



# ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ Ι

Αριστείδη Δεϊμέζη

ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜ. Ε.Μ.Π.





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

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

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος που θα είχε 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 κυρία Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη.

Από το 1956 μέχρι 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 σχολών.

Μέχρι σήμερα εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη. 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 ποιότητα των βιβλίων, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και από άποψη εμφανίσεως, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους νέους.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική ποιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και θελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση.

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

Έτσι, με απόφαση που πάρθηκε ήδη από το 1956 όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις 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 εκπαίδευσεως. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων γίνεται από φιλολόγους 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 και η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος.**

**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 νέα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι.**

#### **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. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.**

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

**Γραμματέας της Επιτροπής, Γεώργιος Ανδρεάκος.**

#### **Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής**

**Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπεταιέρης (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 Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβάς (1989-1993) Φιλόλαογος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Εμ. Τρανούδης (1993-1996) Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.**



# ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ Ι

ΑΡΙΣΤΕΙΔΟΥ Ν. ΔΕΪΜΕΖΗ  
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ – Τ. ΕΠΙΜΕΛΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ  
1998





**ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ  
ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ**

Α' ΕΚΔΟΣΗ 1985



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Γενικά.

Το έδαφος, το μέρος δηλαδή του στερεού φλοιού της γης, που βρίσκεται κοντά στην επιφάνειά του, είναι ένα στοιχείο, που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τους τεχνικούς, επειδή έχει πολλαπλή σημασία για μια μεγάλη ομάδα τεχνικών έργων, των **Δομικών Έργων**.

Κατ' αρχήν όλα τα δομικά έργα εδράζονται μόνιμα και σταθερά πάνω στο έδαφος, είναι δηλαδή θεμελιώμενα στο έδαφος. Όταν λέμε δομικά έργα, δεν εννοούμε μόνο τις οικοδομές, δηλαδή τα σπίτια και τα διάφορα ειδικά κτήρια: εκκλησίες, σχολεία, εργοστάσια, νοσοκομεία κλπ., αλλά και έργα συγκοινωνιακά, όπως δρόμους, γέφυρες, σήραγγες, λιμάνια, αεροδρόμια κλπ., έργα υδραυλικά, όπως φράγματα, διώρυγες, υδραγωγεία κλπ. ή και άλλα είδικα έργα, όπως πυλώνες γραμμών μεταφοράς ενέργειας, ιστούς τηλεοράσεως κ.ο.κ.

Ο τεχνικός λοιπόν, που ασχολείται με τη μελέτη ή την κατασκευή τέτοιων έργων, θα ασχοληθεί και με τη θεμελίωσή τους, που αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα τους με θεμελιώδη σημασία, αν επιτρέπεται η έκφραση. Για το σκοπό αυτό πρέπει να γνωρίζει καλά τις ιδιότητες του εδάφους και ιδιαίτερα την ικανότητά του να στκώσει με ασφάλεια το βάρος των έργων αυτών.

Εξ άλλου σε πολλές περιπτώσεις, για να κατασκευασθεί ένα δομικό έργο, χρειάζεται να αλλάξει η μορφή του εδάφους είτε με σκάψιμο, που δημιουργεί ορύγματα, είτε με μπάζωμα, που δημιουργεί επιχώματα. Η νέα μορφή του εδάφους πρέπει να μπορεί να διατηρηθεί αμετάβλητη παρά τις δυσμενείς συνθήκες, που μπορεί να επικρατήσουν, όπως π.χ. αν το έδαφος υποστεί τα φορτία από τις κατασκευές ή από την κυκλοφορία οχημάτων, ή αν βραχεί κ.ο.κ. Για να εξασφαλισθεί η ευστάθεια του εδάφους, πρέπει ο μελετητής και ο κατασκευαστής του έργου να γνωρίζουν πολύ καλά τις ιδιότητές του, ώστε να είναι σε θέση να προβλέψουν τη συμπεριφορά του ανάλογα με τις συνθήκες, που μπορεί να παρουσιασθούν.

Τέλος για πολλά δομικά έργα το έδαφος είναι ένα από τα κύρια υλικά για την κατασκευή τους. Ως παραδείγματα δίνομε τα χωμάτινα φράγματα, τους δρόμους, τα αεροδρόμια κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής και ο κατασκευαστής των έργων πρέπει να γνωρίζουν πολύ καλά τις ιδιότητες του εδάφους και τη συμπεριφορά, που θα δείξει όσο περνά ο καιρός, για να είναι βέβαιο ότι τα έργα θα είναι ασφαλή και θα μπορούν να εξυπηρετούν το σκοπό, για τον οποίο κατασκευάζονται.

Σχετικό με το προηγούμενο είναι και το γεγονός ότι ορισμένα εδάφη αποτελούν

την πρώτη ύλη διαφόρων δομικών υλικών/ όπως είναι π.χ. οι πέτρες για το κτίσιμο, τα χαλίκια και η άμμος για τα κονιάματα, τα σκυροδέματα και τα οδοστρώματα, η άργιλος για τα τούβλα και τα κεραμίδια, οι ασβεστόλιθοι για τον ασβέστη, διάφορα κατάλληλα είδη εδαφών για το τσιμέντο κ.ο.κ. Σ' αυτή την περίπτωση πρέπει πάλι να είναι γνωστές οι ιδιότητες του εδάφους, για να διαλεχθεί το κατάλληλο για κάθε δομικό υλικό έδαφος.

Το συμπέρασμα είναι ότι για όλα τα δομικά έργα είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις ιδιότητες του εδάφους. Τα πράγματα θα ήταν πολύ απλά, αν όλα τα εδάφη είχαν τις ίδιες ιδιότητες. Θα μπορούσαν τότε να δοθούν γενικές οδηγίες, ώστε για κάθε περίπτωση να μπορεί εύκολα να βρεθεί η κατάλληλη λύση. Τα εδάφη όμως παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ποικιλία. Γ' αυτό ακριβώς είναι πολύ πιο εύκολο να γίνουν λάθη στη μελέτη ή την κατασκευή ενός έργου σχετικά με το έδαφος παρά στο υπόλοιπο έργο, όπου χρησιμοποιούνται υλικά αρκετά τυποποιημένα με γνωστές, σχεδόν σταθερές, ιδιότητες και μέθοδοι κατασκευής, που μπορούν να περιγραφούν με λεπτομέρεια από το μελετητή και να εφαρμοσθούν πιστά από τον κατασκευαστή.

Το κυριότερο λοιπόν πρόβλημα για το έδαφος είναι να εξακριβώσουμε σε κάθε περίπτωση, ποιες ακριβώς ιδιότητες παρουσιάζει. Για το σκοπό αυτό δε φθάνει συνήθως μια απλή παρατήρηση του εδάφους, έστω και αν ο παρατηρητής έχει εξαιρετική πείρα ειδικά στο θέμα αυτό. Χρειάζεται να γίνουν ορισμένες μετρήσεις είτε επί τόπου είτε στο εργαστήριο. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων καθορίζουν ορισμένες ιδιότητες του εδάφους και σύμφωνα μ' αυτές το κατατάσσουμε σε κάποια κατηγορία. Με την κατάταξη αυτή συμπεραίνομε και τις υπόλοιπες ιδιότητές του, αυτές βέβαια που έχουν σχέση με την κατασκευή των έργων.

Η επιστήμη που ασχολείται μ' αυτές τις ιδιότητες του εδάφους ονομάζεται **Εδαφομηχανική**.<sup>\*</sup> Τα κύρια στοιχεία της επιστήμης αυτής παρέχονται σε σύντομη περίληψη στις σελίδες που ακολουθούν.

Η εδαφομηχανική προϋποθέτει ορισμένες βασικές γνώσεις και από άλλες συγγενείς επιστήμες, όπως είναι η **Γεωλογία**, που εξετάζει πώς δημιουργήθηκε το έδαφος, η **Ορυκτολογία** και η **Πετρογραφία**, που εξετάζουν τη σύστασή του. Μερικές βασικές γνώσεις από τις επιστήμες αυτές περιλαμβάνονται στα αμέσως επόμενα. Επίσης χρειάζονται και ορισμένες γνώσεις από τη **Χημεία** και τη **Φυσική** και ιδιαίτερα τη **Στατική**, όπως θα δούμε παρά κάτω.

## 1.2 Πετρώματα.

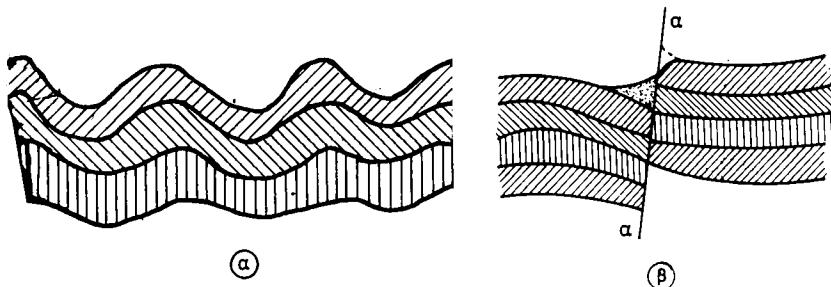
Σύμφωνα με τις θεωρίες, που ισχύουν σήμερα, η Γη είναι μια σφαίρα, που αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της από σίδερο (Fe) και νικέλιο (Ni). Πριν από μερικά δισεκατομμύρια χρόνια, όταν δημιουργήθηκε, ήταν ολόκληρη σε υγρή κατάσταση, επειδή είχε πολύ ψηλή θερμοκρασία. Όπως ακριβώς συμβαίνει στα καμίνια, όταν λειώνομε τα μεταλλεύματα, για να αποκτήσουμε τα διάφορα μέταλλα, έτσι και στην επιφάνεια των λειωμένων μετάλλων, που αποτελούσαν τότε τη Γη,

(\*) Σημειώνομε για αντιδιαστολή ότι η **Εδαφολογία** ή **Πεδολογία** εξετάζει τις ιδιότητες του εδάφους σχετικά με την καλλιέργειά του για γεωργική ή παρόμοια εκμετάλλευση.

έπλεαν διάφορες ενώσεις με σχετικά μικρό ειδικό βάρος, που λέγονται και **ελαφρές σκουριές**. Οι ελαφρές αυτές σκουριές περιείχαν κυρίως οξυγόνο (O), πυρίτιο (Si), αργίλιο (αλουμίνιο) (Al), ασβέστιο (Ca) κλπ.

Όσο περνούσε ο καιρός, η Γη ακτινοβολούσε στο διάστημα τεράστιες ποσότητες θερμότητας. Έτσι η θερμοκρασία της επιφάνειάς της έπεισε και οι ελαφρές σκουριές άρχισαν να στερεοποιούνται. Δημιουργήθηκε λοιπόν ο πρώτος **στερεός φλοιός** της Γης και σχηματίσθηκαν τα πρώτα **πετρώματα**. Τα πετρώματα αυτά λέγονται **πυριγενή ή πλουτώνια**, επειδή σχηματίσθηκαν, όταν η επιφάνεια της γης ήταν ακόμα διάπυρη.

Η θερμοκρασία εξακολούθησε να κατεβαίνει, επειδή η ακτινοβολία συνεχίζοταν και αυτό είχε ως συνέπεια τη συστολή της Γης. Ο στερεός πια φλοιός της δεν μπορούσε να παρακολουθήσει αυτή τη συστολή και έτσι συρρικνώθηκε, απέκτησε δηλαδή πτυχώσεις, όπως ακριβώς αποκτά ρυτίδες το δέρμα των γέρων ή όπως ζαρώνει η φλούδα των αποξηραμένων φρούτων. Σε πολλά μάλιστα σημεία ο φλοιός έσπασε και τα πετρώματα μετακινήθηκαν, άλλαξαν δηλαδή θέση το ένα σχετικά με το άλλο από τις δύο πλευρές του ρήγματος (σχ. 1.2α).



Σχ. 1.2α.

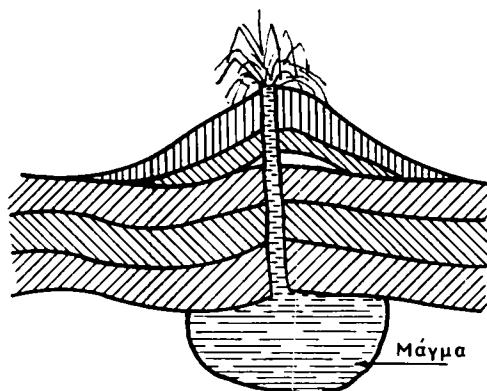
Παραμορφώσεις του φλοιού της γης: α) Πτυχώσεις. β) Ρήγμα α - α.

Σε πολλές περιπτώσεις από τα ρήγματα ξεχύθηκαν νέες ποσότητες από το **μάγαρο**, δηλαδή από τη διάπυρη μάζα του εσωτερικού της Γης και σχηματίσθηκαν νέα πυριγενή πετρώματα πάνω στα αρχικά. Ακόμα και στη σύγχρονη εποχή τινάζεται από τους κρατήρες των ηφαιστείων **λάβρα**, λειωμένα δηλαδή υλικά, που ανεβαίνουν από μεγάλο βάθος και, όταν παγώσουν, σχηματίζουν νέα πυριγενή πετρώματα, που λέγονται **ηφαιστειογενή ή εκρηκτιγενή** (σχ. 1.2β).

Όλα τα πυριγενή πετρώματα, άσχετα με την ηλικία τους, είναι **αυτογενή**, δημιουργήθηκαν δηλαδή εκεί ακριβώς, όπου βρίσκονται και τώρα. Ο γρανίτης, ο πορφυρίτης, ο περιδοτίτης, ο βασάλτης κλπ. είναι μερικά από τα συνηθισμένα πυριγενή πετρώματα.

Τα πετρώματα αυτά είναι κατά κανόνα μίγματα από διάφορα ορυκτά. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά είναι οι άστριοι, ο χαλαζίας, οι μαρμαρυγίες κλπ. Τα ορυκτά αυτά πάλι περιέχουν κυρίως πολλαπλά και σύνθετα πυριτικά άλατα ιδιαίτερα του αργιλίου (Al), αλλά και των αλκαλίων [νατρίου (Na) και Καλίου (K)] και των αλκαλικών γαιών [Ασβεστίου (Ca) και Μαγνησίου (Mg)].

Τα πυριγενή πετρώματα δεν διατηρήθηκαν παντού αναλλοίωτα από τότε που σχηματίσθηκαν. Ποικίλες αιτίες, όπως η διάβρωση από το νερό, οι μεταβολές της θερμοκρασίας κλπ., προκάλεσαν σε πολλές περιπτώσεις διάφορες μεταβολές. Άλλοτε η μεταβολή αυτή έχει περιορισθεί μόνο στην κατάτμησή τους ή ακόμα και στο θρυμματισμό τους. Άλλοτε πάλι έχουν μεσολαβήσει χημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα να αλλάξει η σύστασή τους. Τα προϊόντα από τις μεταβολές των πετρωμάτων έμειναν σε αρκετές περιπτώσεις στην αρχική τους θέση, κατά κανόνα όμως παρασύρθηκαν από το νερό, τον άνεμο ή άλλες αιτίες και μεταφέρθηκαν σε νέες θέσεις. Το νερό μάλιστα διάλυσε μερικά από τα συστατικά των αρχικών πετρωμάτων και, αφού τα μετέφερε, τα άφησε σε νέες θέσεις μετά την εξάτμισή του.



Σχ. 1.2β.  
Σχηματισμός ηφαιστειογενών πετρωμάτων.

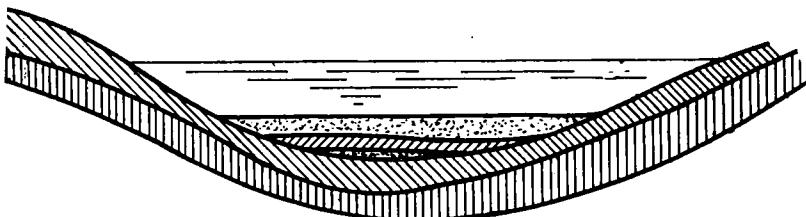
Τα προϊόντα από την καταστροφή των αρχικών πετρωμάτων συμπυκνώθηκαν σιγά-σιγά και πάλι και σχημάτισαν νέα πετρώματα. Στην ανασύνθεση αυτή βοήθησαν διάφορες ορυκτές κόλλες ή φυσικά τοσιμέντα, που είχαν διαλυθεί και αυτά μέσα στο νερό. Έτσι έχουμε τα **κηλιατογενή** πετρώματα, που μπορεί να είναι **υδατογενή**, να προέρχονται δηλαδή από καθίζηση υλικών, που είχαν διαλυθεί ή αιωρούνταν μέσα στο νερό (σχ. 1.2γ), **αιολικά**, δηλαδή ανεμογενή, που προέρχονται από την εναπόθεση λεπτών κόκκων, που έχουν μεταφερθεί από τον άνεμο κ.ο.κ. Όλα αυτά τα πετρώματα είναι σχεδόν πάντοτε **αλλοθιγενή**, δεν βρίσκονται δηλαδή εκεί, οπου δημιουργήθηκαν για πρώτη φορά τα συστατικά τους.

Οι στρώσεις των ιζηματογενών πετρωμάτων σπάνια είναι οριζόντιες, γιατί έχουν και αυτά υποστεί παραμορφώσεις, από τότε που σχηματίσθηκαν. Οι πτυχώσεις και τα ρήγματα του φλοιού της γης διατάραξαν την αρχική θέση των στρωμάτων. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις βρίσκομε ορισμένα πετρώματα πάνω από άλλα, που είναι νεώτερά τους (σχ. 1.2δ).

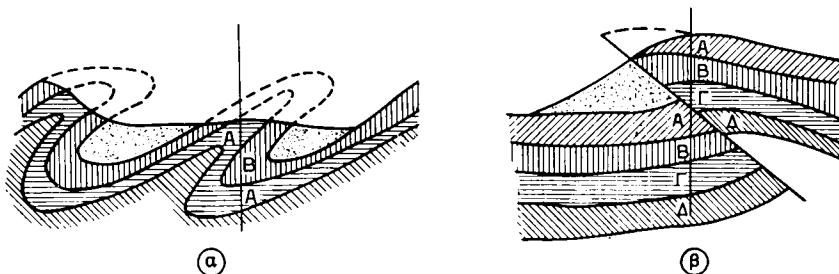
Ειδικότερα στις θέσεις των ρηγμάτων η συστολή της Γης είχε κατά κανόνα ως αποτέλεσμα να γλιστρήσει το ένα κομμάτι του εδάφους πάνω στο άλλο ακολουθώντας την κεκλιμένη επιφάνεια του ρήγματος και να βρεθεί από πάνω του. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **επώθηση**, δηλαδή σπρώξιμο ενός τμήματος του εδάφους πάνω σε κάποιο άλλο.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι και τα ιζηματογενή πετρώματα καταστρέφονται με τη σειρά τους και τα προϊόντα τους σχηματίζουν νέα πετρώματα, που είναι και πάλι ιζηματογενή.

Ως παραδείγματα ιζηματογενών πετρωμάτων αναφέρομε τα διάφορα κροκαλοπαγή, τους ψαμμίτες κλπ. Από την άποψη της Ορυκτολογίας τα πετρώματα αυτά δεν διαφέρουν ριζικά από τα πυριγενή, αφού άλλωστε προέρχονται από αυτά. Πάντως τα συστατικά τους είναι συνήθως απλούστερες χημικές ενώσεις των ίδιων χημικών στοιχείων.



Σχ. 1.2γ.  
Σχηματισμός ιζηματογενών πετρωμάτων.



Σχ. 1.2δ.  
Νεώτερα στρώματα, που βρίσκονται κάτω από παληότερα: α) Επειδή οι πυχώσεις είναι πολύ έντονες. β) Επειδή έγινε επώθηση στην επιφάνεια ρήγματος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα πετρώματα, τόσο τα πυριγενή όσο και τα ιζηματογενή άλλαξαν με το πέρασμα των γεωλογικών αιώνων σύσταση και υφή, χωρίς να χάσουν τη συνοχή τους ή να φύγουν από τη θέση τους. Κύριες αιτίες αυτών των μεταβολών ήταν οι ψηλές θερμοκρασίες και οι μεγάλες πιέσεις που έτυχε να κυριαρχούν, όταν κάποτε τα πετρώματα αυτά βρίσκονταν σε μεγάλα βάθη. Δημιουργήθηκε έτσι μια τρίτη μεγάλη κατηγορία πετρωμάτων, τα **μεταμορφωσιγενή**.

Παραδείγματα τέτοιων πετρωμάτων είναι οι διάφοροι σχιστόλιθοι, τα μάρμαρα, οι φλύσχες, οι γνεύσιοι κλπ.

Τα πυριγενή πετρώματα έχουν γενικά κρυσταλλικό ιστό, αλλά στο σύνολό τους είναι άμορφα, δεν έχουν δηλαδή μια συγκεκριμένη χαρακτηριστική γεωμετρική μορφή. Αντίθετα τα ιζηματογενή πετρώματα δεν αποτελούνται από κρύσταλλους, αλλά από άμορφα θραύσματα, στο σύνολό τους δύνανται να σχηματίσουν σαφείς στρώσεις με σχεδόν σταθερό πάχος. Γ' αυτό άλλωστε λέγονται και **στρωσιγενή**.

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα έχουν συνήθως κρυσταλλικό ιστό, όπως τα πυριγενή, παρουσιάζουν όμως και στρώσεις, όπως τα ίζηματογενή. Πολύ συχνά οι στρώσεις υποδιαιρούνται σε άλλες λεπτότερες κ.ο.κ., ώστε τελικά τα πετρώματα αυτά φαίνονται σαν να αποτελούνται από λεπτά φύλλα. Για τους λόγους αυτούς τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα λέγονται και **κρυσταλλοσχιστώδη**.

### 1.3 Ασύνδετα εδάφη.

Τα πετρώματα αποτελούν το συμπαγές μέρος του φλοιού της Γης, αυτό που συνήθως το ονομάζομε **βράχο**. Σε πολλές περιπτώσεις οι βράχοι εμφανίζονται γυμνοί στην επιφάνεια της γης, συνήθως όμως είναι σκεπασμένοι με στρώματα από ασύνδετα υλικά, αυτά που ονομάζομε **πέτρες και χώματα**. Τα στρώματα αυτά μπορεί να έχουν πάχος μόλις λίγα εκατοστά του μέτρου ή αντίθετα να συνεχίζονται σε μεγάλο βάθος (εκατοντάδες μέτρα). Οι πέτρες και τα χώματα δεν είναι τίποτε άλλο παρά τα προϊόντα από την καταστροφή των πετρωμάτων, που κάποτε, αν υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες, θα μπορούσαν να συγκολληθούν και πάλι, για να σχηματίσουν ένα νέο πέτρωμα.

Τα ασύνδετα εδάφη αποτελούνται από θραύσματα των πετρωμάτων, αλλά το μέγεθος των θραυσμάτων είναι διαφορετικό σε κάθε περίπτωση. Τα θραύσματα αυτά μπορεί να είναι πολύ μεγάλα, δηλαδή ολόκληρες πέτρες ή και ογκόλιθοι ακόμα, μπορεί να είναι μικρότερα, δηλαδή χαλίκια ή άμμος, ή και εξαιρετικά μικρά, έτσι που να μη διακρίνονται με το γυμνό μάτι. Στην τελευταία αυτή περίπτωση δεν είναι πάντοτε τόσο φανερή η ιδιότητα ότι το έδαφος είναι ασύνδετο. Εδάφη με πολύ μικρούς κόκκους, όταν είναι υγρά, αποτελούν μια πλαστική μάζα, ενώ, όταν ξεραθούν, σχηματίζουν ένα στερεό σώμα, που εύκολα θρυμματίζεται. Γί' αυτούς τους λόγους τα εδάφη αυτά, όπως θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια, ονομάζονται και **συνεκτικά** σε αντιδιαστολή με τα προηγούμενα, που ονομάζονται **χαλαρά**.

Πολλές φορές με τον όρο **έδαφος** εννοούμε μόνο τα ασύνδετα εδάφη, για να τα διακρίνομε από τα πετρώματα. Στο βιβλίο αυτό ο όρος έδαφος περιλαμβάνει τόσο τα ασύνδετα εδάφη όσο και τα πετρώματα. Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι τα όρια ανάμεσα στο βράχο και τα ασύνδετα εδάφη είναι πολύ ασαφή. Υπάρχουν μαλακοί βράχοι, που, αν βραχούν ή εκτεθούν στον αέρα, μεταβάλλονται σε ασύνδετα εδάφη και αντίστροφα υπάρχουν συνεκτικά εδάφη τόσο σκληρά και συμπαγή, που συμπεριφέρονται περίπου σα στερεά σώματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

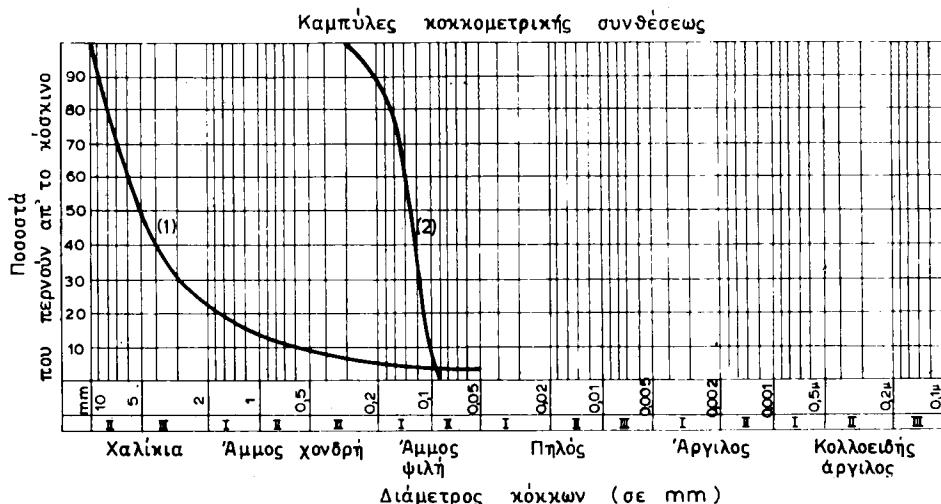
### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

#### 2.1 Γενικά.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, χρειάζεται να κατατάξουμε το έδαφος, πάνω στο οποίο θα θεμελιώσουμε ένα έργο ή που πρόκειται να συντελέσει κατά κάποιον τρόπο στην κατασκευή ενός έργου, για να συμπεράνουμε τις ιδιότητές του και τη συμπεριφορά του. Η κατάταξη βασίζεται σε ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες των εδαφών, που αναφέρονται παρακάτω. Κυρίως μας ενδιαφέρει η κατάταξη των ασυνδέτων εδαφών και όχι των πετρωμάτων και σ' αυτά κυρίως αναφέρονται οι ιδιότητες που ακολουθούν.

#### 2.2 Κοκκομετρική σύνθεση.

Μια από τις πιο χαρακτηριστικές ιδιότητες των εδαφών είναι η **κοκκομετρική σύνθεση**. Τα εδάφη αποτελούνται από κόκκους με διαφορετικά μεγέθη. Οι κόκκοι αυτοί μπορεί να είναι ολόκληρες πέτρες, χαλίκια, άμμος αλλά και τόσο λε-



Σχ. 2.2.

Διαγράμματα με την κοκκομετρική σύνθεση δύο δειγμάτων εδάφους: (1) Αμμοχλικό. (2) Ισόκκοκη ψιλή άμμος.

πτοί, που να μη μπορούμε να τους διακρίνομε με το μάτι. Τους μεγαλύτερους κόκκους, που αποτελούν κάθε έδαφος, μπορούμε να τους ξεχωρίσομε κατά μεγέθη χρησιμοποιώντας μια σειρά από τυποποιημένα κόσκινα. Οι λεπτότεροι διαχωρίζονται, όταν ρίζομε το έδαφος σε άφθονο νερό, ώστε να δημιουργηθεί ένα αιώρημα, και αφήσομε ύστερα να κατακαθήσει. Όσο πιο μικροί είναι οι κόκκοι, τόσο αργότερα θα πάψουν να αιωρούνται. Υπάρχει λοιπόν τρόπος να δούμε, τι ποσοστό από το βάρος του εδάφους αντιπροσωπεύει κάθε μέγεθος κόκκων. Ο κατάλογος αυτός με τα ποσοστά ονομάζεται κοκκομετρική σύνθεση του εδάφους.

Λέμε ότι ένα έδαφος έχει καλή κοκκομετρική σύνθεση, όταν όλα τα μεγέθη των κόκκων του, από τους μεγαλύτερους ως τους μικρότερους, αντιπροσωπεύονται σε ποσοστά περίπου ίσα. Στην αντίθετη περίπτωση η κοκκομετρική σύνθεση είναι κακή. Επίσης κακή θεωρείται και η κοκκομετρική σύνθεση ενός εδάφους, που σχεδόν όλοι οι κόκκοι του έχουν το ίδιο μέγεθος.

Η κοκκομετρική σύνθεση των εδαφών παρουσιάζεται σε ένα διάγραμμα (σχ. 2.2), που είναι πολύ πιο εύγλωττο από ένα κατάλογο με ποσοστά. Η κοκκομετρική σύνθεση είναι το **κυριότερο** από τα κριτήρια, που μας βοηθάνε να κατατάξουμε κάθε έδαφος στην κατάλληλη κατηγορία.

## 2.3 Πλαστικότητα.

Μια άλλη ομάδα ιδιοτήτων είναι σχετική με το φαινόμενο που ονομάζομε **πλαστικότητα**. Όταν σε ένα έδαφος με στεγνούς κόκκους προσθέσομε σιγά-σιγά νερό, υπάρχει πιθανότης να μεταβληθεί σε μια εύπλαστη μάζα, που να μπορούμε να της δώσουμε ό,τι σχήμα επιθυμούμε. Το έδαφος αυτό λέμε ότι παρουσιάζει πλαστικότητα.

Όταν το πλαστικό έδαφος είναι τόσο στεγνό, ώστε, αν σχηματίσομε με τις παλάμες κυλινδρίσκους με διάμετρο 3 mm, αυτοί να αρχίζουν να παρουσιάζουν ρωγμές, το ποσοστό υγρασίας που περιέχει το έδαφος σ' αυτή την περίπτωση λέγεται **όριο υδαρότητας**.

Όταν το πλαστικό έδαφος είναι τόσο υγρό, ώστε δεν μπορούμε πια να σχηματίσομε τους κυλινδρίσκους, το ποσοστό υγρασίας που περιέχει λέγεται **όριο υδαρότητας**. Το όριο αυτό προσδιορίζεται στο εργαστήριο με μια ειδική δοκιμή.

Η διαφορά των δύο ορίων πλαστικότητας και υδαρότητας λέγεται **δείκτης πλαστικότητας** και είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό χαρακτηριστικό μέγεθος του εδάφους, από το οποίο μπορούμε να προβλέψουμε πολλές άλλες ιδιότητές του.

Τα όρια πλαστικότητας και υδαρότητας είναι γνωστά και ως **όρια του Atteberg**.

Υπάρχει και ένα τρίτο όριο Atteberg, το **όριο συρρικνώσεως**. Τα πλαστικά έδαφη παρουσιάζουν κάποια μείωση του όγκου τους, όσο χάνουν την υγρασία τους. Το όριο συρρικνώσεως μας δίνει ακριβώς το ποσοστό υγρασίας του εδάφους, που κάτω από αυτό η μείωση της υγρασίας δεν προκαλεί πια μείωση του όγκου του. Η ιδιότητα των πολύ πλαστικών εδαφών να διογκώνονται, όταν απορροφούν υγρασία, μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες. Υπάρχουν περιπτώσεις, που η διόγκωση αυτή είχε σαν αποτέλεσμα να σπρώξει τα θεμέλια και να ανασηκώσει ολόκληρα κτήρια.

Τα όρια του Atteberg είναι, μετά την κοκκομετρική σύνθεση, τα κυριότερα κριτήρια για την κατάταξη των εδαφών σε κατηγορίες.

## 2.4 Πυκνότητα.

Μια άλλη ομάδα ιδιοτήτων των εδαφών είναι εκείνη, που συνδέεται με το πόσο συμπιεσμένα είναι στη φυσική τους κατάσταση. Οι κόκκοι του εδάφους αφήνουν μεταξύ τους κενά, που είναι γεμάτα με αέρα ή νερό. Ούτε το ποσοστό των κενών, που ονομάζονται και πόροι, ούτε το ποσοστό του νερού είναι πάντοτε τα ίδια. Ορισμένα εδάφη έχουν συμπιεσθεί από διάφορες αιτίες και οι κόκκοι τους είναι εξαιρετικά πυκνοί, ενώ άλλα παρουσιάζονται εξαιρετικά αραιά με μεγάλα ποσοστά κενών.

Επειδή η αντοχή και γενικότερα η συμπεριφορά του εδάφους εξαρτάται πολύ από το ποσοστό των κενών και από την υγρασία που περιέχει, πρέπει να γνωρίζομε τα μεγέθη αυτά, που μετρούνται με κατάλληλες δοκιμές.

Μπορούμε πρώτα να προσδιορίσουμε την **υγρασία** του εδάφους ως ποσοστό του βάρους του νερού που περιέχει προς το βάρος του εδάφους, αφού ξεραθεί τελείως με κατάλληλο ψήσιμο. Αν δηλαδή το έδαφος έχει πριν το ξεράνομε βάρος  $\beta_u$  και έπειτα βάρος  $\beta_\xi$ , η υγρασία του είναι:

$$\eta \% = \frac{\beta_u - \beta_\xi}{\beta_\xi} \cdot 100$$

**Φαινόμενο βάρος ή υγρό φαινόμενο βάρος**  $\beta_\phi$  του εδάφους ονομάζομε το λόγο του βάρους  $G_v$ , που έχει το δείγμα του εδάφους στη φυσική του κατάσταση, μετρημένο σε χιλιόγραμμα (kg) προς τον όγκο  $V_v$  μετρημένο σε κυβικές παλάμες ( $dm^3$ ). Είναι δηλαδή:

$$\beta_\phi = \frac{G_v}{V_v} \text{ kg/dm}^3$$

Το φαινόμενο βάρος των εδαφών παρουσιάζει μεγάλες διαφορές από τη μια περίπτωση στην άλλη.

