογίας**. Στην περίπτωση του σκυροδέματος οι επιτρεπόμενες τάσεις βρίσκονται πάντοτε μεταξύ των δύο ορίων αναλογίας, μπορεί λοιπόν να θεωρείται βέβαιο ότι ισχύει η αρχή της επαλληλίας των τάσεων για το σκυρόδεμα, όταν οι τάσεις, που πράγματι αναπτύσσονται είναι ανεκτές (σχ. 25.2α). Αυτό συμβαίνει πάντοτε στα έργα από προεντεταμένο σκυρόδεμα, εφ' όσον βέβαια δεν επιτρέπομε σε αυτά να επιβαρύνονται με τάσεις μη ανεκτές.

Ας θεωρηθεί τώρα μία δοκός AB, αμφιέριστη η οποία κάμπτεται από το βάρος της ή και από άλλα πρόσθετα φορτία. Σε κάθε διατομή της δοκού, π.χ. την α - α, αναπτύσσονται, όπως είναι γνωστό, ορθές τάσεις, που κατανέμονται σύμφωνα με το διάγραμμα (q), όταν το υλικό είναι ομοιογενές και υπακούει στο νόμο του Hooke. Εάν στα άκρα της ίδιας δοκού ενεργούν δύο αντίθετες θλιπτικές δυνάμεις V, οι δυνάμεις



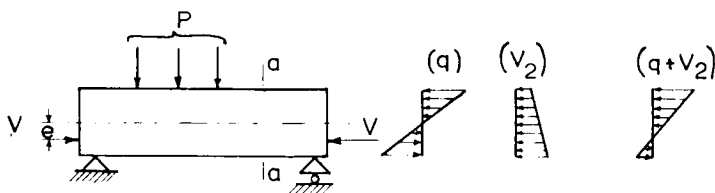
Σχ. 25.2α.

Αρχή της επαλληλίας. Τα φορτία P_1 και P_2 προκαλούν στη διατομή α-α τάσεις ίσες με το άθροισμα των τάσεων, που προκαλούνται, όταν το καθένα από αυτά ενεργεί μόνο του.



Σχ. 25.2β.

Τάσεις σ_b στη διατομή $a-a$ μιας προεντεταμένης δοκού από τα φορτία P και από την προένταση V .



Σχ. 25.2γ.

Επαλληλία των τάσεων (q) λόγω των φορτίων P και των τάσεων (V_2) , λόγω της προεντάσεως V στη διατομή $a-a$ της δοκού.

αυτές προκαλούν επίσης ορθές τάσεις σε κάθε διατομή της. Όταν μάλιστα οι δυνάμεις V εφαρμόζονται στο κέντρο βάρους της διατομής, οι τάσεις είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες, όπως εικονίζονται στο διάγραμμα (V_1) (σχ. 25.2β).

Όταν οι δυνάμεις V ενεργούν συγχρόνως με τα φορτία, τα οποία προκαλούν την κάμψη, οι ορθές τάσεις σε κάθε διατομή θα προκύπτουν από την επαλληλία των διαγραμμάτων (q) και (V_1) . Για να είναι αυτό ορθό, πρέπει να ισχύει η αρχή της επαλληλίας των τάσεων, πράγμα που με βεβαιότητα συμβαίνει, εάν οι τάσεις, που προκύπτουν με την επαλληλία είναι ανεκτές.

Όταν οι δυνάμεις V είναι έκκεντρες, οι ορθές τάσεις, που αναπτύσσονται εξαιτίας τους, δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες, αλλά ακολουθούν ένα διάγραμμα όμοιο με το (V_2) (σχ. 25.2γ). Η επαλληλία με τις τάσεις (q) , που οφείλονται στη ροπή κάμψεως, μπορεί έτσι να δώσει ένα διάγραμμα ευνοϊκότερο από το προηγούμενο. Με άλλα λόγια, η ίδια δύναμη V μπορεί να συνδυασθεί με πολύ μεγαλύτερες ροπές κάμψεως, χωρίς οι τάσεις να υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια.

Το ζήτημα δεν είναι τόσο απλό, επειδή το διάγραμμα (q) μεταβάλλεται από τη μία διατομή της δοκού στην άλλη. Στα άκρα της δοκού π.χ. οι τάσεις, που οφείλονται στην κάμψη, είναι μηδενικές και έτσι μετά την

επαλληλία απομένει το διάγραμμα (V_2), το οποίο πιθανόν να είναι δυσμενέστερο από το ($q + V_2$) (σχ. 25.2γ).

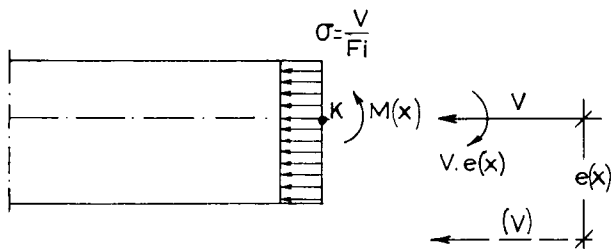
Βελτίωση του συστήματος μπορεί να γίνει, όταν το σημείο εφαρμογής της δυνάμεως V δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται από τη μία διατομή της δοκού στην άλλη. Έτσι στις θέσεις, στις οποίες οι ροπές κάμψεως είναι μικρές, είναι μικρή και η εκκεντρότητα της V , ενώ εκεί, όπου οι ροπές αυξάνονται, αυξάνεται και η εκκεντρότητα.

Πράγματι εάν κληθεί $e(x)$ η εκκεντρότητα της δυνάμεως V , σε κάθε διατομή x της δοκού υπάρχει μία ροπή κάμψεως $M(x)$, η αξονική δύναμη V στο κέντρο βάρους της διατομής και μία ροπή κάμψεως $-V \cdot e(x)$, που προκαλείται από τη δύναμη V . Συνολικά δηλαδή ενεργεί η θλιπτική δύναμη V και η ροπή κάμψεως $M(x) - V \cdot e(x)$.

Όσο μικρότερη είναι η διαφορά $M(x) - V \cdot e(x)$, τόσο μικρότερες είναι και οι διακυμάνσεις των τάσεων από τη μία θέση της δοκού στην άλλη. Θεωρητικά θα ήταν δυνατόν η εκκεντρότητα $e(x)$ να μεταβάλλεται έτσι, ώστε η διαφορά $M(x) - V \cdot e(x)$ να είναι παντού ίση με το μηδέν. Τότε η ορθή τάση σε όλες τις διατομές της δοκού θα ήταν ομοιόμορφη, θλιπτική βέβαια και ίση με το λόγο $\frac{V}{F_i}$, όπου F_i είναι το ιδεατό εμβαδόν

της διατομής.

Η άριστη αυτή λύση δεν μπορεί πρακτικά να εφαρμοσθεί, επειδή και τα φορτία, που προκαλούν την κάμψη, και η δύναμη προεντάσεως V μεταβάλλονται. Γι' αυτό πρέπει να γίνονται δύο τουλάχιστον έλεγχοι, ένας για το συνδυασμό της μέγιστης $M(x)$ με την ελάχιστη V και ένας για το συνδυασμό της μέγιστης με την ελάχιστη $M(x)$. Άλλος λόγος, ο οποίος εμποδίζει να μηδενισθεί η διαφορά $M(x) - V \cdot e(x)$, είναι το μέγεθος, που πρέπει να έχει η εκκεντρότητα $e(x)$. Πράγματι, εάν ο λόγος $\frac{M(x)}{V}$ είναι πολύ μεγάλος, η δύναμη V ενεργεί έξω από τη διατομή της δοκού (σχ. 25.2δ), για να μπορεί να είναι $M(x) - V \cdot e(x) = 0$. Αυτό πρακτικά είναι σχεδόν αδύνατο.



Σχ. 25.2δ.

Η διαφορά $M(x) - V \cdot e(x)$ δεν μπορεί να μηδενισθεί, όταν χρειάζεται τόσο μεγάλο $e(x)$, ώστε οι τένοντες να πρέπει να τοποθετηθούν έξω από τη διατομή.

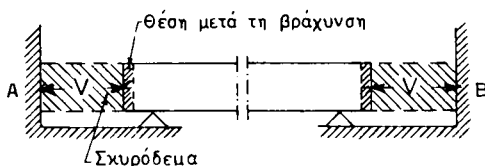
Σε μία προεντεταμένη δοκό μειώνονται οι εφελκυστικές τάσεις, χωρίς να αυξάνονται πολύ οι θλιπτικές. Συγχρόνως μειώνονται και τα βέλη κάμψεως και γενικότερα οι παραμορφώσεις. Πράγματι το βέλος δεν οφείλεται πια στις ροπές $M(x)$, αλλά στις πολύ μικρότερες ροπές $M(x) - V \cdot \theta(x)$. Εξ' άλλου οι τύποι, που δίνουν τα βέλη κάμψεως, έχουν στον παρονομαστή τη ροπή αδράνειας I . Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα το I αντιστοιχεί στο σύνολο της διατομής, ενώ στο οπλισμένο σκυρόδεμα αρκετό τμήμα των διατομών παραμένει αδρανές. Έτσι και ο παρονομαστής μεγαλώνει, επομένως τα βέλη κάμψεως μικραίνουν ακόμη περισσότερο.

Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν ρωγμές ούτε από την κάμψη, ούτε από άλλη αιτία, όπως π.χ. από τη συστολή του σκυροδέματος κατά την πήξη. Οποιαδήποτε ρωγμή και αν δημιουργηθεί, κλείνει, όταν εφαρμόζεται η δύναμη της προεντάσεως. Έτσι ο χάλυβας προστατεύεται εντελώς από τις εξωτερικές επιδράσεις.

Τέλος με την προένταση γίνεται αυτόματα και μία δοκιμαστική φόρτιση του έργου. Πράγματι οι μέγιστες τάσεις στο χάλυβα, όπως συνήθως και στο σκυρόδεμα, αναπτύσσονται τη στιγμή της προεντάσεως. Εάν η κατασκευή δεν υποστεί τότε ζημιές, αποκλείεται να τις υποστεί κατά τη λειτουργία της.

25.3 Τρόποι προεντάσεως.

Η δύναμη προεντάσεως V μπορεί να εξασκηθεί στο σκυρόδεμα με διάφορους τρόπους. Αν η δοκός βρίσκεται μεταξύ δύο σταθερών σημείων A και B (σχ. 25.3α), είναι δυνατόν η δύναμη V να εφαρμοσθεί προσωρινά με τη βοήθεια δύο γρύλων. Η δύναμη V θα προκαλέσει τη βράχυνση της δοκού και τα διάκενα, που υπάρχουν ανάμεσα σε αυτήν και τα σταθερά σημεία, θα διευρυνθούν. Τα διάκενα αυτά



Σχ. 25.3α.

Σε σπάνιες περιπτώσεις η προένταση επιτυγχάνεται με συμπίεση του σκυροδέματος και εξασφάλιση ότι αυτό θα διατηρήσει κατά το δυνατόν το μειωμένο του μήκος. Το πρόσθετο σκυρόδεμα (διαγραμμισμένο) βραχύνεται λίγο λόγω της συστολής από πήξη και των θλιπτικών τάσεων από τη δύναμη προεντάσεως V .

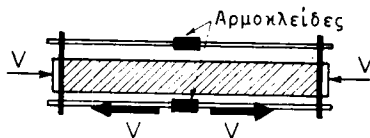
συμπληρώνονται με σκυρόδεμα ή άλλο κατάλληλο υλικό και, όταν αποκτήσει την απαιτούμενη αντοχή, οι γρύλοι αφαιρούνται. Έτσι παραμένει μόνιμα η βράχυνση, παραμένουν συνεπώς και οι θλιπτικές τάσεις, που την προκάλεσαν. Με άλλους λόγους η μόνιμη δύναμη V εξασκείται επάνω στη δοκό από τα σταθερά σημεία A και B μέσα από το υλικό, με το οποίο έχουν συμπληρωθεί τα διάκενα.

Η περίπτωση να υπάρχουν σταθερά στηρίγματα είναι πολύ σπάνια. Με τη μέθοδο αυτή επίσης η εκκεντρότητα $e(x)$ της δυνάμεως προεντάσεως δεν μπορεί να μεταβάλλεται από τη μία διατομή της δοκού στην άλλη, πράγμα που χρειάζεται στις περισσότερες περιπτώσεις.

Άλλος τρόπος, για να εφαρμοσθεί η δύναμη V , είναι να τοποθετηθούν στα δύο άκρα της δοκού δύο κεφαλές και να συνδεθούν μεταξύ τους με δύο τουλάχιστον ελκυστήρες, που βρίσκονται έξω από τη δοκό. Αν οι ελκυστήρες τεντωθούν, π.χ. με τη βοήθεια αρμοκλειδών, ώστε να υπόκεινται συνολικά σε μία εφελκυστική δύναμη V , η δοκός υπόκειται σε μία ίση θλιπτική δύναμη V . Και στην περίπτωση αυτή η εκκεντρότητα $e(x)$ είναι σταθερή σε όλο το μήκος της δοκού (σχ. 25.3β).

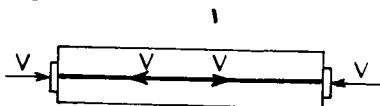
Μία παραλλαγή της προηγούμενης λύσεως είναι να περνούν οι ελκυστήρες από το εσωτερικό της δοκού (σχ. 25.3γ). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υπάρχει και ένας μόνο ελκυστήρας. Οι ελκυστήρες αυτοί ή **τένοντες** περνούν μέσα από κοιλότητες της δοκού, που έχουν τη μορφή σωληνώσεων. Οι σωληνώσεις αυτές μπορεί να μην είναι ευθύγραμμες, οπότε η εκκεντρότητα $e(x)$ της δυνάμεως προεντάσεως μπορεί να είναι μεταβλητή (σχ. 25.3δ).

Με τη λύση αυτή υπάρχει και το πλεονέκτημα ότι η δοκός δεν κινδυνεύει από λυγισμό, όσο μεγάλη και αν είναι η δύναμη V και όσο



Σχ. 25.3β.

Εφαρμογή της προεντάσεως με συμπίεση του σκυροδέματος, που επιτυγχάνεται με ελκυστήρες, που βρίσκονται έξω από το σκυρόδεμα.



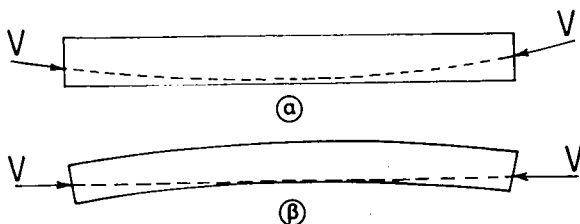
Σχ. 25.3γ.

Συνηθισμένη περίπτωση προεντάσεως με συμπίεση του σκυροδέματος με ελκυστήρες, που ενσωματώνονται σε αυτό.



Σχ. 25.3δ.

Οι τένοντες, που ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα, έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν είναι απαραίτητο να είναι ευθύγραμμες.

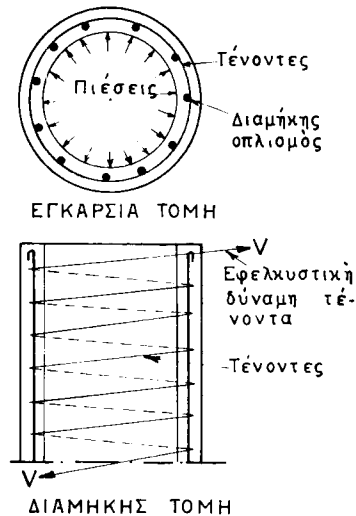


Σχ. 25.3ε.

Για οσονδήποτε μεγάλη δύναμη θλίψεως V δεν υπάρχει κίνδυνος λυγισμού, γιατί ο τένοντας δεν επιτρέπει να αυξηθεί η παραμόρφωση της δοκού (α) πέραν της μορφής (β).

μικρή και αν είναι η διατομή της σε σχέση με το μήκος της. Πράγματι, εάν αρχίσει να εμφανίζεται το φαινόμενο του λυγισμού, οι τένοντες τείνουν να επιμηκυνθούν, για να ακολουθήσουν το λυγισμό της δοκού. Επειδή όμως οι τένοντες υπόκεινται σε μεγάλες εφελκυστικές τάσεις αντιδρούν στην παραμόρφωση αυτή και εξουδετερώνουν το λυγισμό (σχ. 25.3ε).

Όταν τα στοιχεία, που πρόκειται να υποστούν την προένταση, δεν είναι ευθύγραμμα, όπως οι απλές δοκοί, μπορούν να εφαρμοσθούν και άλλοι τρόποι, για να επιβληθεί η δύναμη προεντάσεως. Έτσι σε σωλήνες ή σε κυλινδρικές δεξαμενές π.χ., όπου οι πιέσεις των υγρών από το εσωτερικό προκαλούν εφελκυστικές τάσεις, η προένταση είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί, όταν οι τένοντες τυλιχθούν στην εξωτερική τους επιφάνεια. Οι τένοντες στην περίπτωση αυτή είναι χαλύβδινα σύρματα και τυλίγονται, όπως η κλωστή στην κουβαρίστρα, αφού προηγουμένως τεντωθούν, ώστε στις διατομές τους να αναπτυχθούν οι απαραίτητες εφελκυστικές τάσεις (σχ. 25.3ζ).

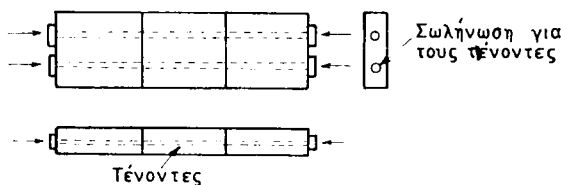


Σχ. 25.3ζ.

Τρόπος προεντάσεως σωλήνα από σκυρόδεμα.

Σχεδόν πάντοτε λοιπόν η προένταση του σκυροδέματος επιβάλλεται με χαλύβδινους τένοντες, οι οποίοι υπόκεινται σε μεγάλες εφελκυστικές τάσεις και μεταδίδουν στο σκυρόδεμα δυνάμεις θλίψεως. Οι τένοντες υποβάλλονται σε εφελκυσμό με τη βοήθεια καταλλήλων συσκευών, που ενεργούν πρόσκαιρα. Όταν απομακρυνθούν οι συσκευές αυτές, το ρόλο τους αναλαμβάνει το ίδιο το σκυρόδεμα, στο οποίο πρέπει να αγκυρωθούν οι τένοντες. Μετά την αγκύρωση δεν τους επιτρέπεται να ανακτήσουν πάλι το αρχικό τους μήκος, οπότε οι τάσεις θα μηδενίζονταν. Η αγκύρωση αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλες διατάξεις, που διαφέρουν από το ένα σύστημα προεντάσεως στο άλλο και από το ένα είδος κατασκευής στο άλλο.

Στις κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα οι φάσεις της εκτελέσεώς τους μπορούν να ακολουθήσουν η μία την άλλη κατά δύο διαφορετικούς τρόπους. Συνήθως κατασκευάζεται πρώτα το σκυρόδεμα, στο οποίο ενσωματώνονται και οι τένοντες και κατόπιν γίνεται η προένταση και η αγκύρωσή τους (Post - Tensioned Prestressed Concrete). Σπανιότερα γίνεται πρώτα η προένταση των



Σχ. 25.3η.

Προεντεταμένη δοκός, που κατασκευάζεται με συναρμολόγηση προχύτων σπονδύλων που προεντείνονται εκ των υστέρων με τένοντες.

τενόνητων, επακολουθεί η διάστρωση του σκυροδέματος και τέλος η αγκύρωση των τενόνητων (Pre - Tensioned Prestressed Concrete). Η δεύτερη αυτή μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στα εργοστάσια για μαζική παραγωγή στοιχείων από προεντεταμένο σκυρόδεμα, τα οποία συνήθως έχουν σχετικά μικρές διαστάσεις. Η πρώτη είναι κυρίως η μέθοδος του εργοταξίου.

Η προένταση επιτρέπει ακόμη να κατασκευασθούν έργα με συναρμολόγηση τεμαχίων, που έχουν προκατασκευασθεί. Εάν στα κομμάτια αυτά προβλεφθούν κατάλληλες σωληνώσεις, για να περάσουν οι τένοντες, είναι δυνατόν, αφού τα κομμάτια συναρμολογηθούν, να τοποθετηθούν οι τένοντες μέσα στις σωληνώσεις τους και να γίνει η προένταση (σχ. 25.3η). Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσονται στους αρμούς θλιπτικές τάσεις και το αποτέλεσμα είναι ότι η κατασκευή λειτουργεί, σαν να ήταν ολόσωμη. Είναι δυνατόν να πούμε ότι παρουσιάζεται το ίδιο φαινόμενο, που επιτρέπει σε ένα θόλο από ανεξάρτητους θολίτες να λειτουργεί ως ολόσωμη κατασκευή.

Η προένταση λοιπόν συνδυάζεται με την προκατασκευή και τη βιομηχανική παραγωγή στοιχείων από σκυρόδεμα, που αποτελεί οπωσδήποτε τη μελλοντική εξέλιξη στην κατασκευή των δομικών έργων.

25.4 Συστήματα προεντάσεως.

Υπάρχουν πολλά συστήματα προεντάσεως, που διαφέρουν μεταξύ τους, επειδή χρησιμοποιούν διαφορετικά υλικά και διαφορετικό μηχανικό εξοπλισμό. Με τον όρο υλικά νοούνται γενικά οι τένοντες με τα εξαρτήματά τους, όπως και οι διατάξεις για την αγκύρωσή τους. Ο μηχανικός εξοπλισμός περιλαμβάνει κυρίως γρύ-

λους, αντλίες ή παρόμοια εργαλεία, με τα οποία επιβάλλονται οι τάσεις στους τένοντες, όπως και διάφορα όργανα μετρήσεως, μανόμετρα, βελόμετρα κλπ.

Γενικά τα συστήματα προεντάσεως καλύπτονται από διπλώματα ευρεσιτεχνίας, επομένως τα υλικά και ο εξοπλισμός παράγονται και διατίθενται μόνο από εκείνους, που κατέχουν το σχετικό δίπλωμα. Από όλα τα συστήματα αυτά περιγράφονται σύντομα τα συστήματα Freyssinet, Morandi και B.B.R.V., που έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά στην Ελλάδα. Επίσης περιγράφεται και το σύστημα Leonhardt, επειδή είναι ένα σύστημα, που βασίζεται σε αρχές πολύ διαφορετικές από τα τρία προηγούμενα. Στη χώρα μας χρησιμοποιείται και το σύστημα Dywidag, το οποίο διαφέρει από τα προηγούμενα, γιατί χρησιμοποιεί ως τένοντες ράβδους διαμέτρου πάνω από 20 mm από χάλυβα μέσης αντοχής, δηλαδή με όριο διαρροής γύρω στα 8.000 έως 10.000 kg/cm².

A. Σύστημα Freyssinet.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται ως τένοντες χαλύβδινα καλώδια, που αποτελούνται από έναν αριθμό ράβδων με κυκλική διατομή και με την ίδια διάμετρο.

Ο αριθμός των ράβδων μπορεί να είναι 8, 10, 12, 14, 16 ή 18 και η διάμετρος 5 ή 7 mm. Κυρίως χρησιμοποιούνται καλώδια 12 $\varnothing$ 7, δηλαδή με 12 ράβδους διαμέτρου 7 mm. Οι ράβδοι είναι τοποθετημένες γύρω από ένα ελικοειδές ελατήριο και περιβάλλονται από ένα προστατευτικό σωλήνα από ελαφρό υλικό. Άλλοτε οι σωλήνες ήταν χάρτινοι, τώρα όμως κατά κανόνα κατασκευάζονται από ένα πολύ λεπτό χαλύβδινο φύλλο, που αποκτάει με κατάλληλη επεξεργασία κυματοειδή μορφή (σχ. 25.4α).

Οι ράβδοι πρέπει να κινούνται ελεύθερα μέσα στο περίβλημα



Σχ. 25.4α.

Καλώδιο προεντάσεως για το σύστημα Freyssinet.

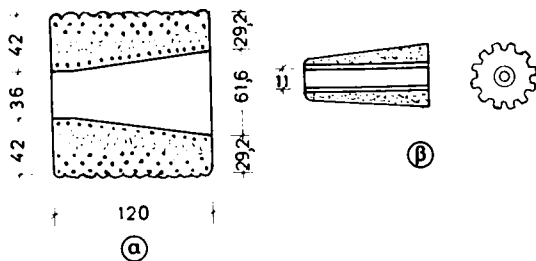
του καλωδίου, χωρίς όμως να εμπλέκονται μεταξύ τους ή να κάθε-
ται η μία πάνω στην άλλη. Το ελατήριο και ο σωλήνας εξασφαλίζουν
τους όρους αυτούς, ιδίως όταν το καλώδιο δεν τοποθετείται ευθύ-
γραμμο, αλλά ακολουθεί μία καμπύλη γραμμή.

Η αγκύρωση των τενόντων επιτυγχάνεται με ζεύγη κώνων, οι
οποίοι είναι κατασκευασμένοι από σκυρόδεμα εξαιρετικής ποιότη-
τας και πυκνότητα οπλισμένοι. Κάθε ζεύγος αποτελείται από ένα
κώνο θηλυκό και ένα αρσενικό (σχ. 25.4β). Οι θηλυκοί κώνοι ενσω-
ματώνονται στην κατασκευή, όταν διαστρώνεται το σκυρόδεμα. Από
την κεντρική τους κοιλότητα προεξέχουν τα άκρα των καλωδίων
κατά ένα μήκος τουλάχιστον ίσο με 55 cm.

Οι αγκυρώσεις πολλών καλωδίων συγκεντρώνονται συνήθως
στα άκρα των δοκών. Είναι σκόπιμο τα τμήματα των δοκών, που
περιέχουν τις αγκυρώσεις αυτές, να προκατασκευάζονται. Έτσι είναι
ευκολότερο να τοποθετηθούν οι θηλυκοί κώνοι με απόλυτη ακρίβεια
στη σωστή θέση τους. Τοποθετείται επίσης με μεγαλύτερη ακρίβεια
και ο ειδικός οπλισμός, ο οποίος χρειάζεται στην περιοχή αυτή, για να
αναλάβει τις τοπικές τάσεις, που είναι σημαντικές (σχ. 25.4γ).

Τα προκατασκευασμένα αυτά τμήματα των δοκών τοποθετού-
νται μέσα στους ξυλοτύπους, πριν διαστρωθεί το σκυρόδεμα της
κύριας κατασκευής, και τα καλώδια στηρίζονται σε αυτά διερχόμενα
μέσα από τις τρύπες των κώνων.

Οι αρσενικοί κώνοι έχουν στην εξωτερική τους επιφάνεια υπο-
δοχές για τους τένοντες και στον άξονά τους ένα χαλύβδινο σωλή-
να, για να περνάει το υλικό της τιμμεντενέσεως, για την οποία

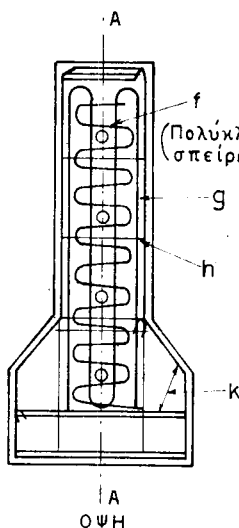


Σχ. 25.4β.

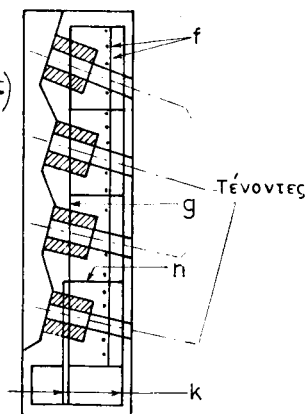
Κώνοι αγκυρώσεως καλωδίου για το σύστημα Freyssinet: α) Θηλυκός (τομή). β) Αρ-
σενικός (τομή και όψη).



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ



ΟΨΗ



ΤΟΜΗ Α-Α

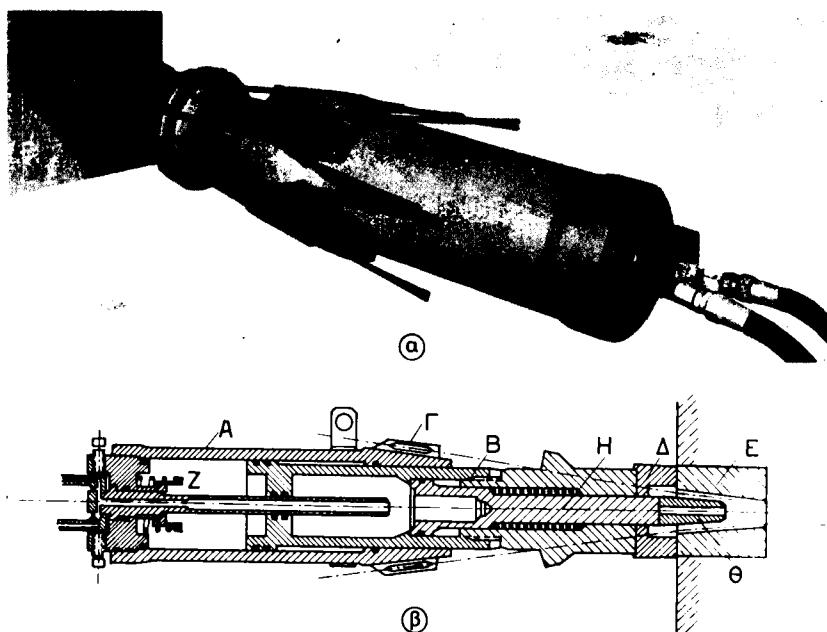
Σχ. 25.4γ.

Προκατασκευασμένο ακραίο τμήμα προεντεταμένης δοκού για την αγκύρωση των καλωδίων στο σύστημα Freyssinet.

γίνεται λόγος πιο κάτω. Οι κώνοι αυτοί τοποθετούνται στις κοιλότητες των θηλυκών κώνων έτσι, ώστε οι τένοντες να αγκυρώνονται με την τριβή, που αναπτύσσεται μεταξύ των τενόντων αφ' ενός και της εξωτερικής επιφάνειας των αρσενικών κώνων και της εσωτερικής των θηλυκών αφ' ετέρου.

Όταν διαστρωθεί το σκυρόδεμα θα περάσει η προθεσμία, που καθορίζει η μελέτη, εκτελείται η προένταση. Για την προένταση χρησιμοποιούνται ειδικοί γρύλοι (σχ. 25.4δ). Οι γρύλοι αποτελούνται από ένα περίβλημα Α, μέσα στην κοιλότητα του οποίου μπορεί να κινηθεί το κύριο σώμα του γρύλου Β. Το περίβλημα έχει στο εξωτερικό του κατάλληλες υποδοχές Γ, στις οποίες αγκυρώνονται προσωρινά οι τένοντες με τη βοήθεια μεταλλικών σφηνών. Η κεφαλή του γρύλου Δ στηρίζεται επάνω στο θηλυκό κώνο Ε, που είναι ενσωματωμένος στο σκυρόδεμα.

Στην κοιλότητα Ζ του γρύλου εισάγεται νερό ή λάδι υπό πίεση με τη βοήθεια μιας κατάλληλης αντλίας, οπότε το περίβλημά του Α απομακρύνεται από την κεφαλή του Δ και έτσι επιμηκύνονται οι

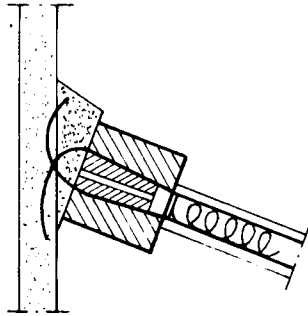


Σχ. 25.48.

Γρύλος για την προένταση καλωδίων στο σύστημα Freyssinet. α) Φωτογραφία. β) Κατά μήκος τομή.

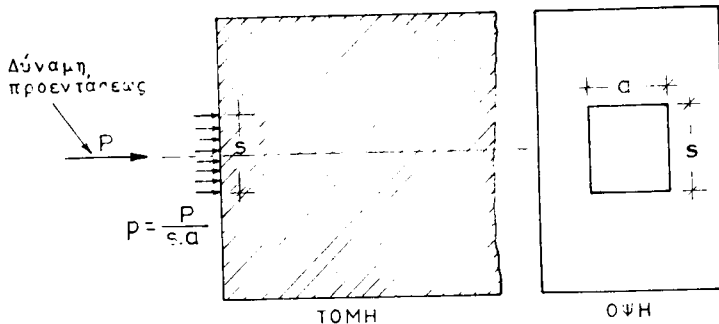
τένοντες. Η επιμήκυνση αυτή, που είναι ίση με τη διαδρομή του περιβλήματος του γρύλου, μπορεί να μετρηθεί εύκολα. Παρακολουθείται επίσης και η πίεση του υγρού με ένα μανόμετρο. Όταν η επιμήκυνση φθάσει το επιθυμητό όριο, ανοίγεται μία άλλη βαλβίδα στο άκρο του γρύλου, οπότε η πίεση εφαρμόζεται σε ένα μικρό έμβολο Η. Το έμβολο αυτό ωθεί τον αρσενικό κώνο Θ και έτσι οι τένοντες αγκυρώνονται οριστικά. Μετά την αγκύρωση αφαιρούνται οι γρύλοι, κόβονται τα ελεύθερα άκρα των τενόντων και τα υπόλοιπά τους κάμπτονται, ώστε να μην προεξέχουν (σχ. 25.4ε).

Η τελευταία φάση των εργασιών περιλαμβάνει την τσιμεντένεση, δηλαδή τη συμπλήρωση των κενών, που υπάρχουν μέσα στο καλώδιο, με τσιμεντοκονία, η οποία εισάγεται από τη σωλήνωση του αρσενικού κώνου. Τέλος οι κώνοι αγκυρώσεως καλύπτονται με στρώμα σκυροδέματος πάχους μερικών εκατοστών του μέτρου, που προστατεύει τα άκρα των τενόντων.



Σχ. 25.4ε.

Μετά την προένταση τα άκρα των συρμάτων κάμπτονται και καλύπτονται με σκυρόδεμα για προστασία.

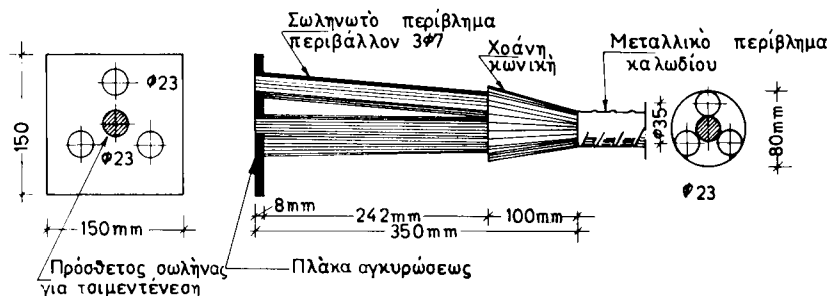


Σχ. 25.4ζ.

Οι πλάκες αγκυρώσεως στο σύστημα Morandi λύνουν το πρόβλημα της διανομής των τάσεων στην περιοχή της αγκυρώσεως των τενόντων.

B. Σύστημα Morandi.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται ως τένοντες καλώδια παρόμοια με τα καλώδια του συστήματος Freyssinet. Ο αριθμός των ράβδων σε κάθε καλώδιο είναι πάντοτε πολλαπλάσιο του τρία και η διάμετρός τους συνήθως 5 ή 7 mm. Οι δυνάμεις προεντάσεως εφαρμόζονται επάνω στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια χαλυβδίνων πλακών, που έχουν σχήμα τετραγωνικό ή ορθογωνικό. Οι πλάκες αυτές έχουν αρκετό εμβαδόν, ώστε οι δυνάμεις κατανέμονται από την αρχή σε αρκετή επιφάνεια και προκαλούν παντού τάσεις ανεκτές (σχ. 25.4ζ). Επίσης η αγκύρωση γίνεται έξω από το σκυρόδεμα και έτσι



Σχ. 25.4η.

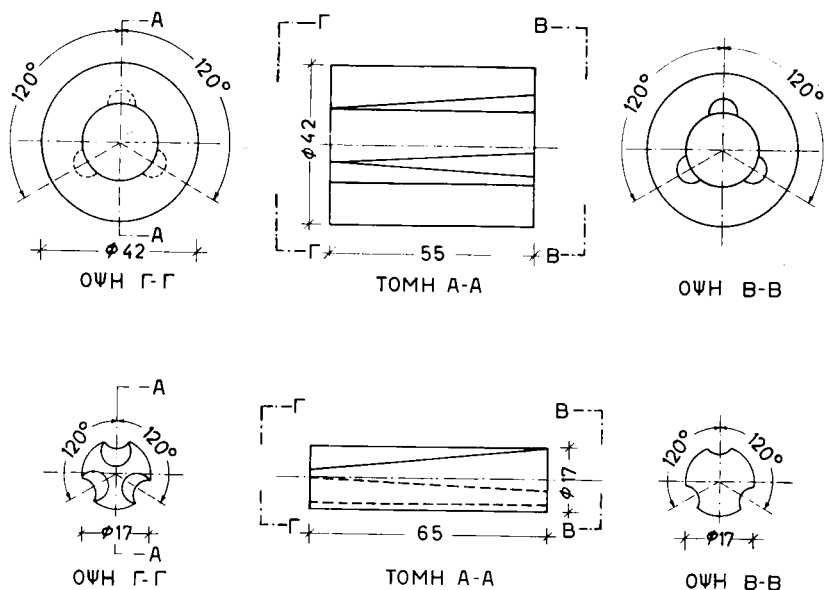
Συγκρότημα αγκυρώσεως καλωδίου προεντάσεως κατά το σύστημα Morandi.

δεν δημιουργούνται εγκάρσιες τάσεις διαρρήξεως του σκυροδέματος, όπως με τους κώνους του συστήματος Freyssinet. Για τους λόγους αυτούς περιττεύει ο βαρύς οπλισμός της περιοχής των αγκυρώσεων, που είναι απαραίτητος στο προηγούμενο σύστημα.

Στην όψη των χαλυβδίνων πλακών, που πρόκειται να έλθει σε επαφή με το σκυρόδεμα, είναι ηλεκτροσυγκολλημένοι σωλήνες, οι οποίοι συγκλίνουν (σχ. 25.4η). Εάν το καλώδιο έχει 3ν ράβδους, οι σωλήνες είναι $n + 1$. Διά μέσου κάθε σωλήνα διέρχονται τρεις ράβδοι και ο ένας από αυτούς, συνήθως ο κεντρικός, μένει κενός, για να γίνει μέσα από αυτόν η τσιμεντένεση.

Μεταξύ του τέλους της επενδύσεως του καλωδίου και της αρχής των σωλήνων παρεμβάλλεται ένας κώνος από λεπτό χαλύβδινο φύλλο, κλειστός στη βάση. Με τη διάταξη αυτή κατά τη διάστρωση δεν εισέρχεται σκυρόδεμα στο εσωτερικό του καλωδίου.

Η προένταση γίνεται με τη βοήθεια γρύλων και αντλιών, όπως και στο σύστημα Freyssinet. Ο εξοπλισμός είναι πολύ ελαφρότερος, επειδή η προένταση κάθε καλωδίου γίνεται κατά διαδοχικά στάδια. Η δύναμη, που εξασκείται, είναι σχετικά μικρή, επειδή σε κάθε στάδιο προεντάσεως έλκονται μόνο τρεις ράβδοι. Η αγκύρωση επιτυγχάνεται με ένα ζεύγος μικρών χαλυβδίνων κυλίνδρων, από τους οποίους ο ένας, ο εξωτερικός, είναι κοίλος και ο άλλος, ο εσωτερικός, στενότερος και συμπαγής. Στο διάκενο μεταξύ τους συγκρατούνται με την τριβή οι τρεις χαλύβδινες ράβδοι. Οι κύλινδροι αυτοί στηρίζονται επάνω στη χαλύβδινη πλάκα και της εφαρμόζουν τη δύναμη προεντάσεως, την οποία η ίδια μεταδίδει στο σκυρόδεμα.



Σχ. 25.4θ.

Ζεύγος χαλυβδίνων κυλίνδρων αγκυρώσεως για την αγκύρωση των τενόντων στο σύστημα Morandi.

Το μέγεθος των κυλίνδρων αυτών φθάνει μόλις τα λίγα εκατοστά του μέτρου (σχ. 25.4θ).

Μετά την αγκύρωση κόβονται τα ελεύθερα άκρα των καλωδίων, κάμπτονται τα υπόλοιπα των ράβδων και εκτελείται η τσιμεντένευση. Οι πλάκες και οι κύλινδροι μπορούν να καλυφθούν με ένα στρώμα σκυροδέματος για να προστατευθούν από την οξειδωση.

Γ. Σύστημα B.B.R.V.

Το σύστημα αυτό ανήκει σε διαφορετική κατηγορία από τα δύο προηγούμενα. Εδώ η αγκύρωση των τενόντων δεν εξασφαλίζεται με την τριβή, αλλά με κοχλίωση (βίδωμα). Η ίδια αυτή αρχή εφαρμόζεται και σε άλλα συστήματα, όπως τα Dywidag, Lee Mc Call κλπ. Η πρωτοτυπία του συστήματος B.B.R.V. είναι ότι δεν βιδώνεται κάθε μία ράβδος χωριστά, αλλά υπάρχουν γι' αυτό το σκοπό ειδικά άκρα καλωδίων, όπου αγκυρώνονται ομαδικά όλες οι ράβδοι κάθε καλωδίου. Για να συνδεόνται τα άκρα αυτά των καλωδίων με τις ρά-

βδους, έχουν τρύπες και από κάθε τρύπα διέρχεται μία ράβδος. Η σύνδεση εξασφαλίζεται με την ύπαρξη μίας κεφαλής. Η κεφαλή της ράβδου διαμορφώνεται στο εργοτάξιο με ένα κατάλληλο εργαλείο. Έτσι οι διατομές των ράβδων δεν μειώνονται από την ελικοτόμηση, όπως συμβαίνει στα άλλα συγγενή συστήματα (σχ. 25.4i).

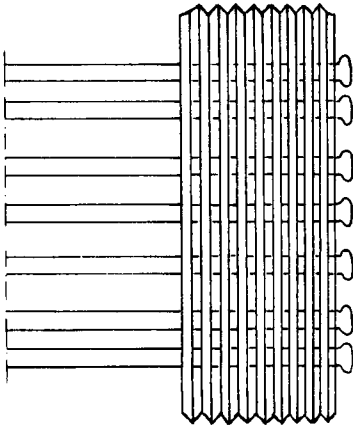
Η προένταση γίνεται συνήθως από το ένα μόνο άκρο του καλωδίου. Στο σταθερό άκρο τοποθετείται μία χαλύβδινη ορθογωνική πλάκα με τρύπες, από όπου διέρχονται οι τένοντες, αφού στα άκρα τους διαμορφωθούν κεφαλές. Στο μέσον της πλάκας αυτής υπάρχει μία σωλήνωση για την τσιμεντένεση. Οι τένοντες συγκλίνουν, όσο απομακρύνονται από την πλάκα, και σε απόσταση μισού περίπου μέτρου τοποθετούνται σε μία σωλήνωση από λεπτό μεταλλικό φύλλο, η οποία προβλέπεται για την προστασία του. Στην αρχή της σωληνώσεως αυτής καταλήγει και η σωλήνωση για την τσιμεντένεση και η συναρμογή σφραγίζεται με χυτάσφαλτο, ώστε να μην εισέρχεται κατά τη διάστρωσή του το σκυρόδεμα στο εσωτερικό του καλωδίου (σχ. 25.4κ).

Στο άλλο άκρο του καλωδίου (σχ. 25.4λ) ενσωματώνεται στο σκυρόδεμα μία μεταλλική υποδοχή Φ σε σχήμα φιάλης (μπουκάλα), μέσα στην οποία μπορεί να κινηθεί το κινητό άκρο του καλωδίου. Το καλώδιο είναι πιο κοντό από τη δοκό σε τόσο μήκος, όσο προβλέπεται κατά τη μελέτη ότι θα επιμηκυνθεί αυτό μετά την προένταση. Το κινητό άκρο του αποτελείται από έναν κοίλο κύλινδρο Κ ελικοτομημένο εσωτερικά και εξωτερικά. Ο κύλινδρος έχει τρύπες, από τις οποίες διέρχονται οι τένοντες και στερεώνονται με τη διάμρφωση κεφαλής, όπως ακριβώς και στο άλλο άκρο τους.

Στην εσωτερική ελίκωση του κυλίνδρου Κ βιδώνεται ένα μεταλλικό στέλεχος Σ. Το στέλεχος αυτό αγκυρώνεται και στο γρύλο, ο οποίος εδράζεται στο σκυρόδεμα, αφού προηγουμένως παρεμβληθεί το περικόχλιο (παξιμάδι) Π (σχ. 25.4μ).

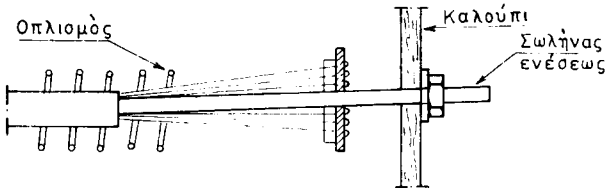
Εκτελείται η προένταση, το καλώδιο επιμηκύνεται και το άκρο του καλωδίου αρχίζει να εξέρχεται από τη φιάλη Φ. Τότε ο χειριστής αρχίζει να στρέφει το περικόχλιο Π, το οποίο βιδώνεται στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου Κ. Όταν συμπληρωθεί η προένταση, η κοχλίωση (βίδωμα) έχει ήδη εξασφαλίσει την αγκύρωση.

Αφαιρούνται στη συνέχεια ο γρύλος και το κεντρικό στέλεχος



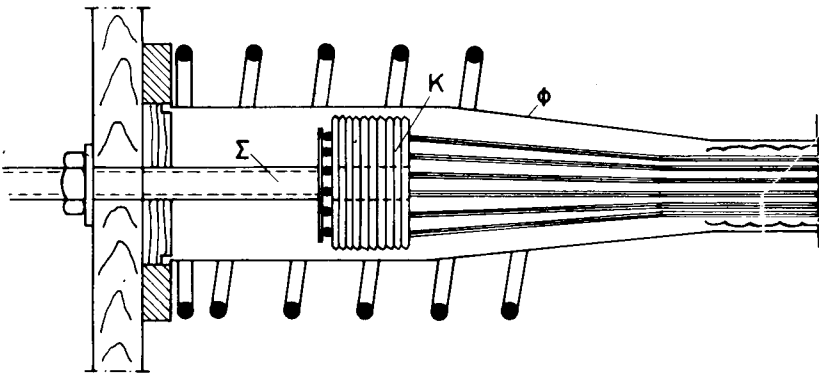
Σχ. 25.4ι.

Αγκύρωση των τενόντων (συρμάτων)
στην κεφαλή του καλωδίου με το σύστημα
μα B.B.R.V.



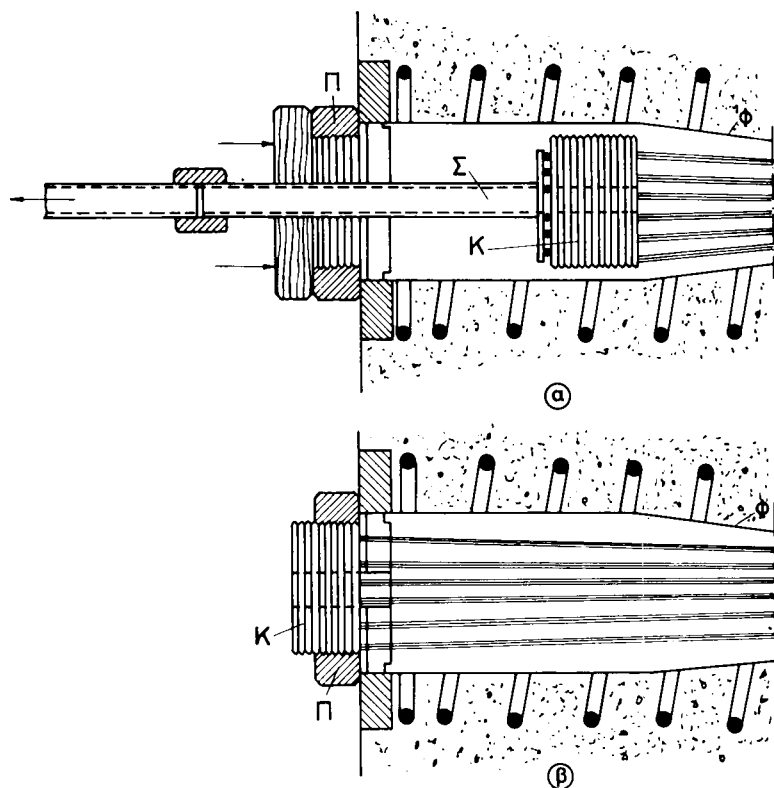
Σχ. 25.4κ.

Σταθερή κεφαλή καλωδίου με το σύστημα B.B.R.V. Μετά τη διάστρωση περιβάλλεται ολόκληρη με σκυρόδεμα που προεξέχει μόνο ο σωλήνας για την τσιμεντένευση.



Σχ. 25.4λ.

Κινητή κεφαλή καλωδίου στο σύστημα B.B.R.V. Το μεταλλικό της περίβλημα (μπουκάλα) δεν επιτρέπει στο σκυρόδεμα να έλθει κατά τη διάστρωσή του σε επαφή με το καλώδιο.



Σχ. 25.4μ.

Διαδοχικές φάσεις προεντάσεως καλωδίου με το σύστημα B.B.R.V.: α) Μετά την αφαίρεση του τύπου τοποθετείται το περικόχλιο Π και έλκεται το στέλεχος Σ. β) Όταν το καλώδιο επιμηκυνθεί, στρέφεται το περικόχλιο, ώστε να βιδωθεί η κεφαλή Κ.

Σ και γίνεται η τσιμεντένεση από το κεντρικό κοίλωμα του κυλίνδρου Κ. Είναι δυνατόν να γίνει και μία συμπληρωματική κοχλίωση του περικοχλίου αμέσως, πριν γίνει η τσιμεντένεση. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να μειωθούν κάπως οι απώλειες της προεντάσεως, επειδή αναιρείται το μέρος των απωλειών, που έχει συντελεσθεί μέχρι τη στιγμή εκείνη.

Τα καλώδια στο σύστημα B.B.R.V. αποτελούνται συνήθως από 44 ράβδους με διάμετρο 5 ή 6 mm, δηλαδή είναι πολύ μεγαλύτερα

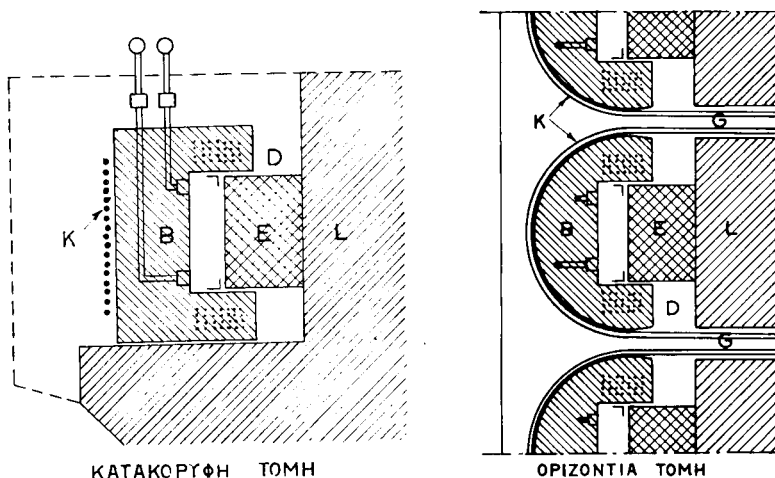
από τα καλώδια των προηγούμενων συστημάτων. Γι' αυτό το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλα έργα.

Δ. Σύστημα Leonhardt.

Το σύστημα αυτό διαφέρει ριζικά από τα προηγούμενα και είναι κατάλληλο για πολύ βαρείες κατασκευές, που θα χρειάζονταν πολύ μεγάλο αριθμό καλωδίων. Στο σύστημα αυτό τα καλώδια σε κάτοψη σχηματίζουν κλειστά σχήματα. Κάθε καλώδιο περνάει από δύο παράλληλες σωληνώσεις G, ενώ κάθε σωλήνωση, εκτός από τις ακραίες, φιλοξενεί δύο ομάδες καλωδίων (σχ. 25.4v).

Κατασκευάζονται πρώτα στα δύο άκρα του φορέα τα σώματα B από σκυρόδεμα, τα οποία στερεώνονται επάνω στον ξυλότυπο (καλούπι). Γύρω από αυτά τυλίγονται τα καλώδια K, που προσαρμόζονται στην εξωτερική κυλινδρική τους επιφάνεια. Κατασκευάζονται επίσης από σκυρόδεμα τα κυλινδρικά έμβολα E, τα οποία τοποθετούνται μέσα στις αντίστοιχες κυλινδρικές υποδοχές των σωμάτων B. Διαστρώνεται έπειτα το σκυρόδεμα του φορέα L.

Όταν πρόκειται να γίνει η προένταση, εισάγεται υγρό υπό πίεση στις κοιλότητες των σωμάτων B και έτσι τα έμβολα E ωθούνται προς τα έξω, δηλαδή προς το μέρος του φορέα. Το σκυρόδεμα του



Σχ. 25.4v.

Διάταξη τενόντων στο σύστημα προεντάσεως Leonhardt.