**Ειδικό βάρος**  $\beta_e$  του εδάφους ονομάζομε το λόγο του βάρους  $G_\xi$ , που θα απέμενε στο δείγμα του εδάφους, αν το ξεραίναμε εντελώς, πράγμα που στην πράξη είναι αδύνατο, προς τον όγκο  $V_\xi$  μόνο των στερεών κόκκων του, δηλαδή:

$$\beta_e = \frac{G_\xi}{V_\xi} \text{ kg/dm}^3$$

Το ειδικό βάρος όλων σχεδόν των εδαφών είναι περίπου το ίδιο και κυμαίνεται από 2,5 ως 2,8 kg/dm<sup>3</sup>.

Υπάρχει ακόμα και ο όρος **ξερό φαινόμενο βάρος**  $\beta_\epsilon$ , που είναι ο λόγος του βάρους  $G_\epsilon$  που θα απέμενε, αν υπήρχε τρόπος να αφαιρεθεί από το έδαφος όλο το νερό, χωρίς να αλλάξει η διάταξη των κόκκων του, προς τον όγκο του, που τότε θα παρέμενε αμετάβλητος  $V_\epsilon$ , δηλαδή:

$$\beta_\epsilon = \frac{G_\epsilon}{V_\epsilon} \text{ kg/dm}^3$$

**Πορώδες** π του εδάφους λέγεται το ποσοστό του αρχικού όγκου του δείγματος του εδάφους, που αντιστοιχεί στα μεταξύ των κόκκων του κενά και υπολογίζεται με το μαθηματικό τύπο:

$$\pi \% = \frac{\beta_\epsilon - \beta_\phi}{\beta_\epsilon} \cdot 100$$

**Δείκτης πόρων** λέγεται ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των κόκκων του εδάφους και υπολογίζεται με το μαθηματικό τύπο:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{100 - \pi}$$

Ένα μέρος από τα κενά αυτά είναι γεμάτο νερό και συγκεκριμένα ποσοστό του όγκου του εδάφους ίσο με  $\beta_{\phi}$  .  $u\%$ , ενώ τα υπόλοιπα κενά, δηλαδή ( $\pi - \beta_{\phi} . u\%$ )

είναι γεμάτα αέρα. Ο λόγος  $\frac{\beta_{\phi} . u}{\pi}$  λέγεται **βαθυμός κορεσμού** του εδάφους. Αν το  $\pi$  είναι ίσο με το  $\beta_{\phi}$  .  $u$ , σημαίνει ότι δεν υπάρχει καθόλου αέρας και τότε το έδαφος είναι **κορεσμένο** με νερό, ενώ ο βαθυμός κορεσμού γίνεται ίσος με τη μονάδα.

Αυτά βέβαια ισχύουν θεωρητικά, γιατί στην πράξη είναι πολύ δύσκολο, αν όχι αδύνατο, τόσο το να αφαιρέσουμε εντελώς το νερό, όσο και το να ξεχωρίσουμε εντελώς τους κόκκους τον έναν από τον άλλον, για να μπορέσουμε να μετρήσουμε την υγρασία και το ειδικό βάρος του εδάφους. Πράγματι, στα εδάφη που περιέχουν πολύ μικρούς κόκκους με διάμετρο μικρότερη από 5 περίπου μικρά, δηλαδή εκατομμυριοστά του μέτρου, ένα ποσοστό του νερού είναι τόσο καλά κολλημένο στους κόκκους και χρησιμεύει συγχρόνως ως συνδετική ύλη ανάμεσα στους γειτονικούς κόκκους, που τελικά ολόκληρες ομάδες από μεγάλους αριθμούς τέτοιων κόκκων είναι αδύνατον να διαχωρισθούν. Έτσι, όταν μετραύμε το ειδικό βάρος, περιλαμβάνουμε σ' αυτό και τα κενά, που περιέχονται στις ομάδες αυτές των κόκκων και γι' αυτό το ονομάζουμε **φαινόμενο ειδικό βάρος**, που είναι πάντοτε μικρότερο από το πραγματικό ειδικό βάρος. Έτσι στο δείκτη πόρων που υπολογίζουμε δεν περιλαμβάνονται τα κενά, που βρίσκονται στο εσωτερικό των ομάδων των κόκκων. Αντίστοιχα και στην υγρασία του εδάφους, που προκύπτει από τις μετρήσεις, δεν περιλαμβάνεται το νερό, που παραμένει κολλημένο πάνω στους εξαιρετικά μικρούς κόκκους.

Ενώ η κοκκομετρική σύνθεση και η πλαστικότητα του εδάφους δεν αλλάζουν, έστω και αν διαταράξουμε το έδαφος, οι ιδιότητές του, που είναι σχετικές με την πυκνότητά του, δεν είναι σταθερές. Μόλις το έδαφος διαταραχθεί, καταστρέφεται ο ιστός του και οι κόκκοι του, κατά κανόνα απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο, με αποτέλεσμα να μειώνεται το φαινόμενο βάρος του και να αυξάνονται το πορώδες του και ο δείκτης πόρων. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες εξάλλου επιδρούν στην ποσότητα νερού που περιέχει και συνήθως για τις ελληνικές συνθήκες την περιορίζουν.

Για τους λόγους αυτούς μόνο σε αδιατάρακτο δείγμα εδάφους μπορούμε να μετρήσουμε τις ιδιότητές του, που είναι σχετικές με την πυκνότητά του. Οι ιδιότητες αυτές δεν επηρεάζουν την κατάταξη των εδαφών, παίζουν όμως πρωταρχικό ρόλο στην αντοχή τους και γενικά στη συμπεριφορά τους, όταν χρησιμεύουν σαν εδάφη θεμελιώσεως.

## 2.5 Άλλες ιδιότητες.

Δυο άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες του εδάφους είναι η **διαπερατότητα** ή **υδροπερατότητα** και η **απορροφητικότητα** ή **υδροαπορροφητικότητα**.

Η **διαπερατότητα** χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή  $K$ , που δείχνει πόσα εκατοστά του μέτρου μπορεί να προχωρήσει κάθε δευτερόλεπτο μέσα στο έδαφος το νερό, όταν υπάρχει διαφορά υδροστατικών πιέσεων ίση με ένα  $g / cm^2$  ανάμεσα σε δύο σημεία που απέχουν 1 cm, ώστε να προκαλεί τη ροή αυτή του νερού. Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται σε πολύ πλατειά όρια και μπορεί να είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερος σε ένα έδαφος από άλλο. Γενικά όσο πιο λεπτόκοκκο είναι ένα υλικό, τόσο πιο μικρή είναι η διαπερατότητά του.

Η **απορροφητικότητα** είναι η ικανότητα ενός εδάφους να απορροφά και να συγκρατεί το νερό και τη μετράμε στο εργαστήριο με μια κατάλληλη δοκιμή.

Άλλη ομάδα χαρακτηριστικών ιδιοτήτων συνδέεται με την ικανότητα του εδάφους να συμπυκνώνεται, όταν συμπιέζεται με κατάλληλους τρόπους. Είναι ευνόητο ότι, όσο το έδαφος συμπυκνώνεται, τόσο αυξάνει η αντοχή του και μειώνεται η ικανότητά του να παραμορφώνεται, όταν φορτίζεται. Η συμπύκνωση του εδάφους είναι συνεπώς κάτι, που συχνά επιδιώκεται στην κατασκευή των τεχνικών έργων.

Με τον όρο **συμπύκνωση Proctor** εννοούμε τη μέγιστη **ξηρή πυκνότητα**, που μπορεί να αποκτήσει ένα έδαφος, όταν τοποθετηθεί σε ένα κατάλληλο δοχείο κατά στρώσεις ορισμένου πάχους και κοπανισθεί με μια τυποποιημένη τυπάδα, που πέφτει από προκαθορισμένο ύψος και προκαθορισμένες φορές. Ξηρή πυκνότα λέγεται το ποσοστό που προκύπτει, αν αφαιρέσομε από το 100% το δείκτη πόρων. Το πείραμα αυτό γίνεται με διάφορα ποσοστά υγρασίας και έτσι καθορίζεται και η **βέληπση υγρασία**, που θα δώσει τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα.

Σχετική είναι και η **αντίσταση σε διείσδυση της βελόνας Proctor**. Όταν το έδαφος συμπυκνωθεί, μπήγομε με το χέρι μια ειδική μεταλλική βελόνα σε βάθος 3 ίντσών (7,62 cm) και με τέτοια ταχύτητα, ώστε η διείσδυση να γίνει σε 6 ως 7 δευτερόλεπτα. Ένα δυναμόδευτρο επάνω στη βελόνα μας δείχνει την αντίσταση σε kg/cm<sup>2</sup>.

Τέλος χαρακτηριστική ιδιότητα του εδάφους είναι και η **αντοχή του σε θλίψη**. Οι σχετικές δοκιμές γίνονται σε δοκίμια, που έχουν σχήμα κυλίνδρου με ύψος διπλάσιο από τη διάμετρό τους. Τα δοκίμια αυτά μπορεί να είναι αδιατάρακτα, να τα έχουμε δηλαδή πάρει από το φυσικό έδαφος κατ' ευθείαν με κατάλληλο δειγματολήπτη, ή να έχουν σχηματισθεί εκ των υστέρων με κατάλληλη συμπύκνωση και αναζύμωση του δείγματος του εδάφους.

Υπάρχουν δύο τρόποι, για να μετρηθεί η αντοχή του εδάφους σε θλίψη. Ο πρώτος είναι η δοκιμή σε **ανεμπόδιστη θλίψη**. Το δοκίμιο συμπιέζεται ανάμεσα σε μια σταθερή και μια κινητή πλάκα και παίρνομε ένα διάγραμμα, όπου φαίνεται η σχέση της τάσεως θλίψεως, που αναπτύσσεται κάθε στιγμή στο δοκίμιο, με την αντίστοιχη μείωση του ύψους του κυλίνδρου. Η δοκιμή συνεχίζεται, ώσπου να σπάσει το δοκίμιο ή ώσπου το ύψος του να περιορισθεί στα 4/₃ του αρχικού. Η τάση θλίψεως στο τέλος της δοκιμής λέγεται **αντοχή του εδάφους σε ανεμπόδιστη θλίψη**.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η **τριαξονική θλίψη** χωρίς αποστράγγιση. Στην περίπτωση αυτή το δοκίμιο είναι τυλιγμένο με μια ειδική λεπτή μεμβράνη, ώστε να μη μπορεί να βγει από μέσα του η υγρασία. Η δοκιμή πραγματοποιείται μέσα σε ειδικό θάλαμο, που επιτρέπει να ασκείται στο δοκίμιο και μια σταθερή ή και μεταβλητή πλευρική πίεση, που περιορίζει την πλευρική του διόγκωση. Η δοκιμή συνεχίζεται, ώσπου να σπάσει το δοκίμιο ή ώσπου να περιορισθεί το ύψος του στα 85% του αρχικού. Παίρνομε πάλι ένα διάγραμμα τάσεων — παραμορφώσεων και η τάση θλίψεως στο τέλος της δοκιμής λέγεται **αντοχή του εδάφους σε τριαξονική θλίψη**.

Πρέπει να σημειώσουμε πως η δοκιμή σε τριαξονική θλίψη δίνει πιο σωστά αποτελέσματα, αλλά συνήθως δε γίνεται, επειδή είναι πιο δύσκολη. Η δοκιμή αυτή είναι στην πραγματικότητα μια ολόκληρη σειρά δοκιμών, επειδή άλλοτε πρέπει να επιτρέπομε την αποστράγγιση και άλλοτε όχι, άλλοτε να κρατάμε σταθερή την πλευρική πίεση και άλλοτε να τη μεταβάλλομε κ.ο.κ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

#### 3.1 Κατάταξη σύμφωνα με το μέγεθος των κόκκων.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα τα εδάφη μπορούν να χωρισθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

α) Τα **βραχώδη** ή **συμπαγή** εδάφη, δηλαδή τα πετρώματα.

β) Τα **γαιώδη** ή **ασύνδετα** εδάφη, δηλαδή αυτά που έχουν σχηματισθεί από τα ασύνδετα προϊόντα της καταστροφής των προηγουμένων. Από την άποψη της Γεωλογίας και αυτά τα εδάφη είναι πετρώματα, για λόγους όμως διδακτικούς στο βιβλίο αυτό με τον όρο πέτρωμα θα εννοούμε μόνο ένα έδαφος βραχώδες.

Οι όροι **βραχώδες** και **γαιώδες**, όπως εννοούνται στο κεφάλαιο αυτό, δεν πρέπει να συγχέονται με τους ίδιους όρους, όταν αυτοί χρησιμοποιούνται, για να χαρακτηρίσουν ένα έδαφος σχετικά με τη δυσκολία, που παρουσιάζει το σκάψιμό του. Πράγματι, στην τελευταία αυτή περίπτωση είναι δυνατόν ορισμένα μαλακά πετρώματα να χαρακτηρίζονται ως ημίβραχοι, ενώ αντίθετα μερικά ασύνδετα εδάφη, π.χ. πυκνά αρμοχάλικα ή σκληρές άργιλοι, χαρακτηρίζονται και αυτά ως ημιβραχώδη ή και βραχώδη, όταν το σκάψιμό τους γίνεται δύσκολα.

Τα γαιώδη εδάφη χωρίζονται, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 1.3, σε δύο μικρότερες κατηγορίες:

α) **Τα χαλαρά** εδάφη (χαλικώδη και αμμώδη), όπου οι κόκκοι που τα αποτελούν παρουσιάζονται πράγματι ασύνδετοι.

β) **Τα συνεκτικά** εδάφη (πηλώδη και αργιλώδη), όπου οι κόκκοι δεν ξεχωρίζουν με γυμνό μάτι ο ένας από τον άλλο.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των κατηγοριών αυτών των εδαφών.

#### α) **Βραχώδη έδαφη.**

Τα βραχώδη εδάφη θεωρούνται κατάλληλα για τη θεμελίωση των δομικών έργων, επειδή παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη αντοχή και επομένως μπορούν εύκολα να παραλάβουν τα φορτία των έργων. Η αντοχή τους βέβαια δεν είναι πάντοτε η ίδια, γιατί εξαρτάται από το είδος και τη δομή του ορυκτού ή των ορυκτών, που αποτελούν το βραχώδες έδαφος.

Υπάρχουν βράχοι μαλακοί, που συνήθως χαρακτηρίζονται και ως ημίβραχοι, όπως είναι π.χ. η βραχοκιμιλιά, που συναντάμε σχεδόν σ' όλη την έκταση της Αθήνας λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Υπάρχουν και σκληροί βράχοι, όπως είναι π.χ. οι ασβεστόλιθοι των λόφων γύρω από την Αθήνα, όπου βρί-

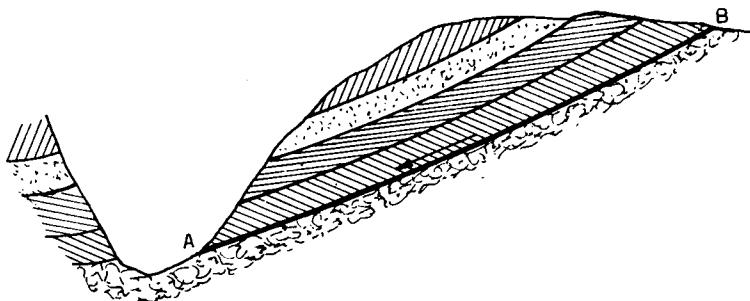
σκονται και τα λατομεία για πέτρες κτισμάτος, σκύρα και άμμο λατομείου. Υπάρχουν τέλος και βράχοι εξαιρετικά σκληροί, όπως είναι π.χ. οι γρανίτες, από όπου προέρχονται οι κυβόλιθοι, που τους χρησιμοποιούσαν παληότερα στα οδοστρώματα για βαριά κυκλοφορία.

Αν και οι βράχοι παρουσιάζουν μεγάλη σχετικά αντοχή, δεν αποκλείεται να μας επιφυλάσσουν εκπλήξεις. Πολλά μεγάλα έργα, που είχαν θεμελιωθεί πάνω σε βράχο, παρουσίασαν ζημιές. Πρέπει να σημειώσουμε ότι η έρευνα είναι συνήθως πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή για ένα έδαφος βραχώδες παρά για ένα γαιώδες, ενώ η ομοιομορφία είναι πιο πιθανή και ελέγχεται πιο εύκολα σ' ένα έδαφος γαιώδες. Τέλος στα βραχώδη εδάφη επιτρέπομε πολύ μεγαλύτερες πιέσεις από τα φορτία των έργων και έτσι, αν κάτι δεν πάει καλά, οι κίνδυνοι είναι πολύ μεγαλύτεροι.

Οι κίνδυνοι για μια αποτυχία, όταν θεμελιώνεται ένα έργο πάνω σε βράχο, μπορεί να προέρχονται από τις ακόλουθες αιτίες:

1) **Από μικρά ή και μεγάλα κοιλώματα** (σπηλιές), που μπορεί να βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος, ιδίως όταν το πέτρωμα είναι ασβεστολιθικό (καρσικά φαινόμενα).

2) **Από μεγάλες κλίσεις των στρωμάτων**, οπότε με την αύξηση των φορτίων μπορεί το ένα στρώμα να γλυστρίσει πάνω στην επιφάνεια του άλλου. Ο κίνδυνος αυτός γίνεται μεγαλύτερος, όταν ανάμεσα από δύο στρώματα παρεμβάλλεται μια λεπτή στρώση αργίλου (Terra Rossa), πράγμα πολύ συνηθισμένο (σχ. 3.1α).



Σχ. 3.1α.

Στη γραμμή AB, που χωρίζει τα πάνω διαπερατά στρώματα από τα κάτω αδιαπέρατα, κυκλοφορεί νερό, που μεταφέρει και αποθέτει σιγά-σιγά άργιλο. Υπάρχει κίνδυνος να γλιστρήσουν τα πάνω στρώματα κατά μήκος της AB προς τα κάτω.

3) **Από μεγάλους κομμούς**, δηλαδή διακοπές της συνέχειας του πετρώματος, που, αν βρίσκονται σε κατάλληλες θέσεις, μπορούν να επιτρέψουν σε μεγάλους όγκους βράχων να μετακινηθούν σχετικά με τους γειτονικούς τους, όταν προστέθουν τα φορτία του έργου.

4) **Από γεωλογικά ρήγματα**, όπου μπορεί να παρουσιασθούν σχετικές μετακινήσεις των πετρωμάτων, που βρίσκονται από τις δύο μεριές τους, ιδίως όταν προστεθούν τα φορτία του έργου.

Το συμπέρασμα είναι ότι, αν υπάρχει βράχος κάτω από ένα έργο, δεν μπορούμε με βεβαιότητα να πούμε ότι η θεμελίωσή του είναι απόλυτα εξασφαλισμένη, ιδιαίτερα όταν το έργο έχει μεγάλες διαστάσεις, όπως π.χ. ένα φράγμα. Επομένως, ακόμα και σ' αυτή την περίπτωση, χρειάζεται να ερευνηθεί το έδαφος, όπως και όταν το έδαφος δεν είναι βραχώδες. Για το σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί ένας κλάδος της Εδαφομηχανικής, η **Βραχομηχανική**, που ασχολείται ακριβώς μ' αυτό το αντικείμενο.

### **β) Χαλικώδη και αμμώδη εδάφη.**

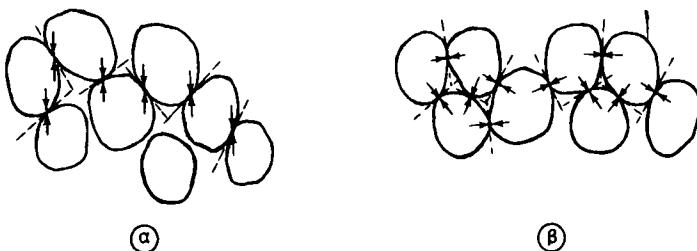
Τα χαλικώδη και αμμώδη εδάφη υπάγονται, όπως είπαμε, στα γαιώδη εδάφη και αποτελούνται από κόκκους σχετικά μεγάλους. Τα ακριβή μεγέθη των κόκκων, που θεωρούνται ως όρια, για να χαρακτηρίσομε τα εδάφη αυτά, διαφέρουν από χώρα σε χώρα και από συγγραφέα σε συγγραφέα. Στο βιβλίο αυτό κόκκοι μεγαλύτεροι από 80 mm θεωρούνται πέτρες, από 80 mm ως 20 mm χονδρά χαλίκια, από 20 mm ως 5 mm ψιλά χαλίκια, από 5 mm ως 1 mm χονδρή άμμος, από 1 mm ως 0,3 mm μεσόκοκκη άμμος και από 0,3 mm ως 0,08 mm ψιλή άμμος. Όταν οι κόκκοι είναι μικρότεροι από 0,08 mm το έδαφος δεν ανήκει στην κατηγορία που εξετάζομε, αλλά στους πηλούς ή την άργιλο.

Τα ορυκτά, που περιέχονται στους κόκκους των χαλικώδων και αμμώδων εδαφών, είναι διάφορα. Κατά κανόνα αυτά τα εδάφη προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων σχετικά σκληρών, επειδή τα μαλακά πετρώματα έχουν γενικά την τάση να θρυμματίζονται σε πολύ μικρότερους κόκκους. Επειδή ακριβώς οι κόκκοι είναι σκληροί και ανθεκτικοί, μπορούν να μεταβιβάζουν στους γειτονικούς τους σχετικά μεγάλες δυνάμεις, χωρίς να θραύσονται ή να παραμορφώνονται. Επομένως τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μια σημαντική αντοχή σε θλίψη, αρκεί να είναι εγκιβωτισμένα, ώστε να μη μπορούν οι κόκκοι τους να φύγουν από τη θέση τους.

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι δυνάμεις μπορούν να μεταβιβασθούν από τον ένα κόκκο στον άλλο, μόνο αν είναι σχεδόν κάθετες με την επιφάνεια επαφής τους. Αν οι δυνάμεις είναι πολύ λοξές, η ισορροπία καταστρέφεται και ο ένας κόκκος ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια του γειτονικού του. Η μετακίνηση συνεχίζεται, ώστου να πάρουν οι κόκκοι νέες θέσεις ισορροπίας, ώστε οι εσωτερικές δυνάμεις να είναι σχεδόν κάθετες με τις νέες επιφάνειες επαφής των κόκκων (σχ. 3.1β). Ακριβώς γι' αυτό το λόγο τα εδάφη αυτής της κατηγορίας λέγονται **χαλαρά ή ψαθυρά**, μια και δεν διατηρούν το σχήμα τους, όταν τους επιβάλλομε εξωτερικές δυνάμεις.

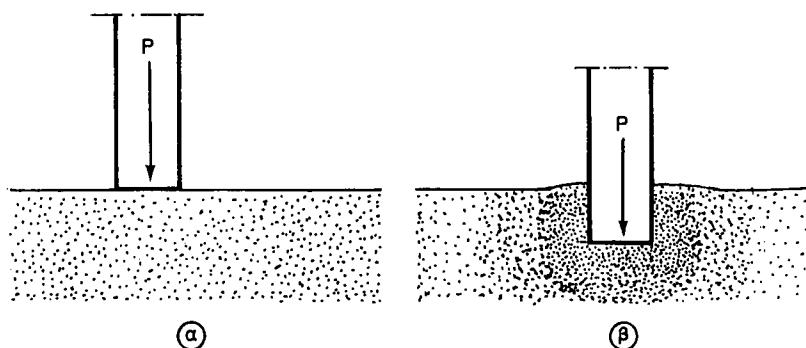
Όταν λοιπόν εφαρμόσουμε πάνω σε ένα χαλαρό έδαφος πρόσθετα φορτία, οι κόκκοι του μετακινούνται και τελικά η επιφάνεια του χαμηλώνει, παρουσιάζεται δηλαδή μια **καθίζηση**. Ο μηχανισμός, που προκαλεί αυτή την καθίζηση, είναι τέτοιος, ώστε το φαινόμενο παρουσιάζεται σχεδόν αμέσως, μόλις επιβληθούν τα πρόσθετα φορτία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα χαλαρά εδάφη έχουν τέτοια θέση ή τέτοια γεωμετρική μορφή, ώστε οι κόκκοι τους είναι ελεύθεροι να αλλάξουν θέση. Μπορούν δηλαδή ή να κατολισθήσουν προς τα κάτω ή να διαρρεύσουν πλευρικά και να προκαλέσουν τη διόγκωση (σχ. 3.1γ) της ελεύθερης επιφάνειάς τους. Στις δυσμενέστερες περιπτώσεις οι κόκκοι μπορεί να μη φθάνουν ποτέ σε νέες θέσεις με ευ-



Σχ. 3.1β.

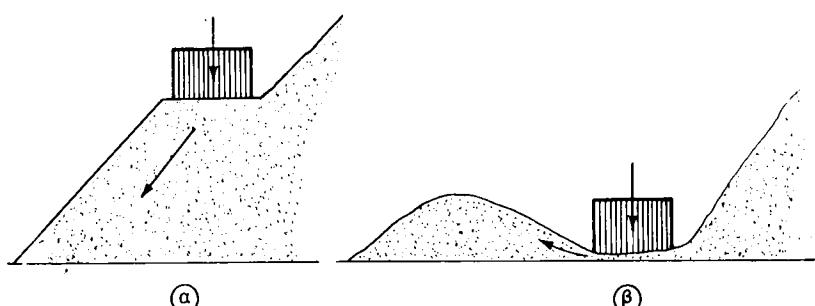
α) Κόκκοι εδάφους, που πιέζουν ο ένας τον άλλον με δυνάμεις πολύ λοξές σχετικά με τις επιφάνειες επαφής τους. β) Με μικρή μετακίνηση των κόκκων καθένας από αυτούς στηρίζεται σε περισσότερα σημεία και οι δυνάμεις γίνονται σχεδόν κάθετες με τις επιφάνειες επαφής.



Σχ. 3.1γ.

Μετακίνηση και συμπύκνωση κόκκων χαλαρού εδάφους κάτω από την επίδραση μιας δυνάμεως: α) Πριν το φαινόμενο. β) Μετά το φαινόμενο.

σταθή ισορροπία (σχ. 3.1δ). Σε τέτοια εδάφη δεν μπορεί γενικά να θεμελιωθεί έργο και έτσι έχει δημιουργηθεί η εσφαλμένη, αλλά συνηθισμένη στους μη ειδικούς γνώμη, ότι δεν είναι δυνατόν να κτίσει κανείς πάνω στην άμμο.



Σχ. 3.1δ.

Κατολίσθηση κόκκων άμμου, που δεν είναι εγκιβωτισμένη, κάτω από την επίδραση μιας δυνάμεως: α) Πριν το φαινόμενο. β) Μετά το φαινόμενο.

Τα χαλαρά εδάφη είναι εξαιρετικά υδροπερατά και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο οι κόκκοι τους είναι μεγαλύτεροι και η κοκκομετρική τους σύνθεση χειρότερη. Η υδροπερατότητα των χαλαρών εδαφών γίνεται επικίνδυνη, όταν το νερό κυκλοφορεί μέσα τους με τέτοια ταχύτητα, ώστε να παρασύρει μαζύ του τους πιο λεπτούς κόκκους και έτσι να γίνει αιτία για απρόβλεπτες καθιζήσεις.

Αντίθετα, αν το νερό δεν κινείται με ταχύτητα, οι ιδιότητες και ο όγκος των χαλαρών εδαφών δεν επηρεάζονται σημαντικά από το ποσοστό του νερού που περιέχουν. Όταν τα εδάφη αυτά απορροφήσουν νερό για πρώτη φορά, ο όγκος τους μειώνεται αμέσως, ιδίως όταν οι κόκκοι είναι λεπτοί, επειδή μειώνεται ο συντελεστής τριβής τους και έτσι μετακινούνται με την επίδραση του βάρους τους, για να πάρουν θέσεις με πιο ευσταθή ισορροπία. Όταν όμως, έπειτα από το πρώτο βρέχιμο, μειώνεται ή αυξάνεται η υγρασία του εδάφους, ο όγκος του δεν αλλάζει αισθητά, εκτός αν έχει μεσολαβήσει αναμόχλευση του εδάφους. Με την αναμόχλευση οι κόκκοι παίρνουν πάλι θέσεις με ασταθή ισορροπία και το αποτέλεσμα είναι μια νέα αύξηση του όγκου του εδάφους.

Όταν το έδαφος είναι αρκετά υγρό, οι κόκκοι του περιβάλλονται από ένα στρώμα νερού, που κολλάει γύρω τους, επειδή αναπτύσσονται δυνάμεις συνάφειας άναμεσα στο νερό και τους κόκκους. Συγχρόνως όμως αναπτύσσονται και δυνάμεις συνοχής ανάμεσα στα στρώματα νερού, που περιβάλλουν τους γειτονικούς κόκκους και οι δυνάμεις αυτές αντιδρούν στον αποχωρισμό τους. Έτσι μπορούν να μεταβιβασθούν από τον ένα κόκκο στον άλλο και μικρές εφελκυστικές δυνάμεις, οπότε το έδαφος παίρνει τη μορφή ενός ενιαίου σώματος, που παρουσιάζει κάποια πλαστικότητα.

Όταν το νερό αυξηθεί ακόμα, οι κόκκοι διαχωρίζονται από συνεχείς μάζες νερού και το έδαφος παρουσιάζει πια ιδιότητες υγρού, όπου δεν μπορούν να μεταβιβαστούν καθόλου εφελκυστικές δυνάμεις.

Όταν οι κόκκοι του εδάφους είναι χονδροί, δεν παρουσιάζεται καθόλου η ενδιάμεση φάση, δηλαδή εκείνη που το έδαφος εμφανίζει κάποια πλαστικότητα. Το έδαφος με άλλα λόγια αρχίζει να ρέει, όταν το ποσοστό της υγρασίας ξεπεράσει κάποιο όριο, που εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους, πριν ακόμα αρχίσει να συμπεριφέρεται ως ενιαίο σώμα.

Για να καταστήσομε το φαινόμενο αυτό πιο κατανοητό, αναφέρομε ως παράδειγμα ότι μπορούμε να δημιουργήσομε σχήματα (φόρμες) ή προσωρινά κτίσματα με ψιλή άμμο, ενώ κάτι τέτοιο είναι εντελώς αδύνατο για ένα χαλικώδες έδαφος.

### **γ) Πηλώδη και αργιλώδη εδάφη.**

Αυτές οι κατηγορίες εδαφών περιλαμβάνουν τα γαιώδη εδάφη με τους λεπτότερους κόκκους, δηλαδή με κόκκους μικρότερους από 0,08 mm ή 80 μ (μικρά = εκατομμυριοστά του μέτρου). Όταν η διάμετρος των κόκκων κύμαίνεται ανάμεσα στα 5 και τα 80 μ το έδαφος ονομάζεται **πηλώδες ή ίλισώδες**. Όταν η διάμετρος των κόκκων είναι μικρότερη από 5 μ το έδαφος ονομάζεται **αργιλώδες** και μάλιστα για κόκκους μικρότερους από 1 μ η άργιλος λέγεται και **κολλοειδής**.

Τα ορυκτά, που αποτελούν τους κόκκους στα πηλώδη και αργιλώδη εδάφη, είναι και αυτά διάφορα, όπως και στην περίπτωση των χαλαρών εδαφών. Γενικά οι κόκκοι τους προέρχονται από την αποσάθρωση μαλακών πετρωμάτων ή από απο-

σάθρωση σκληρών πετρωμάτων, που συνοδεύεται όμως από χημικές αντιδράσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα προϊόντα με μικρότερη σκληρότητα. Στην περίπτωση αυτή η σύσταση και σι ιδιότητες των προϊόντων δεν είναι οι ίδιες, όπως στα αρχικά πετρώματα.

Συνήθως τα αργιλώδη εδάφη αποτελούνται από διάφορα οξείδια, υδροξείδια και άλατα του αργιλίου (αλουμινίου Al), που τους έχουν δώσει και την ονομασία τους. Είναι συγχρόνως πλούσια και σε οξείδια άλλων μετάλλων, π.χ. σιδήρου, χαλκού κλπ., στα οποία συνήθως χρωστούν το χρωματισμό τους. Στα πηλώδη εδάφη οι μεγαλύτεροι κόκκοι είναι συνήθως χαλαζιακοί, αποτελούνται δηλαδή από διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ). Όταν αντίθετα κυριαρχούν κόκκοι ασβεστολιθικοί ( $\text{CaCO}_3$ ), τότε τα πηλώδη εδάφη λέγονται και **μάργες**.

Τα πηλώδη και αργιλώδη εδάφη είναι σχεδόν αδιαπέραστα από το νερό, αν και το απορροφούν εύκολα. Παρουσιάζουν δηλαδή μεγάλη **απορροφητικότητα**, αλλά αντιδρούν στην απομάκρυνση του νερού από τη μάζα τους, επομένως στην πράξη περιέχουν πάντοτε ένα σημαντικό ποσοστό υγρασίας. Σημειώνομε ότι ένα σώμα μπορεί να έχει απορροφητικότητα, να είναι όπως λέμε **υδρεμποτιστό**, χωρίς να είναι και **υδροπερατό**, επειδή ο δυο αυτές έννοιες είναι εντελώς διαφορετικές η μια από την άλλη.

Είδαμε ότι στα αμμώδη εδάφη, όταν η υγρασία ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, οι κόκκοι δείχνουν σα να έχουν συγκολληθεί και αποτελούν ένα ενιαίο πλαστικό σώμα. Στα πηλώδη και ιδιάτερα στα αργιλώδη εδάφη το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο και μπορούμε να πλάσομε με αυτά λεπτούς κυλίνδρους, χωρίς να χάνεται η συνοχή τους.

Η κυριότερη διαφορά ανάμεσα στα εδάφη αυτά και τα χαλαρά, που εξετάσθηκαν προηγουμένως, είναι η ακόλουθη: 'Όταν το ποσοστό του νερού, που περιέχει ένα πηλώδες ή αργιλώδες έδαφος, πέσει κάτω από το όριο πλαστικότητας, οι κόκκοι του δεν ξεχωρίζουν και πάλι ο ένας από τον άλλο, όπως συμβαίνει με την άμμο. Αντίθετα μάλιστα, όταν το έδαφος στεγνώσει, μοιδζεί με στερεό σώμα, που τρίβεται όμως εύκολα. Γ' αυτό το λόγο τα πηλώδη και αργιλώδη εδάφη ονομάζονται και **συνεκτικά**.