φορέα L, συμπιέζεται έτσι και κονταίνει (βραχύνεται), τα καλώδια εφελκύνονται και επιμηκύνονται και μεταξύ του φορέα και των σωμάτων B, που μετακινούνται βέβαια και αυτά λίγο, δημιουργείται ένα διάκενο D. Το διάκενο αυτό συμπληρώνεται με σκυρόδεμα, που εξασφαλίζει ότι θα διατηρηθούν οι παραμορφώσεις, συνεπώς και οι δυνάμεις προεντάσεως. Είναι δυνατόν ακόμη και το υγρό, το οποίο προκαλεί την πίεση, να είναι μία τσιμεντοκονία, οπότε, όταν αυτή πήξει, τα έμβολα E δεν μπορούν πια να επανέλθουν στην αρχική τους θέση και έτσι η προένταση γίνεται μόνιμη. Με τσιμεντοκονία επίσης συμπληρώνονται και οι σωληνώσεις των καλωδίων G.

Όπως τα καλώδια τυλίγονται γύρω από τα σώματα B, διερχόμενα μέσα από τις σωληνώσεις G, που προβλέπονται γι' αυτά, παρουσιάζουν πάντοτε μία αρχή και ένα τέλος. Τα άκρα των τενόντων μπλέκονται και καλύπτονται με σκυρόδεμα, πριν εφαρμοσθεί η προένταση, ώστε εξασφαλίζεται έτσι η αγκύρωση τους.

Στην αγκύρωση αυτή δεν εξασκούνται σοβαρές δυνάμεις, επειδή το τύλιγμα παρουσιάζει μεγάλες τριβές. Και εάν καταστραφεί ακόμη η αγκύρωση ή σπάσει κάπου ο τένοντας, θα χαλαρωθεί μόνο ένα τμήμα του καλωδίου, ενώ πέρα από αυτό οι τάσεις δεν θα μεταβληθούν. Οι τάσεις αυτές ισορροπούνται από τις τριβές του κομματιού του καλωδίου, που έχει εν μέρει χαλαρωθεί.

Τα καλώδια Leonhardt αποτελούνται από 7 σύρματα με διάμετρο 2,5 ή 3 mm και υπάρχουν στο εμπόριο σε μεγάλα μήκη, ώστε να τυλίγονται γύρω από τα σώματα B, όπως η κλωστή στην κουβαρίστρα.

25.5 Εκτέλεση της προεντάσεως στο εργοτάξιο.

Άσχετα με το σύστημα, το οποίο εφαρμόζεται, η εκτέλεση της προεντάσεως στις συνηθισμένες περιπτώσεις περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

- α) Επιβολή εφελκυστικής δυνάμεως στους τένοντες.
- β) Αγκύρωση των τενόντων.
- γ) Τσιμεντένεση.

Και οι τρεις αυτές φάσεις παρουσιάζουν λεπτά σημεία και οι αντίστοιχες εργασίες πρέπει να εκτελούνται με προσοχή και επίγνωση της σοβαρότητά τους.

Τα κατασκευαστικά σχέδια πρέπει να αναγράφουν σαφώς πόσο χρόνο μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος πρέπει να αρχίσουν οι εργασίες της προεντάσεως. Σε καμιά περίπτωση επιτρέπεται να εκτελείται η προένταση γρηγορότερα, από όσο έχει προβλεφθεί στη μελέτη. Το σημείο αυτό έχει μεγάλη σημασία.

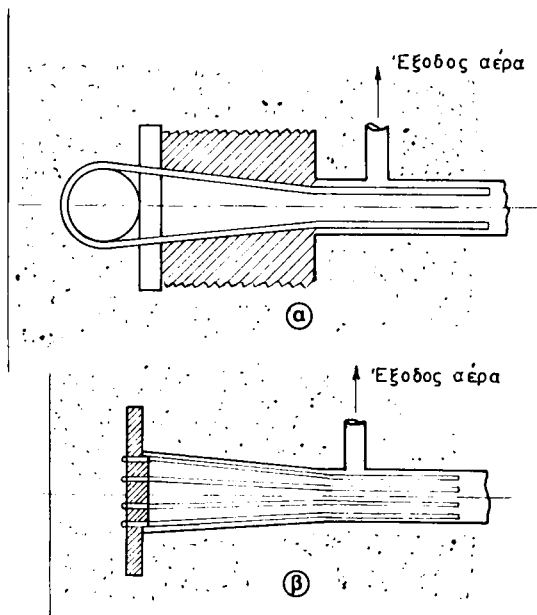
Το σκυρόδεμα είναι δυνατόν να έχει πολύ γρήγορα αποκτήσει αρκετή αντοχή, ώστε να αναλάβει με ασφάλεια τις τάσεις, που προκαλεί η προένταση. Ο κίνδυνος όμως βρίσκεται αλλού. Οι απώλειες της προεντάσεως για τις οποίες γίνεται λόγος στην επόμενη παράγραφο, είναι τόσο μεγαλύτερες, όσο μικρότερο διάστημα μεσολαβεί μεταξύ της διαστρώσεως του σκυροδέματος και της προεντάσεως. Μία πρόωγη προένταση λοιπόν σημαίνει ότι τελικά η δύναμη προεντάσεως θα είναι μικρότερη από εκείνη, που χρειάζεται.

Άλλο στοιχείο, που πρέπει να δίνουν τα κατασκευαστικά σχέδια, είναι η μήκυνση κάθε τένοντα και η αντίστοιχη πίεση, που πρέπει να αναγράφει το μανόμετρο του γρύλου. Η προένταση πρέπει να σταματάει μόνον, όταν ικανοποιούνται οι δύο αυτοί όροι.

Αν η πίεση φθάσει την προβλεπόμενη τιμή, χωρίς να έχει ακόμη επέλθει η αντίστοιχη μήκυνση, σημαίνει ότι οι τένοντες δεν κινούνται ελεύθερα μέσα στη σωλήνωσή τους. Εάν συμβεί κάτι τέτοιο, πρέπει να γίνει προσπάθεια, ώστε να απελευθερωθεί ο τένοντας. Για το σκοπό αυτό εισάγεται ένα λιπαντικό στο εσωτερικό του καλωδίου ή στην ανάγκη διακόπτεται η προένταση και επαναλαμβάνεται μόνον, αφού απελευθερωθούν οι τένοντες.

Σπανιότερα παρουσιάζεται το αντίθετο φαινόμενο, συμπληρώνεται δηλαδή η προβλεπόμενη μήκυνση, χωρίς να αυξηθεί η πίεση στην αντίστοιχη τιμή. Το γεγονός αυτό σημαίνει ή ότι ένα ή περισσότερα σύρματα του καλωδίου είναι κομμένα ή ότι ο χάλυβας δεν είναι της ποιότητας, που έχει προβλεφθεί, και έχει υπερβεί το όριο διαρροής του. Και στις δύο περιπτώσεις οι συνέπειες είναι σοβαρότατες. Αν είναι δυνατόν, πρέπει το καλώδιο να αντικατασταθεί, αν όχι, πρέπει να γίνει κάποια άλλη ενίσχυση της κατασκευής.

Η μήκυνση των καλωδίων πρέπει να μετρείται, αφού αφαιρεθεί το αρχικό της τμήμα, που οφείλεται στο γεγονός ότι οι τένοντες είναι αρχικά χαλαροί (μπόσικοι). Δίνεται δηλαδή στο γρύλο μία πολύ μικρή πίεση, απλώς για να τεντωθούν οι τένοντες και μετρείται η



Σχ. 25.5α.

Δύο τρόποι για την αγκύρωση του νεκρού άκρου καλωδίου με το σύστημα Freyssinet: α) Με σύρματα, που επιστρέφουν. β) Με κεφαλές στα σύρματα.

αντίστοιχη διαδρομή του εμβόλου. Η αρχική αυτή διαδρομή αφαιρείται από την τελική διαδρομή του εμβόλου, για να προκύψει το μέγεθος της πραγματικής μηκύνσεως.

Η προένταση ενός τένοντα μπορεί να εκτελεσθεί, αν η δύναμη προεντάσεως επιβληθεί είτε και στα δύο του άκρα, είτε μόνο στο ένα. Στην πρώτη περίπτωση η προένταση γίνεται συγχρόνως στα δύο άκρα και μάλιστα με προσπάθεια να αυξάνονται οι πιέσεις στους δύο γρύλους με τον ίδιο κατά το δυνατό ρυθμό. Στη δεύτερη περίπτωση το ένα άκρο πρέπει να αγκυρώνεται, πριν επιβληθούν οι δυνάμεις προεντάσεως στο άλλο. Κάθε σύστημα προεντάσεως προβλέπει έναν τρόπο, για να αγκυρώνεται το νεκρό αυτό άκρο του τένοντα. Το σχήμα 25.5α π.χ. εικονίζει δύο λύσεις για μία αγκύρωση αυτού του είδους στο σύστημα Freyssinet, ενώ στο σχήμα 25.4κ φαίνεται η αντίστοιχη διάταξη στο σύστημα B.B.R.V.

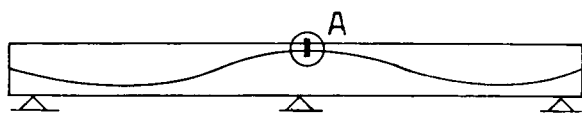
Η αγκύρωση των τενόντων πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και σύμφωνα με όλες τις λεπτομέρειες, που προβλέπουν οι προ-

διαγραφές του συστήματος, που εφαρμόζεται. Μία ανεπιτυχής αγκύρωση σημαίνει ότι χάνεται ένα πολύτιμο μέρος από τη δύναμη προεντάσεως.

Η τσιμεντένεση τέλος είναι μία εργασία λεπτή με πολύ μεγάλη σημασία. Οι τένοντες κινδυνεύουν να σκουριάσουν και να καταστραφούν, όσο περνάει ο καιρός, και μάλιστα ο κίνδυνος αυτός είναι τόσο μεγαλύτερος, όσο μεγαλύτερη είναι η εφελκυστική τάση τους. Για να εξασφαλισθούν οι τένοντες, πρέπει να περιβάλλονται τελείως με γαλάκτωμα τσιμέντου. Κατά την τσιμεντένεση λοιπόν πρέπει να είναι βέβαιο ότι έχουν γεμίσει τελείως όλα τα κενά μέσα στο περίβλημα του καλωδίου.

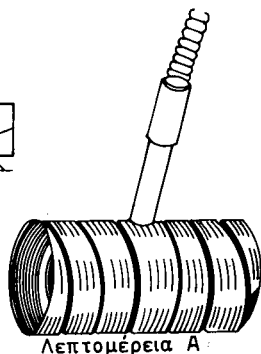
Η τσιμεντένεση γίνεται από το ένα άκρο του καλωδίου, ώστε από το άλλο να εξέρχεται ο αέρας. Όταν από το άκρο αυτό αρχίσει να εξέρχεται και τσιμεντοκονία, δεν έπεται ότι βγήκε όλος ο αέρας. Η τσιμεντένεση πρέπει να συνεχισθεί, μέχρις ότου σταματήσει η τσιμεντοκονία, που εξέρχεται, να έχει φυσαλίδες. Καλό είναι να μετρείται πόσος όγκος τσιμεντοκονίας παρέμεινε στο περίβλημα κάθε καλωδίου και να συγκρίνεται με το θεωρητικό όγκο των κενών, που έπρεπε να συμπληρωθούν.

Όταν το μήκος των καλωδίων είναι πολύ μεγάλο και ιδίως, όταν η διαδρομή του παρουσιάζει επανειλημμένες αλλαγές κατευθύνσεως, πρέπει να αφήνονται κατάλληλες σωληνώσεις μέσα στο σκυρόδεμα. Οι σωληνώσεις αυτές επιτρέπουν να επικοινωνεί το εσωτερικό του περιβλήματος του καλωδίου με τον ελεύθερο αέρα (σχ. 25.5β) και εκβάλλουν πάντοτε στην πάνω επιφάνεια του σκυρο-



Σχ. 25.5β.

Για την τσιμεντένεση των τενόντων προβλέπονται και ενδιάμεσες τρύπες για την έξοδο του αέρα, ιδίως στα ψηλότερα σημεία.



Λεπτομέρεια Α

δέματος. Έτσι μειώνονται οι πιθανότητες να παγιδευτεί αέρας στο εσωτερικό του καλωδίου.

25.6 Απώλειες προεντάσεως.

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι τα πρώτα πειράματα για την εφαρμογή της προεντάσεως δεν ήταν ικανοποιητικά, επειδή ένα μεγάλο μέρος των δυνάμεων προεντάσεως χανόταν σιγά - σιγά. Αναφέρθηκε ακόμη ότι, αν και βελτιώθηκαν σημαντικά τόσο τα υλικά όσο και τα συστήματα, υπάρχουν πάντοτε σημαντικές απώλειες στις δυνάμεις προεντάσεως.

Οι απώλειες αυτές μπορούν να χωρισθούν σε δύο κατηγορίες: τις χρονικές και τις τοπικές. **Χρονική απώλεια** είναι η μείωση της θλιπτικής τάσεως του σκυροδέματος ή της εφελκυστικής των τένοντων σε ένα συγκεκριμένο σημείο, όσο παρέρχεται ο χρόνος. **Τοπική απώλεια** είναι η μείωση της εφελκυστικής τάσεως ενός τένοντα από το ένα του σημείο σε άλλο.

A. Χρονικές απώλειες.

Οι απώλειες αυτές οφείλονται σε πολλούς λόγους. Πριν ακόμη τελειώσουν οι εργασίες για την επιβολή της δυνάμεως προεντάσεως, έχει επέλθει η πρώτη απώλεια, η οποία οφείλεται στις διαδοχικές προεντάσεις.

Στα περισσότερα συστήματα, εάν σε μία δοκό υπάρχουν πολλοί τένοντες, η προένταση δεν εκτελείται συγχρόνως σε όλους, αλλά πρώτα σε ένα από τους τένοντες αυτούς. Έστω ότι αυτός απέκτησε μία εφελκυστική τάση και προκάλεσε στο σκυροδέμα μία θλιπτική τάση, η οποία συνοδεύεται από μία βράχυνση (κόντυμα) της δοκού κατά ένα μήκος Δl_1 . Όταν γίνει η προένταση ενός δεύτερου τένοντα, η θλιπτική τάση του σκυροδέματος αυξάνει, συγχρόνως όμως αυξάνει και η βράχυνση της δοκού, που γίνεται $\Delta l_2 > \Delta l_1$. Τη βράχυνση του σκυροδέματος παρακολουθεί και το πρώτο καλώδιο, το οποίο στερείται έτσι ένα μέρος της αρχικής του μηκύνσεως, συνεπώς και ένα μέρος της αρχικής του τάσεως.

Το ίδιο φαινόμενο επαναλαμβάνεται κάθε φορά, έως ότου τελειώσει η προένταση για όλους τους τένοντες. Εάν σε όλους τους τένοντες επιβληθεί ή ίδια αρχική τάση, τελικά ο πρώτος τένοντας

θα έχει τη μικρότερη τάση. Η τελική τάση θα αυξάνεται από τον ένα τένοντα στον άλλο με τη σειρά, που έγινε η προένταση. Η μέση απώλεια τάσεως από την αιτία αυτή δεν είναι μεγάλη, συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του 1 και του 3%. Είναι εξάλλου δυνατό να υπολογισθεί με ακρίβεια, γιατί διέπεται από το γνωστό νόμο του Hooke.

Η δεύτερη κατά χρονική σειρά απώλεια οφείλεται στον ερπυσμό του χάλυβα. **Ερπυσμός** λέγεται το φαινόμενο, το οποίο παρουσιάζεται σε όλα σχεδόν τα υλικά. Όταν ένα υλικό βρίσκεται συνεχώς σε μία σταθερή εντατική κατάσταση, δεν διατηρεί τις διαστάσεις του σταθερές, όπως θα έπρεπε, εάν ίσχυε αυστηρά ο νόμος του Hooke. Αντίθετα, αν το υλικό υπόκειται σε εφελκυσμό, επιμηκύνεται σιγά σιγά, ενώ αν υπόκειται σε θλίψη, βραχύνεται (κονταίνει). Εάν πάλι οι διαστάσεις του μένουν σταθερές, όπως συμβαίνει στους τένοντες μετά την αγκύρωσή τους, ο ερπυσμός έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι τάσεις.

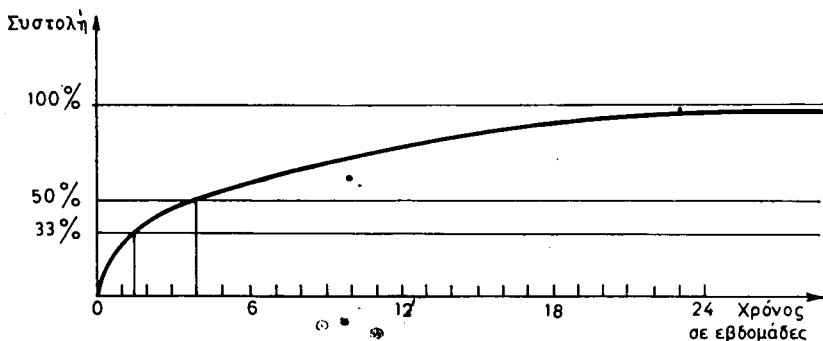
Το φαινόμενο του ερπυσμού παρουσιάζεται τόσο στο χάλυβα, όσο και στο σκυρόδεμα. Η διαφορά είναι ότι ο ερπυσμός του χάλυβα εξελίσσεται γρήγορα, ενώ του σκυροδέματος είναι ένα φαινόμενο με μεγάλη διάρκεια. Σε ένα λεπτό της ώρας συντελείται περίπου το 1/10 από τη συνολική απώλεια τάσεως, που οφείλεται στον ερπυσμό του χάλυβα. Η απώλεια αυτή της τάσεως είναι τόσο μεγαλύτερη σε ποσοστό, όσο μεγαλύτερη είναι η τάση του χάλυβα. Επίσης η απώλεια της τάσεως είναι μεγάλη, εάν η αγκύρωση των τενόντων γίνει αμέσως μετά την προένταση. Μπορεί όμως να μειωθεί σημαντικά, εάν η αγκύρωση καθυστερήσει μερικά λεπτά της ώρας. Πρέπει λοιπόν, όταν η πίεση και η μήκυνση φθάσουν στις επιθυμητές τιμές, να μην γίνει αμέσως η αγκύρωση. Αντίθετα, πρέπει να διατηρείται η πίεση σταθερή και να παρακολουθείται για λίγο πόσο αυξάνει η μήκυνση. Μόλις η αύξηση αυτή παύσει να είναι αισθητή, είναι πια δυνατόν να γίνει η αγκύρωση. Έτσι η απώλεια της τάσεως, που οφείλεται στον ερπυσμό του χάλυβα, περιορίζεται και αυτή στο 1 έως 3% για τις συνηθισμένες περιπτώσεις.

Οι σοβαρότερες απώλειες της προεντάσεως οφείλονται στον ερπυσμό του σκυροδέματος και στη συστολή, η οποία συνοδεύει την πήξη και τη σκλήρυνσή του. Εάν το σκυρόδεμα υπόκειται σε θλίψη, ο ερπυσμός προκαλεί σιγά σιγά τη βράχυνσή του, την οποία

παρακολουθούν και οι τένοντες. Κατ' αυτό τον τρόπο ελαττώνεται η μήκυνση των τενόντων και μειώνεται η τάση τους. Ο ερπυσμός του σκυροδέματος εξελίσσεται πολύ αργά και δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί με το να καθυστερήσει λίγο η αγκύρωση, όπως γίνεται με τον ερπυσμό του χάλυβα.

Η συστολή του σκυροδέματος κατά την πήξη και τη σκλήρυνσή του προκαλεί και αυτή μία βράχυνση. Έτσι η μήκυνση των τενόντων ελαττώνεται ακόμη περισσότερο και οι τάσεις τους μειώνονται και πάλι. Η συστολή αυτή διαρκεί πάρα πολύ, αλλά εξελίσσεται πιο γρήγορα στην αρχή. Ήδη μετά τις 10 πρώτες ημέρες έχει πραγματοποιηθεί περίπου το 1/3 και μετά τις 28 ημέρες περίπου το μισό από το συνολικό μέγεθος της συστολής (σχ. 25.6α). Όσο περισσότερος χρόνος λοιπόν μεσολαβεί μεταξύ της διαστρώσεως του σκυροδέματος και της επιβολής των δυνάμεων προεντάσεως, τόσο μικρότερες είναι και οι απώλειες των τάσεων λόγω συστολής από πήξη.

Αξιοσημείωτο είναι ότι και ο ερπυσμός του σκυροδέματος μειώνεται, όσο αυξάνει η ηλικία του. Επομένως η καθυστέρηση της προεντάσεως δεν ελαττώνει μόνον τις απώλειες λόγω συστολής από πήξη του σκυροδέματος, αλλά και τις απώλειες λόγω ερπυσμού του σκυροδέματος. Τελικά οι απώλειες από τον ερπυσμό του σκυροδέματος και τη συστολή κατά τη σκλήρυνσή του είναι της τάξεως του 10 έως 20%.



Σχ. 25.6α.

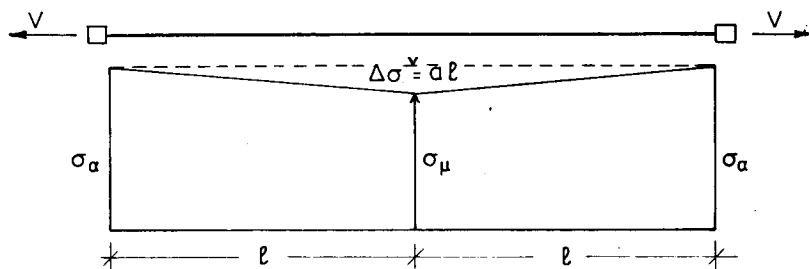
Διάγραμμα, που δείχνει τις τιμές της συστολής από πήξη του σκυροδέματος ως συνάρτηση της ηλικίας του.

Σε ορισμένα συστήματα προεντάσεως, όπως π.χ. στα συστήματα Morandi και B.B.R.V., είναι δυνατόν κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις να επανακτηθεί ένα σημαντικό μέρος των απωλειών. Γι' αυτό γίνεται μετά την αγκύρωση μία δεύτερη προένταση των καλωδίων, αφού περάσουν λίγες μέρες ή εβδομάδες, ώστε να έχει πραγματοποιηθεί σημαντικό ποσοστό των απωλειών. Εννοείται ότι η τσιμεντένεση εκτελείται μετά τη δεύτερη αυτή προένταση.

Β. Τοπικές απώλειες.

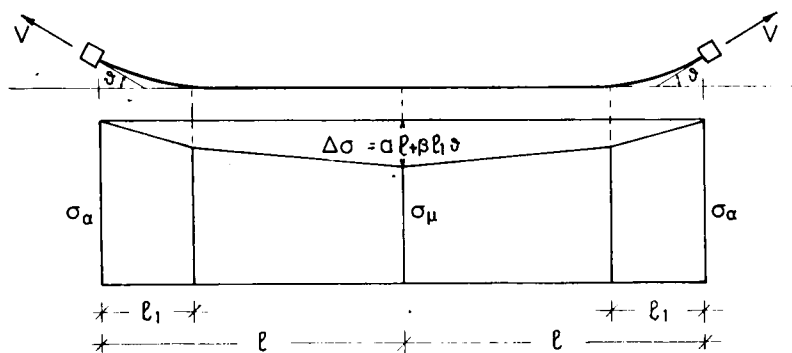
Η τάση που επιβάλλει ο γρύλος στα άκρα των τενόντων, δεν παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος τους. Όσο μακρύτερα από το γρύλο βρίσκεται ένα σημείο του τένοντα, τόσο μικρότερη είναι η τάση του. Η πτώση αυτή της τάσεως οφείλεται στις τριβές που αναπτύσσονται αναπόφευκτα μεταξύ των τενόντων και των τοιχωμάτων της κοιλότητας, μέσα στην οποία βρίσκονται οι τένοντες. Στους ευθύγραμμους τένοντες (σχ. 25.6β) η τάση μειώνεται ανάλογα με την απόσταση από το σημείο, όπου επιβάλλεται η προένταση, είναι δηλαδή $\Delta\sigma = \alpha l$ για το μέσο ενός καλωδίου μήκους $2l$, όπου παρουσιάζεται η ελάχιστη τάση εφελκισμού σ_μ .

Στα τμήματα των τενόντων, τα οποία είναι καμπύλα, η πτώση γίνεται πολύ πιο γρήγορα, γιατί και οι τριβές είναι μεγαλύτερες. Η μείωση της τάσεως τότε δίνεται από τον τύπο $\Delta\sigma = \alpha l + \beta l_1 \theta$. Στη σχέση αυτή l_1 είναι το τμήμα του συνολικού μήκους l , το οποίο δεν είναι ευθύγραμμο, και θ είναι η γωνία, που σχηματίζουν οι εφαπτόμενες στα άκρα του μήκους l_1 (σχ. 25.6γ).



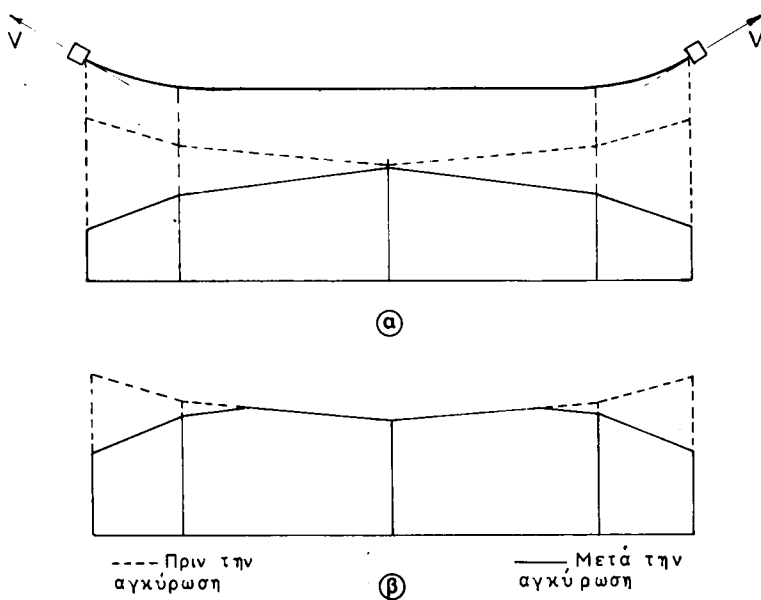
Σχ. 25.6β.

Διάγραμμα, που δείχνει την πτώση τάσεως λόγω τριβών σε ευθύγραμμο τένοντα, που έχει προενταθεί και από τα δύο άκρα.



Σχ. 25.6γ.

Διάγραμμα, που δείχνει την πτώση τάσεως λόγω τριβών σε τένοντα, που δεν είναι ευθύγραμμος.



Σχ. 25.6δ.

Πτώση τάσεως τένοντα λόγω ολισθήσεως της αγκυρώσεως: α) Για μικρές τριβές επηρεάζεται όλος ο τένοντας. β) Για μεγαλύτερες τριβές ή μεγάλο μήκος επηρεάζεται μόνο η περιοχή αγκυρώσεως.

Αυτά συμβαίνουν, πριν ακόμη γίνει η αγκύρωση, οπότε η δύναμη προεντάσεως επιβάλλεται ακόμη από το γρύλο. Τη στιγμή ακριβώς της αγκυρώσεως γίνεται ένα μικρό ολίσθημα (γλίστρημα) των τενόντων μέσα στη διάταξη αγκυρώσεως και χάνεται ένα μικρό μέρος από τη μήκυνσή τους. Πόσο μεγάλο είναι το ολίσθημα αυτό, εξαρτάται από το σύστημα, που εφαρμόζεται, και μπορεί να φθάνει σε λίγα χιλιοστά του μέτρου. Έτσι διαφεύγει και ένα ποσοστό από την τάση του τένοντα. Ευτυχώς το ποσοστό αυτό διαφεύγει εκεί, όπου η αρχική τάση είναι μεγαλύτερη, δηλαδή κοντά στην αγκύρωση. Η απώλεια αυτή δεν μεταδίδεται ελεύθερα σε όλο το μήκος του τένοντα, επειδή υπάρχουν πάλι τριβές. Απλά οι δυνάμεις των τριβών αλλάζουν κατεύθυνση και η κλίση του διαγράμματος των τάσεων αντιστρέφεται (σχ. 25.6δ).

Υπάρχουν στο φαινόμενο αυτό δύο περιπτώσεις:

α) Όταν οι τριβές είναι μικρές, η απώλεια τάσεως από την ολίσθηση, που γίνεται κατά την αγκύρωση, επηρεάζει όλο το μήκος του τένοντα, ώστε οι μέγιστες τάσεις παρουσιάζονται στα σημεία, που απέχουν περισσότερο από την αγκύρωση [σχ. 25.6δ (α)].

β) Όταν οι τριβές είναι μεγάλες, η απώλεια τάσεως από την ολίσθηση, που συμβαίνει κατά την αγκύρωση, επηρεάζει μόνο το γειτονικό προς την αγκύρωση τμήμα των τενόντων. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι τάσεις αυξάνονται από το σημείο αγκυρώσεως μέχρι ενός σημείου και ύστερα μειώνονται και πάλι, όσο η απόσταση από την αγκύρωση μεγαλώνει [σχ. 25.6δ (β)].

25.7 Πλεονεκτήματα του προεντεταμένου σκυροδέματος.

Αναφέρθηκε ήδη ότι το κυριότερο πλεονέκτημα του προεντεταμένου σκυροδέματος σε σύγκριση με το οπλισμένο είναι ότι γίνεται εκμετάλλευση ολόκληρης της διατομής του σκυροδέματος, το οποίο λειτουργεί στο σύνολό του ως ομοιογενές υλικό. Για να επιτευχθεί όμως το αποτέλεσμα αυτό, χρειάζεται να εκτελεσθεί μία δυσκολότερη κατασκευή με πιο ευγενικά υλικά και γι' αυτό αυξάνεται η δαπάνη ανά μονάδα όγκου του σκυροδέματος. Ένα κυβικό μέτρο προεντεταμένου σκυροδέματος κοστίζει σήμερα τουλάχιστον τριπλάσια από ένα κυβικό μέτρο οπλισμένου.

Μία κατασκευή από προεντεταμένο σκυρόδεμα έχει βέβαια μικρότερες διαστάσεις στα διάφορα μέλη της, από εκείνες που θα είχε, εάν κατασκευαζόταν από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρ' όλο όμως ότι μειώνεται ο όγκος, η κατασκευή από προεντεταμένο σκυρόδεμα εξακολουθεί συνήθως να είναι ακριβότερη.

Η αύξηση της δαπάνης δεν αποβαίνει σε βάρος του προεντεταμένου σκυροδέματος, γιατί με αυτό μπορούν να γίνουν κατασκευές, που είναι αδύνατον να γίνουν με το οπλισμένο. Είναι δυνατόν τώρα να πραγματοποιηθούν ανοίγματα σε πατώματα, στέγες, γέφυρες κλπ., τα οποία προηγουμένως απαιτούσαν οπωσδήποτε μεταλλική κατασκευή με όλα τα σχετικά μειονεκτήματά της. Με άλλα λόγια η προένταση επέτρεψε να εκτελεσθούν έργα, τα οποία παλαιότερα ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθούν.

Με την πάροδο του χρόνου η τεχνική του προεντεταμένου σκυροδέματος βελτιώνεται, το κόστος των υλικών και του μηχανικού εξοπλισμού ελαττώνεται, μειώνεται επίσης και η διάρκεια εργασίας, η οποία χρειάζεται για την κατασκευή των έργων. Προβλέπεται λοιπόν η οικονομική διαφορά προεντεταμένου και οπλισμένου σκυροδέματος θα βελτιωθεί σε όφελος του πρώτου.

Το προεντεταμένο σκυρόδεμα διατηρεί σχεδόν όλα τα πλεονεκτήματα του οπλισμένου σκυροδέματος, από τα οποία τα κυριότερα είναι τα εξής:

1) Η διάρκεια της ζωής του φαίνεται να είναι απεριόριστη, πάντως είναι μεγαλύτερη από την πιθανή ζωή των έργων, που κατασκευάζονται με αυτό. Τα περισσότερα έργα σήμερα κατασκευάζονται με προοπτική 50 έως 100 το πολύ χρόνια, επειδή η τεχνική πρόοδος θα τα έχει οπωσδήποτε καταστήσει αναχρονιστικά και άχρηστα έως τότε.

2) Δεν χρειάζεται καμιά συντήρηση, ούτε είναι ανάγκη, εκτός εάν το απαιτούν αισθητικοί λόγοι, να επιχρισθεί, να χρωματισθεί ή γενικά να υποστεί οποιαδήποτε τελική επεξεργασία.

3) Η αντοχή του στη φωτιά είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντοχή των μεταλλικών και ιδίως των ξυλίνων κατασκευών.

4) Η κατασκευή όλων των μελών του έργου είναι δυνατόν να γίνει στο εργοτάξιο και να χρησιμοποιηθούν μόνο συνηθισμένα υλικά, δηλαδή αδρανή, ξυλεία ξυλοτύπων κοκ. και τυποποιημένα βιο-

μηχανικά προϊόντα, όπως είναι το τσιμέντο, οι τένοντες, οι διατάξεις αγκυρώσεως κλπ.

Σε σύγκριση με το οπλισμένο σκυρόδεμα το προεντεταμένο παρουσιάζει και άλλα πρόσθετα πλεονεκτήματα, από τα οποία τα κυριότερα είναι τα εξής:

- 1) Χρησιμοποιείται πάντοτε όλη η διατομή του σκυροδέματος.
- 2) Το ίδιο βάρος δεν επηρεάζει σημαντικά τις διαστάσεις των φορέων, επειδή μέχρι ενός ορίου αυτές εξαρτώνται μόνο από τα κινητά φορτία.
- 3) Τα βέλη κάμψης είναι πολύ μικρά, επειδή δεν οφείλονται στις ροπές $M(x)$, που προκαλούνται από τα εξωτερικά φορτία, αλλά στις πολύ μικρότερες ροπές $M(x) - V \cdot e(x)$, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως (παράγρ. 25.2).

Οι τρεις αυτοί λόγοι επιτρέπουν να μειωθεί σημαντικά το ύψος, συνεπώς και το ίδιο βάρος των φορέων.

4) Επειδή οι τέμνουσες δυνάμεις συνυπάρχουν με θλιπτικές τάσεις προκαλούν πολύ μικρότερες εφελκυστικές τάσεις, παρά εάν ήταν μόνες τους. Έτσι δεν ενδιαφέρει εάν η τιμή τους είναι αρκετά μεγάλη και γι' αυτό είναι δυνατόν να μειωθεί και το πλάτος των φορέων.

5) Δεν αναπτύσσονται τριχοειδείς ρωγμές από τις εφελκυστικές τάσεις. Ακόμη και αν αναπτυχθούν, η προένταση τις κλείνει, συνεπώς ο χάλυβας είναι απόλυτα προστατευμένος.

6) Είναι εύκολο να κατασκευασθούν φορείς με συναρμολόγηση προκατασκευασμένων τμημάτων.

25.8 Εφαρμογές της προεντάσεως.

Οι πρώτες εφαρμογές της προεντάσεως πραγματοποιήθηκαν στη γεφυροποιία και ο κλάδος αυτός των κατασκευών εξακολουθεί να είναι το κυριότερο πεδίο εφαρμογής τους. Με το προεντεταμένο σκυρόδεμα πολλά ανοίγματα γεφυρώθηκαν, χωρίς να κατασκευασθούν μεσόβαθρα, τα οποία άλλοτε θα ήταν απαραίτητα. Επίσης κατασκευάσθηκαν φορείς με πολύ μικρότερο ύψος και έτσι έγινε δυνατόν να μειωθεί ο όγκος των επιχωμάτων των οδών στις περιοχές των γεφυρώσεων. Με τον τρόπο αυτό τα έργα στο σύνολό τους είναι οικονομικά, έστω και αν αυξάνει η δαπάνη για την κατασκευή

του ίδιου του φορέα.

Σε αστικές κατασκευές, δηλαδή σε πολυώροφους συγκοινωνιακούς κόμβους, σε υπόγειες διαβάσεις και σταθμούς, όπως π.χ. στην πλατεία Ομονοίας, το προεντεταμένο σκυρόδεμα είχε ως αποτέλεσμα την οικονομία ύψους. Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος είναι τόσο πολύτιμο, ώστε αντισταθμίζει την αύξηση της απαιτούμενης δαπάνης για να κερδιθεί αυτό το ύψος. Ας σημειωθεί ότι σε ένα πολυώροφο κόμβο κάθε οικονομία ύψους σημαίνει δεκαπλάσια ή εικοσαπλάσια οικονομία στο μήκος κάθε μιας από τις κεκλιμένες προσπελάσεις. Σε αυτού του είδους τους κόμβους (σχ. 25.8α) οι δρόμοι χωρίζονται από κάποιο σημείο σε κλάδους με διαφορετικές κλίσεις και διαφορετικές χαράξεις, που διασταυρώνονται ο ένας ε-

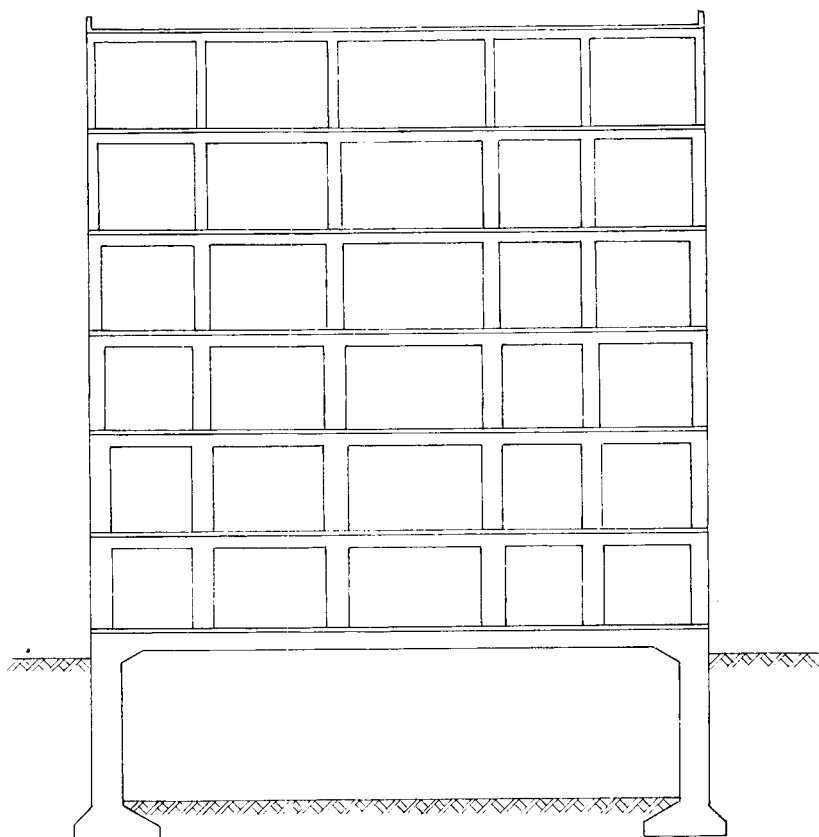


Σχ. 25.8α.

Ανισόπεδος κόμβος. Η οικονομία στο ύψος των φορέων έχει πρωταρχική σημασία.

πάνω από τον άλλο σε δύο ή περισσότερο οριζόντια επίπεδα. Μεταξύ των επιπέδων αυτών πρέπει να παραμένει αρκετός ελεύθερος χώρος, για να διέρχονται τα οχήματα. Επειδή η κλίση των διακλαδώσεων των δρόμων στην περιοχή των κόμβων έχει συνήθως μία τιμή μεταξύ 5 και 10%, το μήκος τους αυξάνεται δέκα έως είκοσι φορές περισσότερο, από όσο αυξάνεται η διαφορά στάθμης από το ένα κατάστρωμα στο άλλο στη θέση της διασταυρώσεως.

Αργότερα εφαρμόσθηκε η προένταση και στα οικοδομικά έργα. Και στην περίπτωση αυτή η οικονομία στο ύψος των φορέων έχει τεράστια σημασία. Επειδή σε όλες σχεδόν τις πόλεις υπάρχουν πε-



Σχ. 25.8β.

Τομή πολυκατοικίας με αίθουσα θεάτρου στο υπόγειο. Οι δοκοί, που φέρουν τα φυτευτά υποστυλώματα, είναι προεντεταμένες.

ριορισμοί στα μέγιστα ύψη των πολυωρόφων οικοδομών, αλλά και στα ελάχιστα ελεύθερα ύψη των ορόφων, είναι δυνατόν φορείς με μικρότερο ύψος αλλά δαπανηρότεροι, να έχουν ως αποτέλεσμα το κέρδος ενός ή και περισσότερων ορόφων, των οποίων η αξία είναι πολλαπλάσια από το κόστος των φορέων.

Επίσης το προεντεταμένο σκυρόδεμα έδωσε τη δυνατότητα να κατασκευάζονται και στους χαμηλότερους ορόφους υψηλών οικοδομών χώροι με μεγάλα ανοίγματα χωρίς ενδιάμεσα στηρίγματα, έστω και αν στους υπερκείμενους ορόφους τα ανοίγματα είναι μικρά (σχ. 25.8β).

Η αξία αυτών των χώρων ανά μονάδα επιφάνειας είναι πολύ μεγαλύτερη και υπερκαλύπτει το κόστος των φορέων. Στην Αθήνα π.χ. έγινε πολύ αισθητό το αποτέλεσμα της τεχνικής αυτής. Κατά τα τελευταία χρόνια με πολύ γρήγορο ρυθμό η πόλη απέκτησε μεγάλο αριθμό υπογείων αιθουσών, που είναι κατάλληλες για θέατρα, κινηματογράφους κλπ.

Η προένταση χρησιμοποιήθηκε γενικότερα σε όλα τα είδη των κατασκευών. Ένα μέρος π.χ. του υδραγωγείου, που οδηγεί το νερό της Υλίκης στη λίμνη του Μαραθώνα, κατασκευάστηκε με σωλήνες από προεντεταμένο σκυρόδεμα, που απεδείχθησαν φθηνότεροι από τους μεταλλικούς σωλήνες με την ίδια διάμετρο και την ίδια αντοχή. Επίσης από προεντεταμένο σκυρόδεμα κατασκευάστηκαν στύλοι για την ανάρτηση εναερίων ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών γραμμών, στρωτήρες σιδηροδρόμων, υδατόπυργοι και γενικότερα δεξαμενές, σιλό κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 26

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

26.1 Γενικά.

Αναφέρθηκε ήδη στον Α΄ Τόμο της Γενικής Δομικής (κεφ. 7) ότι η μελέτη ενός δομικού έργου δεν αποτελείται μόνο από σχέδια και υπολογισμούς, αλλά πρέπει να περιλαμβάνει και ορισμένα οικονομικά στοιχεία. Ο γενικός αυτός κανόνας ισχύει βέβαια και για τα έργα από σκυρόδεμα ή πιο σωστά και για τα έργα, που περιλαμβάνουν και κατασκευές από σκυρόδεμα.

Τα οικονομικά στοιχεία, που συνοδεύουν τις μελέτες των δομικών έργων, είναι οι *Προμετρήσεις*, η *Ανάλυση Τιμών*, το *Τιμολόγιο*, ο *Προϋπολογισμός*, οι *Προδιαγραφές* και οι *Συγγραφές Υποχρεώσεων*. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τεύχη, τα οποία είναι γνωστά με γενικό τίτλο: *Τεύχη Δημοπρατήσεως* ή *Οικονομοτεχνική Μελέτη* του έργου.

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των έργων χρειάζεται μερικές φορές να γίνουν τροποποιήσεις της μελέτης, που οδηγούν στην ανάγκη να συμπληρωθεί το αρχικό Τιμολόγιο. Οι συμπληρώσεις του Τιμολογίου αποτελούν τα *Πρωτόκολλα Καθορισμού Νέων Τιμών Μονάδας*, τα οποία είναι δυνατόν να συνοδεύονται και από τις σχετικές Αναλύσεις Τιμών. Όταν το έργο συμπληρωθεί, συντάσσονται οι *Τελικές Επιμετρήσεις*, ο *Τελικός* ή *Εξοφλητικός Λογαριασμός* και τα *Πρωτόκολλα Παραλαβής* του έργου.

Ότι είναι σχετικό με τα οικονομικά στοιχεία της μελέτης και της κατασκευής των δομικών έργων, αποτελεί αντικείμενο του μαθήματος: *Οικονομία, Οργάνωση και Διοίκηση των Έργων*. Γι' αυτό στις επόμενες παραγράφους γίνεται μόνο μία σύντομη περιγραφή των στοιχείων αυτών για την ειδική περίπτωση των κατασκευών από σκυρόδεμα.

26.2 Προμετρήσεις και Επιμετρήσεις.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι, για να μετρηθεί μία ποσότητα σκυροδέματος.

Ο πρώτος και ο πιο απλός τρόπος είναι να μετρηθεί ο συνολικός όγκος, που καταλαμβάνει το σκυρόδεμα, χωρίς να ληφθεί υπόψη τίποτε άλλο.

Ο δεύτερος τρόπος είναι να μετρηθεί εκτός από τον όγκο του σκυροδέματος και το βάρος του οπλισμού, που ενσωματώνεται σε αυτό. Προφανώς ο τρόπος αυτός μετρήσεως δεν υφίσταται, όταν το σκυρόδεμα δεν έχει οπλισμό.

Με τον τρίτο τρόπο μετρείται πάλι ο όγκος του σκυροδέματος και το βάρος του οπλισμού, αλλά επί πλέον μετρείται και το συνολικό εμβαδόν των επιφανειών του σκυροδέματος, που ήταν σε επαφή με τους τύπους (καλούπια) κατά τη διάστροσή του.

Για τα μικρά έργα εφαρμόζεται συνήθως ο πρώτος τρόπος μετρήσεως, ενώ για τα σοβαρότερα εφαρμόζεται ένας από τους δύο άλλους. Πρέπει εδώ να τονισθεί ότι η αναλογία του οπλισμού και των τύπων (καλουπιών) ως προς τον όγκο του σκυροδέματος ποικίλλει πολύ από τη μία περίπτωση στην άλλη. Συνεπώς δεν είναι σωστό να εφαρμόζεται γενικά ο απλός πρώτος τρόπος μετρήσεως.

Παραδείγματα.

1. Ας θεωρηθεί μία πλάκα από σκυρόδεμα με πάχος 12,5 cm, με κύριο οπλισμό μία ράβδο $\varnothing 8$ mm ανά 16 cm και οπλισμό διανομής από ράβδους $\varnothing 6$ mm ανά 25 cm. Σε ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος αυτής της κατασκευής, δηλαδή σε 8 m² πλάκας, αντιστοιχούν 8 m² ξυλοτύπου (καλουπιού), 50 τρέχοντα μέτρα ράβδου $\varnothing 8$ και 32 m ράβδου $\varnothing 6$. Το βάρος του οπλισμού αυτού είναι $50 \times 0,395 + 32 \times 0,222 = 26,85$ kg.

2. Έστω επίσης ένα υποστύλωμα με διατομή 20 x 20 και διαμήκη οπλισμό 4 $\varnothing 14$ με συνδετήρες $\varnothing 6$ ανά 17 cm. Σε ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος αυτής της κατασκευής, δηλαδή σε 25 m ύψους του υποστυλώματος, αντιστοιχούν $25 \times 4 \times 0,20 = 20$ m² ξυλοτύπου, $4 \times 25 = 100$ τρέχοντα μέτρα ράβδου $\varnothing 14$ και $\frac{25,00}{0,17} \times 0,80 \approx 118$ m ράβδου $\varnothing 6$.

Το βάρος του οπλισμού αυτού είναι:

$$100 \times 1,208 + 118 \times 0,222 = 120,8 + 26,2 = 147 \text{ kg.}$$

Εάν ληφθεί υπόψη ότι τα δύο αυτά παραδείγματα δεν αποτελούν ακραίες περιπτώσεις, καταλαβαίνει κανείς πόσο μεγάλα είναι τα όρια, μεταξύ των οποίων κυμαίνεται η αναλογία των τύπων και του οπλισμού ως προς τον όγκο του σκυροδέματος.

Για να μετρηθεί ο όγκος του σκυροδέματος, η όλη κατασκευή αναλύεται σε μικρότερα τμήματα, από τα οποία το κάθε ένα έχει απλό γεωμετρικό σχήμα, είναι δηλαδή συνήθως ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο και σπανιότερα ένα πρίσμα, μία πυραμίδα κ.ο.κ. Θεωρητικά πρέπει να αφαιρούνται όλες οι τρύπες και όλα τα κενά της κατασκευής, όπως και ο όγκος, που καταλαμβάνει ο οπλισμός. Κατά κανόνα όμως δεν αφαιρούνται κενά με όγκο μικρότερο από ένα εκατοστό του κυβικού μέτρου, ενώ ο όγκος του οπλισμού δεν πρέπει να αφαιρείται *ποτέ*. Εάν σε μία πλάκα με πάχος π.χ. 12 cm υπάρχει μία τρύπα με διαστάσεις 20 x 30 cm, για να περάσει μία καπνοδόχος, η τρύπα αντιστοιχεί σε όγκο $0,20 \times 0,30 \times 0,12 = 0,0072 < 0,01 \text{ m}^3$ και μπορεί επομένως να αγνοηθεί, για να απλοποιηθούν οι μετρήσεις.

Για να υπολογισθεί το βάρος του οπλισμού, χρησιμοποιούνται οι κατάλογοι του οπλισμού. Οι κατάλογοι δίνουν πράγματι το συνολικό μήκος των ράβδων για κάθε διάμετρο. Το βάρος υπολογίζεται συμβατικά, όταν πολλαπλασιασθεί το συνολικό μήκος των ράβδων κάθε διαμέτρου με το θεωρητικό βάρος τους ανά μέτρο μήκους, που βρίσκεται από τον πίνακα 9α του Παραρτήματος.

Όταν εκτελεσθεί το έργο, ο οπλισμός ενσωματώνεται στο σκυρόδεμα και δεν είναι πια δυνατόν να μετρηθεί. Ο επιβλέπων, ο εκπρόσωπος δηλαδή του ιδιοκτήτη του έργου, πρέπει να παραλάβει τον οπλισμό, πριν διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Κατά την παραλαβή του οπλισμού συγκρίνεται η πραγματική κατασκευή με τον κατάλογο. Εάν ο οπλισμός, που έχει τοποθετηθεί, παρουσιάζει διαφορές από τον κατάλογο, γίνονται διορθώσεις στον κατάλογο ή, αν η διαφορά είναι επικίνδυνη για την ασφάλεια του έργου, ο επιβλέπων διατάσσει να συμπληρωθεί ο οπλισμός. Εννοείται ότι δεν διορθώνεται ο κατάλογος, αν ο κατασκευαστής έχει τοποθετήσει αδικαιολόγητα περισσότερο οπλισμό από εκείνον, που χρειάζεται.

Με βάση το διορθωμένο κατάλογο γίνεται η επιμέτρηση του οπλισμού και συντάσσεται ένα **Πρωτόκολλο παραλαβής αφανών εργασιών**, το οποίο συνυπογράφουν ο επιβλέπων και ο κατασκευαστής. Το πρωτόκολλο αυτό λέγεται συνήθως **Πρωτόκολλο ζυγίσεως**, επειδή αναφέρεται σε βάρος, αν και ο οπλισμός κατά την παραλαβή του δεν ζυγίζεται, αλλά το βάρος του υπολογίζεται συμβατικά. Πράγματι το βάρος των ράβδων του οπλισμού ανά μέτρο μήκους διαφέρει αρκετά από το θεωρητικό, επειδή η διατομή τους δεν έχει απολύτως κυκλική μορφή, ούτε η διάμετρός τους είναι ακριβώς εκείνη, που προβλέπεται στα σχέδια. Μία ράβδος $\varnothing 10$ π.χ., η οποία έχει πραγματική μέση διάμετρο 10,2 mm, είναι κατά 4% περίπου βαρύτερη από τη ράβδο με την ορθή θεωρητική διατομή.

Τα βάρη του οπλισμού, που αναφέρονται στον πίνακα 9α, έχουν υπολογισθεί με την προϋπόθεση ότι το ειδικό βάρος του χάλυβα είναι ίσο με 7,85 kg/dm³. Η διαφορά του πραγματικού από το θεωρητικό βάρος του οπλισμού μπορεί να οφείλεται και σε διαφορές του ειδικού βάρους του χάλυβα, αλλά οι διαφορές αυτές είναι μάλλον ασήμαντες.

Για να μετρηθεί η επιφάνεια των καλουπιών, αναλύεται και αυτή σε τμήματα, τα οποία έχουν απλά γεωμετρικά σχήματα, π.χ. ορθογώνια παραλληλόγραμμο, τρίγωνα, τραπέζια κ.ο.κ., ώστε το εμβαδόν τους να υπολογίζεται εύκολα. Στις περιπτώσεις, που δεν αφαιρείται από τον όγκο του σκυροδέματος ο όγκος των τρυπών, δεν αφαιρείται και ο αντίστοιχος τύπος (καλούπι). Συγχρόνως όμως δεν λαμβάνονται υπόψη και τα εμβαδά των εσωτερικών τοιχωμάτων των τρυπών, για τα οποία χρειάζεται οπωσδήποτε καλούπι. Θεωρείται δηλαδή ότι η παράλειψη του τύπου αυτού συμψηφίζει τη μη αφαίρεση του όγκου του σκυροδέματος.