Το ποσοστό του νερού, που περιέχουν τα συνεκτικά εδάφη, δεν επηρεάζει μόνο τις φυσικές τους ιδιότητες, αλλά και τον όγκο τους. Όσο περισσότερο νερό απορροφούν αυτά τα εδάφη, τόσο φουσκώνουν, ενώ, όταν το νερό αυτό φεύγει, συρρικνύνονται. Οι αλλαγές αυτές του όγκου μπορούν να προκαλέσουν το φούσκωμα ή το χαμήλωμα της ελεύθερης επιφάνειάς τους. Πιο συνηθισμένο αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας είναι οι ρωγμές, που παρουσιάζονται στα συνεκτικά εδάφη, όταν στεγνώσουν πολύ. Οι ρωγμές αυτές, που μπορεί να φθάσουν σε πλάτος μεγαλύτερο και από εκατοστό του μέτρου, είναι πολύ χαρακτηριστικές για τα εδάφη αυτά σε περιόδους μεγάλης ξηρασίας (σχ. 3.1ε).

'Όπως έχουμε αναφέρει, στα συνεκτικά εδάφη οι κόκκοι περιβάλλονται πάντοτε από μόρια νερού, που είναι αδύνατον να χωρισθούν από αυτούς. Έτσι, ανάμεσα στους κόκκους αναπτύσσονται δυνάμεις συνάφειας είτε υπάρχει πρόσθετο νερό είτε όχι και επομένως οι κόκκοι μπορούν να μεταβιβάσουν στους γειτονικούς τους τις δυνάμεις, όχι μόνο κάθετα, αλλά και λοξά ως προς την επιφάνεια επαφής τους [σχ. 3.1β(α)]. Όταν λοιπόν εφαρμοσθούν στο έδαφος πρόσθετα φορτία, οι κόκκοι



Σχ. 3.1ε.

Ρωγμές στην επιφάνεια αργιλικού εδάφους σε περίοδο ξηρασίας.

δεν μετακινούνται όπως στα χαλαρά εδάφη και έτσι δεν παρουσιάζεται αμέσως σημαντική καθίζηση. Ακόμα και ο κίνδυνος να διαρρεύσει το έδαφος, όταν η θέση του ή η μορφή του δίνουν στους κόκκους την ελευθερία να μετακινηθούν, είναι πολύ περιορισμένος σε σύγκριση με τα χαλαρά εδάφη (σχ. 3.1δ). Μπορεί βέβαια να συμβεί κάτι τέτοιο, αλλά μόνον όταν η επιφάνεια του εδάφους έχει τόσο μεγάλη κλίση, που θα ήταν αδύνατο να παρουσιασθεί σε ένα χαλαρό έδαφος.

Όλα αυτά μας δείχνουν ότι τα συνεκτικά εδάφη, αν και αποτελούνται από κόκκους με πολύ μικρότερη αντοχή, είναι πολλές φορές σε θέση να παραλάβουν μεγαλύτερα φορτία από ό,τι τα χαλαρά εδάφη. Αυτό συμβαίνει, επειδή συμπεριφέρονται μάλλον ως συμπαγή στερεά, παρά ως σύνολα από ασύνδετους κόκκους.

Πρέπει πάντως να τονίσουμε ότι τα συνεκτικά εδάφη δεν είναι ασυμπίεστα. Αντίθετα είναι συνήθως πολύ συμπιεστά, αλλά ο μηχανισμός, που καταλήγει στη μείωση του όγκου τους, είναι διαφορετικός από κείνον, που προκαλεί τις καθιζήσεις στα χαλαρά εδάφη. Όταν εφαρμόσουμε σ' ένα συνεκτικό έδαφος πρόσθετα φορτία, οι κόκκοι του δεν αλλάζουν σχετικές θέσεις, επειδή τα μόρια του νερού, που τους περιβάλλουν, αντιδρούν σ' αυτό, αλλά η πίεση του νερού, που βρίσκεται ανάμεσα στους κόκκους αυξάνεται. Το νερό τότε έχει την τάση να απομακρυνθεί και να κινηθεί προς άλλες περιοχές του εδάφους, όπου η πίεση είναι μικρότερη,

σύμφωνα με τους νόμους της υδραυλικής. Η κίνηση αυτή γίνεται πολύ αργά, επειδή αντιδρούν οι δυνάμεις συνάφειας, γι' αυτό άλλωστε τα εδάφη αυτά έχουν τόσο μικρή διαπερατότητα. Η απομάκρυνση αυτή του νερού επιτρέπει στους κόκκους να πλησιάσουν πιο πολύ ο ένας τον άλλο, για να γεμίσουν τα κενά, που αφήνει το νερό φεύγοντας, χωρίς να αλλάξουν σχετικές θέσεις. Έτσι παρουσιάζεται μια καθίζηση του εδάφους, που συντελείται όμως με πολύ βραδύ ρυθμό. Θεωρητικά συνεχίζεται επ' άπειρον, πρακτικά όμως μπορούμε να δεχθούμε ότι συμπληρώνεται μέσα σε μερικούς μήνες.

### **δ) Οργανικά εδάφη.**

Συχνά ανάμεσα στους κόκκους κυρίως των συνεκτικών εδαφών υπάρχουν και οργανικά υλικά, που προέρχονται από την αποσύνθεση φυτών ή ζώων. Τα υλικά αυτά έχουν μια χαρακτηριστική μυρωδιά και, επειδή συνήθως περιέχουν και ελεύθερο άνθρακα (C), δίνουν στο έδαφος ένα χαρακτηριστικό μαύρο ή σκούρο γκρίζο χρώμα. Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται με το λατινικό όρο **χούμους** ή **χούμος** (*Humus* = χους = χώμα), συνήθως όμως τα λέμε **φυτικά εδάφη**. Όταν ο ελεύθερος άνθρακας βρίσκεται σε μεγάλο ποσοστό, τόσο που να μπορούν τα εδάφη να πάρουν φωτιά, τα χαρακτηρίζουμε ως **τύρφη**.

Τα οργανικά εδάφη μοιάζουν με τα πηλώδη και αργιλώδη. Κοκκομετρικά υπάγονται στα κολλοειδή, οι κόκκοι τους δηλαδή είναι μικρότεροι από ένα μικρό. Από χημική άποψη τα εδάφη αυτά είναι ασταθή, επειδή περιέχουν συχνά ηλεκτρολύτες, που μπορούν να αντιδράσουν με τα διάφορα δομικά υλικά και να προκαλέσουν δυσάρεστα φαινόμενα. Πολλά συστατικά τους επίσης καίγονται σιγά - σιγά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, μετατρέπονται σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα και έτσι στη θέση τους μένουν κενά.

Για όλους αυτούς τους λόγους τα οργανικά εδάφη είναι ακατάλληλα για τη θεμελίωση δομικών έργων. Ευτυχώς αποτελούν συνήθως ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα, που πρέπει να απομακρύνεται και η θεμελίωση να γίνεται στο γερό έδαφος, που βρίσκεται από κάτω και υπάγεται σε άλλη κατηγορία. Αν πάντως για κάποιο ειδικό λόγο χρειασθεί να θεμελιωθεί ένα έργο σε τέτοιο έδαφος, χρειάζεται να ληφθούν σοβαρές προφυλάξεις, όχι μόνο επειδή οι ιδιότητές του είναι δυσμενείς, αλλά κυρίως επειδή αλλάζουν με τον καιρό. Επίσης πρέπει να εξασφαλισθούν τα θεμέλια από τους κινδύνους των χημικών αντιδράσεων, που μπορεί να παρουσιασθούν ανάμεσα στις οργανικές ενώσεις του εδάφους και τα κονιάματα, το σιδερένιο οπλισμό κλπ. του έργου.

### **3.2 Κατάταξη σύμφωνα με εμφανείς χαρακτηριστικές ιδιότητες.**

Σπάνια στη φύση συναντούμε εδάφη, που μπορούν στό σύνολό τους να υπαχθούν σε μια από τις προηγούμενες τυπικές κατηγορίες. Ο κανόνας είναι ότι τα εδάφη είναι μικτά, προέρχονται δηλαδή από ανάμιξη σε διαφορετικά κάθε φορά ποσοστά των τυπικών εδαφών που περιγράφονται στην παράγραφο 3.1. Έτσι, εκτός από τα βραχώδη εδάφη, διακρίνομε οκτώ κύριες κατηγορίες χαλαρών, δηλαδή χονδροκόκκων εδαφών και επτά κατηγορίες συνεκτικών δηλαδή λεπτοκόκκων εδαφών. Κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται διεθνώς με δύο λατινικά κεφαλαία γράμματα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2.1.

**Πίνακας 3.2.1.**  
**Κατάταξη εδαφών**

Βασικός διαχωρισμός εδαφών	Σύμβολο κατηγορίας	Αντιπροσωπευτική ονομασία
Βράχοι	—	Εδάφη βραχώδη και ημιβραχώδη
Εδάφη χονδροκοκκαί χαλαρά	Χαλικια κάτι εδάφη χαλικώδη	GW Χαλίκια με καλή κοκκομετρική σύνθεση. Αμμοχάλικα με λίγους ή χωρίς λεπτούς κόκκους
		GP Χαλίκια με κακή κοκκομετρική σύνθεση. Αμμοχάλικα με λίγους ή χωρίς λεπτούς κόκκους
		GM Χαλίκια πηλώδη. Αμμοχάλικα με πηλό και κακή κοκκομετρική σύνθεση
		GC Χαλίκια αργιλώδη. Αμμοχάλικα με άργιλο και κακή κοκκομετρική σύνθεση
	Άμμοι και εδάφη αμμώδη	SW Άμμος με καλή κοκκομετρική σύνθεση. Άμμος με λίγα ή χωρίς χαλίκια και λεπτούς κόκκους
		SP Άμμος με κακή κοκκομετρική σύνθεση. Άμμος με λίγα ή χωρίς χαλίκια και λεπτούς κόκκους
		SM Άμμος πηλώδης. Άμμος με πηλό και κακή κοκκομετρική σύνθεση
		SC Άμμος αργιλώδης. Άμμος με άργιλο και κακή κοκκομετρική σύνθεση
Εδάφη λεπτόκοκκα ή συνεκτικά	Πηλοί και άργιλοι ML < 50	ML Πηλός ανόργανος και άμμος πολύ λεπτόκοκκη, βραχώδεις παιπάλες, άμμος πηλώδης ή αργιλώδης λεπτόκοκκη με ελάχιστη πλαστικότητα
		CL Άργιλος ανόργανη με μέση ή μικρή πλαστικότητα, άργιλος χαλικώδης, άργιλος αμμώδης, άργιλος πηλώδης, ισχνή άργιλος
		OL Οργανικοί πηλοί, οργανικό μίγμα πηλού-άργιλου με μικρή πλαστικότητα
	Πηλοί και άργιλοι ML > 50	MH Ανόργανος πηλός, μαρμαρυγιακά ή διατομούχα λεπτόκοκκα αμμώδη ή αργιλώδη εδάφη, πλαστικός πηλός
		CH Ανόργανη άργιλος με μεγάλη πλαστικότητα, παχειά άργιλος
		OH Οργανική άργιλος με μέση ως μεγάλη πλαστικότητα
	Οργανικά εδάφη.	RT Χούμος, τύρφη και άλλα εδάφη έντονα οργανικά

Η κατάταξη στις κατηγορίες αυτές γίνεται, αφού εκτελεσθούν ορισμένες δοκιμές στο εργαστήριο, μπορεί όμως να γίνει με ικανοποιητική ακρίβεια και με απλές παρατηρήσεις επί τόπου, όταν κανείς έχει αρκετή πείρα και διαθέτει μερικά στοιχειώδη όργανα. Σημειώνομε ότι πριν από την κατάταξη πρέπει να αφαιρεθούν από το έδαφος οι πέτρες, δηλαδή οι κόκκοι με διάμετρο πάνω από 80 mm και να σημειωθεί τι ποσοστό του περίπου αντιπροσωπεύουν.

Η βασική διάκριση στις δύο μεγάλες κατηγορίες είναι εύκολη. Αν περάσουμε το έδαφος, αφού το ξεράνουμε και το κονιορτοποιήσουμε, από ένα κόσκινο No 200, που έχει διάμετρο τρύπας περίπου 0,08 mm, θα θεωρήσουμε το έδαφος χονδρόκοκκο, αν η ποσότητα, που θα περάσει από το κόσκινο, είναι μικρότερη από αυτή που θα συγκρατηθεί. Στην αντίθετη περίπτωση το έδαφος χαρακτηρίζεται λεπτόκοκκο. Σημειώνομε ότι και χωρίς κόσκινο μπορούμε να εκτιμήσουμε το ποσοστό των κόκκων, που είναι μικρότεροι από 0,08 mm, γιατί αυτοί δεν διακρίνονται με το μάτι και δίνουν την εντύπιαση της σκόνης.

**Τα χονδρόκοκκα εδάφη** χωρίζονται πάλι σε δύο μεγάλες ομάδες. Αν περάσουμε το έδαφος, αφού το στεγνώσουμε, από ένα κόσκινο No 4, που έχει διάμετρο τρύπας περίπου 5 mm, θα θεωρήσουμε το έδαφος **χαλικώδες**, αν η ποσότητα που θα περάσει από το κόσκινο είναι μικρότερη από αυτή που θα συγκρατηθεί. Στην αντίθετη περίπτωση το έδαφος χαρακτηρίζεται ως **αμμώδες**. Και γ' αυτό τον έλεγχο όταν υπάρχει αρκετή πείρα, δεν χρειάζεται το κόσκινο, για να διαπιστώσει κανείς αν το έδαφος είναι αμμώδες ή χαλικώδες, αν δηλαδή κυριαρχούν οι κόκκοι με διάμετρο μεγαλύτερη ή μικρότερη από 5 mm.

Τα χαλικώδη εδάφη κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες. Οι δύο πρώτες είναι χαλίκια ή μίγματα χαλικιών και άμμου χωρίς καθόλου ή με πολύ λίγους λεπτούς κόκκους, δηλαδή μικρότερους από 0,08 mm. Οι άλλες δύο έχουν αξιόλογο ποσοστό λεπτών κόκκων και είναι επομένως χαλίκια με πηλό και άργιλο ή μίγματα χαλικιών, άμμου και πηλού ή αργίλου.

Η κατηγορία GW είναι χαλίκια ή μίγματα χαλικιών με άμμο χωρίς λεπτούς κόκκους και με καλή κοκκομετρική σύνθεση, ενώ η κατηγορία GP έχει κακή κοκκομετρική σύνθεση. Όπως έχομε πει μια κοκκομετρική σύνθεση θεωρείται καλή, όταν τα διάφορα μεγέθη κόκκων συμμετέχουν περίπου με τα ίδια ποσοστά. Είναι επομένως πολύ εύκολο σ' ένα έμπειρο μάτι να διακρίνει μια καλή από μια κακή κοκκομετρική σύνθεση. Σημειώνομε ότι, όσο καλύτερη είναι η κοκκομετρική σύνθεση, τόσο πυκνότερο και ανθεκτικότερο είναι το έδαφος.

Η κατηγορία GM είναι χαλίκια ή μίγματα χαλικιών με άμμο με σημαντικό ποσοστό πηλού, ενώ η κατηγορία GC έχει σημαντικό ποσοστό αργίλου. Έτσι τα εδάφη της κατηγορίας GM λέγονται πηλώδη χαλίκια ή αμμοχάλικα, ενώ της κατηγορίας GC λέγονται αργιλώδη χαλίκια ή αμμοχάλικα. Η διάκριση του πηλού από την άργιλο μπορεί να γίνει εύκολα, αν βάλομε λίγο από το έδαφος στο σόμα μας και το μασήσουμε. Ο πηλός τρίζει στα δόντια, ενώ η άργιλος δεν τρίζει.

Τα αμμώδη εδάφη κατατάσσονται και αυτά σε τέσσερις κατηγορίες. Οι δύο πρώτες δεν έχουν καθόλου ή έχουν πολύ λίγους λεπτούς κόκκους, δηλαδή μικρότερους από 0,08 mm. Οι άλλες δύο αντίθετα είναι μίγματα άμμου με πηλό ή άργιλο.

Η κατηγορία SW είναι άμμος χωρίς πολλούς λεπτούς κόκκους και με καλή κοκ-

κομετρική σύνθεση. Η κατηγορία SP αντίθετα είναι αμμος χωρίς πολλούς λεπτούς κόκκους, αλλά με κακή κοκκομετρική σύνθεση.

Η κατηγορία SM είναι άμμος πηλώδης, ενώ η κατηγορία SC είναι άμμος αργιλώδης.

**Τα λεπτόκοκκα ή συνεκτικά εδάφη** χωρίζονται πάλι σε δύο μεγάλες ομάδες. Τα εδάφη της πρώτης έχουν όριο υδαρότητας μικρότερο από 50, ενώ της δεύτερης έχουν μεγαλύτερο. Αυτό σημαίνει ότι στα εδάφη της δεύτερης ομάδας, όταν η υγρασία τους ξεπεράσει το μισό του βάρους τους, αυτά εξακολουθούν να συμπεριφέρονται σα μια πλαστική μάζα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι περιέχουν πολύ λίγους χονδρούς κόκκους. Η διάκριση αυτή μπορεί να γίνει εύκολα, όταν υπάρχει αρκετή πείρα, χωρίς δοκιμή στο εργαστήριο.

Η λεπτομερέστερη διάκριση σε κατηγορίες των συνεκτικών εδαφών εξαρτάται από δύο ακόμα παράγοντες. Ο πρώτος είναι η περιεκτικότητά τους σε οργανικές ύλες. Οι ύλες αυτές μπορεί να παρουσιάζονται με τη μορφή κομματιών από ξυλαράκια, φύλλα, ρίζες σε κάποιο βαθμό αποσυνθέσεως, μπορεί όμως η αποσύνθεση να έχει φθάσει σε τέτοιο σημείο, που να μη διακρίνεται πια το σχήμα των οργανικών καταλοίπων. Οι οργανικές ύλες τότε γίνονται αντιληπτές από τη μυρωδιά του εδάφους και από το χρώμα του, που είναι πολύ σκούρο, ακόμα και μαύρο. Το έδαφος μπορεί να είναι στο σύνολό του οργανικό, οπότε χαρακτηρίζεται ως χούμος ή τύρφη και κατατάσσεται στην κατηγορία PT, μπορεί όμως να περιέχει και σημαντικό ποσοστό ανόργανης ύλης. Στην τελευταία αυτή περίπτωση κατατάσσεται στην κατηγορία OL, αν το όριο υδαρότητας είναι μικρότερο από 50, και στην κατηγορία OH, αν το όριο υδαρότητας είναι μεγαλύτερο. Τα εδάφη OL παρουσιάζουν χαμηλό δείκτη πλαστικότητας περίπου 4 ως 7, ενώ τα εδάφη OH έχουν δείκτες πλαστικότητας αρκετά μεγαλύτερους.

Ο δεύτερος παράγοντας, που καθορίζει την κατηγορία των συνεκτικών εδαφών, είναι ακριβώς ο δείκτης πλαστικότητας, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στα όρια πλαστικότητας και υδαρότητας. Έτσι τα ανόργανα εδάφη με όριο υδαρότητας κάτω από 50 χωρίζονται στην κατηγορία ML, που παρουσιάζει μικρό δείκτη πλαστικότητας 4 ως 7 περίπου, και στην κατηγορία CL, που παρουσιάζει αρκετή πλαστικότητα. Τα εδάφη της πρώτης κατηγορίας βρίσκονται στα όρια των συνεκτικών εδαφών, είναι δηλαδή μήγματα λεπτοκόκκων όμμων και πηλών ή παιπάλης, δηλαδή προϊόντων από κονιοποιημένους μαλακούς βράχους. Τα εδάφη της κατηγορίας CL είναι αργιλικά, αλλά με αρκετό ποσοστό χαλικιών, άμμου ή πηλού.

Τα ανόργανα εδάφη με όριο υδαρότητας πάνω από 50 χωρίζονται και χαρακτηρίζονται στην κατηγορία MH, που παρουσιάζει μικρό ως μέτριο δείκτη πλαστικότητας, και στην κατηγορία CH, που παρουσιάζει δείκτη πλαστικότητας υψηλό.

Τα εδάφη της πρώτης κατηγορίας είναι κυρίως πηλοί, ενώ τα εδάφη της δεύτερης είναι παχιές άργιλοι.

Ο δείκτης πλαστικότητας μετριέται στο εργαστήριο, είναι όμως πολύ εύκολο να εκτιμηθεί περίπου το μέγεθός του επί τόπου, αν πάρομε ένα δείγμα εδάφους και του προσθέσουμε νερό σιγά - σιγά διαπιστώνοντας πότε γίνεται πλαστικό και πότε υδαρές. Μετρώντας τις ποσότητες του εδάφους και του νερού με ένα απλό κύπελλο, μπορούμε να εκτιμήσουμε με ικανοποιητική προσέγγιση τα όρια του Atteberg και να αποφασίσουμε σε ποια κατηγορία πρέπει να κατατάξουμε το συγκεκριμένο έδαφος.

### 3.3 Κατάταξη σύμφωνα με τη φυσική πυκνότητα, το σχήμα των κόκκων κλπ.

Στην προηγούμενη παράγραφο κατατάξαμε τα μη βραχώδη εδάφη σε δεκαπέντε κατηγορίες. Αυτό δε σημαίνει ότι όλα τα εδάφη, που ανήκουν σε κάποια από τις κατηγορίες αυτές, έχουν τις ίδιες περίπου ιδιότητες. Αντίθετα μερικές ιδιότητες, που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα, όπως π.χ. η αντοχή, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από το ένα έδαφος στο άλλο, έστω και αν ανήκουν αυτά στην ίδια κατηγορία.

Μεγάλη σημασία έχει η φυσική πυκνότητα, που παρουσιάζει κάθε έδαφος. Στην περίπτωση των χονδροκόκκων εδαφών μπορούμε να διαπιστώσουμε πόσο συμπυκνωμένα είναι τα εδάφη αυτά, αν καρφώσομε ένα ξύλινο πάσσαλο με τετράγωνη διατομή  $50 \times 50$  mm. Ανάλογα με τον αριθμό των κτυπημάτων, που έχουν μια ορισμένη ένταση και χρειάζονται για να προχωρήσει ο πάσσαλος σε ορισμένο βάθος, μπορούμε να κατατάξουμε το έδαφος σε **αραιό, μέτριο ή πυκνό**.

Σημασία έχει και η μορφή των κόκκων, που μπορεί να είναι με γωνίες, μισοστρογγυλεμένοι, στρογγυλεμένοι, πλακοειδείς κλπ. Για την ίδια συμπύκνωση η αντοχή του εδάφους μικραίνει, όσο προχωρούμε από το πρώτο προς το τελευταίο σχήμα.

Στην περίπτωση των λεπτοκόκκων εδαφών η φυσική πυκνότητα μπορεί να διαπιστωθεί πολύ εύκολα. Το έδαφος χαρακτηρίζεται μαλακό, όταν εύκολα μπορεί να μπήξουμε μέσα του όλον τον αντίχειρα. Αν αυτό χρειάζεται κάποια προσπάθεια, τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται μέτριο. Το έδαφος χαρακτηρίζεται συμπαγές, όταν χαράζεται εύκολα με το νύχι, αλλά με πολύ μεγάλη προσπάθεια μπορεί να εισχωρήσει μέσα του ο αντίχειράς μας. Αν αυτό είναι τελείως αδύνατο, το έδαφος χαρακτηρίζεται πολύ συμπαγές και τέλος, αν με δυσκολία χαράζεται με το νύχι, χαρακτηρίζεται σκληρό. Μια τέτοια σκληρή άργιλος συμπεριφέρεται σχεδόν όπως ένας μαλακός βράχος.

Στην αντοχή των εδαφών, αλλά και γενικότερα στη συμπεριφορά τους, συντελεί σε μεγάλο βαθμό και η φυσική τους υγρασία. Το έδαφος μπορεί να είναι **στεγνό**, όταν η υγρασία του δε γίνεται άμεσα αντιληπτή, ή **υγρό**, όταν η υγρασία του είναι περίπου εκείνη, που δίνει την καλύτερη συμπύκνωση. Μπορεί να είναι **πολύ υγρό**, όταν η υγρασία του ξεπερνάει τη βέλτιστη, πράγμα που σημαίνει ότι η αντοχή του είναι μικρότερη. Τέλος μπορεί να είναι **κορεσμένο**, σταν βρίσκεται κάτω από τη στάθμη των υπογείων νερών. Είναι απαραίτητο λοιπόν, όταν εξετάζουμε ένα έδαφος, να εντοπίζουμε και τη στάθμη αυτή των νερών και μάλιστα να προσπαθούμε, συγκεντρώνοντας διάφορες πληροφορίες, να μάθομε πόσο μεταβάλλεται κατά τις διάφορες εποχές του έτους.

Επειδή η μεταβολή της υγρασίας, ιδίως στα λεπτόκοκκα εδάφη, μεταβάλλει πολύ τις ιδιότητές τους αλλά και τον όγκο τους, είναι απαραίτητο να διαπιστώνομε κάθε φορά, πώς μεταβάλλεται η υγρασία του εδάφους που μας ενδιαφέρει. Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται κατά την κατασκευή ή μετά την αποπεράτωση του έργου να παίρνομε ειδικά μέτρα, ώστε να περιορίζομε τη μεταβολή της υγρασίας του εδάφους μέσα στα επιθυμητά δρια.

### 3.4 Εδαφοτεχνική έρευνα.

Για να κατατάξουμε ένα έδαφος σε μια από τις κατηγορίες, που αναφέραμε στις

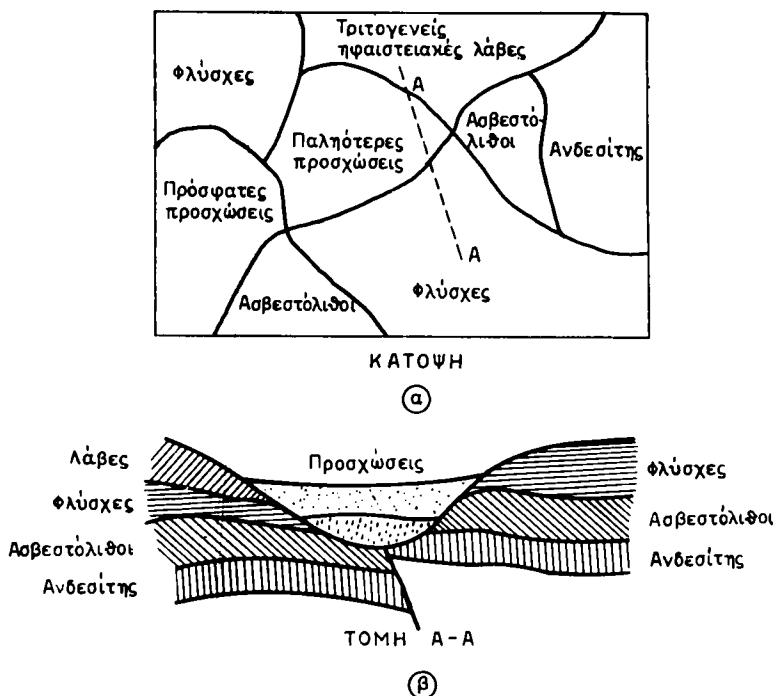
προηγούμενες παραγράφους, και για να διαπιστώσουμε γενικότερα τις ιδιότητές του, πρέπει να προβούμε σε κάποια έρευνα, που ονομάζεται **εδαφοτεχνική έρευνα**. Η έρευνα αυτή μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο διεξοδική, ανάλογα με το μέγεθος και τον προϋπολογισμό του έργου, αλλά και με το είδος του και τη σημασία του γενικότερα.

Η πλήρης έρευνα, που είναι απαραίτητη για τα πολύ σημαντικά έργα, όπως π.χ. για ένα φράγμα, αρχίζει με **γεωλογική μελέτη** της περιοχής, συνεχίζεται με **γεωτρήσεις** και συλλογή **δειγμάτων** στη θέση του έργου και τελειώνει στο **εδαφοτεχνικό εργαστήριο**, όπου πραγματοποιείται μια ολόκληρη σειρά από μετρήσεις και δοκιμές. Τα συμπεράσματα από όλα αυτά διατυπώνονται σε μια σειρά από εκθέσεις, που αποτελούν την **εδαφοτεχνική μελέτη**.

Σε μικρότερα έργα μπορούν να καταργηθούν μερικά από τα προηγούμενα στάδια, όπως η γεωλογική μελέτη ή οι εργαστηριακές δοκιμές. Μπορεί ακόμα να αντικατασταθούν οι γεωτρήσεις με απλές **πενετρομετρήσεις** ή με **δοκιμαστικά φρέατα**. Τέλος η έρευνα μπορεί να περιορισθεί σε μια απλή παρατήρηση με μερικές πρόχειρες δοκιμές, που μπορούν να γίνουν στο ύπαιθρο χωρίς αξιόλογα εργαλεία, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 3.2.

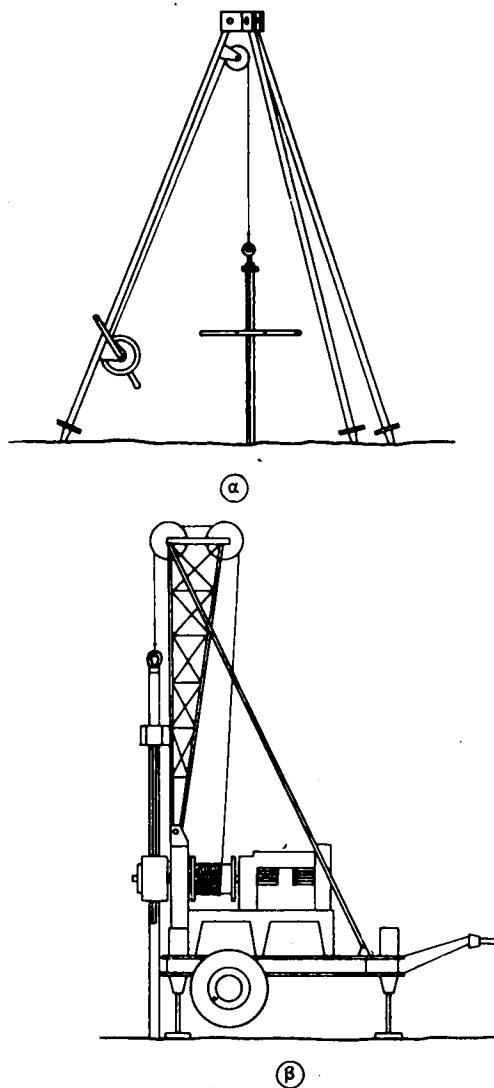
Στα επόμενα αναφέρουμε μερικά πράγματα σχετικά με τις διάφορες φάσεις μιας ολοκληρωμένης εδαφοτεχνικής έρευνας.

— Η **γεωλογική μελέτη** οδηγεί στη σύνταξη ενός γεωλογικού χάρτη της περιοχής και μερικών χαρακτηριστικών γεωλογικών τομών (σχ. 3.4a). Τα στοιχεία, που



Σχ. 3.4a.  
α) Γεωλογικός χάρτης περιοχής. β) Γεωλογική τομή Α-Α.

χρειάζονται, για να φθάσουμε σ' αυτό το αποτέλεσμα, συγκεντρώνονται με την παρατήρηση των επιφανειακών πετρωμάτων και από την εικόνα, που παρουσιάζουν φυσικές τομές του εδάφους, όπως π.χ. κοίτες χειμάρρων, ή και τεχνητές τομές, όπως π.χ. πηγάδια, θεμέλια γειτονικών έργων κλπ. ή ακόμα και δοκιμαστικά φρέατα ή γεωτρήσεις, που γίνονται ειδικά για το σκοπό αυτό. Υπάρχουν και πιο προχωρημένες μέθοδοι για τη γεωλογική έρευνα, όπως η μέτρηση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων, που μπορούμε να προκαλέσουμε με μια ειδική συσκευή, η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, η μέτρηση των μεταβολών της βαρύτητας κλπ.



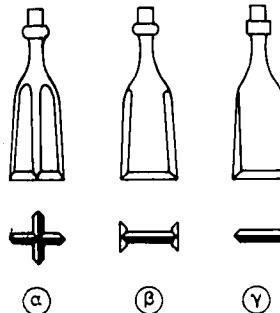
**Σχ. 3.4β.**  
Γεωτρύπανα.  
α) Χειροκίνητο. β) Μηχανικό.

— Οι γεωτρήσεις γίνονται με γεωτρύπανα κρουστικά ή περιστροφικά. Κάθε γεωτρύπανο (σχ. 3.4β) αποτελείται από το κοπτικό εργαλείο (σχ. 3.4γ, 3.4δ), τα στελέχη του και τη διάταξη για την έμπηξη, όπου εφαρμόζονται κρουστικές ή περιστροφικές δυνάμεις.

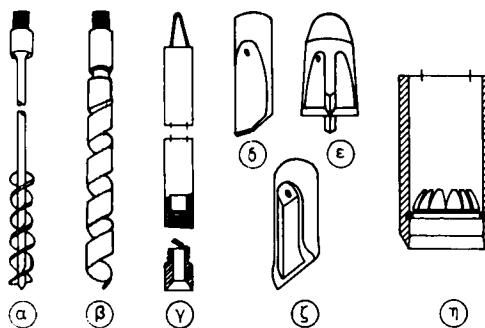
Η γεώτρηση δίνει πληροφορίες για το έδαφος με δύο τρόπους:

α) Με τη μέτρηση της αντιστάσεως, που παρουσιάζει το έδαφος στο προχώρημα του γεωτρυπάνου και

β) με τα δείγματα του εδάφους, που μπορούμε να πάρομε από το βάθος, όπου βρίσκεται το κοπτικό εργαλείο.



Σχ. 3.4γ.  
Κοπτικά εργαλεία για γεωτρύπανα κρουστικά.



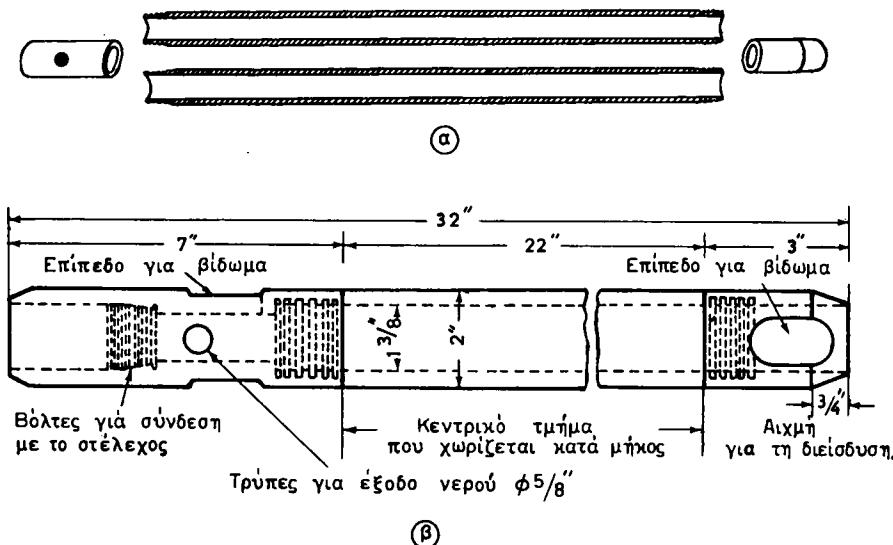
Σχ. 3.4δ.