Όταν το σκυρόδεμα είναι προεντεταμένο, εκτός από τον όγκο του, το βάρος του οπλισμού με κοινό χάλυβα και την επιφάνεια των τύπων (καλουπιών) μετρείται και το βάρος των χαλυβδίνων τενόντων. Ουσιαστικά και στην περίπτωση αυτή μετρείται το μήκος των τενόντων και το βάρος τους υπολογίζεται συμβατικά εάν το μήκος αυτό πολλαπλασιασθεί με το θεωρητικό βάρος ενός μέτρου μήκους του τένοντα. Για κάθε σύστημα προεντάσεως ο προμηθευτής των υλικών πρέπει να διαθέτει στο μελετητή και στον κατασκευαστή τις

προδιαγραφές του συστήματος. Οι προδιαγραφές μεταξύ των άλλων περιλαμβάνουν και τον πίνακα, ο οποίος δίνει τα συμβατικά βάρη των διαφόρων τενόντων, που χρησιμοποιούνται στο σύστημα αυτό, ανά μέτρο μήκους. Στα βάρη αυτά εκτός από τα σύρματα, που κυρίως αποτελούν τον τένοντα, λαμβάνονται υπόψη και τα διάφορα βοηθητικά εξαρτήματά τους, όπως τα ελατήρια, το περίβλημα κλπ.

Συνήθως εκτός από το βάρος των τενόντων μετρείται ιδιαίτερα και ο αριθμός των αγκυρώσεών τους, επειδή κάθε αγκύρωση περιλαμβάνει εξαρτήματα αρκετά δαπανηρά και επειδή σε κάθε αγκύρωση αντιστοιχεί η εργασία για την εκτέλεση της προεντάσεως ενός τένοντα, η οποία επίσης είναι δαπανηρή. Συχνά όμως οι αγκυρώσεις δεν μετρούνται ξεχωριστά και οι αντίστοιχες δαπάνες περιλαμβάνονται στην τιμή μονάδας των τενόντων, η οποία καθορίζεται βέβαια τότε αρκετά μεγαλύτερη.

Όταν το έργο περιλαμβάνει επιφάνειες σκυροδέματος, που πρόκειται να μείνουν ορατές μόνιμα και για τις οποίες προβλέπεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή και στη διάταξη των τύπων, οι επιφάνειες αυτές μετρούνται χωριστά από τις υπόλοιπες επιφάνειες των τύπων. Επίσης, εάν οι επιφάνειες των τύπων δεν είναι όλες επίπεδες ή τεθλασμένες, αλλά περιλαμβάνουν και τμήματα καμπύλα, τα τελευταία αυτά μετρούνται κατά κανόνα ξεχωριστά.

Οι πιο πάνω τρόποι για την προμέτρηση ή επιμέτρηση των κατασκευών από σκυρόδεμα αποτελούν τον κανόνα, υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις. Όταν ιδίως πρόκειται για στοιχεία από σκυρόδεμα με σχετικά μικρές διαστάσεις, δεν μετρείται συνήθως ο όγκος τους. Σε περιπτώσεις π.χ. ανωφλίων, στηθαίων, βαθμίδων, κρασπέδων, κρασπεδοειθρών κ.ο.κ., στοιχείων δηλαδή τα οποία έχουν σταθερή διατομή και αρκετό μήκος, μετρείται συνήθως το μήκος τους. Εφ' όσον η διατομή είναι σταθερή, σε κάθε μέτρο μήκους αντιστοιχεί πάντοτε ο ίδιος όγκος σκυροδέματος, το ίδιο εμβαδόν επιφάνειας τύπων και το ίδιο βάρος οπλισμού, εάν βέβαια υπάρχει οπλισμός. Έτσι με την απλή μέτρηση του μήκους μετρούνται έμμεσα όλες οι επί μέρους εργασίες, που απαιτούνται για την κατασκευή των στοιχείων αυτών.

Όταν τα στοιχεία από σκυρόδεμα έχουν σταθερές όλες τις διαστάσεις τους, όπως π.χ. συμβαίνει με τους στυλίσκους, που τοπο-

θετούνται στα ερείσματα των εθνικών οδών, είναι δυνατόν να μετρούνται και κατά κομμάτι. Σπανιότερα μετρείται το εμβαδόν των κατασκευών από σκυρόδεμα ή μάλλον το εμβαδόν κάποιας προβολής τους. Έτσι μετρούνται π.χ. τα εμβαδά των οριζοντίων προβολών στεγών, πατωμάτων, μονώσεων κλπ., που αποτελούνται από στρώσεις σκυροδέματος που έχουν περίπου σταθερό πάχος. Όμοια μετρούνται τα εμβαδά των κατακορύφων ή λοξών προβολών τοίχων, επενδύσεως πρανών κλπ. Σε όλες τις περιπτώσεις υπολογίζεται έμμεσα ο όγκος του σκυροδέματος, αφού το πάχος της κατασκευής είναι περίπου σταθερό.

26.3 Προδιαγραφές.

Οι προδιαγραφές για κατασκευές από σκυρόδεμα αποτελούνται από πολλά κεφάλαια. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα εξής:

- α) Υλικά σκυροδεμάτων.
- β) Παρασκευή, διάστρωση και συντήρηση σκυροδέματος.
- γ) Τύποι και ικρίωματα.
- δ) Οπλισμός.
- ε) Προένταση.
- ζ) Τρόπος επιμετρήσεως κλπ.

Δεν υπάρχει βέβαια απόλυτη τυποποίηση στη διαίρεση των προδιαγραφών. Τα κεφάλαια επομένως μπορεί να είναι άλλοτε περισσότερα και άλλοτε λιγότερα. Άσχετα όμως με τη διαίρεση, μία σωστή προδιαγραφή πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον, όσα αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.

Για τον τρόπο επιμετρήσεως ειδικά δεν γίνεται λόγος, επειδή ήδη αναφέρθηκαν αρκετά. Οι προδιαγραφές πρέπει απλά να διευκρινίζουν ποιος τρόπος επιμετρήσεως πρόκειται να εφαρμοσθεί και να αναφέρουν όλες τις απαραίτητες λεπτομέρειες.

Εννοείται ότι οι προδιαγραφές πρέπει πάντοτε να είναι σύμφωνες με τους ισχύοντες κανονισμούς.

A. Υλικά σκυροδεμάτων.

Οι προδιαγραφές για τα υλικά των σκυροδεμάτων αναφέρουν κατ' αρχήν ποιες ιδιότητες πρέπει να έχουν τα υλικά αυτά, για να είναι παραδεκτά. Επειδή το έργο μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες

κατηγορίες σκυροδεμάτων, δεν αποκλείεται να υπάρχουν και διαφορετικές προδιαγραφές για τα υλικά κάθε κατηγορίας σκυροδέματος.

Για το τσιμέντο καθορίζεται η ποιότητά του, αν δηλαδή θα είναι ελληνικού τύπου, τύπου Portland, υψηλής αντοχής, ταχείας πήξεως, λευκό, ημίλευκο κ.ο.κ. Πρέπει ακόμη να αναφέρεται με ποιο τρόπο θα αποθηκεύεται στο εργοτάξιο και θα προστατεύεται από την υγρασία και από τις άλλες βλαβερές επιδράσεις. Τέλος αναφέρονται και τα κριτήρια, με τα οποία καθορίζεται αν μία ποσότητα τσιμέντου είναι κατάλληλη ή πρέπει να απορριφθεί ως ακατάλληλη.

Σχετικά με το νερό καθορίζεται η πηγή, από την οποία πρέπει να το παίρνουμε, π.χ. υδραγωγείο, θάλασσα, ποταμός κ.ο.κ. Αναφέρονται επίσης οι τρόποι, με τους οποίους εξακριβώνεται αν είναι αρκετά καθαρό και γενικότερα κατάλληλο για το έργο.

Για τα αδρανή υλικά αναφέρεται η ορυκτολογική τους σύσταση, το σχήμα και η αντοχή των κόκκων και οι ανεκτές προσμίξεις, κυρίως όμως καθορίζεται η κοκκομετρική τους σύνθεση. Αναφέρονται τα μέσα, με τα οποία εξακριβώνονται οι ιδιότητες αυτές, και τα κριτήρια, με τα οποία τα αδρανή υλικά κρίνονται κατάλληλα ή απορρίπτονται ως ακατάλληλα.

Για να εξακριβωθούν οι ιδιότητες των υλικών των σκυροδεμάτων, προβλέπονται, τουλάχιστον για τα σοβαρά έργα, ορισμένες μετρήσεις και δοκιμασίες. Οι προδιαγραφές προσδιορίζουν ποιες είναι και με ποιο τρόπο πρέπει να εκτελούνται οι δοκιμασίες αυτές.

Εκτός από τα ποιοτικά στοιχεία των υλικών, οι προδιαγραφές πρέπει να καθορίζουν και τις αναλογίες των υλικών για κάθε κατηγορία σκυροδέματος, που προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή του έργου. Εάν πρόκειται για έργο σοβαρό, μπορεί να καθορίζονται εκ των προτέρων οι αναλογίες. Πρέπει τότε να αναφέρεται η μέθοδος, με την οποία θα εξακριβώνεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής ποια αναλογία υλικών είναι κατάλληλη σε κάθε περίπτωση.

Β. Παρασκευή, διάστρωση και συντήρηση σκυροδέματος.

Στο κεφάλαιο αυτό των προδιαγραφών αναφέρεται κατ' αρχήν με ποιο τρόπο προβλέπεται να παρασκευασθεί το σκυρόδεμα. Διευκρινίζεται δηλαδή αν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται αναμικτή-

ρας (μπετονιέρα) ή αν επιτρέπεται να παρασκευασθεί χειρονακτικά από τους εργάτες. Στην τελευταία περίπτωση περιγράφονται οι όροι, οι οποίοι πρέπει να εφαρμόζονται κατά την ανάμιξη των υλικών.

Όταν προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί αναμικτήρας, οι προδιαγραφές καθορίζουν τον τύπο του και τη δυναμικότητά του, το χρόνο αναμίξεως, το χρόνο που επιτρέπεται να μεσολαβεί από την ανάμιξη έως τη διάστρωση, τον τρόπο μεταφοράς του σκυροδέματος κ.ο.κ. Αναφέρονται επίσης οι ιδιότητες, που πρέπει να παρουσιάζει το έτοιμο σκυρόδεμα, και η μέθοδος, με την οποία ελέγχονται οι ιδιότητες αυτές, και κρίνεται αν το σκυρόδεμα είναι κατάλληλο ή όχι για το έργο.

Σχετικά με τη διάστρωση αναγράφεται κατ' αρχήν στις προδιαγραφές αν προβλέπεται δόνηση του σκυροδέματος ή απλό κοπάνισμα. Περιγράφεται ο τρόπος του κοπανίσματος ή σε περίπτωση δονήσεως ο τύπος και τα χαρακτηριστικά του δονητή, η διάρκεια δονήσεως κλπ. Αναφέρονται τέλος και τα κριτήρια, με τα οποία ελέγχεται αν η δόνηση ή το κοπάνισμα διεξάγονται με επιτυχία ή όχι.

Για τις οριζόντιες κατασκευές, π.χ. πλάκες και δοκούς, πρέπει να καθορίζεται με ποια σειρά και σε πόσες στρώσεις θα γίνει η διάστρωση, πώς θα διαμορφωθεί η πάνω επιφάνειά τους και ποιο βαθμό τελειότητας πρέπει να εμφανίζει. Σε κατακόρυφες κατασκευές, π.χ. υποστυλώματα και τοιχώματα, οι προδιαγραφές καθορίζουν πόση πρέπει να είναι η μέγιστη ταχύτητα, με την οποία διαστρώνεται το σκυρόδεμα.

Ένα σοβαρό θέμα, που πρέπει να προβλέπουν οι προδιαγραφές, είναι το θέμα των αρμών εργασίας. Τα σχέδια συνήθως αναγράφουν πού επιτρέπεται ή πού επιβάλλεται να διακοπεί η εργασία, να δημιουργηθεί δηλαδή αρμός εργασίας. Χρειάζονται όμως στην κατασκευή και άλλοι αρμοί εργασίας. Γι' αυτό στα σοβαρά έργα τουλάχιστον, οι προδιαγραφές προβλέπουν ότι ο κατασκευαστής θα υποβάλει, πριν αρχίσουν οι εργασίες, ένα πρόγραμμα για τη διάστρωση του σκυροδέματος. Το πρόγραμμα αυτό καθορίζει πού πρόκειται να διακοπεί η εργασία και εφαρμόζεται, αφού εγκριθεί από τον επιβλέποντα.

Οι προδιαγραφές καθορίζουν ακόμη κάτω από ποιες καιρικές συνθήκες επιτρέπεται να παρασκευάζεται και να διαστρώνεται το

σκυρόδεμα. Αναφέρουν σχετικά ποια ειδικά μέτρα πρέπει να λαμβάνονται, όταν οι καιρικές συνθήκες είναι δυσμενείς.

Σχετικά με τη συντήρηση του σκυροδέματος αναφέρεται ο τρόπος, με τον οποίο πρέπει να γίνει, και πόσο πρέπει να διαρκέσει. Η συντήρηση εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και οι προδιαγραφές πρέπει να καθορίζουν σαφώς την εξάρτηση αυτή του σκυροδέματος από τις καιρικές συνθήκες.

Γ. Τύποι και ικριώματα.

Σχετικά με τα ικριώματα οι προδιαγραφές καθορίζουν τα μέτρα, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται, ώστε να εξασφαλίζεται η αντοχή και η στερεότητά τους, όπως και η άνετη και ασφαλής κυκλοφορία του προσωπικού. Για τους τύπους (καλούπια) καθορίζουν επίσης ότι πρέπει να είναι ανθεκτικοί, στερεοί, απαραμόρφωτοι και να εξασφαλίζουν την επιθυμητή κάθε φορά ποιότητα στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Εάν πρόκειται για ξυλοτύπους (ξύλινα καλούπια), αναφέρονται τα ελαττώματα της ξυλείας, που είναι απαράδεκτα, και τα κριτήρια, με τα οποία ένα ξυλότυπος απορρίπτεται ως ακατάλληλος. Ιδιαίτερα, όταν προβλέπονται ορατές επιφάνειες σκυροδέματος, οι προδιαγραφές καθορίζουν λεπτομερώς πώς πρέπει να κατασκευασθούν οι τύποι, ποιες είναι οι επιτρεπόμενες ανοχές στις διαστάσεις τους κ.ο.κ. Αναφέρουν επίσης αν πρέπει να χρησιμοποιηθεί ξυλεία συνηθισμένη ή πλανισμένη ή αν προβλέπονται τύποι χωρίς αρμούς κ.ο.κ.

Στο κεφάλαιο αυτό των προδιαγραφών αναφέρεται και ο χρόνος, που πρέπει να μεσολαβήσει από τη διάστρωση του σκυροδέματος έως την αφαίρεση των τύπων.

Δ. Οπλισμός.

Στο κεφάλαιο των προδιαγραφών, το σχετικό με τον οπλισμό καθορίζεται κατ' αρχήν ποια κατηγορία χάλυβα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε κάθε τμήμα του έργου. Αναφέρονται οι ιδιότητες, που πρέπει να έχει ο χάλυβας, οι επιτρεπόμενες ανοχές στις διαμέτρους, ή στο βάρος, όπως και τα κριτήρια, με τα οποία μπορεί να απορριφθεί ως ακατάλληλος.

Από την άποψη της εργασίας στο εργοτάξιο οι προδιαγραφές αναφέρουν ποιες είναι οι ανεκτές διαφορές στα μήκη των ράβδων,

από εκείνα που αναγράφονται στους καταλόγους, με ποιο τρόπο επιτρέπεται να ευθυγραμμίζονται οι ράβδοι, ποιες είναι οι ελάχιστες ακτίνες καμπυλότητας κατά τη διαμόρφωση του οπλισμού, με ποιο τρόπο συνδέονται οι ράβδοι μεταξύ τους, πώς στερεώνονται στη σωστή τους θέση κ.ο.κ.

Ε. Προένταση.

Όταν ένα δομικό έργο περιλαμβάνει και στοιχεία από προεντεταμένο σκυρόδεμα, οι προδιαγραφές ορίζουν κατ' αρχήν το σύστημα προεντάσεως, που προβλέπεται να εφαρμοσθεί. Για κάθε σύστημα υπάρχουν έντυπες προδιαγραφές, οι οποίες συντάσσονται από τους κατόχους του διπλώματος ευρεσιτεχνίας του συστήματος, που είναι και οι προμηθευτές των σχετικών υλικών. Οι προδιαγραφές αυτές περιλαμβάνουν λεπτομερείς περιγραφές των τενόντων, των διατάξεων αγκυρώσεως, του μηχανικού εξοπλισμού, όπως και του τρόπου, με τον οποίο εφαρμόζεται η προένταση. Αναφέρουν τις ιδιότητες, που πρέπει να παρουσιάζουν οι τένοντες, οι διατάξεις αγκυρώσεως κλπ., και τα κριτήρια, με τα οποία ελέγχεται αν τα υλικά αυτά είναι κατάλληλα ή πρέπει να απορριφθούν.

Οι προδιαγραφές πρέπει να αναφέρουν και το χρόνο, ο οποίος πρέπει να μεσολαβήσει από τη διάστρωση του σκυροδέματος έως την εφαρμογή της προεντάσεως. Πρέπει ακόμη να καθορίζουν τις ανοχές, που επιτρέπονται στις μηκύνσεις των τενόντων και στις πιέσεις των μανομέτρων σε σύγκριση με εκείνες, που αναγράφονται στα σχέδια, όπως και τα μέτρα, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται, αν οι ανοχές αυτές υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια.

Σχετικά με τις τσιμεντενέσεις καθορίζονται οι αναλογίες των υλικών για την παρασκευή του πολτού της ενέσεως, ο τρόπος εισαγωγής και τα κριτήρια, με τα οποία ελέγχεται η επιτυχία της τσιμεντενέσεως.

26.4 Συγγραφές υποχρεώσεων.

Εκτός από τη Γενική Συγγραφή Υποχρεώσεων, για την οποία έγινε λόγος στον Α' Τόμο της Γενικής Δομικής και η οποία μπορεί να είναι κοινή για όλα σχεδόν τα δομικά έργα, συντάσσεται συνήθως για κάθε σοβαρό έργο και μία Ειδική Συγγραφή Υποχρεώσεων.

Η ειδική αυτή συγγραφή περιλαμβάνει κατά κανόνα και μερικά άρθρα σχετικά με τα στοιχεία του έργου, που κατασκευάζονται από σκυρόδεμα.

Στα άρθρα αυτά αναφέρονται όλα τα σχετικά με τις μετρήσεις και τις δοκιμασίες, που προβλέπουν οι προδιαγραφές. Καθορίζεται δηλαδή πού και από ποιον θα γίνονται οι δοκιμασίες, ποιον θα βαρύνουν οι σχετικές δαπάνες και κάθε πότε θα γίνονται. Ορίζονται επίσης οι ευκολίες, τις οποίες πρέπει να διαθέτει ο κατασκευστής στο εργοτάξιο, για να λαμβάνονται τα δοκίμια.

Η Ειδική Συγγραφή Υποχρεώσεων προβλέπει τι θα συμβεί, αν τα αποτελέσματα των δοκιμών δεν είναι ικανοποιητικά. Καθορίζει δηλαδή πότε πρέπει να γκρεμιστεί το ελαττωματικό τμήμα του έργου, πότε να επιβάλλεται οικονομική κύρωση στον κατασκευαστή και πότε να λαμβάνονται άλλα μέτρα, όπως π.χ. η εκτέλεση δοκιμαστικής φορτίσεως. Ορίζει ακόμη πώς θα γίνει η δοκιμαστική φόρτιση και ποιον θα βαρύνουν οι σχετικές δαπάνες.

Στην Ειδική Συγγραφή είναι δυνατόν να αναφέρεται και ο τρόπος, με τον οποίο παραλαμβάνεται ο οπλισμός και συντάσσονται τα πρωτόκολλα ζυγίσεως. Σχετικά καθορίζεται και σε ποιες περιπτώσεις ο κατάλογος οπλισμού θα διορθώνεται σύμφωνα με την πραγματικότητα και σε ποιες όχι.

Στην περίπτωση προεντεταμένου σκυροδέματος η Ειδική Συγγραφή προβλέπει αν είναι δυνατόν να αλλάξει το σύστημα προεντάσεως, που αναφέρεται στη μελέτη, και τι στοιχεία πρέπει να υποβάλει προς έγκριση ο κατασκευαστής, για να γίνει δεκτή η πρότασή του σχετικά με την αλλαγή συστήματος.

Αυτά είναι μερικά από τα στοιχεία, τα οποία μπορούν να περιλαμβάνουν τα άρθρα μιας Ειδικής Συγγραφής Υποχρεώσεων. Για έργα ειδικής φύσεως, τα οποία πρέπει να πληρούν ειδικούς όρους, ή όταν τα έργα γίνονται κάτω από συνθήκες ή με συστήματα όχι συνηθισμένα μπορούν να υπάρχουν και άλλα άρθρα με περιεχόμενο παρόμοιο, με όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω.

26.5 Τιμολόγιο και προϋπολογισμός.

Το Τιμολόγιο για τις κατασκευές από σκυρόδεμα περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα άρθρα, ανάλογα με τον τρόπο, με τον οποίο

μετρούνται οι σχετικές εργασίες. Στα άρθρα αυτά διευκρινίζεται ποιες ακριβώς εργασίες περιλαμβάνει το καθένα. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, ακριβώς επειδή οι τύποι και ο οπλισμός άλλοτε θεωρούνται ότι αποτελούν ανεξάρτητες εργασίες και άλλοτε όχι. Τα άρθρα ενός τιμολογίου για κατασκευές από σκυρόδεμα είναι:

α) Άρθρα, που αναφέρονται στο σκυρόδεμα. Αυτά είναι τόσα, όσες είναι και οι κατηγορίες του σκυροδέματος, που προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή του έργου. Είναι δυνατόν είτε να περιλαμβάνουν την αξία των τύπων και του οπλισμού, είτε όχι.

β) Άρθρα, που αναφέρονται στον οπλισμό ή γενικότερα στο χάλυβα. Αυτά είναι τόσα, όσες είναι και οι κατηγορίες του χάλυβα, που προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή του έργου. Μερικές φορές τα άρθρα αυτά αναλύονται σε δύο ομάδες από τις οποίες η μία αναφέρεται στην προμήθεια του οπλισμού και η άλλη στην κατεργασία και τοποθέτησή του. Η ανάλυση αυτή γίνεται συνήθως, όταν προβλέπεται ότι και ο ιδιοκτήτης του έργου διατηρεί το δικαίωμα να προβεί σε προμήθεια υλικών.

γ) Άρθρα που αναφέρονται στους τύπους (καλούπια). Είναι δυνατόν να γίνεται διάκριση των τύπων σε κατηγορίες, όπως π.χ. συνηθισμένοι, καμπύλοι, ορατών επιφανειών, μεταλλικοί κ.ο.κ.

δ) Άρθρα για ειδικές κατασκευές, οι οποίες δεν προβλέπεται να μετρηθούν με τον όγκο του σκυροδέματος, όπως π.χ. κράσπεδα, στηθαία κλπ. Στα άρθρα αυτά πρέπει πάντοτε να γίνεται παραπομπή στο σχετικό σχέδιο και λεπτομερής περιγραφή της κατασκευής.

Ο Προϋπολογισμός του έργου προκύπτει, αν πολλαπλασιασθούν τα αποτελέσματα των Προμετρήσεων με τις αντίστοιχες τιμές μονάδας του Τιμολογίου και προστεθούν τα μερικά γινόμενα.

26.6 Ανάλυση τιμών.

Η Ανάλυση των τιμών του σκυροδέματος περιλαμβάνει κατ' αρχήν τις δαπάνες για την προμήθεια, μεταφορά και αποθήκευση των υλικών, αφού ληφθεί υπόψη και ένα λογικό ποσοστό φθοράς και απωλειών. Περιλαμβάνει ακόμη τις δαπάνες για την προμήθεια και ανάμιξη των υλικών, την παρασκευή και τη μεταφορά του σκυροδέματος, τη διάστρωση, το κοπάνισμα ή τη δόνηση, τη συντήρηση

κλπ. Στις δαπάνες αυτές, εκτός από την αξία των υλικών και της εργασίας, περιλαμβάνεται και η χρήση των μηχανημάτων, δηλαδή αναμικτήρων, αναβατορίων, γερανών, δονητών κ.ο.κ.

Η Ανάλυση των τιμών του χάλυβα περιλαμβάνει τις δαπάνες για την προμήθεια, μεταφορά και αποθήκευσή του, όπως και τις απώλειες, επειδή πάντοτε απομένουν άχρηστα κομμάτια κατά την κοπή των ράβδων. Περιλαμβάνει ακόμη τις δαπάνες για την κοπή, ευθυγράμμιση, διαμόρφωση, τοποθέτηση και στήριξη του οπλισμού, όπως και τις δαπάνες για την προμήθεια δευτερευόντων υλικών. Τέτοια υλικά είναι το σύρμα προσδέσεως, οι χαλύβδινες καβίλιες, τα στηρίγματα κ.ο.κ.

Όταν πρόκειται για χάλυβα προεντάσεως στην ανάλυση της τιμής περιλαμβάνεται και η προμήθεια των εξαρτημάτων των τενόντων, δηλαδή των περιβλημάτων, ελατηρίων κλπ., η δαπάνη για τη σύνθεση των τενόντων κλπ.

Η προμήθεια των διατάξεων αγκυρώσεως, η σύνδεσή τους με τους τένοντες, η εκτέλεση της προεντάσεως, της αγκυρώσεως, της τσιμεντενέσεως και του σφραγίσματος των τενόντων, μαζί με τις δαπάνες για την προμήθεια των σχετικών υλικών και τη χρήση των μηχανημάτων περιλαμβάνονται συνήθως στην ανάλυση ιδιαίτερης τιμής μονάδας. Μπορούν όμως να αναχθούν στη μονάδα βάρους των τενόντων και να περιληφθούν στην ανάλυση της τιμής μονάδας του χάλυβα προεντάσεως.

Η Ανάλυση για τις τιμές μονάδας των τύπων (καλουπιών) περιλαμβάνει ένα μέρος της δαπάνης για την προμήθεια της ξυλείας ή γενικότερα του υλικού, με το οποίο κατασκευάζονται οι τύποι (καλούπια). Το μέρος αυτό της δαπάνης υπολογίζεται, όταν καθορισθεί πόσες φορές είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πάλι τα υλικά αυτά, έως ότου αχρηστευθούν. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και η δαπάνη για την προμήθεια των καρφιών και γενικότερα των μέσων συνδέσεως. Η ανάλυση περιλαμβάνει ακόμη τις δαπάνες για τη μεταφορά και αποθήκευση των υλικών, τη σύνθεσή τους, την αποσύνθεση και τον καθαρισμό τους και τέλος τη μεταφορά τους ξανά στην αποθήκη του κατασκευστή.

Όταν δεν προβλέπονται χωριστές τιμές μονάδας για τον οπλισμό και τους τύπους, είναι σωστό να συντάσσονται και πάλι οι Ανα-

λύσεις τιμών του σκυροδέματος, του οπλισμού και των τύπων χωριστά. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών μπορούν να θεωρηθούν ως τιμές βοηθητικές. Μετά καθορίζεται η πιθανή αναλογία οπλισμού των τύπων σε κάθε μονάδα όγκου του σκυροδέματος και υπολογίζεται η τιμή εφαρμογής με κατάλληλη σύνθεση των βοηθητικών τιμών.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και όταν πρόκειται για ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα, όταν δηλαδή η τιμή μονάδας αντιστοιχεί σε ένα κομμάτι ή σε ένα τρέχον μέτρο κ.ο.κ.

Στις περιπτώσεις αυτές των μικρών κατασκευών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το ποσό εργασίας, που αντιστοιχεί σε μία μονάδα σκυροδέματος, τύπων ή οπλισμού, είναι πολύ μεγαλύτερο από το συνηθισμένο. Αυτός είναι άλλωστε και ο κύριος λόγος, για τον οποίο οι κατασκευές αυτές μετρούνται ιδιαίτερα.

Ως παράδειγμα για την εφαρμογή αυτών, που αναφέρονται πιο πάνω, δίνονται τα άρθρα 3213 και 3816 του ΑΤΟΕ.

Παράδειγμα 1.

Άρθρο 3213. Λεπτό σκυρόδεμα των 300 kg τσιμέντου, με σκύρα διαστάσεων 0,7 έως 3 cm, απλό ή οπλισμένο, παντός είδους τμημάτων έργου πλην τμημάτων τρούλων και κελυφών σε οποιοδήποτε ύψος ή βάθος από την επιφάνεια του εδάφους.

(1 κυβικό μέτρο)

Υλικά.

α) Τσιμέντο	(026) ή (1205) kg	$300 \times 0,48 = 144,00$
β) Άμμος Β	(052) ή (1209)	
	ή (1305) m ³	$0,53 \times 80,00 = 42,40$
γ) Σκύρα 0,7-3	(062) ή (1217) ή	
	(1321) ή (1322) m ³	$0,80 \times 62,00 = 49,60$
δ) Νερό	(021) ή (1201)	
	ή (1301) m ³	$0,25 \times 10,00 = 2,50$

Εργασία.

α) Εργάτης	(001) ω 8,00 $\frac{136,00}{8} = 136,00$
	Σε μεταφορά 374,50

Από μεταφορά 374,50

β) Τεχνίτης (003) ω $1,60 \frac{250,00}{8} = \underline{50,00}$

Άθροισμα 424,50

Γενικά και επισφαλή έξοδα και

όφελος εργολάβου 28% $\underline{118,86}$

Τιμή ενός κυβικού μέτρου δρχ. $543,36 \simeq \underline{\underline{543}}$

Παράδειγμα 2.

Άρθρο 3816. Ξυλότυποι συνηθισμένων χυτών κατασκευών
πλην των εν 3801 και 3811 (ως πλακών, δοκών, πλαισίων, στύλων, πεδίων, υπερθύρων, κλιμάκων κλπ.) σε οποιαδήποτε στάθμη από το έδαφος και για ύψος πυθμένα πλάκας μέχρι 3,50 m από του υποκειμένου δαπέδου εργασίας.

(1 τετραγωνικό μέτρο ανεπτυγμένης επιφάνειας).

Υλικά.

α) Φθορά Ξυλείας

πελεκητής (201) ή (1276) m³ $0,0025 \times 2600 = 6,50$

β) Φθορά Ξυλείας

πριστής (203) ή (1281) m³ $0,003 \times 2690 = 8,07$

γ) Καρφιά,

σύνδεσμοι (251) kg $0,200 \times 7,50 = 1,50$

Εργασία.

δ) Προσκόμιση και αποκόμιση:

Εργάτης (001) ω $0,48 \frac{136,00}{8} = 8,16$

ε) Κατεργασία, σύνθεση, αποσύνθεση:

Τεχνίτης (003) ω $0,64 \frac{250,00}{8} = \underline{20,00}$

Άθροισμα 44,23

Γενικά και επισφαλή έξοδα και

όφελος εργολάβου 28% $\underline{12,38}$

Τιμή ενός m² ανεπτυγμένης επιφάνειας δρχ. $56,61 \simeq \underline{\underline{56,50}}$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

Στατικά μεγέθη απλών φορέων σε απλές περιπτώσεις φορτίσεων.

ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΙΑ ΔΥΝΑΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΕΩΣ	ΦΟΡΕΑΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΙΑ ΔΥΝΑΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΕΩΣ
	$Q_A = P$	$M_A = -P \cdot l$		$Q_A = Q_B = \frac{1}{2} P \cdot l$	$M_A = M_B = -\frac{1}{12} P \cdot l^2$ $M_M = \frac{1}{24} P \cdot l^2$
	$Q_A = P \cdot l$	$M_A = -\frac{1}{2} P \cdot l^2$		$Q_A = Q_B = \frac{1}{4} P \cdot l$	$M_A = M_B = -\frac{5}{96} P \cdot l^2$ $M_M = \frac{3}{96} P \cdot l^2$
	$Q_A = \frac{1}{2} P \cdot l$	$M_A = -\frac{1}{6} P \cdot l^2$		$Q_A = Q_B = \frac{1}{4} P \cdot l$	$M_A = M_B = -\frac{3}{96} P \cdot l^2$ $M_M = \frac{1}{96} P \cdot l^2$
	$Q_A = \frac{1}{2} P \cdot l$	$M_A = -\frac{1}{3} P \cdot l^2$		$Q_A = \frac{3}{90} P \cdot l$ $Q_B = \frac{7}{90} P \cdot l$	$M_A = -\frac{1}{80} P \cdot l^2$ $M_B = -\frac{1}{30} P \cdot l^2$ $M_1 = \frac{1}{48,8} P \cdot l^2$
	$Q_A = Q_B = \frac{1}{2} P$	$M_M = \frac{1}{4} P \cdot l$		$Q_A = \frac{5}{16} P$ $Q_B = \frac{11}{16} P$	$M_B = -\frac{3}{16} P \cdot l$ $M_M = \frac{5}{32} P \cdot l$
	$Q_A = Q_B = P$	$M_M = P \cdot a$		$Q_A = \frac{2}{3} P$ $Q_B = \frac{4}{3} P$	$M_B = -\frac{1}{3} P \cdot l$ $M_1 = \frac{2}{3} P \cdot l$
	$Q_A = Q_B = \frac{3}{2} P$	$M_M = \frac{1}{2} P \cdot l$		$Q_A = \frac{33}{52} P$ $Q_B = \frac{53}{52} P$	$M_B = -\frac{15}{52} P \cdot l$ $M_M = \frac{17}{64} P \cdot l$
	$Q_A = Q_B = \frac{1}{2} P \cdot l$	$M_M = \frac{1}{8} P \cdot l^2$		$Q_A = \frac{3}{8} P \cdot l$ $Q_B = \frac{5}{8} P \cdot l$	$M_B = -\frac{1}{8} P \cdot l^2$ $M_1 = \frac{9}{128} P \cdot l^2$
	$Q_A = Q_B = \frac{1}{4} P \cdot l$	$M_M = \frac{1}{12} P \cdot l^2$		$Q_A = \frac{1}{10} P \cdot l$ $Q_B = \frac{9}{10} P \cdot l$	$M_B = -\frac{1}{10} P \cdot l^2$ $M_1 = \frac{1}{33,60} P \cdot l^2$
	$Q_A = Q_B = \frac{1}{4} P \cdot l$	$M_M = \frac{1}{24} P \cdot l^2$		$Q_A = \frac{11}{40} P \cdot l$ $Q_B = \frac{9}{40} P \cdot l$	$M_B = -\frac{7}{130} P \cdot l^2$ $M_1 = \frac{1}{33,6} P \cdot l^2$
	$Q_A = Q_B = \frac{1}{2} P$	$M_A = M_B = -\frac{1}{8} P \cdot l$ $M_M = \frac{1}{8} P \cdot l$		$Q_A = Q_B = P$	$M_A = M_B = -P \cdot c$ $M_M = -P \cdot c$
	$Q_A = Q_B = P$	$M_A = M_B = -\frac{P}{l} a(l-a)$ $M_M = \frac{P}{l} a^2$		$Q_A = Q_B = P \cdot c$	$M_A = M_B = -\frac{1}{2} P \cdot c^2$ $M_M = -\frac{1}{2} P \cdot c^2$
	$Q_A = Q_B = \frac{3}{2} P$	$M_A = M_B = -\frac{5}{16} P \cdot l$ $M_M = \frac{3}{16} P \cdot l$		$Q_A = Q_B = P + \frac{1}{2} P \cdot l$	$M_A = M_B = -P \cdot c$ $M_M = \frac{1}{8} P \cdot l^2 - P \cdot c$
	$Q_A = \frac{1}{6} P \cdot l$ $Q_B = \frac{1}{3} P \cdot l$	$M_1 = \frac{1}{9 \sqrt{3}} P \cdot l^2 = \frac{P \cdot l^2}{10,39}$		$Q_A = Q_B = \frac{1}{2} P (l+3c)$	$M_A = M_B = -\frac{1}{2} P \cdot c^2$ $M_M = \frac{1}{8} P (l^2 - 6c^2)$

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

α) Εμβαδόν διατομής οπλισμού δοκών, υποστυλωμάτων κλπ. (cm²).

ø	ΒΑΡΟΣ kg/m	Α Ρ Ι Θ Μ Ο Σ Ρ Α Β Δ Ω Ν									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
5,5	0,187	0,24	0,47	0,71	0,95	1,19	1,42	1,66	1,90	2,14	2,37
6	0,222	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,82
8	0,395	0,50	1,00	1,51	2,01	2,51	3,01	3,52	4,02	4,52	5,02
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,49	6,28	7,07	7,85
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,208	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,86	15,39
16	1,578	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,09	20,11
18	1,998	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45
20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	22,00	25,14	28,28	31,42
22	2,984	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
24	3,551	4,52	9,05	13,57	18,10	22,62	27,14	31,67	36,19	40,71	45,24
26	4,168	5,31	10,62	15,93	21,24	26,55	31,86	37,17	42,48	47,79	53,10
28	4,834	6,16	12,31	18,47	24,63	30,79	36,94	43,10	49,26	55,42	61,58
30	5,549	7,07	14,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,68
32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,26	56,30	64,34	72,38	80,42
34	7,127	9,08	18,16	27,24	36,32	45,40	54,48	63,55	72,63	81,71	90,79
36	7,990	10,18	20,36	30,54	40,72	50,90	61,07	71,25	81,43	91,61	101,79
38	8,903	11,34	22,68	34,02	45,36	56,70	68,04	79,39	90,73	102,07	113,41
40	9,865	12,56	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,97	100,53	113,09	125,66

β) Εμβαδόν διατομής οπλισμού πλακών (cm²/m).

Απόσταση Ράβδων cm	ø5	ø5,5	ø6	ø8	ø10	ø12	ø14	ø16	ø18	ø20
20	0,98	1,19	1,41	2,51	3,93	5,65	7,69	10,05	12,72	15,72
19,5	1,00	1,22	1,45	2,58	4,03	5,80	7,89	10,31	13,05	16,11
19	1,03	1,26	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	13,39	16,54
18,5	1,06	1,28	1,53	2,72	4,25	6,11	8,32	10,87	13,76	16,94
18	1,09	1,32	1,57	2,79	4,36	6,28	8,55	11,17	14,14	17,46
17,5	1,12	1,36	1,62	2,87	4,49	6,46	8,79	11,49	14,54	17,95
17	1,15	1,40	1,67	2,96	4,62	6,65	9,05	11,83	14,97	18,48
16,5	1,19	1,44	1,72	3,05	4,76	6,85	9,33	12,19	15,42	19,04
16	1,23	1,48	1,77	3,14	4,91	7,07	9,62	12,57	15,90	19,64
15,5	1,27	1,53	1,82	3,24	5,07	7,30	9,93	12,97	16,42	20,27
15	1,31	1,59	1,88	3,35	5,24	7,54	10,26	13,40	16,96	20,94
14,5	1,35	1,64	1,95	3,47	5,42	7,80	10,62	13,87	17,55	21,66
14	1,40	1,69	2,02	3,59	5,61	8,08	11,00	14,36	18,18	22,44
13,5	1,45	1,76	2,09	3,72	5,82	8,38	11,40	14,89	18,85	23,27
13	1,51	1,83	2,17	3,87	6,04	8,70	11,84	15,47	19,57	24,17
12,5	1,57	1,90	2,26	4,02	6,28	9,06	12,32	16,08	20,36	25,13
12	1,63	1,98	2,35	4,19	6,54	9,42	12,83	16,76	21,21	26,18
11,5	1,70	2,07	2,45	4,37	6,83	9,83	13,39	17,48	22,13	27,32
11	1,78	2,16	2,57	4,57	7,14	10,28	13,99	18,28	23,13	28,56
10,5	1,87	2,26	2,70	4,79	7,48	10,77	14,66	19,15	24,24	29,92
10	1,96	2,37	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	25,45	31,42
9,5	2,07	2,50	2,98	5,29	8,27	11,90	16,20	21,16	26,79	33,07
9	2,18	2,64	3,14	5,59	8,73	12,57	17,10	22,34	28,27	34,91
8,5	2,31	2,80	3,32	5,91	9,24	13,31	18,11	23,65	29,94	36,96
8	2,45	2,97	3,53	6,28	9,82	14,14	19,24	25,13	31,81	39,27
7,5	2,62	3,17	3,77	6,70	10,47	15,08	20,52	26,80	33,92	41,88

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

$$\sigma_e = 1\,200 \text{ kg/cm}^2$$

α) Κάμψη άνευ θλιβομένου οπλισμού.

$$k_h = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{M : b \text{ (tm : m)}}} \quad x = k_x \cdot h \quad F_e = k_e \cdot \frac{M \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}}$$

σ_b kg/cm ²	10	15	20	25	30	35	40	45	50
k_h	43,0	29,8	23,1	19,1	16,4	14,5	13,0	11,8	10,9
k_x	0,112	0,168	0,200	0,238	0,273	0,304	0,333	0,360	0,385
k_e	0,865	0,880	0,893	0,905	0,917	0,927	0,938	0,947	0,956

β) Συντελεστής α αυξήσεως θλιβομένου οπλισμού.

h'/h	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,20
$\sigma_b = 40 \text{ kg/cm}^2$	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,47	1,68	2,30
$\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$	1,04	1,09	1,14	1,20	1,26	1,39	1,53	1,98

γ) Κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό.

$$F_e = k_e \cdot \frac{M}{h} \quad F'_e = a \cdot k'_e \cdot \frac{M}{h}$$

$\sigma_b = 40 \text{ kg/cm}^2$						$\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$					
k_h	k_e	k'_e	k_h	k_e	k'_e	k_h	k_e	k'_e	k_h	k_e	k'_e
13,0	0,94	0,00	11,4	0,93	0,52	11,0	0,96	0,00	9,4	0,94	0,46
12,9		0,03				10,9		0,01			
12,8		0,07				10,8		0,04			
12,7		0,10				10,7		0,07			
12,6		0,13				10,6		0,10			
12,5		0,17				10,5		0,13			
12,4	0,93	0,20	10,9	0,92	0,67	10,4	0,95	0,16	8,9	0,93	0,59
12,3		0,24				10,3		0,19			
12,2		0,27				10,2		0,22			
12,1		0,30				10,1		0,25			
12,0		0,33				10,0		0,28			
11,9	0,93	0,37	10,4	0,92	0,82	9,9	0,94	0,31	8,4	0,93	0,72
11,8		0,40				9,8		0,34			
11,7		0,43				9,7		0,37			
11,6		0,46				9,6		0,40			
11,5		0,49				9,5		0,43			
									7,9	0,93	0,84
									7,8		0,86
									7,7		0,88
									7,6		0,90
									7,5		0,93

Σημείωση: Ο πίνακας 10 χρησιμοποιείται μόνο για χυλίου κατηγορίας και σκυρόδεμα κατηγορίας Β 170

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

$$\sigma_e = 1\,400 \text{ kg/cm}^2$$

α) Κάμψη άνευ θλιβομένου οπλισμού.

$$k_b = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{\frac{M \text{ (tm)}}{b \text{ (m)}}}}$$

$$x = k_x \cdot h$$

$$F_e \text{ (cm}^2\text{)} = k_e \frac{M \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}}$$

$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120
k_b	24,5	17,3	13,6	12,4	11,4	10,6	9,9	9,3	8,8	8,4	8,0	7,65	7,35	6,8	6,4	6,0
k_x	0,176	0,243	0,300	0,325	0,349	0,371	0,391	0,411	0,429	0,446	0,462	0,477	0,491	0,52	0,54	0,56
k_e	0,759	0,777	0,794	0,801	0,808	0,815	0,821	0,828	0,833	0,839	0,844	0,849	0,854	0,86	0,87	0,88

β) Συντελεστής α αυξήσεως θλιβομένου οπλισμού.

h'/h	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	$F_e = \alpha k'_e \frac{M}{h}$
$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$											
50	1,05	1,10	1,16	1,22	1,29	1,36	1,44	1,64	1,88	2,18	
60	1,04	1,09	1,14	1,19	1,25	1,31	1,38	1,54	1,73	1,95	
70	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,28	1,34	1,46	1,61	1,82	
80	1,04	1,08	1,12	1,16	1,21	1,26	1,32	1,44	1,58	1,74	
90	1,04	1,07	1,11	1,15	1,20	1,25	1,30	1,41	1,53	1,68	
100*	1,03	1,07	1,11	1,15	1,19	1,23	1,28	1,37	1,49	1,64	

γ) Κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό.

$\sigma_b = 50 \text{ kg/cm}^2$			60 kg/cm ²			70 kg/cm ²			80 kg/cm ²			90 kg/cm ²			100* kg/cm ²		
k_b	k_e	k'_e	k_b	k_e	k'_e	k_b	k_e	k'_e	k_b	k_e	k'_e	k_b	k_e	k'_e	k_b	k_e	k'_e
11,4		0,00	9,9		0,00	8,9		0,00	7,9		0,03	7,4		0,00	6,9		0,00
11,3		0,03	9,8		0,03	8,8		0,01	7,8		0,05	7,3		0,01	6,8		0,01
11,2	0,81	0,06	9,7	0,82	0,06	8,7	0,83	0,03	7,7	0,84	0,08	7,2	0,85	0,04	6,7	0,86	0,03
11,1		0,09	9,6		0,09	8,6		0,06	7,6		0,10	7,1		0,06	6,6		0,06
11,0		0,12	9,5		0,12	8,5		0,08	7,5		0,13	7,0		0,09	6,5		0,08
10,9		0,15	9,4		0,14	8,4		0,11	7,4		0,15	6,9		0,11	6,4		0,10
10,8		0,18	9,3		0,17	8,3		0,14	7,3		0,17	6,8		0,14	6,3		0,13
10,7	0,80	0,21	9,2	0,81	0,20	8,2	0,82	0,17	7,2	0,83	0,20	6,7	0,84	0,16	6,2	0,85	0,15
10,6		0,24	9,1		0,23	8,1		0,19	7,1		0,22	6,6		0,18	6,1		0,17
10,5		0,27	9,0		0,25	8,0		0,22	7,0		0,25	6,5		0,20	6,0		0,19
10,4		0,30	8,9		0,28	7,9		0,24	6,9		0,27	6,4		0,23	5,9		0,21
10,3		0,33	8,8		0,31	7,8		0,27	6,8		0,29	6,3		0,25	5,8		0,23
10,2	0,80	0,36	8,7	0,81	0,33	7,7	0,82	0,29	6,7	0,82	0,32	6,2	0,83	0,27	5,7	0,83	0,25
10,1		0,38	8,6		0,36	7,6		0,32	6,6		0,34	6,1		0,29	5,6		0,27
10,0		0,41	8,5		0,38	7,5		0,34	6,5		0,36	6,0		0,31	5,5		0,29
9,9		0,44	8,4		0,41	7,4		0,36	6,4		0,38	5,9		0,33	5,4		0,31
9,8		0,47	8,3		0,48	7,3		0,39	6,3		0,40	5,8		0,35	5,3		0,33
9,7	0,80	0,49	8,2	0,80	0,46	7,2	0,81	0,41	6,2	0,82	0,42	5,7	0,82	0,37	5,2	0,82	0,35
9,6		0,52	8,1		0,48	7,1		0,43	6,1		0,44	5,6		0,39	5,1		0,37
9,5		0,56	8,0		0,50	7,0		0,46	6,0		0,46	5,5		0,41	5,0		0,39
9,4		0,57	7,9		0,53	6,9		0,48	5,9		0,48	5,4		0,43	4,9		0,40
9,3		0,60	7,8		0,55	6,8		0,50	5,8		0,50	5,3		0,45	4,8		0,42
9,2	0,79	0,62	7,7	0,80	0,57	6,7	0,81	0,52	5,7	0,81	0,52	5,2	0,81	0,47	4,7	0,81	0,44
9,1		0,65	7,6		0,60	6,6		0,54	5,6		0,54	5,1		0,48	4,6		0,46
9,0		0,67	7,5		0,62	6,5		0,56	5,5		0,56	5,0		0,50	4,5		0,47
8,9		0,70	7,4		0,64	6,4		0,58	5,4		0,58	4,9		0,52	4,4		0,49
8,8		0,72	7,3		0,66	6,3		0,60	5,3		0,59	4,8		0,53	4,3		0,50
8,7	0,79	0,75	7,2	0,80	0,62	6,2	0,80	0,62	5,2	0,80	0,61	4,7	0,80	0,55	4,2	0,80	0,52
8,6		0,77	7,1		0,71	6,1		0,64	5,1		0,63	4,6		0,57	4,1		0,53
8,5		0,80	7,0		0,73	6,0		0,66	5,0		0,64	4,5		0,58	4,0		0,55
			6,9		0,75	5,9		0,68	4,9		0,66	4,4		0,60	3,9		0,56
			6,8	0,79	0,77	5,8	0,80	0,70	4,8	0,80	0,68	4,3	0,80	0,61	3,8	0,80	0,57
			6,7		0,79	5,7		0,71	4,7		0,69	4,2		0,63	3,7		0,59
			6,6		0,81	5,6		0,73	4,6		0,71	4,1		0,64	3,6		0,60
			6,5		0,83	5,5		0,75	4,5		0,72	4,0		0,65	3,5		0,61
			6,4			5,4		0,77	4,4		0,74	3,9		0,67	3,4		0,62
			6,3			5,3		0,78	4,3		0,75	3,8		0,68	3,3		0,64
			6,2	0,79		5,2	0,79	0,80	4,2	0,79	0,77	3,7	0,79	0,69	3,2	0,79	0,65
			6,1			5,1		0,81	4,1		0,78	3,6		0,71	3,1		0,66
			6,0			5,0		0,83	4,0		0,79	3,5		0,72	3,0		0,67

* Ο πίνακας 11 χρησιμοποιείται για οπλισμό κατηγορίας Ι και σκυρόδεμα κατηγορίας Β 160, Β 225 ή Β 300. Δεν επιτρέπεται εν τούτοις να είναι $\sigma_s > 100 \text{ kg/cm}^2$, όταν υπάρχει θλιβόμενος οπλισμός, επειδή τότε η τάση του υπερβαίνει τα επιτρεπόμενα όρια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

$$\sigma_c = 1\,800 \text{ kg/cm}^2$$

α) Κάμψη άνευ θλιβομένου οπλισμού.

$$k_h = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{\frac{M \text{ (tm)}}{b \text{ (m)}}}} \quad x = k_x \cdot h \quad F_c \text{ (cm}^2\text{)} = k_c \frac{M \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}}$$

$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120
k_h	27,1	18,9	14,8	13,4	12,3	11,4	10,6	10,0	9,4	8,9	8,5	8,1	7,8	7,2	6,7	6,3
k_x	0,143	0,200	0,250	0,273	0,294	0,314	0,333	0,351	0,368	0,385	0,400	0,415	0,429	0,46	0,48	0,50
k_c	0,583	0,595	0,606	0,611	0,616	0,621	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645	0,648	0,656	0,66	0,67

β) Συντελεστής α αυξήσεως θλιβομένου οπλισμού.

h/h	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	$F_c = \alpha k'_c \frac{M}{h}$
$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	60	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,38	1,47	1,68	1,95	
	70	1,06	1,09	1,15	1,21	1,27	1,34	1,41	1,57	1,78	
	80	1,04	1,08	1,14	1,19	1,25	1,31	1,37	1,50	1,68	
	90	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,28	1,34	1,46	1,62	
	100	1,04	1,08	1,12	1,17	1,21	1,26	1,32	1,43	1,58	
	110	1,04	1,08	1,12	1,16	1,21	1,26	1,31	1,41	1,54	1,70

γ) Κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό.