Διάφοροι τύποι κοπτικών εργαλείων: Τα δ) ε) και ζ) είναι τα ίδια με κείνα του σχήματος 3.4γ. Τα γ) και η) λειτουργούν και σαν αρμαντλίες, για να πάρνουν δείγματα από το έδαφος.

Στο σχήμα 3.4ε φαίνεται ο **πρότυπος δειγματολείπτης**, ένα όργανο που μπορεί να εξυπηρετήσει και τους δύο αυτούς σκοπούς, αν τοποθετηθεί στη θέση του κοπτικού εργαλείου του γεωτρυπάνου. Ο αριθμός των κρούσεων (με φορτίο 65 kg, που πέφτει από ύψος 75 cm), που χρειάζονται, για να προχωρήσει ο δειγματολήπτης μέσα στο έδαφος κατά 30 cm, χαρακτηρίζει την ποιότητα του εδάφους, ιδιαίτερα όταν αυτό είναι συνεκτικό, όπως φαίνεται στον πίνακα (4.4.1). Η δοκιμή αυ-

τη λέγεται **δοκιμή πρότυπης διεισδύσεως** και είναι σκόπιμο να γίνεται συχνά, όσο προχωράει η γεώτρηση, και ιδιαίτερα, όπου φαίνεται ότι αλλάζει η ποιότητα του εδάφους. Ταυτόχρονα με τη δοκιμή αυτή το κοίλωμα του δειγματολήπτη γεμίζει με το έδαφος και έτσι εξασφαλίζομε και τα δείγματα.

Οι γεωτρήσεις μας δίνουν ακόμα πληροφορίες για τα υπόγεια νερά. Διαπιστώνομε σε ποιο βάθος τα συναντάμε, τι πίεση έχουν και μπορούμε να πάρομε δείγματα, για να εξακριβώσουμε τη χημική τους σύσταση.



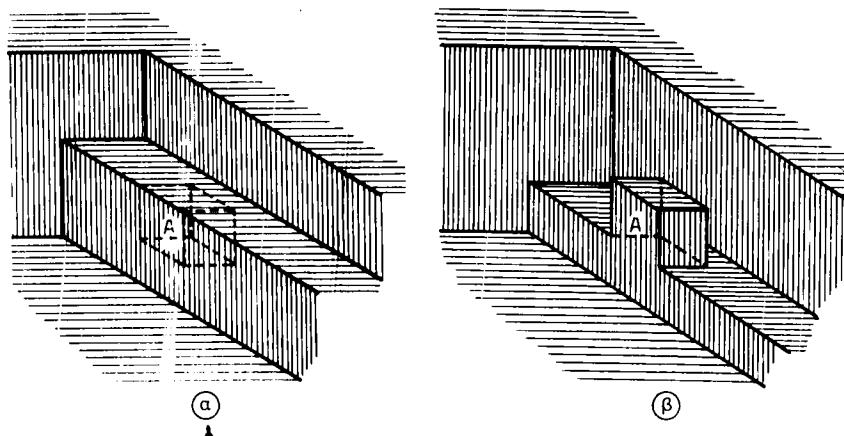
Σχ. 3.4ε.

Πρότυπος δειγματολήπτης: α) Πριν συναρμολογηθεί. β) Συναρμολογημένος με τις διαστάσεις του.

Επειδή οι γεωτρήσεις είναι γενικά δαπανηρές, είναι δυνατό να τις αντικαταστήσουμε με **πενετρομετρήσεις** ή να χρησιμοποιήσουμε **δοκιμαστικές ράβδους**. Τα **πενετρόμετρα** και οι **δοκιμαστικές ράβδοι** μοιάζουν με μικρά γεωτρύπανα, πολλές φορές χειροκίνητα, που ορισμένοι τύποι τους επιτρέπουν και τη συλλογή δειγμάτων. Με τα όργανα αυτά κυρίως μετράμε την αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση της αιχμής τους. Το κόστος είναι μικρότερο, αλλά και το βάθος περιορισμένο, όπως και η αξία των πληροφοριών που μας δίνουν.

Για να αποφύγομε τελείως το μηχανικό εξοπλισμό, μπορούμε να περιορισθούμε σε **δοκιμαστικά φρέατα**, που σκάβονται με συνηθισμένα εργαλεία. Βέβαια το βάθος των φρεάτων αυτών είναι περιορισμένο, έχομε όμως καλύτερη εικόνα του υπεδάφους, ενώ η δυσκολία εκσκαφής μας παρέχει και αυτή πληροφορίες για την ποιότητα του εδάφους, και μπορούμε εύκολα να πάρομε δείγματα (σχ. 3.4στ).

Τα δείγματα του εδάφους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα **διαταραγμένα** και τα **αδιατάρακτα**. Αδιατάρακτο λέγεται ένα δείγμα, όταν οι κόκκοι του εδάφους έχουν διατηρήσει τις σχετικές τους θέσεις και αποστάσεις, όπως ακριβώς ήταν μέσα στο έδαφος. Είναι φυσικό ότι είναι αρκετά δύσκολο να πάρομε αδιατάρακτα



Σχ. 3.4στ.

Διαδοχικές φάσεις στο σκάψιμο δοκιμαστικού φρέατος με σκοπό να πάρομε το αδιατάρακτο δείγμα του εδάφους Α.

<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> <b>ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</b>
ΕΡΓΟ: <u>Γέφυρα Αχελώου</u>
ΔΕΙΓΜΑ: <u>524</u>
ΘΕΣΗ: <u>Γεωτρηση Γ5, βάθος 18,40m</u>
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: <u>5/4/62</u>
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: <u>Το δείγμα εχει παρθεί με αρμαντλία και είναι διαταραγμένο.</u>

Σχ. 3.4ζ.

Δελτίο που συνοδεύει δείγμα εδάφους.

δείγματα και για μερικά εδάφη πρακτικά αδύνατο. Τα αδιατάρακτα δείγματα, που παίρνομε με τον πρότυπο δειγματολήπτη, είναι κυλινδρικά και λέγονται κοινώς **καρόττα**.

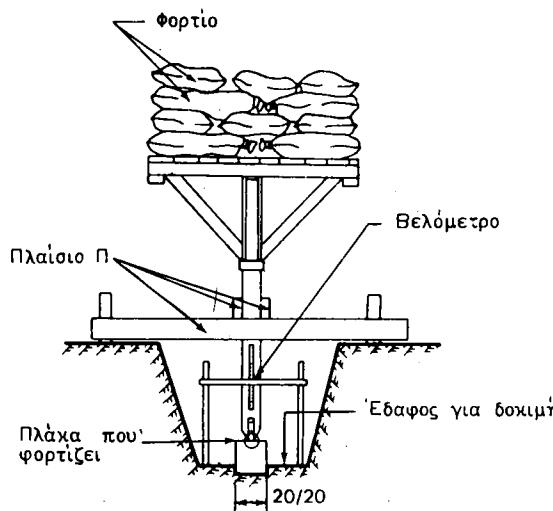
Τα δείγματα πρέπει να μπαίνουν σε ειδικούς σάκκους και να συνοδεύονται πάν-

τοτε από ένα δελτίο (σχ. 3.4ζ) με όλα τα χρήσιμα στοιχεία τους. Τα αδιατάρακτα δείγματα χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή στη συσκευασία τους. Αφού καλυφθούν με ένα στρώμα παραφίνης πάχους τουλάχιστον δύο χιλιοστών, μπαίνουν μέσα σε ειδικά μεταλλικά κουτιά.

Στο **εργαστήριο** μπορούν να γίνουν πολλών ειδών δοκιμές και μετρήσεις ανάλογα με το είδος και τη σημασία του έργου. Οι κυριότερες από τις δοκιμές αυτές είναι:

- α) Προσδιορισμός της κοκκομετρικής συνθέσεως.
- β) Προσδιορισμός ειδικού βάρους, φαινόμενου βάρους κλπ.
- γ) Προσδιορισμός υγρασίας.
- δ) Προσδιορισμός κενών.
- ε) Προσδιορισμός ορίων Atteberg (υδαρότητας, πλαστικότητας, συρρικνώσεως).
- στ) Προσδιορισμός βέλτιστης υγρασίας.
- ζ) Δοκιμή συμπυκνώσεως Proctor.
- η) Αντίσταση σε διείσδυση βελόνας Proctor.
- θ) Δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη.
- ι) Δοκιμή σε τριαξονική θλίψη.
- ια) Μέτρηση υδροπερατότητας.
- ιβ) Προσδιορισμός ποσοστών διαφόρων χημικών ενώσεων κλπ.

Παληότερα για την έρευνα του εδάφους συνηθίζοταν η δοκιμαστική φόρτιση ή και η δοκιμαστική πασσάλωση. Σήμερα θεωρείται γενικά ότι με τις μεθόδους αυτές δεν πάρνομε αξιόπιστες πληροφορίες για την ποιότητα του εδάφους.

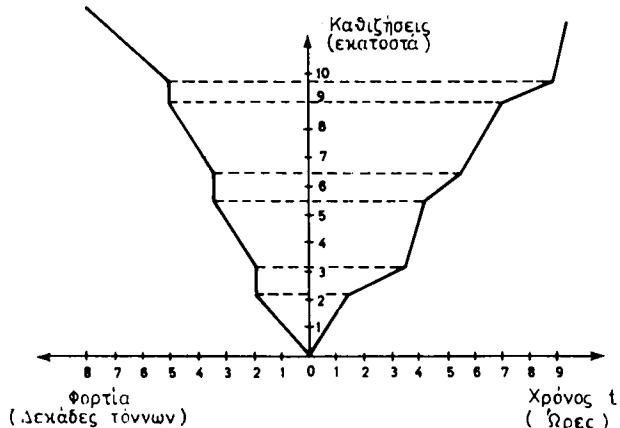


**Σχ. 3.4η.**

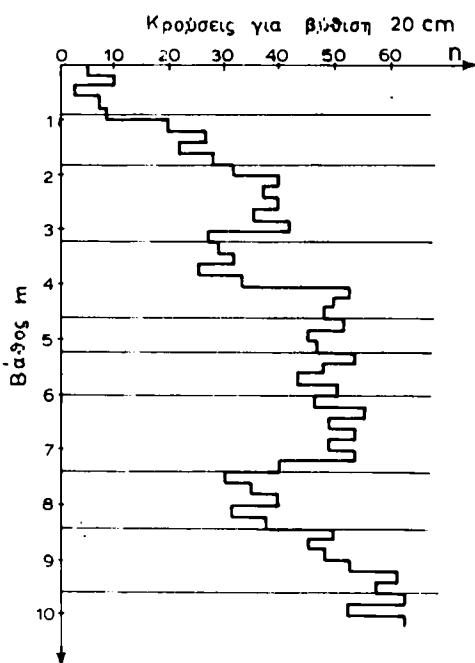
Δοκιμαστική φόρτιση του εδάφους. Π = πλαίσιο, που δε φορτίζεται, για να κρεμιούνται από αυτό τα βελόμετρα.

Με τη δοκιμαστική φόρτιση του εδάφους (σχ. 3.4η) διαπιστώνομε πόσο το έδαφος υποχωρεί, όσο αυξάνονται τα φορτία που το πιέζουν. Μπορούμε έτσι να σχε-

διάσομε ένα διάγραμμα (σχ. 3.4θ), όπου φαίνονται οι καθιζήσεις, τα αντίστοιχα φορτία, όπως και ο χρόνος που χρειάσθηκε, για να πραγματοποιηθούν αυτές οι καθιζήσεις. Το διάγραμμα αυτό μπορεί να μας δώσει κάποια ιδέα, πώς θα συμπεριφερθεί το έδαφος θεμελιώσεως, όταν θα φορτισθεί με το βάρος του έργου, που πρόκειται να κατασκευασθεί.



**Σχ. 3.4θ.**  
Διάγραμμα φορτίων - χρόνου - καθιζήσεων για μια δοκιμαστική φόρτιση εδάφους.



**Σχ. 3.4ι.**  
Διάγραμμα κρούσεων καθιζήσεων για το  
μπήξιμο δοκιμαστικού πασσάλου.

Στις δοκιμαστικές πασσαλώσεις παρακολουθούμε την αντίσταση, που παρουσιάζει το έδαφος στη διείσδυση του πασσάλου. Καταλήγομε έτσι σε ένα διάγραμμα (σχ. 3.4i), που δείχνει αμέσως, που αλλάζει η ποιότητα του εδάφους. Με τη δοκιμαστική πασσάλωση πληροφορούμαστε για την ποιότητα του εδάφους σε μεγαλύτερα βάθη, ενώ η δοκιμαστική φόρτιση μας δίνει πληροφορίες μόνο για τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους. Όταν ο πάσσαλος καρφωθεί γίνεται και μια δοκιμαστική φόρτισή του, για να διαπιστωθεί πόσο υποχωρεί. Έτσι μπορούμε να έχομε πάλι ένα διάγραμμα όπως αυτό του σχήματος (3.4θ). Οι δοκιμαστικές πασσαλώσεις και η φόρτιση των δοκιμαστικών πασσάλων είναι απαραίτητες, όταν το έργο πρόκειται να θεμελιωθεί με πασσάλους, επειδή μόνο μ' αυτό τον τρόπο μπορούμε να υπολογίσομε με σχετική ακρίβεια τα φορτία, που θα είναι ικανοί να σηκώσουν οι πάσσαλοι της θεμελιώσεως.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

#### 4.1 Γενικά.

Όταν κατασκευασθεί ένα δομικό έργο, εφαρμόζονται στο έδαφος ορισμένα φορτία, που δημιουργούν μέσα στη μάζα του πιέσεις. Πιέσεις βέβαια υπάρχουν πάντοτε μέσα στο έδαφος, ακόμα και όταν δεν υπάρχει κανένα φορτίο στην επιφάνειά του. Οι πιέσεις αυτές δημιουργούνται κυρίως από το βάρος των στρωμάτων του ίδιου του εδάφους, που βρίσκονται πάνω από το σημείο, που εξετάζομε. Έτσι η θεμελίωση ενός έργου δεν γίνεται αιτία να παρουσιασθούν πιέσεις μέσα στο έδαφος, αλλά να μεταβληθούν, συνήθως να αυξηθούν, αυτές που ήδη υπάρχουν (σχ. 4.1α).

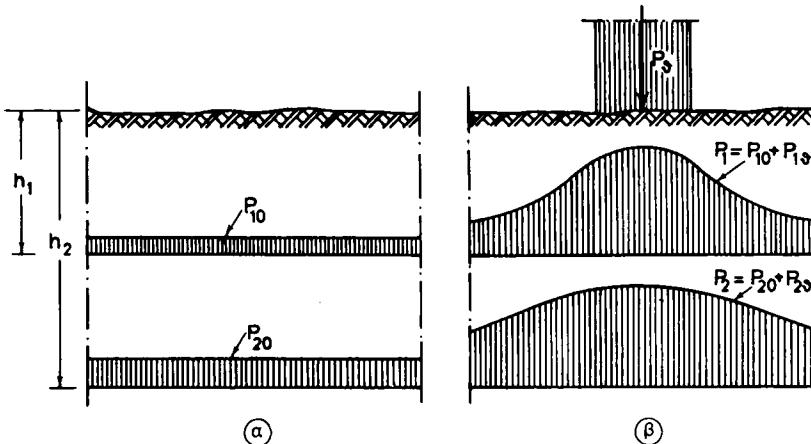
Για να υπολογίσομε τις μεταβολές αυτές των πιέσεων, χρειάζεται να γνωρίζομε τόσο τα φορτία του έργου όσο και τις ιδιότητες του εδάφους και τις πιέσεις, που υπάρχουν ήδη σε κάθε σημείο του. Ο υπολογισμός αυτός δεν είναι καθόλου απλός, αλλά κάποια σχετική ιδέα μπορεί να μας δώσει η εξαιρετικά απλή περίπτωση του σχήματος 4.1β. Δεχόμαστε ότι το έδαφος έχει οριζόντια επίπεδη επιφάνεια, εκτείνεται στο άπειρο και είναι εντελώς ομοιόμορφο και ισότροπο, δηλαδή έχει τις ίδιες ιδιότητες προς όλες τις διευθύνσεις. Στην επιφάνεια του εδάφους και σε ένα ορισμένο σημείο της ο εφαρμόζεται ένα συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο  $P$ .

Σε τυχαίο σημείο του εδάφους  $M$ , που βρίσκεται σε βάθος  $h$  και σε οριζόντια απόσταση  $x$  από τη διεύθυνση του φορτίου  $P$  υπάρχει μια κατακόρυφη πίεση:

$$\sigma = \frac{3h^3}{2\pi \sqrt{(x^2 + h^2)^6}} \cdot P$$

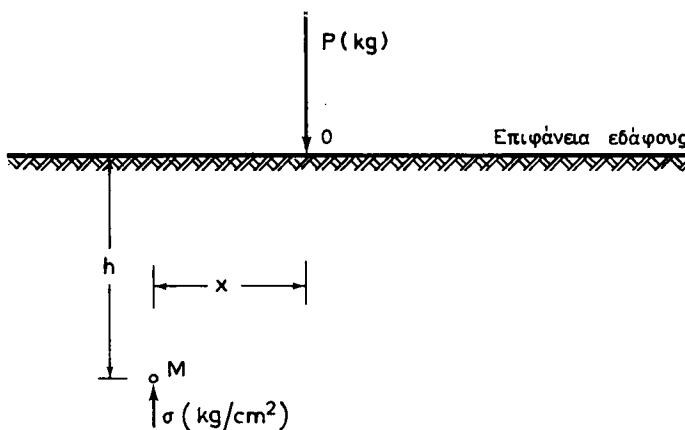
Ο τύπος αυτός οφείλεται στο Γάλλο φυσικομαθηματικό Joseph Boussinesq (1842 - 1929). Στην πραγματικότητα τα φορτία είναι πολλά, δεν είναι συγκεντρωμένα σε σημεία, το έδαφος δεν είναι ούτε ομοιόμορφο ούτε ισότροπο και η επιφάνειά του δεν είναι πάντοτε οριζόντια. Χρειάζονται λοιπόν πολύ πιο δύσκολοι υπολογισμοί, για να βρούμε τις πιέσεις, που αναπτύσσονται τουλάχιστον σε ορισμένα κρίσιμα σημεία του εδάφους.

Αυτό που πρέπει να γνωρίζομε σε κάθε περίπτωση είναι, πώς και πόσο μπορούν να μεταβληθούν οι πιέσεις μέσα στο έδαφος, χωρίς να προκαλέσουν φαινόμενα, που θα είχαν ως αποτέλεσμα να πάθει ζημιές το έργο ή να μην μπορεί να λειτουργήσει σύμφωνα με τις επιθυμίες μας. Έπειτα πρέπει να συγκρίνομε τις α-



Σχ. 4.1α.

α) Μέσα στο έδαφος υπάρχουν πάντοτε πιέσεις  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  κ.ο.κ., που μεγαλώνουν, όσο προχωρούμε βαθύτερα. β) Όταν ένα θεμέλιο φορτίσει το έδαφος με ένα φορτίο  $P_\theta$ , οι πιέσεις μέσα στο έδαφος μεγαλώνουν τοπικά κατά τις πιέσεις  $P_{1\theta}$ ,  $P_{2\theta}$  κ.ο.κ., που προκαλεί το θεμέλιο.



Σχ. 4.1β.

Αύξηση της πιέσεως σε τυχαίο σημείο του εδάφους, όταν στην οριζόντια επιφάνειά του ενεργεί ένα συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο  $P$  σύμφωνα με τον τύπο του Boussinesq.

νεκτές αυτές μεταβολές των πιέσεων με τις μεταβολές που υπολογίζομε ότι θα πραγματοποιηθούν, και ανάλογα με το αποτέλεσμα της συγκρίσεως να δεχθούμε τη λύση, που προτείνεται για τη θεμελίωση του έργου ή να προσπαθήσουμε να βρούμε μια καλύτερη.

Το έδαφος, όπως και κάθε άλλο σώμα, παθαίνει ορισμένες μεταβολές στον όγκο και στο σχήμα του, όταν μεταβάλλονται οι πιέσεις, που υπάρχουν μέσα στη μάζα του. Οι μεταβολές αυτές λέγονται **παραμορφώσεις**. Από τις διάφορες παραμορφώσεις του εδάφους, αυτή που γίνεται πιο αντιληπτή και που ενδιαφέρει και πε-

ρισσότερο στην κατασκευή των δομικών έργων, είναι η **καθιζηση**, δηλαδή η υποχώρηση της ελεύθερης επιφάνειάς του, όπου και εφαρμόζονται τα πρόσθετα φορτία.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζομε πάντοτε από πριν, τουλάχιστον προσεγγιστικά, ποιες καθιζήσεις του εδάφους πρόκειται να παρουσιασθούν, όταν κατασκευασθεί το έργο. Αυτό απαιτείται πρώτα, για να ελέγξουμε αν οι καθιζήσεις αυτές είναι ανεκτές για την ασφάλεια και τη σωστή λειτουργία του έργου, και έπειτα για να προβλέψουμε την κατασκευή του έργου με τέτοιο τρόπο, που να μην πάθει καμιά ζημιά από τις καθιζήσεις αυτές.

## 4.2 Καθιζήσεις.

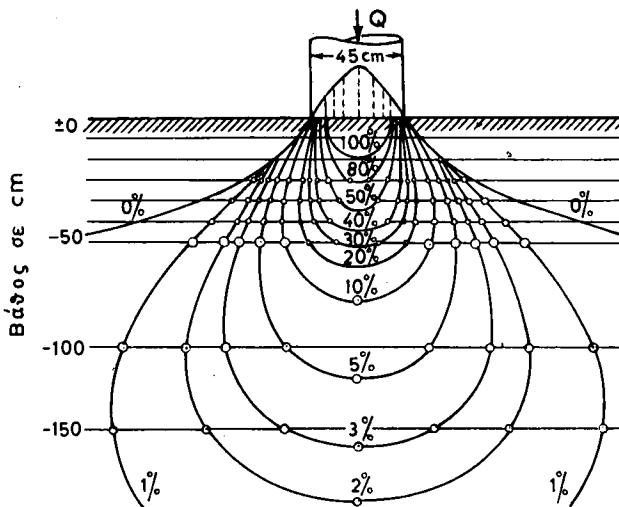
Όταν επιβάλλομε πάνω στο έδαφος ένα φορτίο, το έδαφος παραμορφώνεται και η παραμόρφωση μεγαλώνει, όσο μεγαλώνει και το φορτίο. Η παραμόρφωση μεγαλώνει και όσο περνάει ο καιρός, έστω και αν δεν μεγαλώνει το φορτίο. Το μέγεθος της παραμορφώσεως, που παρουσιάζεται αμέσως, σε σύγκριση με το συνολικό της μέγεθος, όπως και ο χρόνος, που χρειάζεται, για να συμπληρωθεί πρακτικά η παραμόρφωση, διαφέρουν από το ένα έδαφος στο άλλο. Στα χαλαρά εδάφη το σύνολο σχεδόν των παραμορφώσεων πραγματοποιείται, μόλις επιβληθεί το φορτίο και το υπόλοιπο συμπληρώνεται πολύ γρήγορα. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στα συνεκτικά εδάφη.

Όταν αφαιρέσουμε το φορτίο, αναιρέίται και ένα μέρος από την παραμόρφωση. Όσο μικρότερο είναι το φορτίο και όσο λιγότερο χρόνο διατηρείται, τόσο μικρότερο είναι και το ποσοστό, που παραμένει ως μόνιμη παραμόρφωση. Γενικά το έδαφος παρουσιάζει κάποια σχετική **ελαστικότητα\*** και οι παραμορφώσεις του είναι περίπου **ανάλογες** με τα φορτία, όπως συμβαίνει και με τα άλλα στερεά σώματα. Πρέπει πάντως να σημειώσουμε, ότι οι ιδιότητες αυτές παρουσιάζονται σε πολύ μικρότερό βαθμό από ότι στα μέταλλα, το σκυρόδεμα, τα ξύλα και τα άλλα δομικά υλικά.

Μια άλλη διαφορά ανάμεσα στα υλικά αυτά και στο έδαφος είναι ότι το τελευταίο έχει διαστάσεις πρακτικά απεριόριστες. Η παραμόρφωσή του, και ειδικότερα η καθιζηση της επιφάνειάς του, είναι πραγματικά το άθροισμα των παραμορφώσεων όλων του των τμημάτων, όπου μεταβάλλονται οι πιέσεις, όταν επιβληθεί ένα φορτίο. Η μεταβολή αυτή των πιέσεων δεν είναι παντού η ίδια, όπως θα ήταν περίπου σε ένα στερεό σώμα με περιορισμένες διαστάσεις, αλλά μικραίνει, όπως είδαμε όσο μεγαλώνει το βάθος και η οριζόντια απόσταση από το σημείο, όπου επιβάλλεται το φορτίο.

Στο σχήμα 4.2α φαίνεται ένα διάγραμμα, που δείχνει ακριβώς, πώς μεταβάλλονται οι πιέσεις στα διάφορα σημεία του εδάφους. Το συμπέρασμα είναι ότι, σε βάθος λίγο μεγαλύτερο από το πλάτος της επιφάνειας που φορτίζεται, η πίεση του εδάφους αυξάνεται μόλις κατά το  $\frac{1}{3}$  της πιέσεως  $p$ , που αναπτύσσεται στην επιφά-

\* Ιδιότητα ενός σώματος να ξαναπαίρνει την αρχική του μορφή, όταν λείψει η αιτία, που προκάλεσε κάποια παραμόρφωση



Σχ. 4.2α.

Αύξηση των πιέσεων του εδάφους κάτω από μια κυκλική πλάκα που το φορτίζει.

$$(Οι πιέσεις εκφράζονται σε ποσοστά της πιέσεως \quad P = \frac{Q}{F}$$

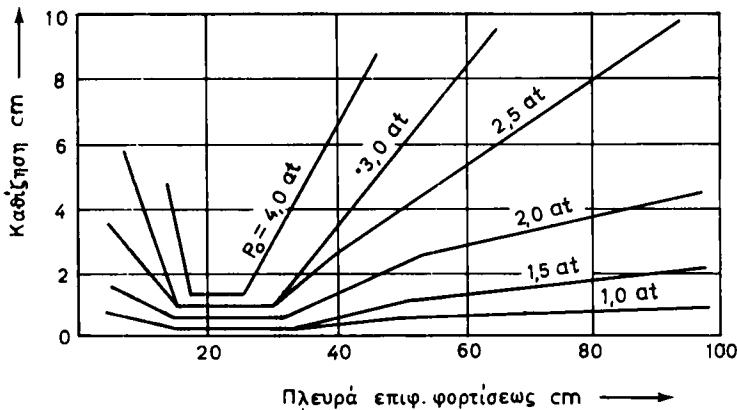
$$\text{όπου: } F = \frac{\pi}{4} \cdot 45^2 \text{ cm}^2).$$

νεία του εδάφους. Σε τριπλάσιο βάθος η αύξηση της πιέσεως είναι μόνο το  $\frac{1}{20}$  της ρ. Από εκεί και πέρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχει πρακτικά αύξηση των πιέσεων ούτε αισθητή παραμόρφωση. Οι μεταβολές των πιέσεων είναι αξιόλογες μέσα σ' ένα τμήμα του εδάφους, που έχει σχήμα βολβού με πλάτος περίπου ίσο με το βάθος του. Μόνο στο εσωτερικό αυτού του βολβού προκαλούνται παραμορφώσεις.

Το διάγραμμα του σχήματος 4.2α αναφέρεται σε φόρτιση κυκλικής επιφάνειας με διάμετρο 45 cm. Αν φορτίσουμε μια τετράγωνη επιφάνεια με πλευρά 45 cm, το διάγραμμα θα αλλάξει λίγο και ο βολβός θα προχωρήσει σε λίγο μεγαλύτερο βάθος. Αν η επιφάνεια είναι ορθογωνική με μικρή πλευρά 45cm, ο βολβός θα προχωρεί ακόμα βαθύτερα, όσο η άλλη πλευρά μεγαλώνει. Οι διαφορές πάντως δεν είναι πολύ μεγάλες και οι καμπύλες, που ενώνουν τα σημεία με την ίδια μεταβολή πιέσεως, έχουν πάντοτε την ίδια περίπου μορφή.

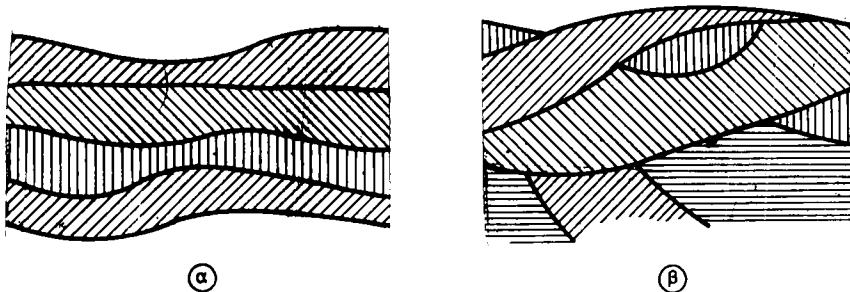
Το κυριότερο συμπέρασμα από όσα είπαμε ως τώρα είναι ότι, όσο πιο πλατύ είναι ένα θεμέλιο, τόσο βαθύτερα φθάνουν οι μεταβολές των πιέσεων και επομένως παραμορφώνονται και στρώματα του εδάφους σε μεγαλύτερο βάθος. Επομένως για μια ορισμένη πίεση ρ στην επιφάνεια θεμελιώσεως η καθίζηση είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο πλατύ είναι το θεμέλιο. Αυτό βέβαια είναι σωστό, εφ' όσον η επιφάνεια του εδάφους που φορτίζεται δεν είναι πολύ μικρή. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, όπως π.χ. κατά την έμπηξη πασσάλων, η καθίζηση μπορεί να είναι μεγαλύ-

τερη, επειδή οι κόκκοι του εδάφους διαρρέουν προς τα πλάγια, δηλαδή με άλλα λόγια το έδαφος θραύεται. Η μεγάλη αυτή καθίζηση, που μάλλον πρέπει να χαρακτηρισθεί ως διείσδυση, φαίνεται στο αριστερό μέρος του διαγράμματος στο σχήμα 4.2β.



Σχ. 4.2β.

Για την ίδια πίεση  $\rho_0$  οι καθίζησεις μεγαλώνουν, όσο μεγαλώνει η επιφάνεια που φορτίζει το έδαφος.  
Οι καθίζησεις μεγαλώνουν απότομα και όταν η επιφάνεια αυτή είναι εξαιρετικά μικρή.



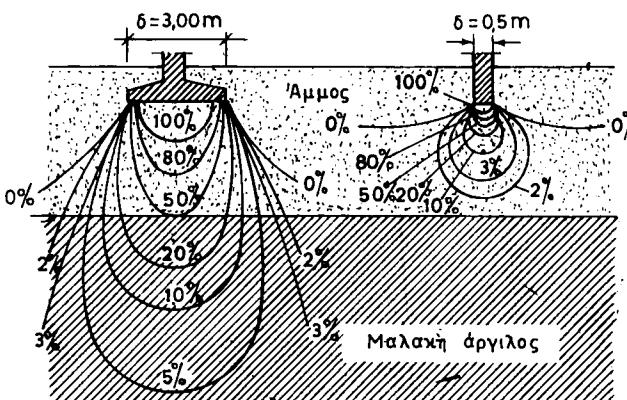
Σχ. 4.2γ.

Στρώματα έδαφους: α) Με κανονική διάταξη: β) Με άτακτη διάταξη.

Πάντοτε σχεδόν στην ίδια περιοχή συναντάμε πολλών ειδών εδάφη. Ο κανόνας είναι κάθε είδος να αποτελεί ένα **στρώμα** και κάθε στρώμα να βρίσκεται πάνω σε κάποιο άλλο. Αυτό δεν σημαίνει ότι τα στρώματα είναι πάντοτε οριζόντια και με σταθερό πάχος. Αντίθετα κατά κανόνα παρουσιάζουν κάποια κλίση και το πάχος τους διαφέρει από το ένα σημείο στο άλλο. Μερικές μάλιστα φορές ένα είδος εδάφους παρουσιάζεται μόνο σε μια περιορισμένη έκταση και τότε λέμε ότι έχουμε **φλέβες** ή **φακούς** και όχι στρώματα για το ένα είδος αυτό του εδάφους (σχ. 4.2γ).

Όταν τα στρώματα του εδάφους είναι περίπου εξ ίσου συμπιεστά, παρουσιάζουν δηλαδή περίπου την ίδια παραμόρφωση για μια ορισμένη μεταβολή της πίεσεως, μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποιο προσεγγιστικό νόμο, που με κάποιο μα-

Θηματικό τύπο να μας δείχνει πόση θα είναι η καθίζηση, όταν γνωρίζομε το πλάτος του θεμελίου και την πίεση, που εφαρμόζει στην επιφάνεια του εδάφους. Όταν αντίθετα, όπως άλλωστε συμβαίνει τις περισσότερες φορές, κάθε στρώμα εδάφους έχει διαφορετική συμπιεστότητα, ο υπολογισμός των καθιζήσεων γίνεται δυσκολότερος. Όταν το πλάτος του θεμελίου μεγαλώσει, μπορεί αυτό να προκαλέσει την παραμόρφωση ενδός βαθύτερου στρώματος, που για μικρότερα πλάτη θεμελίων βρίσκεται έξω από το βολβό των πιέσεων (σχ. 4.26). Αν το βαθύτερο στρώμα είναι λιγότερο συμπιεστό, η καθίζηση θα είναι μικρότερη από αυτή που μας δίνουν οι υπολογισμοί, αν όμως συμβαίνει το αντίθετο, η καθίζηση μπορεί να αυξηθεί απότομα. Αυτός είναι ο κυριότερος λόγος, που η δοκιμαστική φόρτιση του εδάφους δεν θεωρείται καλή μέθοδος για την έρευνα του εδάφους. Αντίθετα οι γεωτρήσεις, όταν μάλιστα συνοδεύονται από συστηματικές δοκιμές πρότυπης



Σχ. 4.26.