$\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$			70 kg/cm^2			80 kg/cm^2			90 kg/cm^2			100 kg/cm^2			110 kg/cm^2		
k_h	k_x	k'_c	k_h	k_x	k'_c	k_h	k_x	k'_c	k_h	k_x	k'_c	k_h	k_x	k'_c	k_h	k_x	k'_c
			9,4		0,00	8,4		0,02									
			9,3		0,03	8,3		0,05									
			9,2	0,63	0,06	8,2	0,64	0,07	7,7	0,65	0,02	7,2		0,00	6,7		0,01
			9,1		0,08	8,1		0,10	7,6		0,04	7,1	0,65	0,02	6,6	0,66	0,03
10,5	0,62	0,08	9,0		0,11	8,0		0,12	7,5		0,07	7,0		0,05	6,5		0,06
10,4		0,06	8,9		0,13	7,9		0,15	7,4		0,09	6,9		0,07	6,4		0,07
10,3		0,09	8,8		0,16	7,8		0,17	7,3		0,11	6,8		0,09	6,3		0,09
10,2	0,62	0,11	8,7	0,63	0,18	7,7	0,63	0,19	7,2	0,64	0,14	6,7	0,64	0,11	6,2	0,65	0,12
10,1		0,14	8,6		0,21	7,6		0,22	7,1		0,16	6,6		0,14	6,1		0,14
10,0		0,17	8,5		0,23	7,5		0,24	7,0		0,18	6,5		0,16	6,0		0,16
9,9		0,20	8,4		0,26	7,4		0,26	6,9		0,20	6,4		0,18	5,9		0,18
9,8		0,22	8,3		0,28	7,3		0,28	6,8		0,22	6,3		0,20	5,8		0,20
9,7	0,62	0,25	8,2	0,62	0,30	7,2	0,63	0,31	6,7	0,64	0,25	6,2	0,64	0,22	5,7	0,64	0,22
9,6		0,27	8,1		0,33	7,1		0,33	6,6		0,27	6,1		0,24	5,6		0,23
9,5		0,30	8,0		0,35	7,0		0,35	6,5		0,29	6,0		0,26	5,5		0,25
9,4		0,33	7,9		0,37	6,9		0,37	6,4		0,31	5,9		0,28	5,4		0,27
9,3		0,35	7,8		0,39	6,8		0,39	6,3		0,33	5,8		0,30	5,3		0,29
9,2	0,62	0,38	7,7	0,62	0,42	6,7	0,62	0,41	6,2	0,63	0,35	5,7	0,63	0,32	5,2	0,64	0,31
9,1		0,40	7,6		0,44	6,6		0,43	6,1		0,37	5,6		0,34	5,1		0,32
9,0		0,42	7,5		0,46	6,5		0,45	6,0		0,39	5,5		0,35	5,0		0,34
8,9		0,45	7,4		0,48	6,4		0,47	5,9		0,40	5,4		0,37	4,9		0,36
8,8		0,47	7,3		0,50	6,3		0,49	5,8		0,42	5,3		0,39	4,8		0,38
8,7	0,62	0,50	7,2	0,62	0,52	6,2	0,62	0,51	5,7	0,62	0,44	5,2	0,62	0,41	4,7	0,63	0,39
8,6		0,52	7,1		0,54	6,1		0,53	5,6		0,46	5,1		0,42	4,6		0,41
8,5		0,54	7,0		0,56	6,0		0,54	5,5		0,47	5,0		0,44	4,5		0,42
8,4		0,56	6,9		0,58	5,9		0,56	5,4		0,49	4,9		0,46	4,4		0,44
8,3		0,59	6,8		0,60	5,8		0,58	5,3		0,51	4,8		0,47	4,3		0,45
8,2	0,61	0,61	6,7	0,62	0,62	5,7	0,62	0,60	5,2	0,62	0,53	4,7	0,62	0,49	4,2	0,62	0,47
8,1		0,63	6,6		0,64	5,6		0,61	5,1		0,54	4,6		0,50	4,1		0,48
8,0		0,65	6,5		0,66	5,5		0,63	5,0		0,56	4,5		0,52	4,0		0,49
									4,9		0,57	4,4		0,53	3,9		0,51
									4,8	0,62	0,59	4,3		0,55	3,8		0,52
									4,7		0,60	4,2	0,62	0,56	3,7	0,62	0,53
									4,6		0,62	4,1		0,57	3,6		0,55
									4,5		0,63	4,0		0,59	3,5		0,56
												3,9		0,60	3,4		0,57
												3,8		0,61	3,3		0,58
												3,7	0,61	0,62	3,2	0,61	0,59
												3,6		0,64	3,1		0,60
												3,5		0,65	3,0		0,61

Σημείωση: Ο πίνακας 12 χρησιμοποιείται για κατηγορία χάλυβα II και για κατηγορίες σκυροδεμάτων Β 160, Β 225, και Β 300.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13

$$\sigma_c = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

α) Κάμψη άνευ θλιβομένου οπλισμού.

$$k_h = \sqrt{\frac{h \text{ (cm)}}{M \text{ (tm)}}} \quad x = k_x \cdot h \quad F_c \text{ (cm}^2\text{)} = k_c \frac{M \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}}$$

$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120
k_h	28,3	19,7	15,3	13,9	12,7	11,7	10,95	10,98	9,68	9,17	8,73	8,35	7,97	7,4	6,9	6,5
k_x	0,130	0,184	0,231	0,252	0,273	0,292	0,310	0,328	0,344	0,360	0,375	0,389	0,403	0,429	0,452	0,474
k_c	0,523	0,533	0,542	0,546	0,550	0,554	0,558	0,561	0,565	0,568	0,571	0,575	0,578	0,584	0,590	0,596

β) Συντελεστής α αυξήσεως θλιβομένου οπλισμού.

h/h	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	$F_c = \alpha k_c \frac{M}{h}$
$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	60	1,05	1,11	1,18	1,25	1,33	1,42	1,53	1,77	2,08	
	70	1,05	1,10	1,16	1,22	1,29	1,37	1,45	1,65	1,90	
	80	1,05	1,09	1,15	1,20	1,26	1,33	1,40	1,57	1,78	
	90	1,04	1,09	1,14	1,19	1,24	1,30	1,37	1,50	1,68	
	100	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,28	1,34	1,48	1,62	
	110	1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27	1,33	1,44	1,58	1,76

γ) Κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό.

$\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$			70 kg/cm ²			80 kg/cm ²			90 kg/cm ²			100 kg/cm ²			110 kg/cm ²		
10,9		0,01	9,6		0,02	8,9		0,00	7,9		0,02	7,4		0,00	6,9		0,00
10,8		0,04	9,5		0,05	8,8		0,00	7,8		0,04	7,3		0,02	6,8		0,02
10,7	0,56	0,07	9,4	0,56	0,07	8,7	0,57	0,01	7,7	0,57	0,07	7,2	0,58	0,04	6,7	0,59	0,04
10,6		0,10	9,3		0,10	8,6		0,03	7,6		0,09	7,1		0,06	6,6		0,06
10,5		0,12	9,2		0,13	8,5		0,06	7,5		0,11	7,0		0,09	6,5		0,08
10,4		0,15	9,1		0,15	8,4		0,08	7,4		0,14	6,9		0,11	6,4		0,10
10,3		0,18	9,0		0,18	8,3		0,11	7,3		0,16	6,8		0,13	6,3		0,13
10,2	0,56	0,20	8,9	0,56	0,20	8,2	0,57	0,13	7,2	0,57	0,18	6,7	0,58	0,15	6,2	0,58	0,15
10,1		0,23	8,8		0,22	8,1		0,15	7,1		0,20	6,6		0,17	6,1		0,17
10,0		0,26	8,7		0,25	8,0		0,18	7,0		0,22	6,5		0,19	6,0		0,19
9,9		0,28	8,6		0,27	7,9		0,20	6,9		0,24	6,4		0,21	5,9		0,20
9,8		0,31	8,5		0,30	7,8		0,22	6,8		0,27	6,3		0,23	5,8		0,22
9,7	0,56	0,33	8,4	0,56	0,32	7,7	0,56	0,24	6,7	0,57	0,29	6,2	0,57	0,25	5,7	0,58	0,24
9,6		0,36	8,3		0,34	7,6		0,27	6,6		0,31	6,1		0,27	5,6		0,26
9,5		0,38	8,2		0,36	7,5		0,29	6,5		0,33	6,0		0,29	5,5		0,28
9,4		0,41	8,1		0,39	7,4		0,31	6,4		0,34	5,9		0,31	5,4		0,30
9,3	0,56	0,43	8,0	0,55	0,41	7,3	0,56	0,33	6,3	0,56	0,36	5,8	0,56	0,33	5,3	0,57	0,31
9,2		0,45	7,9		0,43	7,2		0,35	6,2		0,38	5,7		0,35	5,2		0,33
9,1		0,48	7,8		0,45	7,1		0,37	6,1		0,40	5,6		0,36	5,1		0,35
9,0		0,50	7,7		0,47	7,0		0,39	6,0		0,42	5,5		0,38	5,0		0,36
					0,49	6,9		0,41	5,9		0,44	5,4		0,40	4,9		0,38
					0,51	6,8		0,43	5,8		0,46	5,3		0,42	4,8		0,40
					0,54	6,7	0,56	0,45	5,7	0,56	0,47	5,2	0,56	0,43	4,7	0,56	0,41
					0,56	6,6		0,47	5,6		0,49	5,1		0,45	4,6		0,43
					0,58	6,5		0,49	5,5		0,51	5,0		0,46	4,5		0,44
						6,4		0,51	5,4		0,52	4,9		0,48	4,4		0,46
						6,3	0,56	0,53	5,3	0,56	0,54	4,8	0,56	0,49	4,3		0,47
						6,2		0,55	5,2		0,56	4,7		0,51	4,2	0,56	0,48
						6,1		0,56	5,1		0,57	4,6		0,52	4,1		0,50
						6,0		0,58	5,0		0,59	4,5		0,54	4,0		0,51
															3,9		0,52
															3,8		0,54
															3,7	0,55	0,55
															3,6		0,56
															3,5		0,57

Σημείωση: Ο πίνακας 13 χρησιμοποιείται και για χάλυβες κατηγορίας II, III και IV και για σκυροδέματα κατηγορίας Β 160, Β 225 και Β 300

ΠΙΝΑΚΑΣ 14

$$\sigma_s = 2\,200 \text{ kg/cm}^2$$

α) Κάμψη άνευ θλιβομένου οπλισμού.

$$k_h = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{\frac{M \text{ (tm)}}{b \text{ (m)}}}} \quad x = k_x \cdot h \quad F_s \text{ (cm}^2\text{)} = k_s \frac{M \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}}$$

$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120
k_h	29,5	20,4	15,8	14,3	13,1	12,1	11,3	10,6	9,97	9,42	8,94	8,53	8,18	7,55	6,96	6,53
k_x	0,120	0,170	0,214	0,235	0,254	0,273	0,290	0,307	0,323	0,339	0,353	0,467	0,380	0,406	0,429	0,451
k_s	0,474	0,482	0,490	0,493	0,497	0,508	0,504	0,507	0,510	0,513	0,515	0,518	0,520	0,526	0,531	0,536

β) Συντελεστής α αυξήσεως θλιβομένου οπλισμού.

h'/h		0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	$F_s = \alpha k'_s \frac{M}{h}$
$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	60	1,06	1,12	1,90	1,28	1,37	1,47	1,59	1,87	2,27	2,84	
	70	1,06	1,10	1,17	1,24	1,32	1,40	1,49	1,72	2,03	2,39	
	80	1,06	1,10	1,16	1,22	1,28	1,36	1,44	1,62	1,85	2,15	
	90	1,06	1,09	1,14	1,20	1,26	1,33	1,40	1,56	1,76	2,00	
	100	1,06	1,09	1,14	1,19	1,24	1,30	1,37	1,51	1,69	1,90	
	110	1,04	1,08	1,13	1,18	1,23	1,28	1,34	1,48	1,64	1,82	

γ) Κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό.

$\sigma_b = 60 \text{ kg/cm}^2$			70 kg/cm ²			80 kg/cm ²			90 kg/cm ²			100 kg/cm ²			110 kg/cm ²		
k_h	k_s	k'_s	k_h	k_s	k'_s	k_h	k_s	k'_s	k_h	k_s	k'_s	k_h	k_s	k'_s	k_h	k_s	k'_s
11,4		0,00	9,9		0,01	8,9		0,01	8,4		0,00	7,4		0,03	6,9		0,03
11,3		0,00	9,8		0,04	8,8		0,04	8,3		0,00	7,3		0,06	6,8		0,06
11,2	0,50	0,02	9,7	0,51	0,07	8,7	0,51	0,06	8,2	0,52	0,00	7,2	0,52	0,08	6,7	0,53	0,07
11,1		0,06	9,6		0,09	8,6		0,09	8,1		0,02	7,1		0,10	6,6		0,09
11,0		0,08	9,5		0,12	8,5		0,11	8,0		0,06	7,0		0,12	6,5		0,12
10,9		0,10	9,4		0,14	8,4		0,13	7,9		0,07	6,9		0,14	6,4		0,14
10,8		0,13	9,3		0,17	8,3		0,16	7,8		0,09	6,8		0,16	6,3		0,16
10,7	0,50	0,16	9,2	0,51	0,19	8,2	0,51	0,18	7,7	0,52	0,12	6,7	0,52	0,18	6,2	0,52	0,17
10,6		0,18	9,1		0,21	8,1		0,20	7,6		0,14	6,6		0,20	6,1		0,19
10,5		0,21	9,0		0,24	8,0		0,23	7,5		0,16	6,5		0,22	6,0		0,21
10,4		0,24	8,9		0,26	7,9		0,25	7,4		0,18	6,4		0,24	5,9		0,23
10,3		0,26	8,8		0,29	7,8		0,27	7,3		0,20	6,3		0,25	5,8		0,25
10,2	0,50	0,29	8,7	0,50	0,31	7,7	0,51	0,29	7,2	0,52	0,22	6,2	0,51	0,28	5,7	0,52	0,27
10,1		0,31	8,6		0,33	7,6		0,31	7,1		0,24	6,1		0,30	5,6		0,29
10,0		0,34	8,5		0,35	7,5		0,33	7,0		0,26	6,0		0,32	5,5		0,30
9,9		0,36	8,4		0,38	7,4		0,35	6,9		0,28	5,9		0,34	5,4		0,32
9,8		0,39	8,3		0,40	7,3		0,37	6,8		0,30	5,8		0,36	5,3		0,34
9,7	0,50	0,41	8,2	0,50	0,42	7,2	0,51	0,39	6,7	0,51	0,32	5,7	0,51	0,37	5,2	0,51	0,35
9,6		0,43	8,1		0,44	7,1		0,41	6,6		0,34	5,6		0,39	5,1		0,37
9,5		0,46	8,0		0,46	7,0		0,43	6,5		0,36	5,5		0,41	5,0		0,39
9,4		0,49	7,9		0,48	6,9		0,45	6,4		0,38	5,4		0,42	4,9		0,40
9,3		0,51	7,8		0,50	6,8		0,47	6,3		0,40	5,3		0,44	4,8		0,42
9,2	0,50	0,53	7,7	0,50	0,52	6,7	0,50	0,49	6,2	0,51	0,42	5,2	0,51	0,46	4,7	0,51	0,43
9,1		0,56	7,6		0,54	6,6		0,51	6,1		0,44	5,1		0,47	4,6		0,45
9,0		0,57	7,5		0,56	6,5		0,53	6,0		0,45	5,0		0,49	4,5		0,46
									5,9		0,47	4,9		0,50	4,4		0,48
									5,8		0,49	4,8		0,52	4,3		0,49
									5,7	0,51	0,50	4,7	0,50	0,53	4,2	0,50	0,51
									5,6		0,52	4,6		0,54	4,1		0,52
									5,5		0,54	4,5		0,56	4,0		0,53

Σημείωση: Ο πίνακας 14 χρησιμοποιείται για χάλυβα κατηγορίας III και IV και για σκυροδέματα κατηγορίας Β 160, Β 225 και Β 300

ΠΙΝΑΚΑΣ 15

$$\sigma_c = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

α) Κάμψη άνευ θλιβομένου οπλισμού.

$$k_b = \frac{h \text{ (cm)}}{\sqrt{\frac{M \text{ (tm)}}{b \text{ (m)}}}} \quad x = k_x \cdot h \quad F_c \text{ (cm}^2\text{)} = k_e \frac{M \text{ (tm)}}{h \text{ (m)}}$$

$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100	110	120
k_b	30,7	21,2	16,4	14,8	13,5	12,4	11,6	10,8	10,2	9,67	9,20	8,76	8,37	7,71	7,17	6,70
k_x	0,111	0,158	0,200	0,219	0,238	0,256	0,273	0,289	0,304	0,320	0,333	0,347	0,360	0,385	0,408	0,429
k_e	0,432	0,440	0,446	0,449	0,452	0,455	0,458	0,461	0,463	0,466	0,469	0,471	0,473	0,477	0,482	0,486

β) Συντελεστής α αυξήσεως θλιβομένου οπλισμού.

h'/h	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	$F_c = \alpha k' e \frac{M}{h}$
$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$	70	1,05	1,12	1,18	1,26	1,34	1,43	1,54	1,80	2,14	
	80	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,38	1,47	1,68	1,95	
	90	1,05	1,10	1,15	1,21	1,28	1,35	1,42	1,60	1,83	
	100	1,04	1,09	1,14	1,20	1,26	1,32	1,39	1,53	1,72	
	110	1,04	1,09	1,14	1,19	1,25	1,31	1,37	1,45	1,66	

γ) Κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό.

$\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$			80 kg/cm ²			90 kg/cm ²			100 kg/cm ²			110 kg/cm ²		
k_b	k_e	$k'e$	k_b	k_e	$k'e$	k_b	k_e	$k'e$	k_b	k_e	$k'e$	k_b	k_e	$k'e$
10,4		0,00	9,4		0,00	8,4		0,00	7,9		0,00	7,4		0,00
10,3		0,00	9,3		0,00	8,3		0,02	7,8		0,00	7,3		0,00
10,2	0,46	0,00	9,2	0,47	0,00	8,2	0,47	0,04	7,7	0,48	0,01	7,2	0,48	0,00
10,1		0,03	9,1		0,02	8,1		0,06	7,6		0,03	7,1		0,02
10,0		0,06	9,0		0,05	8,0		0,09	7,5		0,05	7,0		0,04
9,9		0,08	8,9		0,07	7,9		0,11	7,4		0,07	6,9		0,06
9,8		0,11	8,8		0,09	7,8		0,13	7,3		0,09	6,8		0,08
9,7	0,46	0,13	8,7	0,47	0,12	7,7	0,47	0,15	7,2	0,47	0,12	6,7	0,48	0,10
9,6		0,16	8,6		0,14	7,6		0,18	7,1		0,14	6,6		0,12
9,5		0,18	8,5		0,16	7,5		0,20	7,0		0,16	6,5		0,14
9,4		0,21	8,4		0,19	7,4		0,22	6,9		0,18	6,4		0,16
9,3		0,23	8,3		0,21	7,3		0,24	6,8		0,20	6,3		0,18
9,2	0,46	0,25	8,2	0,46	0,23	7,2	0,47	0,26	6,7	0,47	0,22	6,2	0,47	0,20
9,1		0,28	8,1		0,25	7,1		0,28	6,6		0,24	6,1		0,22
9,0		0,30	8,0		0,27	7,0		0,30	6,5		0,26	6,0		0,24
8,9		0,32	7,9		0,30	6,9		0,32	6,4		0,28	5,9		0,26
8,8		0,34	7,8		0,32	6,8		0,34	6,3		0,29	5,8		0,27
8,7	0,46	0,37	7,7	0,46	0,34	6,7	0,46	0,36	6,2	0,47	0,31	5,7	0,47	0,29
8,6		0,39	7,6		0,36	6,6		0,38	6,1		0,33	5,6		0,31
8,5		0,41	7,5		0,38	6,5		0,39	6,0		0,35	5,5		0,33
8,4		0,43	7,4		0,40	6,4		0,41	5,9		0,37	5,4		0,34
8,3		0,45	7,3		0,42	6,3		0,43	5,8		0,38	5,3		0,36
8,2	0,46	0,47	7,2	0,46	0,44	6,2	0,46	0,45	5,7	0,46	0,40	5,2	0,47	0,38
8,1		0,50	7,1		0,46	6,1		0,46	5,6		0,42	5,1		0,39
8,0		0,52	7,0		0,48	6,0		0,48	5,5		0,43	5,0		0,41

Σημείωση: Ο πίνακας 15 χρησιμοποιείται μόνο για χάλυβα κατηγορίας IV και για σκυροδέματα κατηγορίας Β 225 και Β 300.

ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Κατανομή φορτίων σε σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες.

$q_x = k q$

$q_y = q - q_x$

Περίπτώσεις	1 ℓ_y ℓ_x	2 ℓ_y ℓ_x	3 ℓ_y ℓ_x	4 ℓ_y ℓ_x	5 ℓ_y ℓ_x	6 ℓ_y ℓ_x
$e = \ell_y / \ell_x$	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
0,60	0,115	0,245	0,393	0,115	0,206	0,115
0,61	0,122	0,257	0,409	0,122	0,217	0,122
0,62	0,129	0,270	0,425	0,129	0,228	0,129
0,63	0,136	0,283	0,441	0,136	0,240	0,136
0,64	0,144	0,296	0,456	0,144	0,251	0,144
0,65	0,151	0,309	0,472	0,151	0,263	0,151
0,66	0,159	0,322	0,487	0,159	0,275	0,159
0,67	0,168	0,335	0,502	0,168	0,287	0,168
0,68	0,176	0,348	0,517	0,176	0,300	0,176
0,69	0,185	0,362	0,531	0,185	0,312	0,185
0,70	0,194	0,375	0,546	0,194	0,324	0,194
0,71	0,203	0,389	0,560	0,203	0,337	0,203
0,72	0,212	0,402	0,573	0,212	0,350	0,212
0,73	0,221	0,415	0,587	0,221	0,362	0,221
0,74	0,231	0,429	0,600	0,231	0,375	0,231
0,75	0,240	0,442	0,613	0,240	0,388	0,240
0,76	0,250	0,455	0,626	0,250	0,400	0,250
0,77	0,260	0,468	0,637	0,260	0,413	0,260
0,78	0,270	0,481	0,649	0,270	0,425	0,270
0,79	0,280	0,493	0,661	0,280	0,438	0,280
0,80	0,291	0,506	0,672	0,291	0,450	0,291
0,81	0,301	0,518	0,683	0,301	0,463	0,301
0,82	0,311	0,531	0,693	0,311	0,475	0,311
0,83	0,322	0,543	0,703	0,322	0,487	0,322
0,84	0,332	0,555	0,713	0,332	0,499	0,332
0,85	0,343	0,566	0,723	0,343	0,511	0,343
0,86	0,354	0,578	0,733	0,354	0,523	0,354
0,87	0,364	0,589	0,741	0,364	0,534	0,364
0,88	0,375	0,600	0,750	0,375	0,545	0,375
0,89	0,386	0,611	0,758	0,386	0,557	0,386
0,90	0,396	0,621	0,766	0,396	0,568	0,396
0,91	0,407	0,631	0,774	0,407	0,578	0,407
0,92	0,417	0,647	0,782	0,417	0,589	0,417
0,93	0,428	0,652	0,789	0,428	0,599	0,428
0,94	0,438	0,661	0,797	0,438	0,610	0,438
0,95	0,449	0,671	0,803	0,449	0,620	0,449
0,96	0,459	0,680	0,809	0,459	0,630	0,459
0,97	0,470	0,689	0,816	0,470	0,639	0,470
0,98	0,480	0,698	0,822	0,480	0,649	0,480
0,99	0,490	0,706	0,828	0,490	0,658	0,490
1,00	0,500	0,714	0,833	0,500	0,667	0,500
$e' = \ell_x / \ell_y$	$1 - k'_1$	$1 - k'_2$	$1 - k'_3$	$1 - k'_4$	$1 - k'_5$	$1 - k'_6$
Περίπτώσεις	1' ℓ_y ℓ_x	2' ℓ_y ℓ_x	3' ℓ_y ℓ_x	4' ℓ_y ℓ_x	5' ℓ_y ℓ_x	6' ℓ_y ℓ_x

ΠΙΝΑΚΑΣ 16 (συνέχεια).
Κατανομή φορτίων σε σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες.
 $q_x = k q$ $q_y = q - q_x$

Περιπτώσεις	1 ℓ_y ℓ_x	2 ℓ_y ℓ_x	3 ℓ_y ℓ_x	4 ℓ_y ℓ_x	5 ℓ_y ℓ_x	6 ℓ_y ℓ_x
$\varepsilon = l_y / l_x$	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
1,00	0,500	0,714	0,833	0,500	0,667	0,500
1,01	0,510	0,722	0,839	0,510	0,676	0,510
1,02	0,520	0,730	0,844	0,520	0,684	0,520
1,03	0,530	0,738	0,849	0,530	0,692	0,530
1,04	0,539	0,745	0,854	0,539	0,701	0,539
1,05	0,549	0,752	0,859	0,549	0,709	0,549
1,06	0,558	0,759	0,863	0,558	0,716	0,558
1,07	0,567	0,766	0,868	0,567	0,724	0,567
1,08	0,576	0,773	0,872	0,576	0,731	0,576
1,09	0,585	0,779	0,876	0,585	0,739	0,585
1,10	0,594	0,785	0,880	0,594	0,746	0,594
1,11	0,603	0,792	0,884	0,603	0,752	0,603
1,12	0,611	0,797	0,887	0,611	0,759	0,611
1,13	0,620	0,803	0,891	0,620	0,765	0,620
1,14	0,628	0,809	0,894	0,628	0,772	0,628
1,15	0,636	0,814	0,897	0,636	0,778	0,636
1,16	0,644	0,819	0,900	0,644	0,784	0,644
1,17	0,652	0,824	0,904	0,652	0,789	0,652
1,18	0,660	0,829	0,906	0,660	0,795	0,660
1,19	0,667	0,834	0,909	0,667	0,800	0,667
1,20	0,675	0,838	0,912	0,675	0,806	0,675
1,22	0,689	0,847	0,917	0,689	0,816	0,689
1,24	0,703	0,855	0,922	0,703	0,825	0,703
1,26	0,716	0,863	0,926	0,716	0,834	0,716
1,28	0,729	0,870	0,930	0,729	0,843	0,729
1,30	0,741	0,877	0,934	0,741	0,851	0,741
1,32	0,752	0,883	0,938	0,752	0,858	0,752
1,34	0,763	0,889	0,942	0,763	0,865	0,763
1,36	0,774	0,895	0,945	0,774	0,872	0,774
1,38	0,784	0,901	0,948	0,784	0,879	0,784
1,40	0,794	0,906	0,951	0,794	0,885	0,794
1,42	0,803	0,910	0,953	0,803	0,890	0,803
1,44	0,811	0,915	0,955	0,811	0,896	0,811
1,46	0,820	0,919	0,957	0,820	0,901	0,820
1,48	0,827	0,923	0,959	0,827	0,906	0,827
1,50	0,835	0,927	0,961	0,835	0,910	0,835
1,52	0,842	0,930	0,963	0,842	0,914	0,842
1,54	0,849	0,933	0,965	0,849	0,918	0,849
1,56	0,856	0,936	0,967	0,856	0,922	0,856
1,58	0,862	0,939	0,969	0,862	0,926	0,862
1,60	0,868	0,942	0,970	0,868	0,929	0,868
$\varepsilon' = l_x / l_y$	$1 - k'_1$	$1 - k'_2$	$1 - k'_3$	$1 - k'_4$	$1 - k'_5$	$1 - k'_6$
Περιπτώσεις	1' ℓ_y ℓ_x	2' ℓ_y ℓ_x	3' ℓ_y ℓ_x	4' ℓ_y ℓ_x	5' ℓ_y ℓ_x	6' ℓ_y ℓ_x

ΠΙΝΑΚΑΣ 17

Μέγιστες ροπές ανοίγματος σταυροειδών οπλισμένων πλακών.

$$M_x = \frac{q l_x^2}{m_x}$$

$$M_y = \frac{q l_y^2}{m_y}$$

Περι- πτώσεις	1 l_y l_x		2 l_y l_x		3 l_y l_x		4 l_y l_x		5 l_y l_x		6 l_y l_x	
$e = l_y / l_x$	m_{x1}	m_{y1}	m_{x2}	m_{y2}	m_{x3}	m_{y3}	m_{x4}	m_{y4}	m_{x5}	m_{y5}	m_{x6}	m_{y6}
0,60	94,9	12,3	85,2	13,7	87,6	16,1	146,0	18,9	138,0	20,7	229,0	29,8
0,61	90,4	12,6	81,8	14,0	84,5	16,6	138,0	19,1	132,0	21,0	217,0	30,1
0,62	86,2	12,7	78,6	14,3	81,5	17,1	131,0	19,3	126,0	21,4	206,0	30,4
0,63	82,3	13,0	75,5	14,6	78,7	17,5	124,0	19,6	120,0	21,8	195,0	30,7
0,64	78,7	13,2	72,7	14,9	76,2	18,1	118,0	19,9	115,0	22,2	185,0	31,1
0,65	75,3	13,4	70,1	15,3	73,8	18,6	113,0	20,1	110,0	22,6	176,0	31,5
0,66	72,2	13,7	67,6	15,6	71,5	19,2	108,0	20,4	106,0	23,0	167,0	31,8
0,67	69,8	14,0	65,3	16,0	69,4	19,7	103,0	20,6	102,0	23,4	160,0	32,2
0,68	66,5	14,2	63,1	16,4	67,3	20,3	98,3	21,0	97,8	23,9	152,0	32,6
0,69	64,0	14,6	61,1	16,7	65,5	21,0	94,1	21,3	94,1	24,4	146,0	33,0
0,70	61,6	14,8	59,1	17,2	63,7	21,6	90,2	21,6	90,7	24,9	139,0	33,4
0,71	59,4	15,1	57,3	17,6	62,0	22,3	86,5	22,0	87,5	25,4	133,0	33,9
0,72	57,3	15,4	56,6	18,0	60,5	23,0	83,1	22,3	84,5	26,0	128,0	34,4
0,73	55,3	15,7	54,0	18,5	58,9	23,7	79,9	22,7	81,7	26,5	123,0	34,8
0,74	53,5	16,0	52,4	18,9	57,5	24,4	76,8	23,0	79,1	27,1	118,0	35,4
0,75	51,7	16,4	51,0	19,4	56,2	25,2	74,0	23,4	76,6	27,7	113,0	35,9
0,76	50,1	16,7	49,6	19,8	54,9	26,0	71,3	23,8	74,2	28,3	109,0	36,4
0,77	48,5	17,0	48,2	20,4	53,7	26,8	68,8	24,2	72,1	29,0	106,0	37,0
0,78	47,0	17,4	47,0	20,9	52,6	27,7	66,5	24,6	70,0	29,6	101,0	37,5
0,79	45,6	17,7	45,8	21,4	51,5	28,6	64,3	25,0	68,1	30,3	97,9	38,2
0,80	44,3	18,1	44,7	21,9	50,4	29,6	62,2	25,4	66,3	31,0	94,5	38,8
0,81	43,0	18,5	43,6	22,5	49,5	30,5	60,2	25,9	64,5	31,7	91,4	39,4
0,82	41,8	18,9	42,5	23,1	48,5	31,5	58,3	26,4	62,9	32,4	88,5	40,0
0,83	40,7	19,3	41,6	23,7	47,6	32,5	56,6	26,9	61,3	33,2	85,7	40,7
0,84	39,6	19,7	40,6	24,3	46,8	33,5	54,9	27,4	59,9	34,0	83,1	41,4
0,85	38,6	20,2	39,7	25,0	46,0	34,6	53,3	27,8	58,5	34,8	80,6	42,2
0,86	37,6	20,6	38,9	25,6	45,2	35,8	51,8	28,3	57,1	35,6	78,3	42,9
0,87	36,7	21,0	38,0	26,3	44,5	37,0	50,4	28,9	55,9	36,4	76,1	43,6
0,88	35,8	21,4	37,2	26,9	43,8	38,2	49,1	29,4	54,7	37,4	74,0	44,4
0,89	34,9	21,9	36,4	27,6	43,1	39,4	47,8	30,0	53,6	38,4	72,0	45,2
0,90	34,1	22,4	35,7	28,4	42,5	40,6	46,6	30,6	52,5	39,4	70,1	46,0
0,91	33,3	22,8	35,1	29,1	41,9	41,9	45,4	31,2	51,5	40,4	68,3	46,8
0,92	32,5	23,3	34,4	29,9	41,3	43,2	44,3	31,7	50,5	41,4	66,6	47,7
0,93	31,8	23,8	33,7	30,6	40,8	44,6	43,3	32,4	49,6	42,4	65,0	48,6
0,94	31,1	24,3	33,1	31,4	40,2	46,0	42,3	33,0	48,7	43,5	63,5	49,6
0,95	30,4	24,8	32,5	32,2	39,7	47,7	41,3	33,6	47,9	44,5	62,0	50,6
0,96	29,8	25,3	32,0	33,0	39,2	49,3	40,4	34,3	47,1	45,5	60,6	51,6
0,97	29,2	25,8	31,4	34,0	38,8	50,7	39,5	34,9	46,3	46,7	59,4	52,6
0,98	28,6	26,4	30,9	34,9	38,3	52,3	38,7	35,6	45,6	48,0	58,1	53,6
0,99	28,0	26,9	30,4	35,8	37,9	54,0	37,9	36,4	44,8	49,2	56,9	54,6
1,00	27,4	27,4	29,9	36,8	37,5	55,7	37,2	37,2	44,2	50,6	55,7	55,7
$e' = l_x / l_y$	m_{y1}	m_{x1}	m_{y2}	m_{x2}	m_{y3}	m_{x3}	m_{y4}	m_{x4}	m_{y5}	m_{x5}	m_{y6}	m_{x6}
Περι- πτώσεις	1' l_y l_x	2' l_y l_x	3' l_y l_x	4' l_y l_x	5' l_y l_x	6' l_y l_x						

ΠΙΝΑΚΑΣ 17 (συνέχεια).

Μέγιστες ροπές ανοίγματος σταυροειδώς οπλισμένων πλακών.

$$M_x = \frac{q l_x^2}{m_x}$$

$$M_y = \frac{q l_y^2}{m_y}$$

Περι- πτώσεις	1 l_y l_x		2 l_y l_x		3 l_y l_x		4 l_y l_x		5 l_y l_x		6 l_y l_x	
$e = l_y / l_x$	m_{x1}	m_{y1}	m_{x2}	m_{y2}	m_{x3}	m_{y3}	m_{x4}	m_{y4}	m_{x5}	m_{y5}	m_{x6}	m_{y6}
1,00	27,4	27,4	29,9	36,8	37,5	55,7	37,2	37,2	44,2	50,6	55,7	55,7
1,01	26,9	28,0	29,5	37,7	37,1	57,5	36,4	37,9	43,5	51,9	54,6	56,9
1,02	26,4	28,5	29,0	38,7	36,7	59,3	35,7	38,6	42,9	53,2	53,6	58,0
1,03	25,9	29,0	28,6	39,7	36,4	61,2	35,1	39,5	42,3	54,5	52,6	59,2
1,04	25,4	29,6	28,2	40,7	36,0	63,0	34,4	40,4	41,8	55,9	51,7	60,5
1,05	24,9	30,2	27,8	41,7	35,7	65,0	33,8	41,2	41,2	57,4	50,8	61,7
1,06	24,5	30,8	27,4	42,8	35,4	67,0	33,2	42,0	40,7	58,9	49,9	63,0
1,07	24,0	31,4	27,1	43,9	35,1	69,1	32,7	42,8	40,2	60,4	49,1	64,3
1,08	23,6	32,0	26,7	45,2	34,8	71,2	32,1	43,6	39,8	61,9	48,3	65,7
1,09	23,2	32,7	26,4	46,3	34,5	73,3	31,6	44,5	39,3	63,5	47,5	67,0
1,10	22,8	33,3	26,0	47,5	34,2	75,5	31,1	45,5	38,9	65,2	46,8	68,5
1,11	22,4	34,0	25,7	48,7	33,9	77,8	30,7	46,5	38,4	66,9	46,1	70,0
1,12	22,0	34,7	25,4	50,1	33,7	80,2	30,2	47,5	38,0	68,6	45,4	71,4
1,13	21,7	35,3	25,1	51,3	33,4	82,8	29,7	48,5	37,6	70,4	44,8	73,0
1,14	21,3	36,0	24,8	52,6	33,2	85,3	29,3	49,5	37,2	72,3	44,1	74,6
1,15	21,0	36,7	24,6	54,0	33,0	88,0	28,9	50,5	36,9	74,2	43,5	76,2
1,16	20,7	37,4	24,3	55,5	32,7	90,4	28,5	51,5	36,5	76,0	43,0	77,8
1,17	20,3	38,2	24,0	57,0	32,5	93,0	28,1	52,5	36,2	78,0	42,4	79,4
1,18	20,0	38,9	23,8	58,5	32,3	95,7	27,7	53,6	35,9	80,0	41,9	81,2
1,19	19,7	39,6	23,6	60,0	32,1	98,7	27,4	54,8	35,6	82,1	41,4	83,0
1,20	19,4	40,3	23,3	61,5	31,9	102,0	27,0	56,0	35,3	84,2	40,9	85,0
1,22	18,9	41,8	22,9	64,5	31,6	108,0	26,4	58,4	34,7	88,6	40,0	88,6
1,24	18,4	43,4	22,5	67,8	31,2	114,0	25,8	60,8	34,2	93,0	39,1	92,6
1,26	17,9	45,0	22,1	71,2	30,9	121,0	25,2	63,4	33,7	97,8	38,3	96,7
1,28	17,4	46,6	21,7	74,8	30,6	127,0	24,7	66,0	33,2	103,0	37,6	101,0
1,30	17,0	48,5	21,4	78,8	30,3	135,0	24,2	69,0	32,8	108,0	36,9	106,0
1,32	16,6	50,5	21,1	82,8	30,1	142,0	23,7	72,0	32,4	114,0	36,3	110,0
1,34	16,2	52,3	20,8	86,8	29,8	150,0	23,3	75,0	32,0	119,0	35,7	115,0
1,36	15,9	54,3	20,6	91,2	29,6	158,0	22,9	78,2	31,7	125,0	35,1	120,0
1,38	15,5	56,3	20,3	95,8	29,4	166,0	22,5	81,5	31,3	132,0	34,6	125,0
1,40	15,2	58,4	20,0	100,0	29,2	176,0	22,1	85,0	31,0	138,0	34,1	131,0
1,42	14,9	60,7	19,8	106,0	29,0	185,0	21,8	88,6	30,7	145,0	33,6	136,0
1,44	14,6	63,0	19,6	110,0	28,8	195,0	21,5	92,2	30,4	152,0	33,2	142,0
1,46	14,4	65,3	19,4	115,0	28,6	206,0	21,2	96,0	30,2	159,0	32,8	149,0
1,48	14,1	67,6	19,2	121,0	28,5	216,0	20,9	100,0	29,9	166,0	32,4	156,0
1,50	13,9	70,2	19,0	127,0	28,3	227,0	20,6	104,0	29,7	175,0	32,0	162,0
1,52	13,7	72,9	18,8	133,0	28,2	238,0	20,4	109,0	29,5	183,0	31,7	170,0
1,54	13,4	75,6	18,7	139,0	28,0	250,0	20,1	114,0	29,3	191,0	31,4	177,0
1,56	13,2	78,5	18,5	145,0	27,9	262,0	19,9	118,0	29,1	200,0	31,1	184,0
1,58	13,1	81,5	18,4	152,0	27,8	275,0	19,7	123,0	28,9	210,0	30,8	192,0
1,60	12,9	84,5	18,3	159,0	27,6	288,0	19,5	128,0	28,7	219,0	30,6	200,0
$e' = l_x / l_y$	m_{y1}	m_{x1}	m_{y2}	m_{x2}	m_{y3}	m_{x3}	m_{y4}	m_{x4}	m_{y5}	m_{x5}	m_{y6}	m_{x6}
Περι- πτώσεις	1' l_y l_x	2' l_y l_x	3' l_y l_x	4' l_y l_x	5' l_y l_x	6' l_y l_x						

ΠΙΝΑΚΑΣ 18

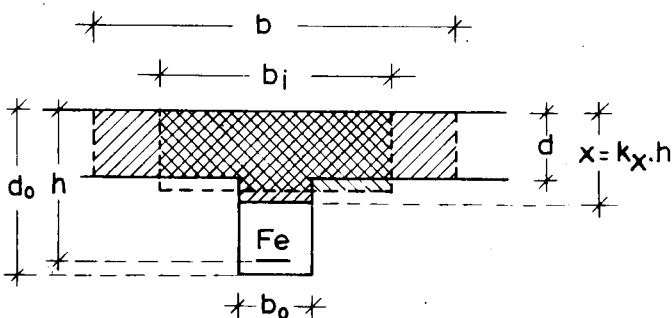
Μέγιστες ροπές ανοίγματος σταυροειδών οπλισμένων πλακών με στηρίξεις, που δεν κατασκευάζονται ολόσωμες με αυτές.

$$M_x = \frac{q l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{q l_y^2}{m_y}$$

Περι- πτώσεις	1 l_y l_x		2 l_y l_x		4 l_y l_x		Περι- πτώσεις	1 l_y l_x		2 l_y l_x		4 l_y l_x	
$\alpha = l_y / l_x$	m_{x1}	m_{y1}	m_{x2}	m_{y2}	m_{x4}	m_{y4}	$\alpha = l_y / l_x$	m_{x1}	m_{y1}	m_{x2}	m_{y2}	m_{x4}	m_{y4}
0,60	80,5	10,4	69,0	11,9	133,0	17,4	1,00	20,2	20,2	23,9	31,8	32,2	32,2
0,61	76,1	10,5	65,8	12,2	126,0	17,5	1,01	19,8	20,6	23,6	32,6	31,6	32,8
0,62	72,2	10,7	63,3	12,4	120,0	17,7	1,02	19,4	21,0	23,3	33,5	31,0	33,5
0,63	68,5	10,8	60,2	12,6	114,0	17,9	1,03	19,1	21,4	23,0	34,4	30,4	34,2
0,64	65,4	10,9	57,8	12,9	107,0	18,1	1,04	18,7	21,9	22,8	35,4	29,9	35,0
0,65	62,1	11,1	55,6	13,2	102,0	18,3	1,05	18,4	22,4	22,5	36,5	29,3	35,7
0,66	59,2	11,2	53,5	13,5	97,1	18,5	1,06	18,1	22,8	22,3	37,5	28,8	36,5
0,67	56,5	11,4	51,6	13,7	92,5	18,7	1,07	17,8	23,2	22,0	38,5	28,4	37,2
0,68	54,1	11,5	49,5	14,0	88,5	18,9	1,08	17,5	23,8	21,8	39,6	27,9	38,0
0,69	51,6	11,7	47,9	14,3	84,8	19,2	1,09	17,2	24,3	21,6	40,8	27,5	38,8
0,70	49,5	11,9	46,3	14,7	80,7	19,5	1,10	16,9	24,8	21,4	42,0	27,0	39,6
0,71	47,4	12,0	44,6	15,0	77,5	19,7	1,11	16,7	25,3	21,2	43,0	26,7	40,5
0,72	45,5	12,2	43,3	15,3	74,1	20,0	1,12	16,4	25,8	21,0	44,0	26,3	41,4
0,73	43,7	12,4	41,8	15,7	71,4	20,2	1,13	16,2	26,4	20,8	45,5	25,9	42,3
0,74	42,0	12,6	40,7	16,1	68,5	20,5	1,14	16,0	26,9	20,6	46,9	25,5	43,2
0,75	40,5	12,8	39,5	16,5	65,8	20,8	1,15	15,7	27,4	20,4	48,0	25,2	44,0
0,76	39,1	13,0	38,3	16,9	63,3	21,1	1,16	15,5	28,0	20,2	49,1	24,9	45,0
0,77	37,6	13,2	37,3	17,3	61,0	21,4	1,17	15,3	28,6	20,1	50,5	24,6	46,0
0,78	36,4	13,5	36,4	17,7	58,8	21,7	1,18	15,1	29,4	20,0	52,0	24,3	47,1
0,79	35,1	13,7	35,5	18,2	56,8	22,1	1,19	14,9	30,0	19,8	53,5	24,0	48,1
0,80	33,9	13,9	34,6	18,7	54,6	22,4	1,20	14,7	30,6	19,6	55,0	23,7	49,2
0,81	32,9	14,1	33,7	19,1	52,9	22,8	1,22	14,4	31,8	19,4	56,0	23,2	51,2
0,82	31,9	14,4	32,9	19,6	51,3	23,1	1,24	14,1	33,2	19,1	61,0	22,7	53,5
0,83	30,9	14,6	32,2	20,1	49,5	23,5	1,26	13,7	34,6	18,9	64,0	22,2	56,0
0,84	29,9	14,9	31,5	20,7	48,1	23,9	1,28	13,5	36,2	18,7	67,5	21,8	58,5
0,85	29,1	15,2	30,8	21,2	46,7	24,3	1,30	13,2	37,6	18,4	71,0	21,4	61,0
0,86	28,3	15,5	30,1	21,8	45,3	24,7	1,32	13,0	39,4	18,3	75,0	21,1	64,0
0,87	27,5	15,7	29,5	22,4	44,1	25,2	1,34	12,7	41,2	18,1	79,0	20,7	67,0
0,88	26,7	16,0	29,0	23,0	42,7	25,6	1,36	12,5	42,8	17,9	83,0	20,4	70,0
0,89	26,0	16,3	28,4	23,6	41,7	26,1	1,38	12,3	44,5	17,8	87,5	20,1	73,0
0,90	25,4	16,6	27,9	24,2	40,5	26,6	1,40	12,1	46,6	17,6	91,5	19,8	76,0
0,91	24,8	16,9	27,4	24,8	39,5	27,1	1,42	11,9	48,1	17,5	96,0	19,5	79,5
0,92	24,1	17,3	27,0	25,5	38,5	27,6	1,44	11,8	50,7	17,3	101,0	19,3	83,0
0,93	23,5	17,6	26,5	26,2	37,6	28,1	1,46	11,6	52,9	17,2	106,0	19,1	86,8
0,94	23,0	17,9	26,1	27,0	36,8	28,7	1,48	11,5	54,8	17,1	112,0	18,9	90,8
0,95	22,5	18,3	25,7	27,7	35,8	29,2	1,50	11,3	57,5	17,0	118,0	18,7	95,0
0,96	22,0	18,6	25,3	28,5	35,1	29,8	1,52	11,2	59,4	16,9	123,0	18,5	99,0
0,97	21,5	19,0	24,9	29,4	34,3	30,3	1,54	11,1	62,2	16,8	129,0	18,3	108,0
0,98	21,1	19,4	24,6	30,2	33,6	31,0	1,56	11,0	64,7	16,7	135,0	18,1	107,0
0,99	20,6	19,8	24,2	31,0	32,9	31,6	1,58	10,8	67,7	16,6	142,0	17,9	112,0
1,00	20,2	20,2	23,9	31,8	32,2	32,2	1,60	10,8	70,6	16,5	148,0	17,8	117,0
$\alpha' = l_x / l_y$	m'_{y1}	m'_{x1}	m'_{y2}	m'_{x2}	m'_{y4}	m'_{x4}	$\alpha' = l_x / l_y$	m'_{y1}	m'_{x1}	m'_{y2}	m'_{x2}	m'_{y4}	m'_{x4}
Περι- πτώσεις	1' l_y l_x	2' l_y l_x	4' l_y l_x	Περι- πτώσεις	1' l_y l_x	2' l_y l_x	4' l_y l_x						

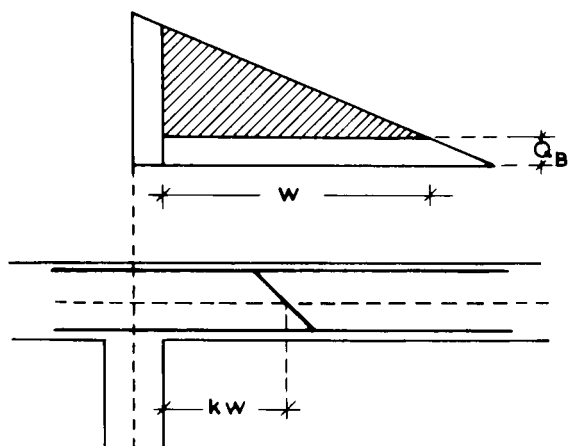
ΠΙΝΑΚΑΣ 19

Ιδεατό συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού, όταν το πάχος της θλιβόμενης ζώνης x υπερβαίνει το πάχος της πλάκας d .



$\frac{b}{b_0}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\frac{d}{k_x \cdot h}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,9	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
0,8	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
0,75	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95
0,7	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93
0,65	0,96	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
0,6	0,95	0,92	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	0,87
0,55	0,94	0,90	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84
0,5	0,92	0,88	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80
0,45	0,90	0,85	0,82	0,80	0,78	0,77	0,76	0,76
0,4	0,88	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72	0,71
0,35	0,86	0,79	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66
0,3	0,84	0,76	0,70	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61
0,25	0,82	0,72	0,66	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55
0,2	0,79	0,68	0,62	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49

ΠΙΝΑΚΑΣ 20
Θέσεις κάμψεως λοξού οπλισμού δοκών.



ΛΟΞΕΣ ΡΑΒΔΟΙ		ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ k					
Αριθ.	Διάταξη	1	2	3	4	5	6
1	1	0,33	—	—	—	—	—
2	1+1	0,14	0,53	—	—	—	—
3	1+1+1	0,09	0,30	0,62	—	—	—
4	1+1+1+1	0,07	0,21	0,39	0,67	—	—
5	1+1+1+1+1	0,05	0,16	0,30	0,46	0,70	—
6	1+1+1+1+1+1	0,04	0,13	0,24	0,37	0,53	0,72
7	2+2+2+1	0,07	0,25	0,47	0,75	—	—
7	3+2+2	0,12	0,35	0,64	—	—	—
8	2+2+2+2	0,07	0,21	0,39	0,67	—	—
9	2+2+2+1+1+1	0,06	0,19	0,34	0,47	0,59	0,78
10	2+2+2+2+2	0,05	0,16	0,30	0,46	0,70	—
11	2+2+2+2+2+1	0,05	0,15	0,26	0,39	0,58	0,80
12	2+2+2+2+2+2	0,04	0,13	0,24	0,37	0,53	0,72

ΠΙΝΑΚΑΣ 21

Συντελεστές λυγισμού υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΑ d = μικρότερη πλευρά		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ D = διάμετρος	
$\frac{h_k}{d}$	ω	$\frac{h_k}{D}$	ω
15	1,00	10	1,00
18	1,03	11	1,02
20	1,08	12	1,05
22	1,16	13	1,08
23	1,20	14	1,12
24	1,26	15	1,17
25	1,32		
26	1,39	16	1,22
27	1,46	17	1,28
28	1,54	18	1,35
29	1,63	19	1,42
30	1,72	20	1,50
31	1,82	21	1,58
32	1,93	22	1,68
33	2,04	23	1,78
34	2,16	24	1,89
35	2,28	25	2,00
36	2,41	26	(2,11)
37	2,55	27	(2,23)
38	2,70	28	(2,36)
39	2,84	29	(2,50)
40	3,00	30	(2,64)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

13.1	Ορισμοί	1
13.2	Κύρια χαρακτηριστικά των σκυροδεμάτων	1
13.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατασκευών από σκυρόδεμα	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΥΛΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

14.1	Γενικά	5
14.2	Τσιμέντο	5
14.3	Νερό	11
14.4	Άμμος	12
14.5	Χαλίκια (σκύρα)	16
14.6	Προσμίγματα	18
14.7	Χάλυβας	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

15.1	Αναλογίες μίξεως	29
15.2	Κατηγορίες και ποιότητες σκυροδέματος	33
15.3	Παρασκευή, μεταφορά και διάστρωση σκυροδέματος	41
15.4	Συντήρηση και προστασία του σκυροδέματος	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΙΚΡΙΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

16.1	Γενικά	62
16.2	Κατασκευή ικριωμάτων	63
16.3	Τρόπος κατασκευής τύπων	68
16.4	Τύποι από άλλα υλικά	76
16.5	Αφαίρεση τύπων	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17

ΣΙΔΕΡΕΝΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

17.1	Γενικά	80
------	--------------	----

17.2	Κατεργασία του οπλισμού	81
17.3	Τοποθέτηση και στερέωση του οπλισμού	90
17.4	Ενώσεις οπλισμού	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18

ΠΛΑΚΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

18.1	Γενικά	97
18.2	Πλάκες με οπλισμό κατά μία διεύθυνση	102
18.3	Υπολογισμός πλακών με οπλισμό κατά μία διεύθυνση	120
18.4	Σταυροειδώς οπλισμένες πλάκες	145
18.5	Υπολογισμός σταυροειδώς οπλισμένων πλακών	150
18.6	Πλάκες με νευρώσεις	159
18.7	Επίπεδες και μκκητοειδείς πλάκες	173
18.8	Σχεδίαση πλακών	183

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 19

ΔΟΚΟΙ ΚΑΙ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΙ (ΔΟΚΑΡΙΑ ΚΑΙ ΠΛΑΚΟΔΟΚΑΡΙΑ)

19.1	Περιγραφή	194
19.2	Στατική λειτουργία	196
19.3	Κανονισμοί	201
19.4	Υπολογισμοί	211
19.5	Σχεδίαση δοκών	234

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20

ΣΤΥΛΟΙ Ή ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

20.1	Περιγραφή	250
20.2	Κανονισμοί	252
20.3	Υπολογισμός υποστυλωμάτων	263
20.4	Σχεδίαση υποστυλωμάτων	269

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 21

ΠΛΑΙΣΙΑ

21.1	Περιγραφή	274
21.2	Κανονισμοί	279
21.3	Υπολογισμός	283
21.4	Σχεδίαση πλαισίων	284

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 22

ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

22.1	Περιγραφή	286
------	-----------------	-----

22.2	Κανονισμοί	290
22.3	Υπολογισμοί	296
22.4	Σχεδίαση τοιχωμάτων	303

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 23

ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

23.1	Γενικά	305
23.2	Κελύφη και πλακοκελύφη	305
23.3	Ελκυστήρες και αναρτήρες	309

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 24

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

24.1	Γενικά	312
24.2	Μεμονωμένα πέδιλα	313
24.3	Πρόχυτοι πάσσαλοι	318

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 25

ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

25.1	Εισαγωγή	322
25.2	Η λειτουργία της προεντεταμένης δοκού	324
25.3	Τρόποι προεντάσεως	328
25.4	Συστήματα προεντάσεως	332
25.5	Εκτέλεση της προεντάσεως στο εργοτάξιο	344
25.6	Απώλειες προεντάσεως	348
25.7	Πλεονεκτήματα του προεντεταμένου σκυροδέματος	353
25.8	Εφαρμογές της προεντάσεως	355

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 26

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

26.1	Γενικά	359
26.2	Προμετρήσεις και Επιμετρήσεις	360
26.3	Προδιαγραφές	364
26.4	Συγγραφές υποχρεώσεων	368
26.5	Τιμολόγιο και προϋπολογισμός	369
26.6	Ανάλυση τιμών	370