Οι καθιζήσεις αυξάνουν απότομα, όταν το πλάτος των θεμελίων μεγαλώσει τόσο, ώστε ν' αρχίσουν να παρουσιάζουν αυξήσεις πιέσεων στρώματα εδάφους πολύ μαλακά, που μπορεί να βρίσκονται σε σχετικά μεγάλο βάθος.

διεισδύσεως, μας δίνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για μια καλή προσέγγιση στην πρόβλεψη των καθιζήσεων.

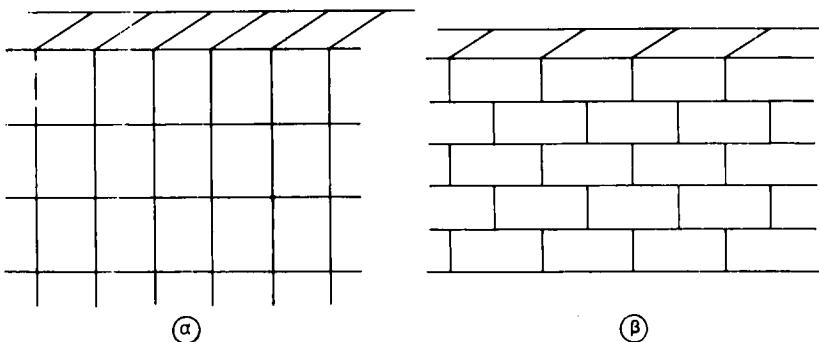
Το μέγεθος των καθιζήσεων του εδάφους, που θεωρούνται ανεκτές, διαφέρει από έργο σε έργο. Σε ένα λιμενικό έργο π.χ. μπορούμε να δεχθούμε καθιζήσεις αρκετών εκατοστών του μέτρου, πράγμα που θα ήταν απαράδεκτο για ένα κτήριο. Αυτό που ενοχλεί πιο πολύ, δεν είναι οι ίδιες οι καθιζήσεις, αλλά οι διαφορές τους από το ένα σημείο του θεμελίου στο άλλο. Αν μπορούσαμε να εξασφαλίσουμε ότι οι καθιζήσεις σε όλα τα σημεία των θεμελίων ενδός δομικού έργου θα ήταν ακριβώς οι ίδιες, τότε θα κατασκευάζαμε το έργο τόσο ψηλότερα, όσο θα προβλέπαμε ότι θα ήταν το μέγεθος της καθιζήσεως. Έτσι τελικά θα πετυχαίναμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στην πράξη οι καθιζήσεις σε κάθε σημείο των θεμελίων είναι διαφορετικές και, το χειρότερο, μόνο προσεγγιστικά μπορούμε να προβλέψουμε το μέγεθός τους. Οι διαφορές των καθιζήσεων οφείλονται:

- α) Στις διαφορετικές πιέσεις, που αναπτύσσονται σε κάθε σημείο του θεμελίου.  
 β) Στις διαφορετικές διαστάσεις των διαφόρων τμημάτων των θεμελίων.  
 γ) Στην ποιότητα του εδάφους, που μπορεί να διαφέρει από τη μια θέση στην άλλη.

Αλλά και οι διαφορές των καθιζήσεων του εδάφους, που θεωρούνται ανεκτές, διαφέρουν από έργο σε έργο. Αν προβλέπεται ότι το έργο θα κατασκευασθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε ορισμένα του κομμάτια να μπορούν να αλλάζουν λίγο τη θέση τους ανεξάρτητα από τα γειτονικά τους, μπορούμε να ανεχθούμε αρκετά μεγάλες διαφορές καθιζήσεων. Αν αντίθετα το έργο δεν παρουσιάζει τέτοιες δυνατότητες, οι διαφορές των καθιζήσεων μπορεί να είναι καταστρεπτικές. Εξ άλλου οι διαφορές αυτές μπορούν να δώσουν σ' ένα έργο απαράδεκτες κλίσεις, όπως στο κλασικό παράδειγμα του κεκλιμένου πύργου της Πίζας.

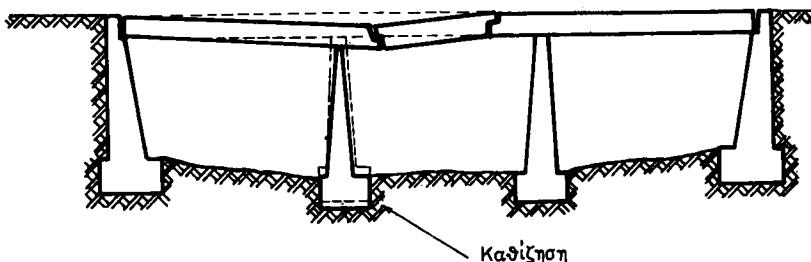
Για να αντιμετωπισθούν σημαντικές διαφορές καθιζήσεων, όπου αυτές είναι ανεκτές, η κατασκευή προβλέπει κατάλληλες διατάξεις. Έτσι στα λιμενικά έργα π.χ. οι ογκόλιθοι τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι αρμοί τους να μη συμπλέκονται, αντίθετα από αυτό που γίνεται, όταν κτίζομε με τούβλα (σχ. 4.2ε). Έτσι κάθε στήλη μπορεί να παρακολουθήσει διαφορετική καθίζηση του εδάφους, χωρίς να καταστραφεί το έργο.



Σχ. 4.2ε.  
Συστήματα για το κτίσιμο: α) Ογκολίθων. β) Τούβλων.

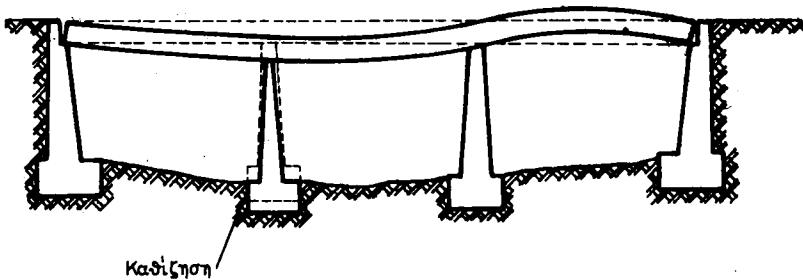
Οι γέφυρες πάλι κατασκευάζονται κατά κανόνα **ισοστατικές**, αν και η λύση αυτή είναι πιο δαπανηρή. Με τον τρόπο αυτό η διαφορετική καθίζηση των βάθρων τους (σχ. 4.2στ) δεν προκαλεί εσωτερικές δυνάμεις στα οριζόντια στοιχεία τους. Στις ισοστατικές κατασκευές (δοκοί αμφιέρειστες, αμφιπροέχουσες, Gerber, τριαρθρωτά τόξα κλπ.) παρουσιάζονται βέβαια αλλαγές στο σχήμα, όταν οι στηρίζεις υποχωρήσουν διαφορετικά η μια από την άλλη, αλλά οι παραμορφώσεις αυτές γίνονται ελεύθερα. Κάθε στοιχείο της κατασκευής δεν παραμορφώνεται αυτό το ίδιο και έτσι δεν επιβαρύνεται με πρόσθετες τάσεις.

Ακριβώς το αγτίθετο συμβαίνει στις **υπερστατικές** κατασκευές, όπως είναι κατά κανόνα οι σκελετοί των κτηρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στις κατασκευές αυτές (συνεχείς δοκοί, πλαίσια κλπ.) πρέπει να παραμορφωθούν και τα διάφορα στοι-



Σχ. 4.2στ.

Παραμόρφωση ισοστατικής γέφυρας, όταν υποχωρήσει ένα μεσόβαθρό της. Δεν αναπύσσονται πρόσθετες επιβαρύνσεις.



Σχ. 4.2ζ.

Παραμόρφωση υπερστατικής γέφυρας, όταν υποχωρήσει ένα μεσόβαθρό της. Αναπύσσονται πρόσθετες επιβαρύνσεις.

χεία τους, για να μπορέσουν να ακολουθήσουν τις διαφορετικές καθιζήσεις (σχ. 4.2ζ). Η καθίζηση δηλαδή του εδάφους, αν δεν είναι ομοιόμορφη, καταπονεί ολόκληρο το έργο.

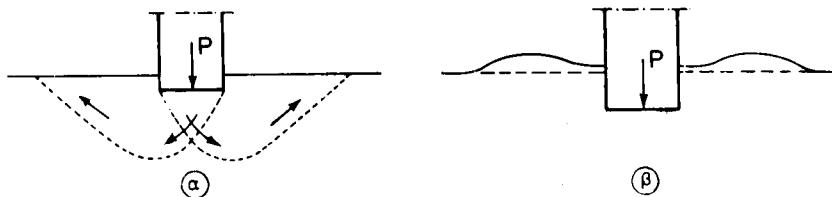
Πρέπει λοιπόν με κάθε τρόπο να υπολογίζομε, έστω προσεγγιστικά, τις καθιζήσεις του εδάφους, που πρόκειται να παρουσιασθούν, όταν κατασκευασθεί κάποιο έργο. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με διάφορους μαθηματικούς τύπους, που δύο βασίζονται στήν αρχή, ότι η καθίζηση είναι άθροισμα των παραμορφώσεων των στρωμάτων του εδάφους, όπου οι πιέσεις αυξάνονται εξ αιτίας των φορτίων του έργου.

Οι μαθηματικοί αυτοί τύποι περιέχουν διάφορες παραμέτρους, στις οποίες πρέπει κάθε φορά να δώσομε συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από τις ιδιότητες του εδάφους και προκύπτουν είτε από μετρήσεις στο εργαστήριο ή έστω στο ύπαιθρο είτε και από προσεγγιστικές εκτιμήσεις. Οι εκτιμήσεις αυτές μπορούν να γίνουν ικανοποιητικά, αν έχει προηγηθεί σωστή κατάταξη του εδάφους, που αποτελεί κάθε στρώμα και είναι γνωστά το βάθος και το πάχος, κάθε στρώματος.

### 4.3 Θραύση του εδάφους.

Όταν σε ένα στερεό σώμα οι εσωτερικές του τάσεις, εφελκυστικές, θλιπτικές ή διατμητικές, ξεπεράσουν ορισμένες κρίσιμες τιμές, το σώμα σπάει, θραύσεται. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στο έδαφος, με τη διαφορά ότι κατά κανόνα δεν αντιλαμβανόμαστε τη θραύση του εδάφους, επειδή τα προϊόντα της είναι εγκιβωτισμένα μέσα στο έδαφος, που τα περιβάλλει, και δεν μπορούν να φύγουν από τη θέση τους.

Το φαινόμενο της θραύσεως εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή μιας πλευρικής διαρροής των κόκκων του εδάφους, που μπορεί ακόμα να έχει ως αποτέλεσμα το ανέβασμα της επιφάνειας του εδάφους γύρω από την περιοχή που φορτίζεται (σχ. 4.3). Συνήθως αυτό το φούσκωμα της επιφάνειας μας ειδοποιεί ότι το έδαφος έσπασε.



Σχ. 4.3.

Μηχανισμός θραύσεως σε συνεκτικό έδαφος: α) Πριν το φαινόμενο. β) Μετά το φαινόμενο.

Ειδικότερα στα χαλαρά εδάφη, που δεν συμπεριφέρονται όπως τα στερεά σώματα, η θραύση παίρνει άλλη μορφή. Θραύση στην περίπτωση αυτή λέμε το φαινόμενο, όπου οι δυνάμεις, που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους, υπερνικούν τις τριβές και αναγκάζουν τους κόκκους να αλλάξουν θέση. Έτσι, μετά τη θραύση και την αποκατάσταση μιας νέας ισορροπίας, το έδαφος έχει γίνει και πάλι ένα νέο χαλαρό έδαφος πιο συμπυκνωμένο και όπου πιθανόν μερικοί κόκκοι έχουν διαφύγει προς τα πλάγια (σχ. 3.1γ). Αντίθετα στην περίπτωση των συνεκτικών εδαφών με τη θραύση καταστρέφεται η συνεκτικότητά τους.

Από όσα είπαμε συμπεραίνομε ότι το φαινόμενο της θραύσεως του εδάφους γίνεται φανερό μόνον, όταν το έδαφος παρουσιάζει εκεί κοντά πρανή, που μπορούν να καταρρεύσουν (σχ. 3.1δ). Περισσότερα για το φαινόμενο αυτό αναφέρονται στο κεφάλαιο 7.

Η θραύση γίνεται επίσης φανερή και όταν η επιφάνεια φορτίσεως είναι πολύ μικρή, όπως π.χ. στις πασσαλώσεις. Με τη θραύση τότε τα συντρίμματα μετακινούνται προς την περίμετρο της φορτιζόμενης επιφάνειας και το φαινόμενο παρουσιάζεται ως διείσδυση του πασσάλου η γενικότερα του στοιχείου, που επιβάλλει τα φορτία.

### 4.4 Επιτρεπόμενες επιβαρύνσεις.

Όλες οι προσπάθειες για την έρευνα του εδάφους έχουν σκοπό να καθορίσουμε ποιες είναι οι επιβαρύνσεις (πίεσεις), που επιτρέπεται να επιβάλλει το έργο πάνω

στο έδαφος. Οι επιβαρύνσεις αυτές καθορίζονται έτσι, ώστε:

- α) Οι καθιζήσεις να μη ξεπερνούν κάποιο ανεκτό δριο και
  - β) να υπάρχει μεγάλο περιθώριο ασφάλειας ανάμεσα στις πραγματικές επιβαρύνσεις και εκείνες, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τη θραύση του εδάφους.
- Τις περισσότερες φορές, ιδίως όταν τα εδάφη δεν έχουν μεγάλη αντοχή, η πρώτη

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1.

##### **Ανεκτές επιβαρύνσεις (πέσεις) για συνεκτικά εδάφη (όπως προτείνονται από τον K. Terzaghi)**

N = Αριθμός κρούσεων, που χρειάζονται, για να βυθιστεί κατά 30 cm ο πρότυπος δειγματολήπτης.

$q_u$  = Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$q_d$  = Αντοχή σε θραύση για θεμέλιο με μεγάλο μάκρος ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) δηλαδή συνεχές.

$q_{ds}$  = Αντοχή σε θραύση για τετράγωνο θεμέλιο ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$p_a$  = Ανεκτή πίεση ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), που προτείνεται για κανονικές συνθήκες ( $G_s = 3$ ).

$p_{a'}$  = Ανεκτή μέγιστη πίεση ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) για τις δυσμενέστερες θέσεις του θεμέλιου ( $G_s = 2$ ). ( $G_s = \text{Συντελεστής ασφάλειας για τη θραύση του εδάφους θεμελιώσεως}$ ).

Είδος αργίλου ή πηλού	N	$q_u$	$q_d$	$q_{ds}$	$p_a$		$p_{a'}$	
					Τετραγωνικό 1,2 $q_u$	Συνεχές 0,9 $q_u$	Τετραγωνικό 1,8 $q_u$	Συνεχές 1,3 $q_u$
Πολύ Μαλακή*	Κάτω από 2	Κάτω από 0,24	Κάτω από 0,69	Κάτω από 0,90	Κάτω από 0,29	Κάτω από 0,22	Κάτω από 0,44	Κάτω από 0,32
Μαλακή*	2 έως 4	0,24 έως 0,49	0,69 έως 1,38	0,90 έως 1,80	0,29 έως 0,58	0,22 έως 0,44	0,44 έως 0,88	0,32 έως 0,64
Μέτρια	4 έως 8	0,49 έως 0,98	1,38 έως 2,78	1,80 έως 3,60	0,58 έως 1,17	0,44 έως 0,88	0,88 έως 1,75	0,64 έως 1,28
Συμπαγής	8 έως 15	0,98 έως 1,95	2,78 έως 5,55	3,60 έως 7,20	1,17 έως 2,35	0,88 έως 1,75	1,75 έως 3,50	1,28 έως 2,55
Πολύ Συμπαγής	15 έως 30	1,95 έως 3,90	5,55 έως 11,10	7,20 έως 14,40	2,35 έως 4,70	1,75 έως 3,50	3,50 έως 7,00	2,55 έως 5,10
Σκληρή	Πάνω από 30	Πάνω από 3,90	Πάνω από 11,10	Πάνω από 14,40	Πάνω από 4,70	Πάνω από 3,50	Πάνω από 7,00	Πάνω από 5,10

\* Αν το έδαφος φορτίζεται επί πολύ χρόνο, οι καθιζήσεις μπορεί να είναι σημαντικές, ακόμα και αν η πίεση δεν ξεπερνάει την ελάχιστη ανεκτή τιμή  $p_a$ .

τη συνθήκη καθορίζει τις ανεκτές επιβαρύνσεις. Είναι απαραίτητο τότε να καθορίσουμε πρώτα τις ανεκτές καθιζήσεις και έπειτα να υπολογίσουμε σύμφωνα με αυτές τις μέγιστες επιβαρύνσεις που επιτρέπεται να επιβάλομε στο έδαφος. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται, όπως περιγράψαμε στην παράγραφο 4.2.

Όταν τα εδάφη είναι βραχώδη ή τόσο συμπιεσμένα, ώστε οι καθιζήσεις να είναι πολύ μικρές, ή όταν το είδος του έργου επιτρέπει σημαντικές καθιζήσεις, τότε η δεύτερη συνθήκη καθορίζει τις ανεκτές επιβαρύνσεις.

Οι Πίνακες 4.4.1 και 4.4.2 δίνουν μια ιδέα για το μέγεθος των ανεκτών επιβαρύνσεων. Ο πρώτος αναφέρεται σε εδάφη συνεκτικά και ο δεύτερος σε χαλαρά και βραχώδη. Στον Πίνακα 4.4.1 για το χαρακτηρισμό του εδάφους χρησιμοποιείται ο αριθμός κρούσεων της **πρότυπης δοκιμής διεισδύσεως**, που γίνεται με τον πρότυπο δειγματολήπτη (σχ. 3.4ε).

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.2.**

##### **Ανεκτές επιβαρύνσεις (πέσεις) για χαλαρά και βραχώδη εδάφη**

###### **α) Χαλαρά εδάφη.**

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1. Ψιλή και μεσόκοκκη άμμος<br>(κόκκοι μικρότεροι από 1 mm).                | 2 kg/cm <sup>2</sup> |
| 2. Χονδρή άμμος (κόκκοι από 1 ως 5 mm).                                     | 3 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 3. Αμμοχάλικο με το 1/3 τουλάχιστον χαλίκι<br>ή χαλίκι με κόκκους ως 80 mm. | 4 kg/cm <sup>2</sup> |

###### **β) Βραχώδη (συμπαγή) εδάφη.**

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες, ψαμμίτες<br>με συνηθισμένη αντοχή                         | 10 kg/cm <sup>2</sup> |
| 2. Τα ίδια πετρώματα, αλλά με όριο θραύσεως σε<br>θλίψη μεγαλύτερο από 50 Kg/cm <sup>2</sup> . | 15 kg/cm <sup>2</sup> |
| 3. Πυριγενή πετρώματα, γρανίτες, γνεύσιοι,<br>βασάλτες κλπ.                                    | 30 kg/cm <sup>2</sup> |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

#### 5.1 Γενικά.

Το σύστημα και η μορφή της θεμελιώσεως δεν είναι ίδια σε όλα τα δομικά έργα. Για να διαλέξουμε την κατάλληλη για κάθε έργο θεμελίωση, πρέπει να εξετάσουμε τους ακόλουθους παράγοντες:

- α) Το είδος και τη μορφή του έργου, που πρόκειται να θεμελιωθεί.
- β) Το μέγεθος και κυρίως το ύψος του έργου, επειδή απ' αυτά εξαρτάται το μέγεθος των φορτίων, που πρόκειται να μεταφέρουν τα θεμέλια στο έδαφος.
- γ) Το είδος και κυρίως την αντοχή του εδάφους, επειδή αυτά καθορίζουν τις επιβαρύνσεις, που επιτρέπεται να επιβάλλουν τα θεμέλια στο έδαφος.
- δ) Τη στάθμη των υπογείων νερών και το αν μπορούμε να τα αντλήσουμε, επειδή από αυτό εξαρτάται αν οι εργασίες για τη θεμελίωση θα γίνουν κάτω από το νερό ή σε στεγνό περιβάλλον.

Οι δύο πρώτοι παράγοντες είναι σχετικοί μόνο με το έργο, που πρόκειται να κατασκευασθεί, είναι λοιπόν γνωστοί στο μελετητή. Για να εξακριβωθούν και οι δύο τελευταίοι παράγοντες, χρειάζεται να συμπληρωθεί η έρευνα του εδάφους. Τότε μόνο ο μελετητής μπορεί να επιλέξει και να καθορίσει το σύστημα θεμελιώσεως, που πρέπει να εφαρμοσθεί.

Σε κάθε θεμελίωση διακρίνομε δύο είδη εργασιών: Το πρώτο είναι η προετοιμασία της επιφάνειας του εδάφους, όπου το θεμέλιο θα μεταφέρει τα φορτία του έργου. Το δεύτερο είναι η κυρίως κατασκευή των θεμελίων, των δομικών στοιχείων δηλαδή, που έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους και μεταφέρουν σ' αυτό τα φορτία του έργου.

Στα συνηθισμένα συστήματα θεμελιώσεων τα δύο αυτά είδη εργασιών γίνονται σε δύο χωριστές φάσεις, που ακολουθούν η μια την άλλη με τη σειρά που αναφέραμε. Αυτές οι θεμελιώσεις λέγονται **αβαθείς**.

Υπάρχουν όμως και θεμελιώσεις, που λέγονται **βαθείς**, όπου τα δύο είδη εργασιών γίνονται συγχρόνως. Αυτό γίνεται ακριβώς, γιατί δεν συμφέρει να γίνονται χωριστά οι εργασίες του πρώτου είδους σε τόσο μεγάλο βάθος.

Στις αβαθείς θεμελιώσεις η πρώτη φάση μπορεί να περιορισθεί μόνο στη μόρφωση των επιφανειών του εδάφους. Τότε οι θεμελιώσεις λέγονται **άμεσες**. Μπορεί όμως σε άλλες περιπτώσεις να περιλαμβάνει και ποιοτική προετοιμασία, δηλαδή **βελτίωση του εδάφους** θεμελιώσεως με διάφορα μέσα, οπότε οι θεμελιώσεις δεν είναι πια άμεσες. Τέλος η αβαθής θεμελίωση μπορεί να εκτελείται σε στεγνό περιβάλλον ή μέσα στο νέρο.

Οι βαθιές θεμελιώσεις περιλαμβάνουν:

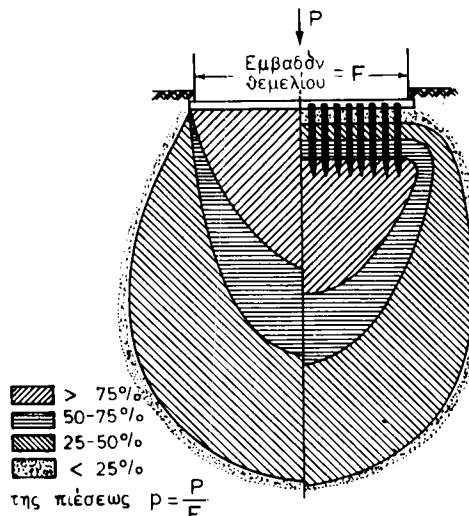
α) Τα **καταδυόμενα φρέατα**, όπου η προετοιμασία των επιφανειών του εδάφους για την έδραση των θεμελίων γίνεται σιγά-σιγά, όσο προχωράει η κατασκευή τους.

β) Τις **πασσαλώσεις με προκατασκευασμένους πασσάλους**, όπου οι επιφάνειες για την έδραση των θεμελίων μορφώνονται αυτόμata, όσο προχωρούν οι πάσσαλοι.

γ) Τις **πασσαλώσεις με πασσάλους**, που κατασκευάζονται μια και καλή στην οριστική τους θέση. Οι πασσαλώσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως συνδυασμός των δύο προηγουμένων μεθόδων.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι ένα έργο με βαθιά θεμελίωση χρειάζεται σχεδόν πάντοτε και μια ενδιάμεση κατασκευή, που μεταφέρει τα φορτία της **ανωδομής** στη βαθιά θεμελίωση. Η κατασκευή αυτή έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με μια αβαθή θεμελίωση.

Η διαφορά ανάμεσα σε μια βαθιά και μια αβαθή θεμελίωση, σχετικά με την επιβάρυνση του εδάφους, φαίνεται καθαρά στο σχήμα 5.1. Στη βαθιά θεμελίωση ολόκληρος ο βολβός του εδάφους, όπου τα φορτία του έργου προκαλούν αύξηση των πιέσεων, μετατοπίζεται προς τα κάτω. Έτσι τα ανώτερα στρώματα, που κατά κανόνα είναι και τα πιο αδύνατα, απαλλάσσονται από τις αυξήσεις των πιέσεων και δεν παραμορφώνονται. Στη θέση τους παραμορφώνονται άλλα στρώματα, που βρίσκονται πολύ βαθύτερα, αλλά οι παραμορφώσεις είναι πολύ μικρότερες, επειδή τα στρώματα αυτά έχουν προσυμπιεσθεί από το βάρος του εδάφους που τα καλύπτει. Η διαφορά ανάμεσα στη βαθιά και στην αβαθή θεμελίωση είναι πιο έντονη, όσο είναι μεγαλύτερο το βάθος της πρώτης σχετικά με τις οριζόντιες διαστάσεις του έργου.



**Σχ. 5.1.**

Στις βαθιές θεμελιώσεις στα ανώτερα στρώματα του εδάφους δεν υπάρχουν σημαντικές αυξήσεις πιέσεως.

Το συμπέρασμα είναι ότι συμφέρει να διαλέξουμε τη βαθιά θεμελίωση, όταν τα ανώτερα στρώματα του εδάφους είναι πάρα πολύ συμπιεστά σε σύγκριση με τα βαθύτερα, ενώ συγχρόνως η αφαίρεσή τους ή η βελτίωσή τους είναι πολύ δαπανηρές. Χρειάζεται τότε να προηγείται μια συγκριτική μελέτη, για να εξακριβώνεται αν συμφέρει ή όχι να προτιμηθεί η βαθιά θεμελίωση, που γενικά είναι ακριβότερη από την αβαθή.

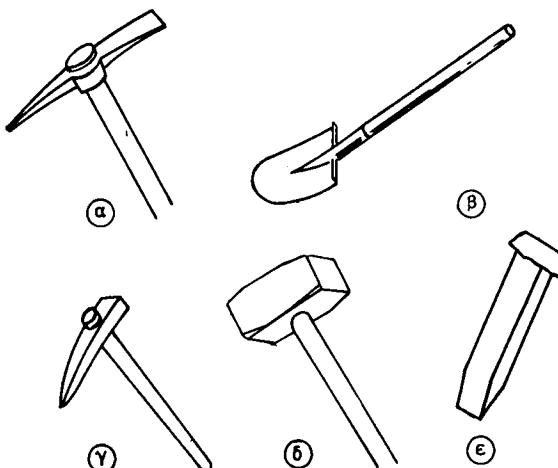
Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι η συμπίεση ενός στρώματος εδάφους δεν εξαρτάται μόνο από την αύξηση της πιέσεως, αλλά και από το πόσο μεγάλη είναι αυτή η αύξηση σχετικά με την αρχική πίεση. Έτσι τα βαθύτερα στρώματα, όπου οι αρχικές πιέσεις είναι μεγαλύτερες, παραμορφώνονται λιγότερο από τα ανώτερα, έστω και για την ίδια αύξηση της πιέσεως. Στη βαθιά θεμελίωση λοιπόν οι καθιζήσεις είναι μικρότερες, όχι μόνον όταν τα βαθύτερα στρώματα είναι πιο ανθεκτικά, αλλά και όταν το έδαφος είναι ομοιόμορφο σε πολύ μεγάλο βάθος.

## 5.2 Άμεση θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον.

### a) Εκσκαφή θεμελίων.

Εξετάζομε πρώτα την πιο απλή περίπτωση, δηλαδή την άμεση αβαθή θεμελίωση, που εκτελείται σε στεγνό περιβάλλον. Η πρώτη φάση των εργασιών περιορίζεται στην εκτέλεση μερικών απλών χωματουργικών εργασιών και συγκεκριμένα εκσκαφών, που λέγονται **εκσκαφές θεμελίων**. **Επιχώσεις** γίνονται συνήθως μόνον, όταν τελειώσουν οι εργασίες, αφού δηλαδή κατασκευασθούν τα θεμέλια, για να ξαναγεμίσουν τα ορύγματα, αν το σχήμα των θεμελίων είναι τέτοιο, ώστε να μη καταλαμβάνει όλο τους το χώρο.

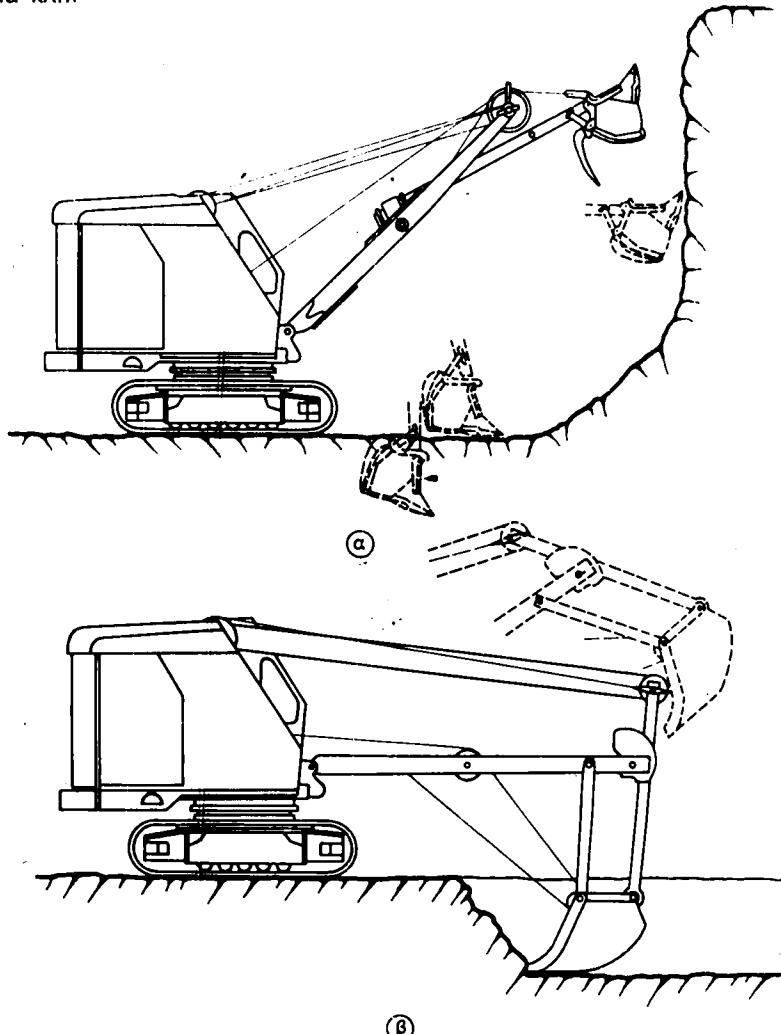
Κατά τις εκσκαφές των θεμελίων γινόταν παλότερα χρήση της **σκαπάνης (γκασμά)** και του **φτυαριού**, όταν το έδαφος ήταν σχετικά μαλακό και του **πικουνιού (γενηίδος)**, όταν ήταν σκληρότερο (σχ. 5.2α). Στην πρώτη περίπτωση το έδαφος



Σχ. 5.2α.

Εργαλεία για χωματουργικές εργασίες: α) Σκαπάνη (γκασμάς). β) Φτυάρι. γ) Πικούνι (γενηίς). δ) Σφυρί (βαρειά). ε) Σφήνα.

χαρακτηρίζεται γαιώδες και στη δεύτερη ημιβραχώδες. Με τα σημερινά ημερομήσθια δεν συμφέρει πια αυτή η μέθοδος και τα θεμέλια σκάβονται κατά κανόνα με μηχανικά μέσα, δηλαδή με **εκσκαφείς** διαφόρων τύπων (σχ. 5.2β). Επειδή βέβαια οι εκσκαφές θεμελίων έχουν γενικά περιορισμένες διαστάσεις, οι εκσκαφείς αυτοί είναι μικροί, αν συγκριθούν με τους εκσκαφείς, που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, στην κατασκευή φραγμάτων, στα εγγειοβελτιωτικά έργα, στα επιφανειακά μεταλλεία κλπ.



Σχ. 5.2β.  
Τύποι μηχανικών εκσκαφέων.

Όταν το έδαφος είναι βραχώδες, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί **αερόσφυρα** (πιστολέτο) (σχ. 5.2γ), δηλαδή ένα εργαλείο κοπτικό, που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα. Παλιότερα στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούσαν σιδερένιες **σφήνες** και βαριά **σφυριά** (βαρειές [σχ. 5.2α(δ) και (ε)]).



**Σχ. 5.2γ.**  
Αερόσφυρα (πιστολέττο).

Οι αερόσφυρες είναι δύο ειδών: **κρουστικές** και **περιστροφικές**. Οι **κρουστικές αερόσφυρες** κόβουν το βράχο σε μικρά κομμάτια, που μπορούν έπειτα να απομακρυνθούν με τη βοήθεια ενός εκσκαφέα. Οι **περιστροφικές αερόσφυρες** ανοίγουν μια βαθιά κυλινδρική τρύπα (**διάτρημα**), που γεμίζεται με κατάλληλη εκρηκτική ύλη. Με την πυροδότηση της εκρηκτικής ύλης πραγματοποιείται η έκρηξη, ο βράχος θρυμματίζεται και τα προϊόντα απομακρύνονται με τον εκσκαφέα.

Εκρηκτικές ύλες χρησιμοποιούνται, όταν ο βράχος είναι σκληρός και συμπαγής. Αν υπάρχουν ρωγμές, τα άερια της εκρήξεως διαφεύγουν απ' αυτές και τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά. Εξ άλλου δεν επιτρέπεται η χρήση εκρηκτικών υλών, όταν δίπλα υπάρχει άλλο έργο ή μέσα σε κατοικημένες περιοχές. Γενικά η μέθοδος περικλείει κινδύνους και πρέπει να συνοδεύεται από προστατευτικά μέτρα, να διέπεται από αυστηρούς κανονισμούς και να εκτελείται από ειδικευμένο και υπεύθυνο προσωπικό.

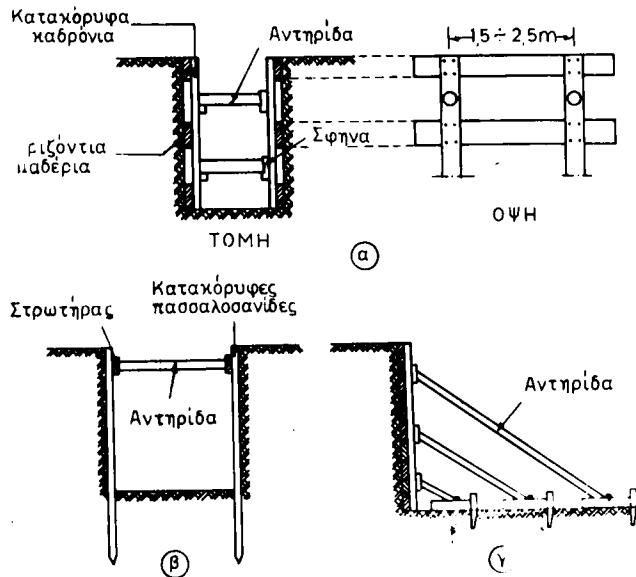
Παλιότερα τα διατρήματα ανοίγονταν με τα χέρια με τη βοήθεια μιας ατσαλενίας ράβδου, που ήταν γνωστή με το όνομα **μπαραμίνα** (Barre à miné).

Το σχήμα και το βάθος των ορυγμάτων για τα θεμέλια εξαρτώνται από το σχήμα και το βάθος των θεμελίων. Τα πρανή των ορυγμάτων διαμορφώνονται κατακόρυφα, όταν το βάθος είναι περιορισμένο και τα εδάφη βραχώδη ή συνεκτικά. Στην αντίθετη περίπτωση πρέπει να έχουν την κατάλληλη κλίση, για να μὴ καταρρεύσουν. Βέβαια, επειδή τα ορύγματα των θεμελίων είναι προσωρινές κατασκευές, η κλίση αυτή μπορεί να είναι πιο απότομη από κείνη, που θα επιτρέποταν σε μια μόνιμη κατασκευή, ιδίως όταν οι εργασίες εκτελούνται σε περίοδο που δεν βρέχει.

Όταν το έδαφος είναι πολύ χαλαρό ή υδαρές, οι κλίσεις, που θα χρειαζόταν να πάρουν τα πρανή, είναι τόσο μικρές, ώστε είναι πιο οικονομικό να διαμορφώνονται τα πρανή κατακόρυφα και να εξασφαλίζονται με αντιστηρίξεις. Το ίδιο συμβαίνει και στα πιο συνεκτικά εδάφη, όταν το βάθος ξεπερνάει ορισμένα όρια, που είναι βέβαια διαφορετικά για κάθε είδος έδαφους.

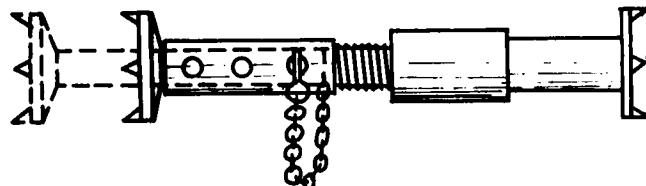
Στο σχήμα 5.2δ φαίνονται μερικά απλά συστήματα αντιστηρίζεων. Αποτελούνται κυρίως από ξύλα, μαδέρια και καδρόνια, με μερικά μεταλλικά στοιχεία. Όταν το

πλάτος των ορυγμάτων είναι πολύ μικρό, όπως π.χ. στην περίπτωση θεμελίων για τοίχους, συμφέρει το ένα πράγμα να αντιστηρίζει το άλλο με τη βοήθεια οριζοντίων αντηρίδων. Οι αντηρίδες αυτές μπορεί να είναι καδρόνια, που σφίγγουν στη θέση τους με ξύλινες σφήνες ή μεταλλικοί σωλήνες, που βιδώνουν μεταξύ τους, για να αποκτούν ακριβώς το μήκος που χρειάζεται (σχ. 5.2ε).



Σχ. 5.2ε.

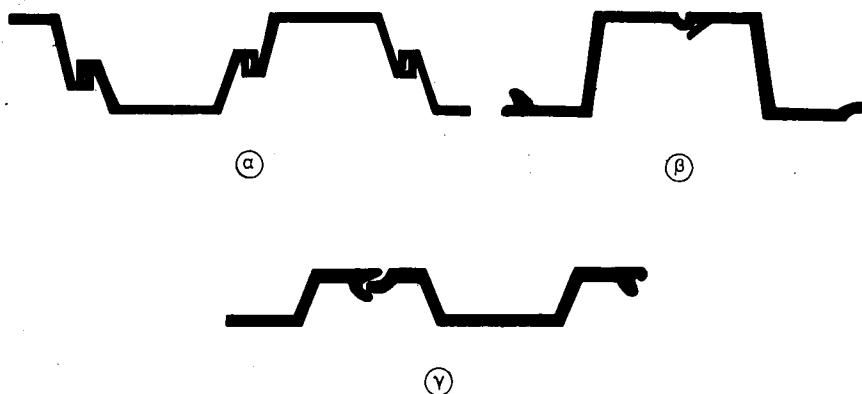
Αντιστηρίζεις για πραγμή ορυγμάτων: α) Ορύγματα με μικρό πλάτος (χαντάκια). β) Εδάφη πολύ ασταθή και ιδιαίτερα μέσα στο νερό. γ) Ορύγματα με μεγάλες διαστάσεις.



Σχ. 5.2ε.

Αντηρίδα από μεταλλικό σωλήνα για αντιστήριξη πραγών.

Σε εξαιρετικά δυσμενή εδάφη η αντιστήριξη πρέπει να συνοδεύεται και με επένδυση όλης της επιφάνειας των πραγών, για να μη διαρρέει το έδαφος από τα κενά ανάμεσα από τα στοιχεία της αντιστηρίζεως. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ειδικές πασσαλοσανίδες, που καρφώνονται στο έδαφος, πριν αρχίσει το σκάψιμο, με τη βοήθεια ενός μικρού πασσαλοπήκτη. Υπάρχουν μεταλλικές πασσαλοσανίδες με κατάλληλο σχήμα διατομής (σχ. 5.2στ), ώστε και η αντιστήριξη



**Σχ. 5.2στ.**  
Χαρακτηριστικές διατομές μεταλλικών πασσαλοσανίδων.

ξη να περιπτεύει, ή τουλάχιστον να περιορίζεται σε λίγα και απλά στοιχεία, και να σχηματίζουν ένα συνεχές τοίχωμα. Οι κατακόρυφοι ορμοί τους θηλυκώνουν και έτσι εξασφαλίζεται κάποια στοιχειώδης στεγανότητα.

Όταν υπάρχουν υπόγεια νερά και θέλομε να γίνει η θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον, πρέπει να τα αντλούμε. Για να αντληθούν τα νερά, συνδέονται τα ορύγματα μεταξύ τους, είτε όλα μαζύ είτε κατά ομάδες, με ένα σύστημα αυλακιών, που ο πυθμένας τους είναι λίγο βαθύτερα από τον πυθμένα των θεμελίων. Τα αυλάκια αυτά οδηγούν τα νερά σε ένα ή περισσότερα σημεία, που είναι προτιμότερο να βρίσκονται έξω από την κάτωφη των θεμελίων. Στα σημεία αυτά κατασκευάζονται μικρά φρεάτια λίγο βαθύτερα από τά αυλάκια και μέσα σ' αυτά τοποθετείται το ποτήρι της αντλίας (σχ. 5.2ζ). Η αντληση γίνεται συνεχώς ή με διαλείμματα ανάλογα με την παροχή των υπογείων νερών και με το μέγεθος της αντλίας.

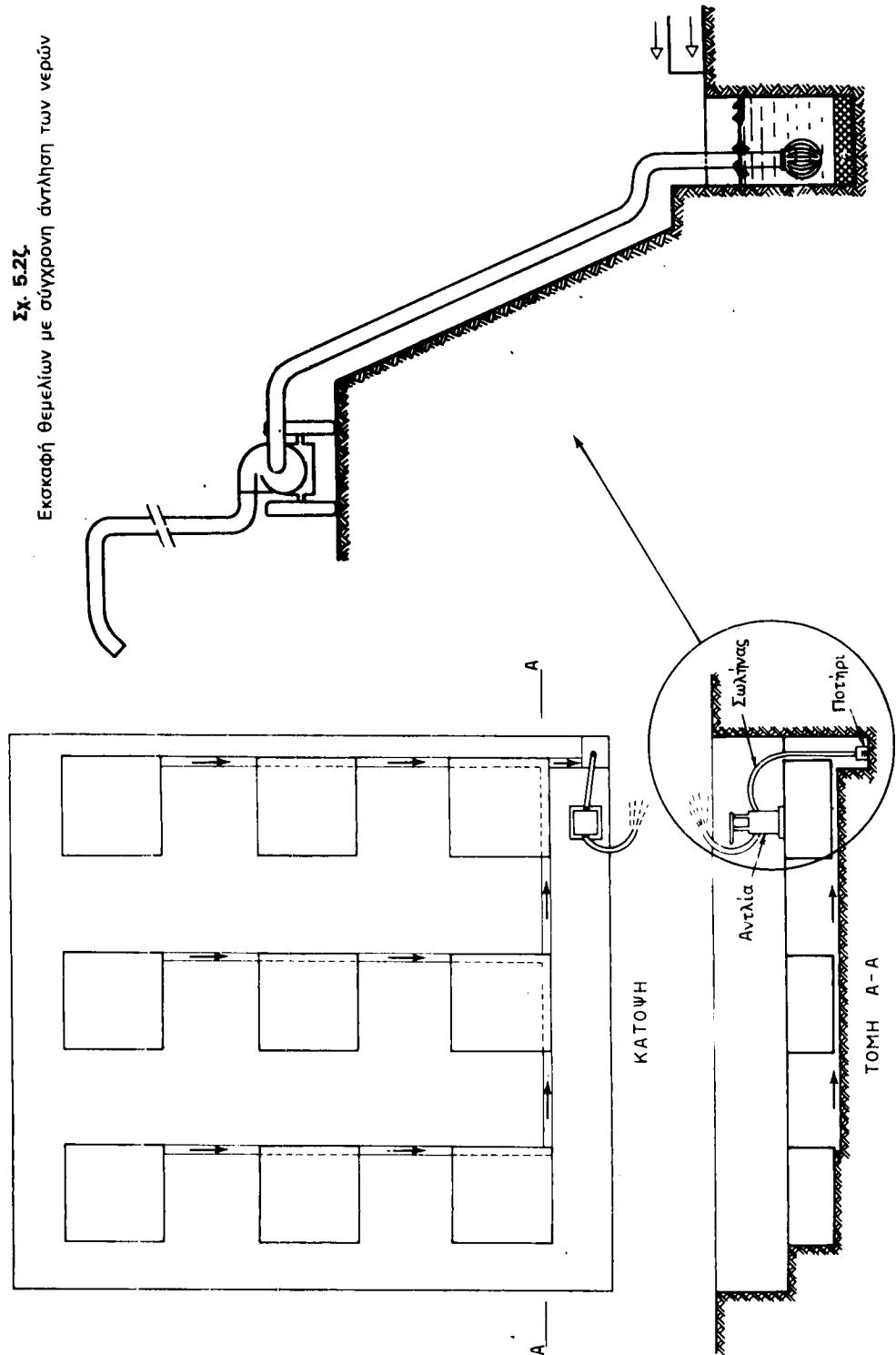
Όταν προβλέπεται μετά από την κατασκευή των θεμελίων να ξαναγεμίσουν τα ορύγματα, η επίχωση πρέπει να γίνεται έντεχνα, ώστε να πετυχαίνομε μια καλή συμπύκνωση και να αποφεύγομε έτσι τον κίνδυνο για μελλοντικές καθιζήσεις. Περισσότερα πράγματα σχετικά με το θέμα αυτό αναφέρονται στο κεφάλαιο 8. Όταν για την επίχωση χρησιμοποιούνται προϊόντα από εκβραχισμούς, είναι καλύτερα να τοποθετούνται προσεκτικά με το χέρι, ώστε να σχηματίζουν ένα είδος ξερολιθιάς.

### **β) Υλικά και μέθοδοι για την κατασκευή των θεμελίων.**

Στις άμεσες αβαθείς θεμελιώσεις, που γίνονται σε στεγνό περιβάλλον, χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά και οι ίδιες μέθοδοι, όπως και στην ανωδομή των δομικών έργων. Τα υλικά είναι κυρίως το απλό ή το οπλισμένο σκυρόδεμα και οι φυσικοί ή, σπανιότερα, οι τεχνητοί λίθοι. Γενικά δεν χρησιμοποιούνται μέταλλα και ξύλα στα θεμέλια, επειδή τα υλικά αυτά μέσα στο έδαφος καταστρέφονται πολύ γρήγορα.

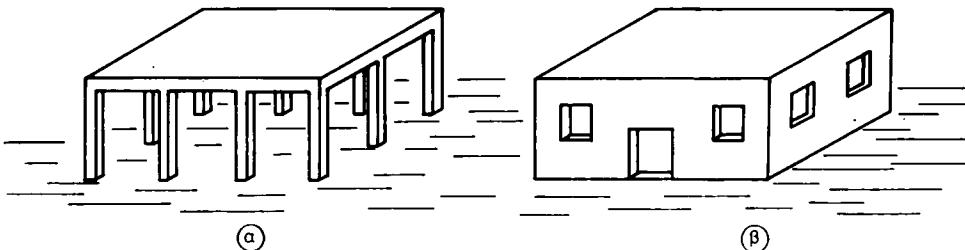
Ως προς τη μορφή τους τα θεμέλια, που εξετάζομε, διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες:

**Σχ. 5.2ξ.**  
Εκσκαφή θεμελίων με σύγχρονη αντληση των νερών



Στην πρώτη η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής έχει μορφή σκελετού, όπως συμβαίνει κατά κανόνα στις ξύλινες και μεταλλικές κατασκευές και στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα [σχ. 5.2η(α)].

Στη δεύτερη η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής αποτελείται από πλάκες και τοιχώματα, όπως συμβαίνει κατά κανόνα στις κατασκευές από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους ή από απλό σκυρόδεμα και κατ' εξαίρεση σε μερικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα [σχ. 5.2η(β)].



Σχ. 5.2η.

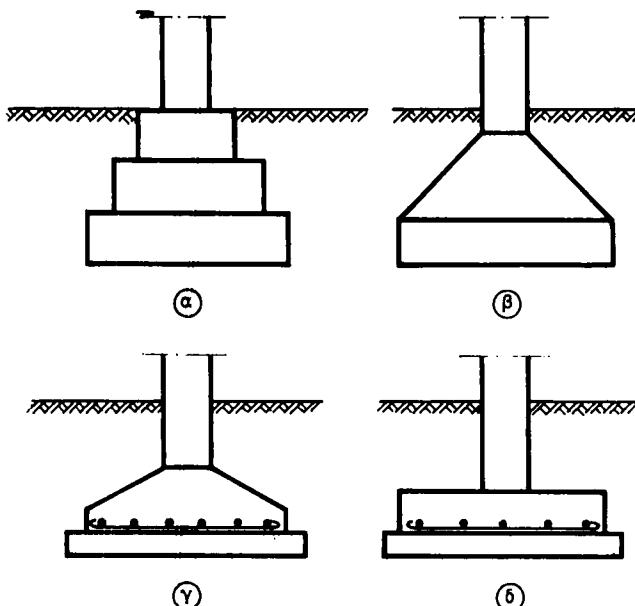
Τυπικές περιπτώσεις για φέρουσες κατασκευές δομικών έργων: α) Με μορφή σκελετού. β) Με κατάκρυφα στοιχεία συνεχή.

Στην πρώτη ομάδα τα φορτία της ανωδομής φθάνουν στα θεμέλια συγκεντρωμένα σε μικρές περιοχές, που μπορούμε να τις εξομοιώσουμε με σημεία. Στη δεύτερη τα φορτία αυτά είναι μοιρασμένα σε μακρόστενες λουρίδες, που μπορούμε να τις εξομοιώσουμε με γραμμές. Στην τελευταία αυτή περίπτωση τα θεμέλια είναι αναγκαστικά συνεχή, ενώ στην πρώτη μπορεί να είναι και απομονωμένα, αν το, επιτρέπει η αντοχή του εδάφους.

### 1) Απομονωμένα Θεμέλια.

Τα απομονωμένα θεμέλια ή απομονωμένα **πέδιλα** κατασκευάζονται κάτω από τα σημεία, όπου καταλήγουν τα συγκεντρωμένα φορτία της ανωδομής, όταν η φέρουσα κατασκευή της έχει μορφή σκελετού. Για να διαλέξουμε μια τέτοια θεμελίσση, πρέπει η αντοχή του εδάφους να είναι τόσο μεγάλη και τα συγκεντρωμένα φορτία τόσο μικρά, ώστε το μέγεθος της επιφάνειας, που χρειάζεται κάθε πέδιλο για την εδρασή του, να μην είναι υπερβολικό. Το μέγεθος του πεδίλου θεωρείται υπερβολικό, όταν απομένουν πολύ μικρές αποστάσεις ανάμεσα στα γειτονικά πέδιλα.

Συνήθως τα πέδιλα έχουν για κάτοψη ένα τετράγωνο ή ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, δεν αποκλείονται όμως και άλλα σχήματα, όπως π.χ. ο κύκλος. Στο σχήμα 5.2θ φαίνονται σε πλάγια όψη μερικά συνηθισμένα πέδιλα. Στα πέδιλα (α) και (β) οι μεγάλες τάσεις, που υπάρχουν μέσα στα στοιχεία της ανωδομής, μοιράζονται ομαλά και μικραίνουν σιγά-σιγά προς τα κάτω, ώστε στην επιφάνεια, όπου εδράζεται το πέδιλο, έχουν πια φθάσει στα όρια των ανεκτών επιβαρύνσεων του εδάφους. Έτσι μέσα στο σώμα του πεδίλου αναπτύσσονται παντού τάσεις θλιππικές και επομένως μπορούμε να τα κατασκευάσουμε με πέτρες ή με απλό σκυρόδεμα.



Σχ. 5.20.

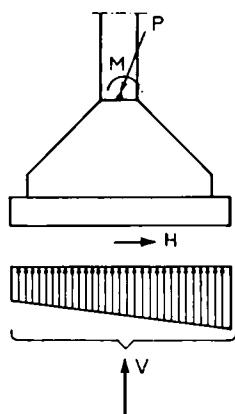
Απομονωμένα πέδιλα: α), β) Χωρίς οπλισμό. γ), δ) Με σιδερένιο οπλισμό.

Στα πέδιλα (γ) και (δ) το ύψος τους είναι μικρό και δεν προφταίνουν να μοιρασθούν οι τάσεις. Αναπτύσσονται αντίθετα σημαντικές καμπτικές ροπές και επομένως είναι απαραίτητο να κατασκευασθούν από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συνήθως και σ' αυτή την περίπτωση κάτω από το κυρίως πέδιλο κατασκευάζεται ένα στρώμα από απλό σκυρόδεμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.20(γ) και (δ). Το στρώμα αυτό χρησιμεύει κυρίως, για να δημιουργηθεί μια καθαρή επιφάνεια για την έδραση του πεδίλου. Πάνω στην επιφάνεια αυτή μπορούμε να χαράξουμε με ακρίβεια τη θέση του πεδίλου και να τοποθετήσουμε τον οπλισμό. Έτσι ο οπλισμός δεν λερώνεται με χώματα κατά την τοποθέτησή του και είναι καλύτερα προφυλαγμένος από την υγρασία του εδάφους, όταν τελειώσει το έργο. Εξ άλλου το στρώμα του απλού σκυροδέματος μπορεί να θεωρηθεί ως μια ακόμα διαπλάτυνση του πεδίλου, που βοηθάει να μικρύνουν ακόμα περισσότερο οι πιέσεις πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και έτσι να μη ξεπερνούν τα ανεκτά όρια.

Η θέση του πεδίλου σχετικά με το σημείο εφαρμογής των φορτίων της ανωδομής επιλέγεται έτσι, ώστε οι πιέσεις στην επιφάνεια εδράσεως να είναι όσο γίνεται πιο ομοιόμορφες και κάθετες με την επιφάνεια αυτή. Αυτό είναι εύκολο να το πετύχουμε κατά κανόνα στις εσωτερικές κολώνες των οικοδομικών έργων, που μεταφέρουν κατακόρυφες δυνάμεις. Τότε, αν η επιφάνεια εδράσεως είναι οριζόντια, οι πιέσεις, που είναι κατακόρυφες, είναι κάθετες προς αυτή. Αν φροντίσουμε να περνάει και το κατακόρυφο φορτίο από το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως, τότε και οι πιέσεις θα είναι ομοιόμορφες.

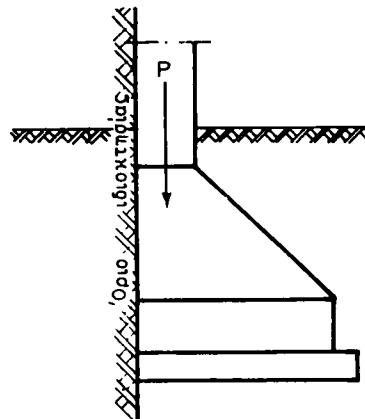
Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι σχεδόν πάντοτε οι δυνάμεις, που εφαρμόζονται σε κάθε πέδιλο, μεταβάλλονται και κατά το μέγεθος και κατά τη διεύθυνση,

όταν το έργο λειτουργεί, επομένως, όσα είπαμε προηγουμένως, δεν ισχύουν με αυστηρότητα. Δεν είναι άλλωστε σπάνιες και οι περιπτώσεις, που σ' ένα πέδιλο εκτός από τη δύναμη εφαρμόζεται και μια ροπή (σχ. 5.2i). Σ' όλες αυτές τις περιπτώσεις οι πιέσεις του εδάφους δεν είναι ομοιόμορφες, ούτε κάθετες στην επιφάνεια εδράσεως του πεδίλου. Πρέπει πάντως να προσπαθούμε, ώστε οι παρεκκλίσεις αυτές να είναι όσο γίνεται μικρότερες.



Σχ. 5.2i.

Γενική περίπτωση. Το πέδιλο φορτίζεται με μια δύναμη λοξή και μια ροπή.



Σχ. 5.2ia.

Εκκεντρός πέδιλο οικοδομής σε επαφή με το διορισμό της ιδιοκτησίας.

Στα οικοδομικά έργα, όπου τύχει να ισχύει το συνεχές οικοδομικό σύστημα, υπάρχουν σχεδόν πάντοτε πέδιλα στα όρια του οικοπέδου. Τα πέδιλα αυτά φορτίζονται με δυνάμεις, που βρίσκονται κι αυτές πολύ κοντά στα όρια του οικοπέδου. Επειδή πρέπει ολόκληρα τα πέδιλα να βρίσκονται μέσα στο οικόπεδο, δεν μπορούμε να τα μορφώσουμε έτσι, ώστε η συνισταμένη των φορτίων να περνάει από το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως (σχ. 5.2ia).

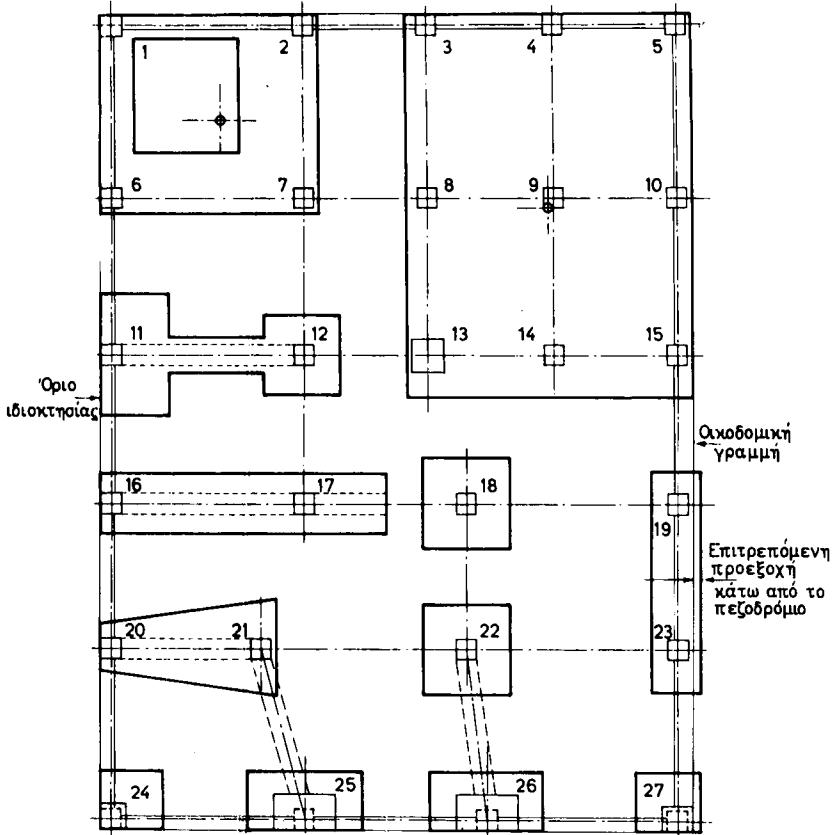
Στα πέδιλα αυτά, που ονομάζονται **έκκεντρα**, οι πιέσεις του εδάφους διαφέρουν πάρα πολύ από τη μια άκρη τους στην άλλη. Τα έκκεντρα πέδιλα δημιουργούν δυσμενείς επιβαρύνσεις στο έδαφος, αλλά και πρόσθετες επιβαρύνσεις στην ανωδομή, γι' αυτό πρέπει να αποφεύγονται τουλάχιστον στα σοβαρά έργα.

## 2) Μερική κοιτάστρωση. Πεδιλοδοκοί.

Όταν τα συγκεντρωμένα φορτία της ανωδομής είναι πολύ μεγάλα, ή όταν οι ανεκτές επιβαρύνσεις του εδάφους είναι πολύ μικρές, οι διαστάσεις των πεδίλων, που προκύπτουν από τους υπολογισμούς, είναι πολύ μεγάλες. Είναι τότε προτιμότερο συνήθως να κατασκευάζονται κοινά θεμέλια κάτω από δύο ή περισσότερα από τα σημεία, όπου καταλήγουν τα φορτία της ανωδομής, όπως φαίνεται στο σχή-

μα 5.2ιβ. Η λύση αυτή μπορεί να μας απαλλάξει και από τα έκκεντρα πέδιλα, αν συνδυάσουμε τη θεμελίωση της κολώνας, που βρίσκεται κοντά στο όριο της ιδιοκτησίας, με τη θεμελίωση μιας άλλης γειτονικής της.

Η πολλαπλή θεμελίωση, που δημιουργείται μ' αυτό τον τρόπο, λέγεται **μερική κοιτόστρωση**. Το πιο κατάλληλο υλικό γι' αυτού του είδους τα θεμέλια είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα. Κάτω από το καθαυτό θεμέλιο κατασκευάζεται συνήθως και μια στρώση από απλό σκυρόδεμα με τον ίδιο τρόπο και για τους ίδιους λόγους, δημιουργώντας έτσι στα απομονωμένα πέδιλα.



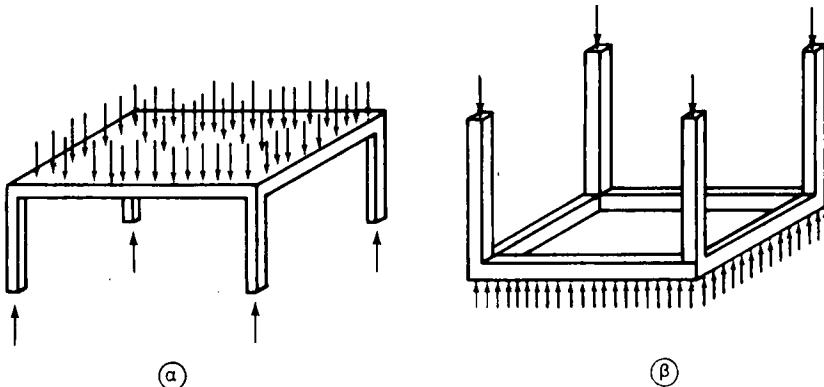
Σχ. 5.2ιβ.

Παράδειγμα θεμελιώσεως κτηρίου με απομονωμένα πέδιλα και μερική κοιτόστρωση. Εφαρμόσθηκαν διάφοροι συνδυασμοί για τη θεμελίωση των στύλων.

Όταν εφαρμόζεται η μερική κοιτόστρωση, πρέπει πάλι να γίνεται προσπάθεια, ώστε οι πιέσεις στην επιφάνεια εδράσεως να είναι κάθετες προς την επιφάνεια αυτή και όσο γίνεται πιο ομοιόμορφες. Για να πετύχουμε αυτό το τελευταίο, πρέπει το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως να συμπίπτει με το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των φορτίων της ανωδομής. Επειδή το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό, προσπαθούμε να βρούμε τη μέση θέση του και να τη φέρουμε σε σύμπτωση με το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως.

Η κάτοψη των στοιχείων, μιας μερικής κοιτοστρώσεως παρουσιάζει αρκετή ποικιλία, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.ιβ.

Για να μπορούν τα στοιχεία αυτά να πιέζουν το έδαφος σε όλη τους την έκταση και όχι κάτω από τα σημεία που φορτίζονται, πρέπει να είναι δύσκαμπτα. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζονται σχεδόν πάντοτε νευρώσεις, που ενώνουν τα στοιχεία της ανωδομής, που μεταφέρουν τα φορτία. Οι νευρώσεις αυτές ονομάζονται **πεδιλοδοκοί ή θεμελιοδοκοί**.



Σχ. 5.2ιγ.

Από τη στατική άποψη μια κοιτόστρωτη λειτουργεί, όπως ένα πάτωμα γυρισμένο ανάποδα.

Έτσι η κοιτόστρωση λειτουργεί περίπου, όπως ένα πάτωμα γυρισμένο ανάποδα (σχ. 5.2ιγ). Το θεμέλιο μπορεί να θεωρηθεί σαν μια πλάκα, που δέχεται από κάτω φορτία. Τα φορτία αυτά είναι οι αντιδράσεις του εδάφους και είναι ίσες και αντίθετες με τις πιέσεις, που εφαρμόζει το θεμέλιο στο έδαφος. Η πλάκα στηρίζεται στις πεδιλοδοκούς, που με τη σειρά τους στηρίζονται στα στοιχεία ανωδομής. Τα φορτία της ανωδομής είναι ακριβώς οι αντιδράσεις στις στηρίξεις των πεδιλοδοκών, που κλείνουν το σύστημα ισορροπίας του θεμελίου.

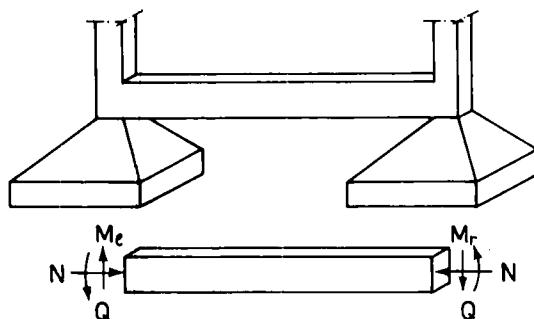
Όταν το στοιχείο της μερικής κοιτοστρώσεως περιλαμβάνει μόνο δύο σημεία εφαρμογής δυνάμεων της ανωδομής η τρία, αλλά όχι στην ίδια ευθεία και τα τρία, το σύστημα είναι ισοστατικό και η αντιστροφή των ρόλων, που αναφέραμε προηγουμένως, είναι ακριβώς όπως την περιγράψαμε. Όταν όμως τα σημεία εφαρμογής των φορτίων είναι περισσότερα, το σύστημα είναι **υπερστατικό** και τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Τα φορτία της ανωδομής διαφέρουν γενικά από τις αντιδράσεις, που βρίσκομε, όταν λύσομε στατικά το σύστημα σαν ένα ανάποδο πάτωμα. Υπάρχουν πολλές θεωρητικές απόψεις, με σκοπό να παρακαμφθεί αυτή η ασυμφωνία, οδηγούν όμως σε αρκετά πολύπλοκους υπολογισμούς.

Όταν οι νευρώσεις, που συνδέουν τα σημεία εφαρμογής των φορτίων της ανωδομής, έχουν μικρό πλάτος εδράσεως πάνω στο έδαφος, δε τις λέμε πεδιλοδοκούς, αλλά **δοκούς συνδέσεως**. Παραδείγματα τέτοιων δοκών φαίνονται στις περιπτώσεις 15-19, 21-25, 22-26 και 23-27 του σχήματος 5.2ιβ.

Η διαφορά από τη στατική άποψη είναι ότι η πεδιλοδοκός φορτίζεται σε όλο της το μάκρος από τις αντιδράσεις του εδάφους, ενώ η δοκός συνδέσεως είναι

πρακτικά αφόρτιστη σε όλο της το άνοιγμα. Η δοκός συνδέσεως δέχεται μόνο στις δύο της άκρες συγκεντρωμένες δυνάμεις και ροπές, που ισορροπούν τις διαφορές ανάμεσα στα φορτία της ανωδομής και στις τοπικές συνισταμένες των αντιδράσεων του εδάφους (σχ. 5.2ιδ).

Είναι σκόπιμο να κατασκευάζονται δοκοί συνδέσεως και ανάμεσα σε απομονωμένα πέδιλα, ιδιαίτερα όταν το έργο προβλέπεται ότι θα επιβαρυνθεί και από σεισμικές δονήσεις. Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός επιβάλλει την κατασκευή τους στις περισσότερες περιπτώσεις.



Σχ. 5.2ιδ.

Δοκός συνδέσεως πεδίλων. Στο κάτω σχήμα φαίνεται απομονωμένη η δοκός με τις δυνάμεις που ενεργούν στις δύο της άκρες.

### 3) Γενική κοιτόστρωση.

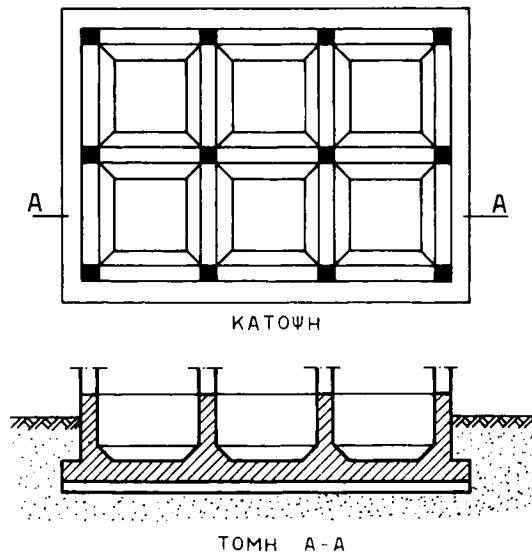
Όταν τα φορτία του έργου είναι πάρα πολύ μεγάλα και η αντοχή του εδάφους μικρή, μπορεί να χρειάζεται για τη θεμελίωση μια τόσο μεγάλη επιφάνεια εδράσεως, που το εμβαδό της να πλησιάζει ή και να ξεπερνάει την κάτοψη του έργου. Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζεται η γενική κοιτόστρωση.

Στη γενική κοιτόστρωση ολόκληρο το έργο στηρίζεται πάνω σ' ένα μοναδικό θεμέλιο, που εκτείνεται σ' όλη την κάτοψη του έργου. Κατά κανόνα μάλιστα το θεμέλιο εξέχει γύρω από το περίγραμμα του έργου σχηματίζοντας μια διαπλάτυνση. Η διαπλάτυνση αυτή είναι απαραίτητη, όταν το εμβαδό της κατόψεως δεν φθάνει για να θεμελιωθεί το έργο, χωρίς οι πιέσεις του εδάφους να ξεπεράσουν τα ανεκτά δρια.

Η γενική κοιτόστρωση δεν διαφέρει από τη μερική ως τρος την κατασκευή της. Η πλάκα της είναι και πάλι ενιοχυμένη με πεδιλοδοκούς, που είναι σκόπιμο να σχηματίζουν μια σχάρα ακολουθώντας και τις δύο κύριες διευθύνσεις του έργου.

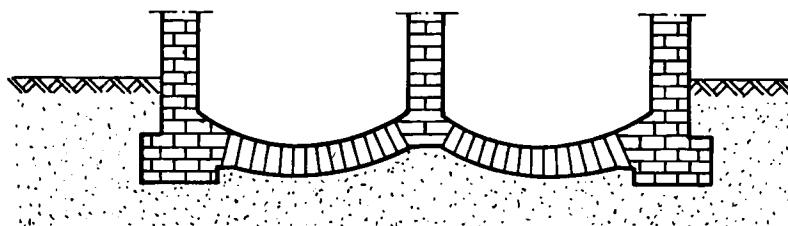
Ο στατικός υπολογισμός της σχάρας αυτής παρουσιάζει σοβαρά θεωρητικά προβλήματα, που δεν έχουν λυθεί ικανοποιητικά. Εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, που είναι αρκετά πολύπλοκες, αν και δίνουν μόνο προσεγγιστικές λύσεις.

Για τη γενική κοιτόστρωση (σχ. 5.2ιε) το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το πιο κατάλληλο υλικό. Η διάστρωσή του γίνεται πάνω σε μια πρώτη στρώση από απλό σκυρόδεμα, όπως ακριβώς περιγράφαμε και για τα πέδιλα και τη μερική κοιτόστρωση.



**Σχ. 5.2ιε.**  
Γενική κοιτόστρωση από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σε χώρες, όπου οι μεταλλικές κατασκευές είναι σχετικά φτηνές, γίνεται μερικές φορές και συνδυασμός του οπλισμένου σκυροδέματος με μεταλλική κατασκευή. Παλιότερα η γενική κοιτόστρωση γινόταν με λίθους φυσικούς ή τεχνητούς, που σχημάτιζαν ανάποδους θόλους (σχ. 5.2ιστ). Σήμερα οι κατασκευές αυτές θα ήταν πολύ δαπανηρές και γι' αυτό δεν συνηθίζονται.



**Σχ. 5.2ιστ.**  
Γενική κοιτόστρωση από λιθοδομή με ανάποδους θόλους.

#### 4) Συνεχή Θεμέλια.

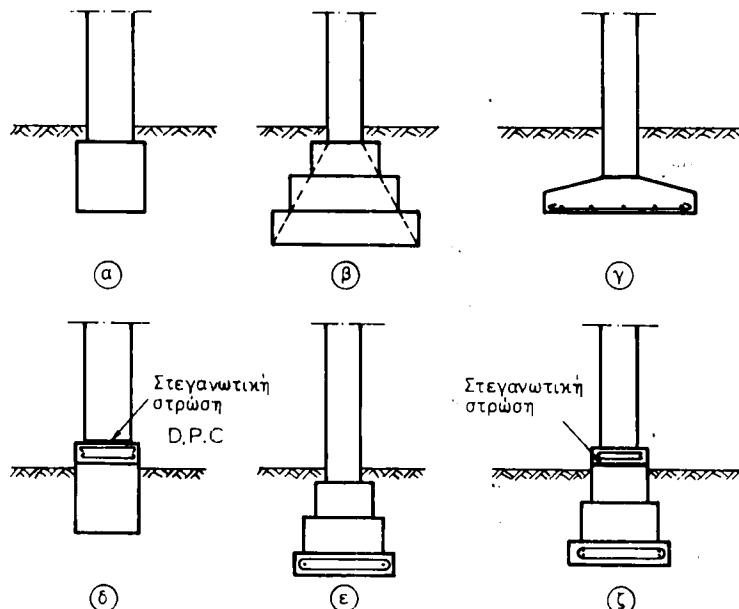
Όταν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής αποτελείται από τοίχους ή άλλα παρόμοια συνεχή στοιχεία, τότε και τα θεμέλια είναι συνεχή.

Κατά κανόνα στους τοίχους οι τάσεις είναι μικρές σε σύγκριση μ' αυτές, που αναπτύσσονται στις κολώνες ενός έργου με σκελετό. Μπορεί λοιπόν οι τάσεις αυ-

τές να μην είναι μεγαλύτερες από τις ανεκτές επιβαρύνσεις του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή οι τοίχοι μπορούν να θεμελιωθούν απ' ευθείας στο έδαφος.

Αν αντίθετα οι τάσεις των τοίχων είναι μεγαλύτερες από τις ανεκτές πιέσεις του εδάφους, το κάτω μέρος των τοίχων γίνεται πλαταύτερο (σχ. 5.2iζ), ώστε οι δυνάμεις να κατανεμηθούν σε μεγαλύτερη επιφάνεια και οι πιέσεις να κατέβουν κάτω από τα ανεκτά όρια.

Οι διαπλατύνσεις που χρειάζονται είναι συνήθως μικρές και το θεμέλιο μπορεί να κατασκευασθεί με το ίδιο υλικό, όπως και η ανωδομή του έργου. Έτσι οι πέτρινοι τοίχοι στηρίζονται γενικά σε πέτρινα θεμέλια. Εν τούτοις, όταν η ανωδομή γίνεται με τεχνητούς λίθους, είναι προτιμότερο το θεμέλιο να κτίζεται με φυσικούς. Αν στην περιοχή του έργου δεν υπάρχουν φυσικές πέτρες, τότε υποχρεωτικά το θεμέλιο γίνεται με τσιμεντόλιθους ή τούβλα, αλλά συμπαγή, δηλαδή χωρίς τρύπες. Οι τσιμεντόλιθοι πρέπει να είναι πολύ καλής ποιότητας και καλά συμπιεσμένοι. Τα τούβλα πρέπει να είναι καλά ψημένα και προτιμότερο παραψημένα, ώστε να έχουν κάπως αποκτήσει τις ιδιότητες του γυαλιού.



**Σχ. 5.2iζ.**  
Συνηθισμένες μορφές για θεμέλια τοίχων.

Στα κτιστά θεμέλια πρέπει να χρησιμοποιούνται υδραυλικά κονιάματα, δηλαδή κονιάματα, που πήζουν ακόμα και μέσα στο νερό, επειδή τα αερικά κονιάματα μπορεί να μην πήζουν ποτέ μέσα στην υγρασία του εδάφους. Σε παληότερες εποχές γινόταν χρήση θηραϊκής γης, τώρα όμως χρησιμοποιούνται τσιμεντοκονιάματα. Τα κονιάματα αυτά είναι ταχύπηκτα και έτσι δεν χρειάζεται να περιμένουμε να αποκτήσουν πρώτα αντοχή τα θεμέλια και έπειτα να κτίσουμε την ανωδομή, όπως γινόταν άλλοτε.

Συχνά το πάνω-πάνω μέρος του θεμελίου γίνεται από σκυρόδεμα απλό ή οπλισμένο. Ιδιαίτερα, όταν προβλέπεται ότι το έργο μπορεί να επιβαρυνθεί από σεισμικές δονήσεις, μια τέτοια κατασκευή είναι απαραίτητη και ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός την επιβάλλει στις περισσότερες περιπτώσεις.

Η στρώση αυτή, ενισχυμένη με ένα ασφαλτόπανο ή κάποιο άλλο στεγανωτικό υλικό, χρησιμεύει και για να εμποδίσει την υγρασία του εδάφους, που πάντοτε υπάρχει, έστω και αν τα θεμέλια γίνονται σε στεγνό περιβάλλον, να ανέβει στα τρίχοειδή αγγεία της ανωδομής και να παρουσιασθεί έπειτα στην επιφάνεια των τοίχων. Η **στεγανωτική αυτή στρώση** (D.P.C. = Damp Proof Course) σε πολλές χώρες θεωρείται απαραίτητο στοιχείο της κατασκευής [σχ. 5.2ιζ(δ) και (ζ)]. Δυστυχώς στην Ελλάδα δεν συνηθίζεται, με αποτέλεσμα όλοι οι τοίχοι κοντά στο έδαφος να είναι υγροί και να φούσκωνουν τα επιχρίσματα και τα χρώματά τους. Πότε-πότε γίνεται και μια στρώση από απλό ή οπλισμένο σκυρόδεμα, και στο χαμηλότερο μέρος του θεμελίου. Η πρόβλεψη μιας τέτοιας κατασκευής [σχ. 5.2ιζ(ε) και (ζ)] είναι σκόπιμη, όταν υπάρχουν υποψίες ότι το έδαφος μπορεί να παρουσιάσει ανομοιόμορφες καθιζήσεις.

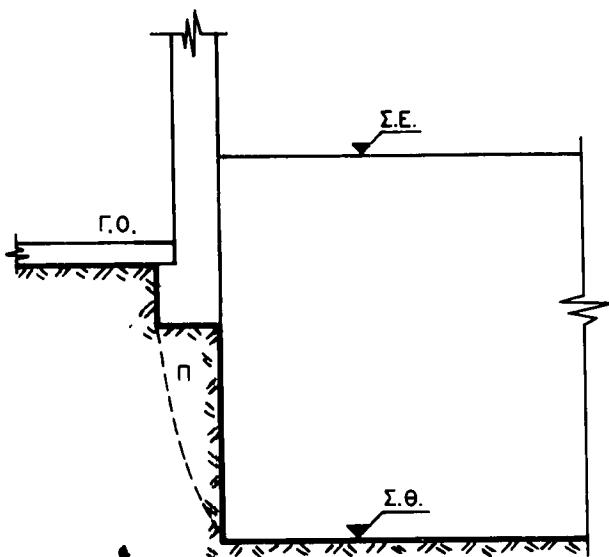
Όταν οι τοίχοι της ανωδομής είναι από απλό ή οπλισμένο σκυρόδεμα, τα θεμέλια κατασκευάζονται κί' αυτά με το ίδιο υλικό. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που τα θεμέλια κατασκευάζονται απαραίτητα από οπλισμένο σκυρόδεμα ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής της ανωδομής. Αυτό συμβαίνει, όταν το έδαφος έχει μικρή αντοχή και επομένως χρειάζονται μεγάλες διαπλατύνσεις, ενώ συγχρόνως άλλοι λόγοι, π.χ. υπόγεια νερά, καθιστούν ασύμφορη την αύξηση του βάθους των θεμελίων. Μ' αυτές τις συνθήκες δεν μπορούν να μοιρασθούν ομαλά τα φορτία της ανωδομής, χωρίς να αναπτυχθούν στο θεμέλιο αξιόλογες ροπές κάμψεως. Πρέπει λοιπόν το υλικό να μπορεί να αντέξει στην κάμψη αυτή, επομένως πρέπει να είναι οπλισμένο σκυρόδεμα [σχ. 5.2ιζ(γ)] ή κάποιος συνδυασμός σκυροδέματος και μεταλλικής κατασκευής.

### 5.3 Υποθεμελίωση τοίχων και πεδίλων.

Όταν πρόκειται να γίνει μια νέα οικοδομή σε περιοχές με συνεχές οικοδομικό σύστημα, πολύ συχνά παρουσιάζεται το φαινόμενο να χρειάζεται να γίνουν εισκαφές σημαντικά βαθύτερες από τα θεμέλια των γειτονικών κτισμάτων. Έτσι, τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα που διαρκούν οι εργασίες για τη θεμελίωση του νέου έργου, τα θεμέλια άυτά στηρίζονται στο έδαφος στο χείλος του ορύγματος (σχ. 5.3α). Μια τέτοια κατάσταση είναι πολύ επικίνδυνη, επειδή το πρίσμα του εδάφους, που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τα θεμέλια, κινδυνεύει να αποκοπεί από το υπόλοιπο έδαφος και νάρ υποχωρήσει μέσα στο όρυγμα παρασύροντας μαζί του τον τοίχο, που πατάει έπάνω του ή και ολόκληρη τη γειτονική οικοδομή. Τέτοια απυχήματα είναι δυστυχώς αρκετά συνηθισμένα στη χώρα μας.

Για να αποφύγουμε τον κίνδυνο αυτό, πρέπει να λάβομε ορισμένα μέτρα, πριν γίνουν οι εισκαφές χαμηλότερα από τη στάθμη του γειτονικού θεμελίου. Οι ενέργειες, που πρέπει να γίνουν, είναι οι ακόλουθες:

α) Γίνονται όλες οι εισκαφές για τη νέα οικοδομή ως τη στάθμη των θεμελίων της παληάς.



Σχ. 5.3α.

Εκσκαφές αστικής οικοδομής, όπου χρειάζεται υποθεμελίωση τοίχου.

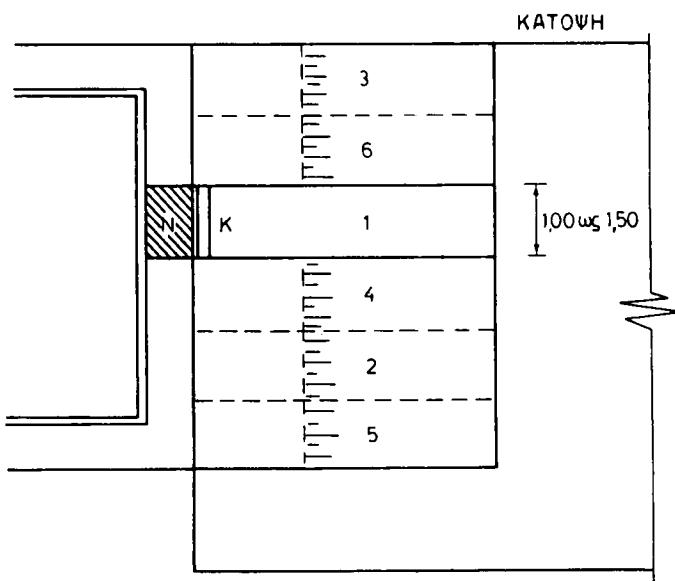
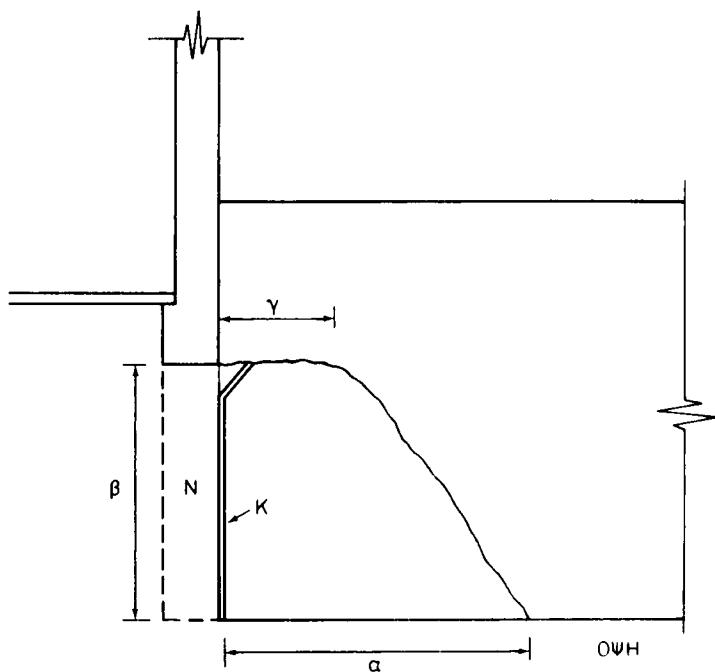
Σ.Ε. = Στάθμη φυσικού εδάφους. Σ.Θ. = Στάθμη θεμελίωσεως, Γ.Ο. = Γειτονική οικοδομή, Π = Πρίσμα εδάφους, που κινδυνεύει να ανακοπεί και να κατολισθήσει.

β) Συνεχίζονται οι εκσκαφές ως τη στάθμη θεμελίωσεως της νέας οικοδομής σε όλη της την έκταση εκτός από μια λουρίδα με πλάτος  $\alpha$  (σχ. 5.3β), που βρίσκεται σε επαφή με την παληά οικοδομή. Το πλάτος  $\alpha$  πρέπει να είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερο από τη διαφορά  $\beta$ , που παρουσιάζουν οι δυο στάθμες θεμελίωσεως, αλλά εξαρτάται και από την ποιότητα του εδάφους. Για εδάφη μαλακά μπορεί να φτάσει το  $2\beta$  ή και περισσότερο. Ένα πρακτικό κριτήριο είναι, να μπορεί να σταθεί με ασφάλεια το πρανές της εκσκαφής αφήνοντας στη στέψη του και μια οριζόντια λουρίδα με πλάτος  $\gamma$  περίπου ίσο με  $\beta/2$ .

γ) Σκάβεται ως τη στάθμη των θεμελίων της νέας οικοδομής μια λουρίδα εδάφους με πλάτος 1,00 ως 1,50 m κάθετη προς τον τοίχο της παληάς οικοδομής, που να αντιστοιχεί στο μέσο περίπου του τοίχου αυτού. Το σκάψιμο προχωράει και κάτω από τον τοίχο και σε ολόκληρο το πάχος του, ώστε να δημιουργηθεί μια κόγχη, που στη γλώσσα του εργοταξίου λέγεται **ντουλάπι**.

δ) Κατασκευάζεται ένα κατακόρυφο σανίδωμα στην προέκταση προς τα κάτω της ορατής όψεως του γειτονικού τοίχου και στηρίζεται με κατάλληλα, ικριώματα ξύλινα ή μεταλλικά. Δημιουργείται έτσι ένα καλούπι για τοίχωμα, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.5.3 «Καλούπια» της Γενικής Δομικής II. Κοντά στην κορυφή του το σανίδωμα γίνεται λοξό και αφήνει αρκετό κενό, ώστε να μπορεί απ' αυτό να περάσει το σκυρόδεμα και να γεμίσει το ντουλάπι.

ε) Από το κενό αυτό χύνεται σκυρόδεμα της ποιότητας, που θα έχει καθορίσει ο υπεύθυνος πολιτικός μηχανικός. Πρέπει να γίνει κάθε προσπάθεια, ώστε όλο το ντουλάπι να γεμίσει καλά, χωρίς να μείνουν καθόλου κενά. Για το σκοπό αυτό το σκυρόδεμα πρέπει να διαστρώνεται σιγά-σιγά και, αν είναι δυνατόν, με σωλήνα

**Σχ. 5.3β.**

Υποθεμελίωση τοίχου με ντουλάπια.

Ν = Ντουλάπι, Κ = Καλούπι.

που να φτάνει πολύ κοντά στο σημείο διαστρώσεως και με σύγχρονη χρήση δονητή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην τελευταία φάση, ώστε να μη μείνουν κενά ακριβώς κάτω από τον τοίχο.

στ) Σκάβεται δεύτερη λουρίδα εδάφους και δεύτερο ντουλάπι, όχι όμως σε επαφή με το πρώτο. Η απόσταση των δύο ντουλαπιών πρέπει να είναι τόση, ώστε το έδαφος ανάμεσα στα δύο ντουλάπια να μπορεί να σταθεί χωρίς κίνδυνο να υποχωρήσουν τα πρανή του. Εννοείται ότι για εδάφη ασταθή θα χρειασθούν να γίνουν αντιστηρίξεις των πρανών, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2δ(α) ή σπανιότερα στο σχήμα 5.2δ(β).

ζ) Όταν περάσει ο χρόνος, που έχει καθορίσει ο υπεύθυνος πολιτικός μηχανικός, συνήθως ένα ως τρία εικοσιτετράωρα, το πρώτο ντουλάπι ξεκαλουπώνεται και καθαιρείται όσο σκυρόδεμα εξέχει από την επιφάνεια του τοίχου προς το εσωτερικό του ορύγματος.

η) Οι εργασίες συνεχίζονται με την ίδια σειρά στο δεύτερο ντουλάπι, ενώ ανοίγονται διαδοχικά και άλλα, ώσπου να υποθεμελιωθεί ολόκληρος ο τοίχος. Στο σχήμα 5.3β φαίνεται ενδεικτικά μια σωστή σειρά προτεραιότητας κατασκευής των ντουλαπιών για ένα τοίχο με μήκος 6-10 m. Αν ο τοίχος έχει πολύ μεγαλύτερο μήκος, μπορεί να χωρισθεί σε δύο-τρία κομμάτια με μήκος τουλάχιστον 8 m το καθένα και οι εργασίες να προχωρούν παράλληλα στο καθένα από τα κομμάτια αυτά.

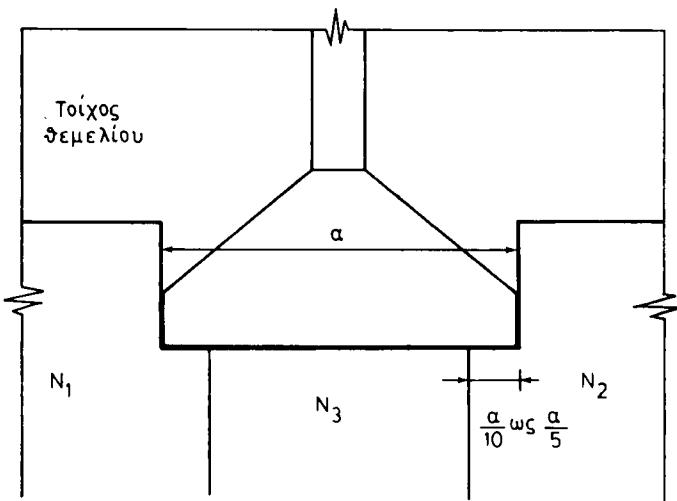
Η μέθοδος που περιγράφτηκε αναφέρεται κυρίως σε θεμέλια τοίχων από φυσικούς ή και τεχνητούς, σπανιότερα, λίθους. Η ίδια μέθοδος εφαρμόζεται και όταν το θεμέλιο της παληάς οικοδομής αποτελείται από μια πεδιλοδοκό, δηλαδή από μια οριζόντια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, που έχει μεγάλες διαστάσεις (σχ. 6.4α). Στην περίπτωση αυτή μάλιστα τα ντουλάπια μπορούν να έχουν και μεγαλύτερο πλάτος, ως το διπλάσιο του ύψους της πεδιλοδοκού.

Τα πράγματα γίνονται δυσκολότερα, όταν η παληά οικοδομή έχει σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα και κάθε κολώνα, που είναι ενσωματωμένη στον τοίχο, που πρόκειται να υποθεμελιωθεί, στηρίζεται σε απομονωμένο πέδιλο (σχ. 6.2α). Στην περίπτωση αυτή γίνονται πρώτα τα ντουλάπια στις περιοχές, που βρίσκονται ανάμεσα από τα πέδιλα και αφήνονται τελευταία τα ντουλάπια, που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τις κολώνες. Τα ντουλάπια αυτά πρέπει να έχουν πλάτος αρκετά μικρότερο από το πλάτος των πεδιλών (σχ. 5.3γ). Αυτό είναι δυνατόν να γίνει αν τα γειτονικά τους ντουλάπια, που έχουν ήδη κατασκευασθεί, υποθεμελιώνουν και τις δύο άκρες του πεδίλου σε λουρίδες ίσες με το 10 ως 20% του συνολικού πλάτους του πεδίλου. Εννοείται ότι, αν το πέδιλο έχει πολύ μεγάλο πλάτος, από 2,50 έως 3,00 m, θα χρειασθεί να γίνουν δύο ή και περισσότερα ντουλάπια από κάτω του.

## 5.4 Αβαθής θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον μετά από βελτίωση του εδάφους.

### a) Γενικά.

Όταν το έδαφος είναι πολύ κακής ποιότητας, πρέπει πάντοτε να εξετάζομε μήπως υπάρχει η δύνατότητα να βελτιωθεί. Δεν αποκλείεται, όταν το έδαφος βελτιωθεί, να μπορεί να κατασκευασθεί η θεμελίωση τόσο φθηνότερα, ώστε να υπερκαλυφθούν οι δαπάνες για τις πρόσθετες εργασίες της βελτιώσεως. Χρειάζεται βέ-



Σχ. 5.3γ.

Υποθεμελίωση πεδίου με ντουλάπια.

$N_1, N_2, N_3$  = ντουλάπια με τη σειρά που κατασκευάζονται.

βαία να γίνεται μια μελέτη, όπου να συγκρίνονται οι διάφορες δυνατές λύσεις και να διαλέγεται κάθε φορά η πιο οικονομική.

Με τον όρο **βελτίωση του εδάφους** εννοούμε κυρίως τη συμπύκνωσή του, ώστε, όταν του επιβάλλονται πρόσθετες επιβαρύνσεις, οι καθιζήσεις να είναι όσο γίνεται μικρότερες.

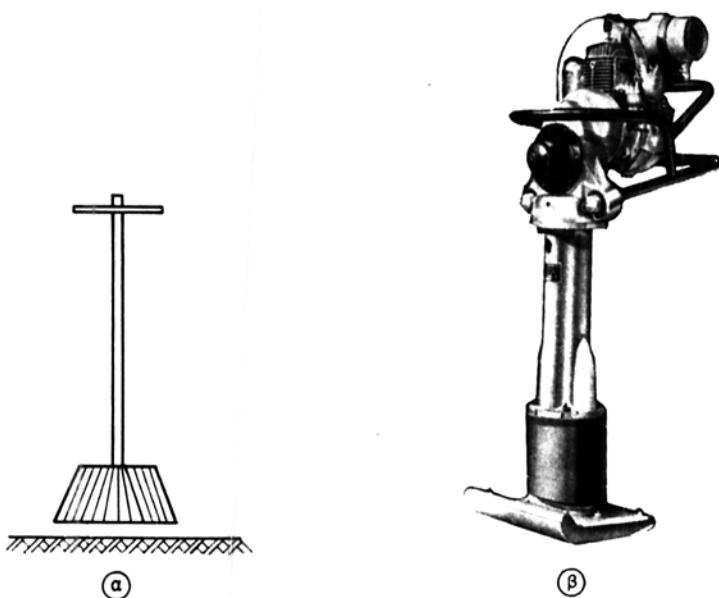
Όταν πρόκειται να γίνει βαθιά θεμελίωση, η βελτίωση του εδάφους, που αναγκαστικά περιορίζεται στα ανώτερα στρώματά του, είναι περιττή. Ετσι η βελτίωση του εδάφους αναφέρεται μόνο στις αβαθείς θεμελιώσεις. Στην πρώτη φάση γίνονται οι εργασίες πραγματοποιούνται σε τρεις διαδοχικές φάσεις. Στην πρώτη φάση γίνονται οι εκσκαφές και γ' αυτές ισχύουν, όσα αναφέρονται στην παράγραφο 5.2(α). Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τη βελτίωση του εδάφους και η τελευταία την κατασκευή των θεμελίων, που γίνεται πάλι σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 5.2(β).

Δε μένει λοιπόν παρά να περιγράψουμε και τις εργασίες της δεύτερης φάσεως. Οι εργασίες αυτές για τη βελτίωση του εδάφους γίνονται με διάφορες μεθόδους, που οι κυριότερες περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

### β) Βελτίωση του εδάφους με μηχανικά μέσα.

Η βελτίωση του εδάφους με μηχανικά μέσα έχει σκοπό να μειωθούν τα κενά, που υπάρχουν στη μάζα του, ώστε οι παραμορφώσεις του εδάφους να είναι μικρότερες για την ίδια αύξηση των πιέσεων. Μπορούμε να πετύχουμε τη μείωση των κενών, είτε αν αναγκάσομε τους κόκκους του εδάφους να πλησιάσουν ο ένας με τον άλλο, είτε αν ανάμεσα στους κόκκους εισδύσουν άλλα υλικά, και γεμίσουν ένα μέρος από τα κενά αυτά.

Στα χαλαρά εδάφη είναι εύκολο να αναγκάσομε τους κόκκους να πλησιάσουν ο ένας τον άλλο, αν επιβάλλομε στο έδαφος κατάλληλα φορτία για σχετικά μικρό χρο-



Σχ. 5.4α.

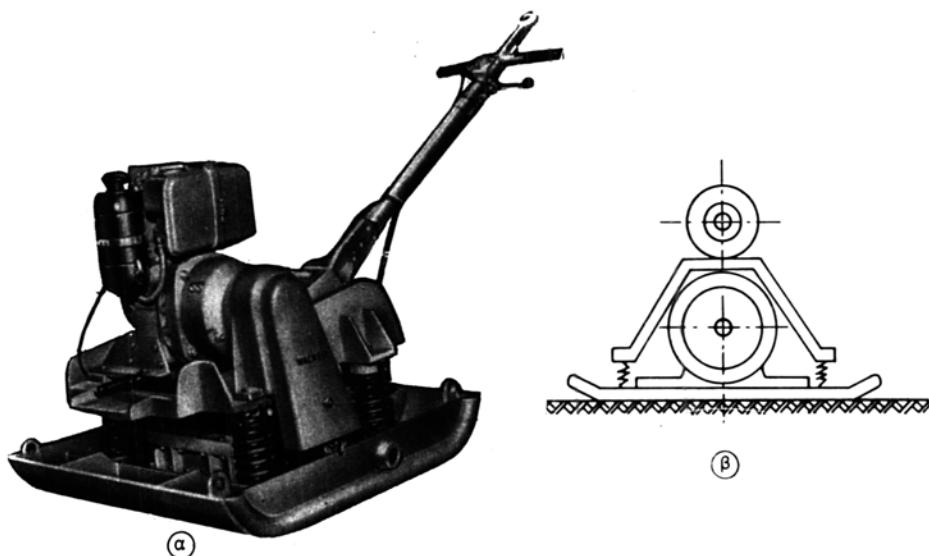
Κόπανοι (τυπάδες): α) Χειροκίνητος. β) Μηχανοκίνητος.

νικό διάστημα. Τα φορτία αυτά μπορεί να είναι στατικά. Ο πιο απλός τρόπος να επιβάλομε τέτοια φορτία είναι να συγκεντρώσουμε όλα τα δομικά υλικά, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του έργου, πάνω στο τμήμα του εδάφους, που χρειάζεται βελτίωση. Ο τρόπος αυτός δεν είναι πρακτικός, τουλάχιστον για σημαντικά έργα, γιατί χρειάζεται να συγκεντρωθούν μεγάλες ποσότητες υλικών, παρουσιάζονται φθορές και απώλειες υλικών, ενώ τελικά τα αποτελέσματα είναι μέτρια και δεν επιτυγχάνονται γρήγορα.

Η βελτίωση γίνεται πολύ ευκολότερα, όταν τα φορτία είναι δυναμικά. Μπορούν τότε να εφαρμόζονται διαδοχικά σε μικρές επιφάνειες, ώστε να προκαλούν σημαντικές πιέσεις στο έδαφος, χωρίς να χρειάζεται να είναι εξαιρετικά μεγάλα. Η εφαρμογή των φορτίων μπορεί να γίνει με τρεις κυρίως τρόπους: κοπάνισμα (τύπανση), δόνηση και κυλίνδρωση.

Το **κοπάνισμα** μπορεί να γίνει με το χέρι με ειδικούς κόπανους (τυπάδες), σήμερα όμως χρησιμοποιούνται κυρίως μηχανικοί κόπανοι, βενζινοκίνητοι ή πετρελαιοκίνητοι (σχ. 5.4α).

Η **δόνηση** γίνεται πάντοτε με μηχανικό δονητή (σχ. 5.4β). Με τη δόνηση οι τριβές, που υπάρχουν ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους και τους συγκρατούν στις θέσεις τους, εξουδετερώνονται. Το ίδιο το βάρος των κόκκων τότε προκαλεί τη μετακίνησή τους προς νέες θέσεις με πιο ευσταθή ισορροπία. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα κενά λιγοστεύουν και το έδαφος συμπυκνώνεται.

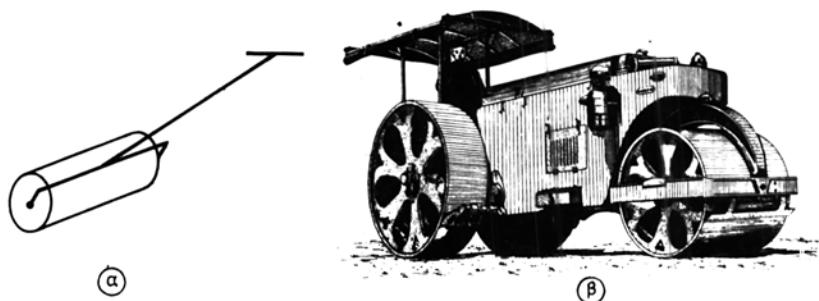


Σχ. 5.4β.

Δονητής εδάφους: α) Φωτογραφία. β) Σχηματική τομή.

Με την **κυλίνδρωση** του εδάφους τα φορτία εφαρμόζονται λιγότερο απότομα, δεν έχουν δηλαδή τόσο δυναμικό χαρακτήρα, όπως τα προηγούμενα, μπορούν όμως να είναι πολύ μεγαλύτερα. Η κυλίνδρωση εφαρμόζεται γενικά στα επιχώματα και τα οδοστρώματα, με σκοπό να βελτιώσει τις ιδιότητές τους με τη συμπύκνωση που προκαλεί, εφαρμόζεται όμως και στην περίπτωση εκτεταμένων θεμελίων με σκοπό τη βελτίωση του εδάφους.

Η κυλίνδρωση γίνεται με **κυλίνδρους** χειροκίνητους ή μηχανοκίνητους, που λέγονται και **οδοστρωτήρες** (σχ. 5.4γ). Μπορούμε να πετύχομε καλύτερη συμπύκνωση του εδάφους, όταν η επιφάνεια των κυλίνδρων δεν είναι ομαλή, αλλά έχει κατάλληλες προεξοχές (**κατσικοπόδαρα**), που εισχωρούν στο έδαφος (σχ. 5.4δ).



Σχ. 5.4γ.

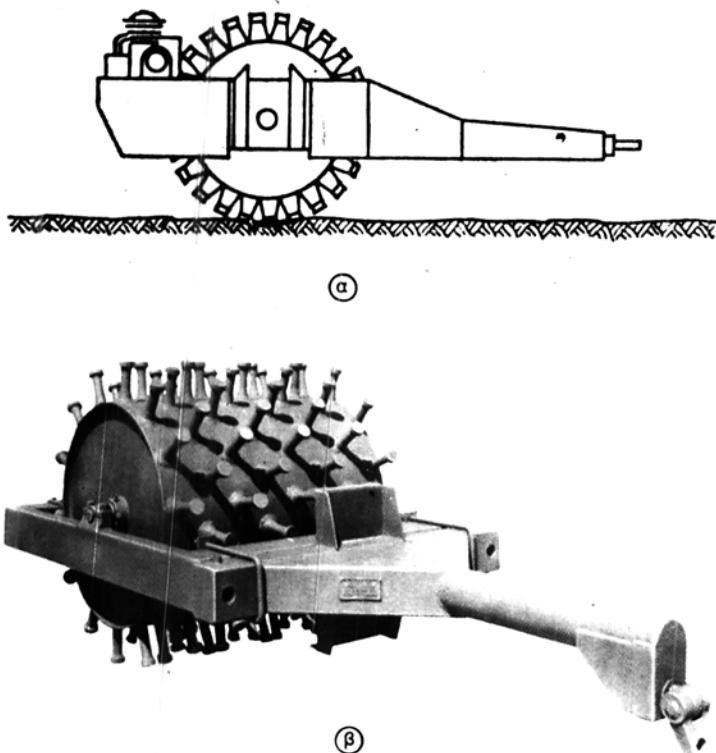
Κύλινδροι: α) Χειροκίνητος. β) Μηχανοκίνητος (οδοστρωτήρας).

Έτσι στο έδαφος δεν αναπτύσσονται μόνο κατακόρυφες πίέσεις, αλλά και οριζόντιες και το αποτέλεσμα είναι πολύ καλύτερο, ιδιαίτερα όταν το έδαφος παρουσιάζει κάποια πλαστικότητα.

Πρέπει πάντως να τονισθεί ότι όλες οι μέθοδοι για συμπύκνωση του εδάφους, που περιγράφαμε, βελτιώνουν μόνο τα ανώτερα στρώματά του.

Στα συνεκτικά εδάφη δεν είναι εύκολο να πετύχομε συμπύκνωση επιβάλλοντας προσωρινά φορτία. Όπως ήδη έχομε εξηγήσει, στα εδάφη αυτά οι κόκκοι πλησιάζουν μεταξύ τους με πολύ βραδύ ρυθμό, όταν αυξηθεί η πίεση. Είναι λοιπόν προτιμότερο να εφαρμόζονται άλλες μέθοδοι για τη βελτίωση των συνεκτικών εδαφών.

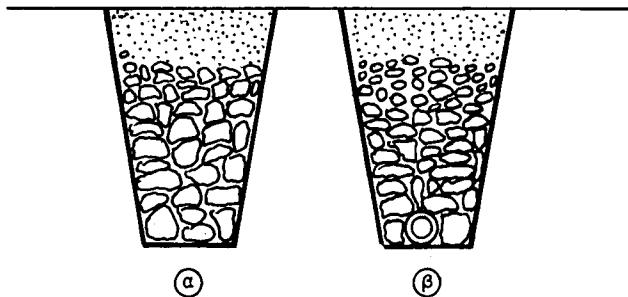
Τα συνεκτικά εδάφη χρειάζονται βελτίωση, όταν παρουσιάζουν μικρή αντοχή και μεγάλες καθιζήσεις. Αυτό συμβαίνει, όταν περιέχουν ψηλό ποσοστό υγρασίας. Όταν μάλιστα το ποσοστό αυτό έχει και μεγάλες μεταβολές, το έδαφος παρουσιάζει το ακόμα δυσμενέστερο χαρακτηριστικό, ότι μεταβάλλεται με τον καιρό τόσο η αντοχή του δύο και ο όγκος του. Βελτίωση λοιπόν ή μάλλον εξυγίανση αυτών των εδαφών μπορούμε να πετύχομε μόνο, όταν περιορίσσομε την υγρασία τους και εξασφαλίσουμε ότι θα μείνει για πάντα χαμηλή. Αυτό γίνεται με την **αποστράγγιση** του εδάφους.



**Σχ. 5.46.**

Ρυμουλκούμενος κύλινδρος με προεξοχές (κατσικοπόδαρο).

α) Σχηματική δψη. β) Φωτογραφία.



Σχ. 5.4ε.

Στραγγιστήρια: α) Απλό. β) Με σωλήνωση με ανοικτούς αρμούς.

Για να απόστραγγίσουμε το έδαφος, κατασκευάζομε ένα σύστημα αυλακιών με μεγάλο βάθος μέσα και γύρω από την περιοχή της θεμελιώσεως, που τα γειμίζουμε με πέτρες και χαλίκια. Τα αυλάκια αυτά λέγονται **στραγγιστήρια**. Στον πυθμένα τους μπορούμε να τοποθετήσουμε και μια σωλήνωση με ανοικτούς αρμούς, ώστε να συγκεντρώνονται σ' αυτή τα νερά, που θέλομε να απομακρυνθούν (σχ. 5.4ε). Ο πυθμένας των στραγγιστηρίων πρέπει να έχει μια μικρή κλίση, για να φεύγει το νερό.

Το νερό των στραγγιστηρίων πρέπει κάπου να καταλήγει, επομένως τα αυλάκια πρέπει να βγαίνουν στην επιφάνεια του εδάφους ή να καταλήγουν σε κάποιο υποδοχέα (υπόνομο, ποτάμι, λίμνη, θάλασσα). Βέβαια θα μπορούσε κανείς να αντλεί το νερό των στραγγιστηρίων, αλλά αυτή η λύση δεν είναι καλή, γιατί η ασφάλεια του έργου θα στηρίζεται στη λειτουργία των αντλιών. Αν δηλαδή σταματήσει για οποιοδήποτε λόγο η λειτουργία των αντλιών, υπάρχει κίνδυνος να χαλάσει και πάλι η ποιότητα του εδάφους.

Για τη συμπύκνωση των συνεκτικών εδαφών, είναι καλύτερα να λιγοστέψουμε τα κενά γειμίζοντας τα με ξένα υλικά. Η απλούστερη εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι να προσθέσουμε πέτρες και χαλίκια πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Μόλις τα συμπιέσουμε με κοπάνισμα ή κυλίνδρωση, βυθίζονται μέσα στο έδαφος και το συμπυκνώνουν. Συνεχίζομε να προσθέτουμε πέτρες και χαλίκια, ώσπου το έδαφος να μην μπορεί πια να τα απορροφήσει. Αυτό σημαίνει ότι η αντοχή του αυξήθηκε ίκανοποιητικά και έπαψε να συμπιέζεται εύκολα, μόλις προστεθεί κάποιο φορτίο.

Η μέθοδος αυτή, που ήταν γνωστή από την αρχαιότητα, είναι αποτελεσματική ιδιαίτερα για εδάφη πολύ υδαρή, έχει όμως το μειονέκτημα ότι η βελτίωση περιορίζεται σε πολύ μικρό βάθος. Επομένως είναι ακατάλληλη, όταν στην επιφάνεια υπάρχει ένα σχετικά καλό έδαφος και από κάτω άλλα στρώματα πολύ συμπιεστά. Επίσης δεν πρέπει να εφαρμόζεται, όταν τα θεμέλια έχουν μεγάλες διαστάσεις, γιατί τότε, όπως είπαμε, οι αυξήσεις των πιέσεων προχωρούν σε μεγάλα βάθη, πέρα από κει, που φθάνει η βελτίωση του εδάφους.

Στις τελευταίες αυτές περιπτώσεις μπορούμε να συμπυκνώσουμε το έδαφος μπήγοντας πασσάλους. Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η μέθοδος αυτή δεν υπάγεται στις θεμελιώσεις με πασσάλους, που θα περιγράφομε στην παράγραφο 5.6(γ). Οι πάσσαλοι, που αναφέρομε εδώ, δεν μεταβιβάζουν τα φορτία της ανωδομής στο έ-

δαφος και μάλιστα μπορεί και να μη συνδέονται καθόλου με τα θεμέλια. Χρησιμεύουν μόνο και μόνο, για να εξαναγκάσουν τους κόκκους του εδάφους να πλησιάσουν μεταξύ τους και έτσι να συμπυκνωθεί το έδαφος. Επειδή όμως το μπήξιμο των πασσάλων αυτών γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στις θεμελιώσεις με πασσάλους, η μέθοδος δεν περιγράφεται ιδιαίτερα στην παράγραφο αυτή.

### **γ) Βελτίωση του εδάφους με χημικά μέσα.**

Ένας άλλος τρόπος, για να πετύχομε τη βελτίωση του εδάφους, είναι να συμπληρώσουμε τα κενά του με ένα κατάλληλο υλικό, που να έχει τις ιδιότητες κόλλας. Το υλικό αυτό πρέπει να είναι υγρό, όταν φθάνει στην τελική του θέση, για να μπορεί να διεισδύσει ανάμεσα στους κόκκους και έπειτα να πήζει και να μετατρέπεται σε στερεό. Κατάλληλο υλικό για το σκοπό αυτό είναι το τσιμέντο, γιατί έτσι το έδαφος παίρνει τη μορφή ενός τσιμεντοκονιάματος ή ενός σκυροδέματος, δηλαδή ενός υλικού με πολύ μεγαλύτερη αντοχή.

Άλλο κατάλληλο υλικό είναι το πυριτικό νάτριο (υδρύαλος). Στο έδαφος εισχωρεί με τη μορφή διαλύματος, που περιέχει και χλωριούχο ασβέστιο, και, όταν πήζει, γίνεται ένα υλικό πολύ συγγενικό με το γυαλί. Υπάρχουν και άλλα παρόμοια υλικά π.χ. το AM-9 (μίγμα από ακρυλαμίδη και μεθυλενοδισακρυλαμίδη), που προστατεύονται από διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Η πρόσδοση της Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας και ιδιαίτερα της τεχνολογίας των πλαστικών έχει προσφέρει, και είναι βέβαιο ότι θα προσφέρει, πολλά υλικά με ιδιότητες κατάλληλες για το σκοπό αυτό.

Υπάρχουν και περιπτώσεις, που το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί, αν του προσθέσουμε άργιλο. Αυτό γίνεται κυρίως, όταν τα εδάφη είναι πολύ χαλαρά, για να αποκτήσουν κάποια συνεκτικότητα. Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι μια τέτοια βελτίωση δεν έχει ως κύριο σκοπό να αυξηθεί η αντοχή του εδάφους, αλλά να περιορισθεί η υδροπερατότητά του. Γ' αυτό κατά κανόνα εφαρμόζεται σε θεμελιώσεις φραγμάτων ή παρομοίων έργων.

Τέλος το έδαφος βελτιώνεται, αν του προσθέσουμε κάποιο ασφαλτικό υλικό ή γενικότερα κάποιο υλικό από την οικογένεια των πετρελαιοειδών.

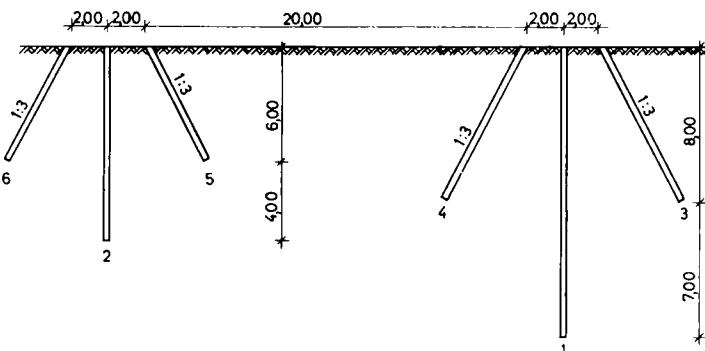
Θεωρούμε ότι η βελτίωση του εδάφους με τους τρόπους που αναφέραμε γίνεται με χημικά μέσα, επειδή, όταν τα υλικά που προσθέτομε στο έδαφος πήζουν, συντελούνται ορισμένες χημικές αντιδράσεις, δηλαδή συμμετέχει το έδαφος και άλλοτε όχι. Εν τούτοις η βελτίωση είναι κυρίως μηχανική, αφού στηρίζεται στη συμπλήρωση των κενών και στην αύξηση της συνάφειας μεταξύ των κόκκων του εδάφους.

Τα υλικά για τη βελτίωση του εδάφους, ιδιαίτερα το τσιμέντο και η άσφαλτος, μπορούν να προστεθούν επιφανειακά. Το έδαφος αναμοχλεύεται και θρυμματίζεται στο βάθος που θέλουμε με ένα κατάλληλο μηχάνημα και ρίχνεται το υλικό που θα το βελτιώσει. Έπειτα με κατάλληλα πάλι μηχανήματα υλικό και έδαφος ανακατεύονται, διαστρώνονται και κυλινδρώνονται. Με τον τρόπο αυτό η βελτίωση του εδάφους περιορίζεται σε πολύ μικρό βάθος και γι' αυτό δεν εφαρμόζεται συνήθως στις θεμελιώσεις, αλλά περισσότερο στην οδοποιία.

Ο συνηθισμένος τρόπος, για να προσθέσουμε στο έδαφος το υλικό που θα το βελτιώσει, είναι οι ενέσεις, που ανάλογα με το υλικό τις λέμε **τσιμεντενέσεις, αργιλενέσεις** κ.ο.κ. Για να γίνει μια ένεση, πρέπει πρώτα να ανοιχθεί μια κυλινδρική τρύπα με ένα γεωτρύπανο. Το μάκρος και η διεύθυνση της τρύπας καθορίζονται α-

πό τη μελέτη του έργου. Όταν οι ενέσεις γίνονται σε χαλαρά ή γενικότερα σε ασταθή εδάφη, όσο προχωρεί η γεώτρηση, προχωρεί και ένας μεταλλικός σωλήνας, που ντύνει την τρύπα και δεν αφήνει το έδαφος να τη ξαναγεμίσει, μόλις βγη το στέλεχος του γεωτρύπανου. Επειδή ενέσεις γίνονται και σε βράχους, με σκοπό να γεμίσουν διάφορες ρωγμές και άλλα κενά και έτσι να αυξηθεί η αντοχή τους ή με σκοπό να στεγανοποιηθούν, τότε βέβαια η σωλήνωση είναι περιπτή.

Οι λεπτομέρειες για την εκτέλεση των ενέσεων διαφέρουν από τη μια περίπτωση στην άλλη και κυρίως από το ένα υλικό στο άλλο. Γενικά υπάρχει μια αντλία, για να διοχετεύει το υλικό, που έχει τη μορφή διαλύματος, γαλακτώματος ή πολτού, μέσα από κατάλληλες σωληνώσεις με πίεση ως το βάθος της γεωτρήσεως. Όταν το έδαφος δεν μπορεί πια να απορροφήσει άλλο υλικό, τραβάμε λίγο προς τα πάνω το σωλήνα τροφοδοτήσεως, αλλά και το σωλήνα επενδύσεως, αν υπάρχει, ώστε το υλικό να φθάσει στα πιο πάνω στρώματα του εδάφους. Η εργασία συνεχίζεται μ' αυτό τον τρόπο, ώσπου να εμποτισθούν όλα τα στρώματα του εδάφους, που προβλέπει η μελέτη. Η μελέτη για τη βελτίωση του εδάφους συνοδεύεται και από σχέδια (σχ. 5.4στ), που δείχνουν τον αριθμό, το μάκρος, την κατεύθυνση και τη σειρά προτεραιότητας των ενέσεων.



Σχ. 5.4στ.

Σχηματικό διάγραμμα για την εκτέλεση τσιμεντενέσεων (τομή).

Η αντλία μπορεί να στέλνει το σταθεροποιητικό υλικό μέσα στη γεώτρηση χωρίς διακοπή, μπορεί όμως και να σταματάει κάθε φορά, που αλλάζει η θέση, όπου καταλήγει ο τροφοδοτικός σωλήνας. Επίσης η σύνθεση του υλικού και η πίεση του μπορεί να μένουν σταθερές ή να αλλάζουν. Συγκεκριμένα στις τσιμεντενέσεις ο τσιμεντοπολτός γίνεται πιο πυκνός, ενώ η πίεση του μικραίνει, όσο η ένεση προχωρεί προς τα ανωτέρα στρώματα. Έτσι στα κατώτερα στρώματα η βελτίωση του εδάφους δεν είναι τόσο έντονη, αλλά επεκτείνεται σε μεγαλύτερη έκταση, επειδή ακριβώς και οι αυξήσεις των πιέσεων στα στρώματα αυτά είναι μικρότερες, αλλά επηρεάζουν μια πιο φαρδιά περιοχή. Με άλλα λόγια η βελτίωση του εδάφους παίρνει ένα σχήμα παρόδου με το σχήμα του βολβού των πιέσεων, που προκαλεί το θεμέλιο (σχ. 4.2α).

Ο τρόπος που περιγράψαμε λέγεται ένεση με **ανερχόμενα βήματα**. Η ένεση ό-

μως μπορεί να γίνει και ανάποδα, δηλαδή με **κατερχόμενα βήματα**. Σ' αυτή την περίπτωση κάνομε πρώτα μια ρηχή γεώτρηση, που κατά κανόνα δεν χρειάζεται και επένδυση. Έπειτα γίνεται μια πρώτη ένεση με πυκνό υλικό και χαμηλή πίεση, που σταματάει, όταν το έδαφος δεν μπορεί να απορροφήσει άλλο υλικό. Βεβαίως η τρύπα γεμίζει με το υλικό και χρειάζεται να ξανανοιχτεί με το γεωτρύπανο, που προχωρεί τώρα λίγο βαθύτερα. Ακολουθεί μια δεύτερη ένεση με υλικό λίγο αραιότερο και πίεση λίγο μεγαλύτερη. Έπειτα η γεώτρηση ανοίγεται και πάλι και προχωρεί ακόμα βαθύτερα. Ακολουθεί τρίτη ένεση, πάλι γεώτρηση κ.ο.κ., ώσπου το υλικό να φθάσει στο βάθος, που προβλέπεται στη μελέτη. Το υλικό γίνεται συνεχώς αραιότερο και η πίεση μεγαλώνει.

Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί και με καθαρά χημικές μεθόδους. Μια απ' αυτές είναι η **ηλεκτροχημική**, όπου μπήγομε στο έδαφος δύο ηλεκτρόδια με διαφορά τάσεως. Το νερό, που περιέχεται μέσα στο έδαφος και περιέχει πάντοτε σε διάλυση ορισμένους ηλεκτρολύτες (άλατα, οξέα κλπ), μετακινείται φεύγοντας από το ένα ηλεκτρόδιο και συγκεντρώνεται κοντά στο άλλο. Έτσι το έδαφος αποστραγγίζεται και συμπυκνώνεται. Πάντως μέθοδοι καθαρώς χημικές σπάνια εφαρμόζονται στην κατασκευή των έργων, γιατί ακόμα βρίσκονται στο στάδιο των εργαστηριακών ερευνών.

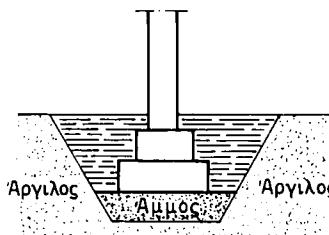
Τέλος πρέπει να τονίσουμε ότι γενικά η βελτίωση του εδάφους με σκοπό τη θεμελίωση ενός έργου σπάνια πραγματοποιείται με χημικές μεθόδους. Η βελτίωση αυτού του είδους μπορεί να αυξάνει την αντοχή, κυρίως όμως αυξάνει τη στεγανότητα του εδάφους και ακριβώς γι' αυτό εφαρμόζεται συχνότερα σε φράγματα, σε σήραγγες, σε μεταλλεία κλπ.

### **δ) Αντικατάσταση του εδάφους.**

Σε ορισμένες περιπτώσεις συμφέρει, αντί να βελτιώσουμε ένα ακατάλληλο έδαφος, να το αφαιρέσουμε τελείως και να το αντικαταστήσουμε με κάποιο καλύτερο. Όταν π.χ. το έδαφος θεμελιώσεως είναι μαλακή άργιλος ή μαλακός πηλός με ψηλή υγρασία και παρουσιάζει πολύ μεγάλες καθιζήσεις για σχετικά μικρά φορτία, μπορούμε να αφαιρέσουμε ένα στρώμα του και να το αντικαταστήσουμε με ένα στρώμα άμμου. Έτσι κάτω από το θεμέλιο μεσολαβεί ένα υπόστρωμα από άμμο (σχ. 5.4ζ), που έχει αρκετή αντοχή, για να παραλάβει τα φορτία του. Στην κάτω επιφάνεια αυτού του υποστρώματος οι αυξήσεις των πιέσεων είναι αρκετά μικρότερες, ώστε να είναι ανεκτές για το μαλακό έδαφος. Το πάχος του στρώματος υπολογίζεται ακριβώς έτσι, ώστε οι πιέσεις στην κάτω του επιφάνεια να μην ξεπερνούν τις ανεκτές πιέσεις για το αρχικό έδαφος. Το πάχος αυτό είναι συνήθως μερικά δέκατα του μέτρου.

Σκόπιμο είναι να γίνεται αντικατάσταση του εδάφους και όταν ένα έδαφος με πολύ μικρή αντοχή έχει από κάτω του έδαφος πολύ καλής ποιότητας, αλλά με ανώμαλη επιφάνεια. Μπορούμε τότε να αφαιρέσουμε το κακό έδαφος και να συμπληρώσουμε τις λακκούβες του καλού εδάφους με άμμο, ώστε να αποκτήσουμε ομαλή επιφάνεια για την έδραση του θεμελίου, χωρίς να χρειασθεί να σκάψουμε το σκληρό έδαφος.

Η θεμελίωση πάνω σε τέτοια στρώματα εδάφους, που έχει μεταφερθεί από άλλού, πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτική μελέτη. Σε σοβαρά οικοδομικά έργα η αντικατάσταση του εδάφους είναι καλύτερο να γίνεται με σκυρόδεμα φτωχό σε τσιμέντο ή με λιθόδεμα.



**Σχ. 5.4ζ.**

Αντικατάσταση με άμμο ενός εδάφους με μικρότερη αντοχή, που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το θεμέλιο.

Η τελευταία αυτή μέθοδος εφαρμόζεται και στην περίπτωση, που βρίσκονται στην περιοχή των θεμέλιων παληά πηγάδια, βάθροι και γενικότερα παλέρες εσκαφές είτε αυτές έχουν επιχωματωθεί παλιότερα είτε όχι. Οι παλέρες αυτές εκσκαφές πρέπει να αδειάζονται τελείως από τα επιχώματα σε όλο τους το βάθος ή τουλάχιστον σε βάθος διπλάσιο περίπου από το πλάτος των θεμελίων. Έπειτα πρέπει να γεμίζονται με προσοχή με το σκυρόδεμα ή το λιθόδεμα και επάνω σ' αυτό να στηρίζονται τα θεμέλια. Βέβαια είναι πολύ πιο οικονομικό να γεμίσουμε τις παλέρες εκσκαφές με πέτρες και χώματα, αλλά τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να παρουσιασθούν μεγάλες καθίζσεις και να προκαλέσουν στο έργο τέτοιες ζημιές, ώστε να χρειασθούν πολύ μεγαλύτερες δαπάνες για την επισκευή τους, από κείνες που γλυτώσαμε κάνοντας μια μικρή οικονομία στα θεμέλια.

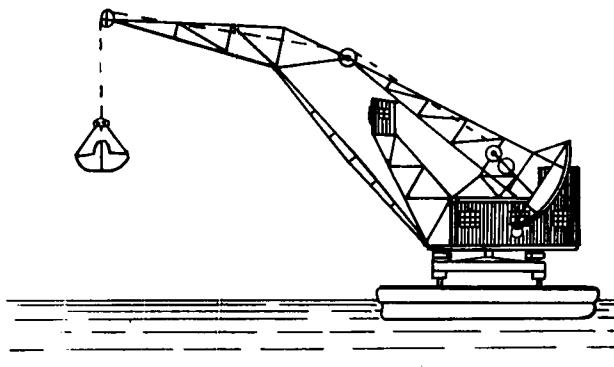
## 5.5 Άμεση αβαθής θεμελίωση μέσα στο νερό.

Τα θεμέλια ενός έργου μπορεί να βρίσκονται μόνιμα μέσα στο νερό, όπως συμβαίνει κατά κανόνα στα λιμενικά έργα, στα βάθρα των γεφυρών, στα φράγματα κλπ. Τα θεμέλια αυτά μπορεί να κατασκευασθούν είτε μέσα στο νερό είτε σε στεγνό περιβάλλον.

Η κατασκευή μέσα στο νερό είναι βέβαια πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή, αλλά και η απομάκρυνση του νερού παρουσιάζει δυσκολίες και προϋποθέτει δαπάνες. Για να θεμελιώσουμε π.χ. το μεσόβαθρο μιας γέφυρας σε στεγνό περιβάλλον, χρειάζεται να αλλάξουμε την κοίτη του ποταμού και κατά κανόνα να προστατεύσουμε με πασσαλοσανίδες [σχ. 5.2δ(β)] τα πρανή του ορύγματος και να αντλούμε τα υπόγεια νερά. Αν το έργο είναι λιμενικό, πρέπει να περιφράξουμε την περιοχή του με στεγανά υλικά και να αντλούμε συνεχώς το νερό της θάλασσας. Υπάρχουν λοιπόν περιπτώσεις, που συμφέρει να γίνουν τα θεμέλια μέσα στο νερό, για να αποφύγουμε όλα αυτά τα δύσκολα και δαπανηρά έργα.

Και στις θεμελιώσεις αυτές διακρίνομε πάλι τις εργασίες σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση μορφώνονται και προετοιμάζονται οι επιφάνειες του εδάφους, που πάνω τους θα εδρασθούν τα θεμέλια και στη δεύτερη κατασκευάζονται αυτά τα ίδια τα θεμέλια.

Στην πρώτη φάση οι εκσκαφές γίνονται με μηχανικούς εκσκαφείς, που μπορεί να είναι πλωτοί (σχ. 5.5α), αλλά μπορεί και να πατούν στο στερεό έδαφος, αν κον-



Σχ. 5.5α.

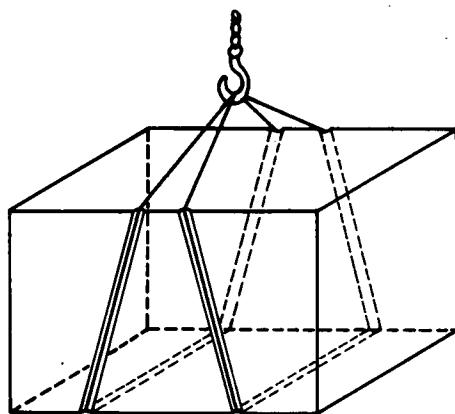
Πλωτός μηχανοκίνητος εκσκαφέας.

τά στο έργο υπάρχει τέτοιο έδαφος. Αν πρέπει να σκάψουμε σε βράχο, χρησιμοποιούνται εκρηκτικές ύλες και έπειτα οι εκσκαφείς απομακρύνουν τα προϊόντα της εκρήξεως. Τα διατρήματα μπορεί να ανοιχθούν με ειδικές αερόσφυρες με μακρύ στέλεχος, αλλά για την τοποθέτηση των εκρηκτικών υλών και για άλλες βοηθητικές εργασίες είναι απαραίτητοι οι **δύτες**, τουλάχιστον όταν το βάθος του νερού είναι μεγαλύτερο από 1,5 ως 2m.

Η παρουσία του νερού επηρεάζει ως επί το πλείστον την κατασκευή των κυρίων θεμελίων. Εδώ παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές, απ' όσα περιγράφονται στις προηγούμενες παραγράφους. Υπάρχει η τάση να χρησιμοποιούνται όσο γίνεται μεγαλύτερα προκατασκευασμένα στοιχεία για τα θεμέλια, ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό του έργου να εκτελείται έξω απ' το νερό.

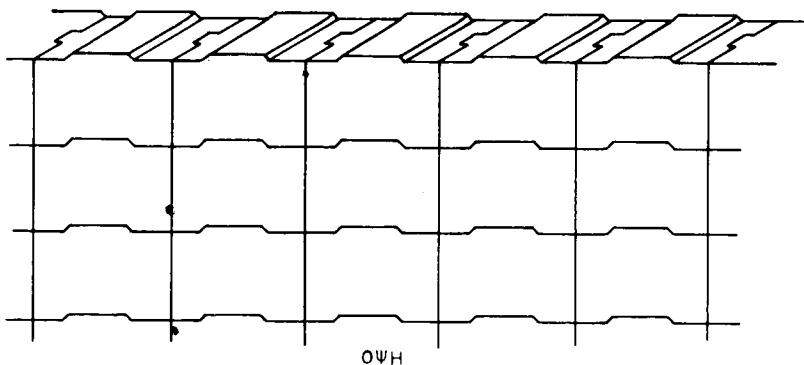
Υπάρχουν πάντως και περιπτώσεις, που τα θεμέλια είναι χυτά επί τόπου από απλό ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Το νερό μπορεί να προκαλέσει τότε την απόπλυση του σκυρόδεματος, να παρασύρει δηλαδή ένα μέρος από το τσιμέντο και τους λεπτότερους κόκκους της άμμου. Ο κίνδυνος αυτός είναι μεγαλύτερος, όταν το νερό ρέει, όπως συμβαίνει στα ποτάμια, ή παρουσιάζει κυματισμό, όπως συμβαίνει στη Θάλασσα. Ένας δεύτερος κίνδυνος είναι να ξεχωρίσουν τα υλικά του σκυροδέματος, επειδή μέσα στο νερό οι μεγαλύτεροι κόκκοι βουλιάζουν πιο γρήγορα από τους πιο λεπτούς. Έτσι, αν το σκυρόδεμα πρέπει να κατέβει σε αρκετό βάθος μέσα στο νερό, θα φθάσουν πρώτα τα σκύρα, έπειτα η άμμος και τελευταίος ο τσιμεντοπολτός. Το αποτέλεσμα θα είναι ότι το θεμέλιο θα αποτελείται από στρώσεις άλλες πλούσιες σε αδρανή υλικά και άλλες σε τσιμέντο.

Για να μικρύνουν όλοι αυτοί οι κίνδυνοι, το σκυρόδεμα πρέπει να φθάνει στη θέση του, χωρίς να κάνει αξιόλογες διαδρομές μέσα στο νερό. Γι' αυτό δεν επιτρέπεται να ρίχνομε το σκυρόδεμα στα θεμέλια απ' ευθείας από την επιφάνεια του νερού. Αντίθετα χρησιμοποιούνται εύκαμπτοι σωλήνες ή άλλοι κατάλληλοι αγωγοί, που έχουν τη μια τους άκρη έξω από το νερό, για να μπαίνει από κει το σκυρόδεμα, ενώ η άλλη τους άκρη μετακινείται έτσι, ώστε να βρίσκεται πάντοτε κοντά στο σημείο, όπου θέλουμε να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Όπως το σκυρόδεμα γλυστράει με το βάρος του μέσα στο σωλήνα, δεν προφταίνουν τα υλικά του να διαχωρί-



Σχ. 5.5β.

Εγκοπές για την ανάρτηση του ογκόλιθου από το γερανό.



Σχ. 5.5γ.

Κτίσιμο ογκολίθων. Προβλέπονται κατάλληλες εγκοπές, ώστε αι ογκόλιθοι να μπλέκουν μεταξύ τους.

στούν. Αμέσως μετά τη διάστρωση το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται με κοπάνισμα ή καλύτερα με δόνηση και έτσι περιορίζεται και ο κίνδυνος να αποπλυθεί.

Όταν τα θεμέλια κατασκευάζονται με προκατασκευασμένα στοιχεία, τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως **ογκόλιθοι**, ή **κυψελωτά κιβώτια**. Οι ογκόλιθοι, που κατασκευάζονται από απλό σκυρόδεμα ή λιθόδεμα, έχουν περίπου το σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου, με όγκο γύρω στα 5 ως 20  $m^3$ , ζυγίζουν δηλαδή από 10 ως 50 τόννους (σχ. 5.5β). Όσο μεγαλύτεροι είναι, τόσο μικραίνει η δαπάνη για την κατασκευή των θεμέλιων, επειδή μεγαλώνει το ποσοστό της δουλειάς, που γίνεται έξω από το νερό, και μικραίνει ο αριθμός των μεταφορών.

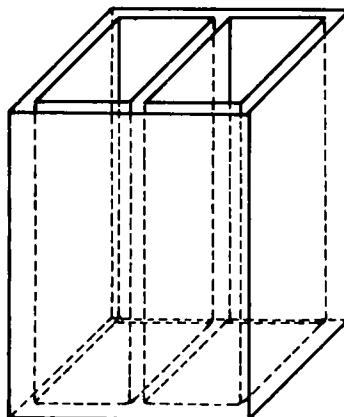
Οι ογκόλιθοι κτίζονται χωρίς κονίαμα και έτσι, ώστε ο ένας να βρίσκεται ακριβώς πάνω στον άλλο. Δεν εφαρμόζεται δηλαδή το σύστημα του κτισμάτος με τούβλα, όπου οι κατακόρυφοι αρμοί διακόπτονται από τους οριζόντιους (σχ. 4.2ε), αλλά σχηματίζονται ανεξάρτητες στήλες. Η ευστάθεια της κατασκευής βασίζεται στο μεγάλο βάρος των ογκολίθων, μπορεί όμως επικουρικά να έχουν μορφωθεί και οι έδρες τους με κατάλληλες εγκοπές, ώστε να συμπλέκονται ο ένας με τον άλλο (σχ. 5.5γ).

Παληότερα οι ογκόλιθοι κτίζοταν με πέτρες, ενώ το κονίαμα ήταν υδραυλικό, κυρίως θηραικοκονίαμα. Σήμερα οι ογκόλιθοι κατασκευάζονται γενικά από απλό σκυρόδεμα ή λιθόδεμα. Στην επιφάνεια των ογκολίθων σχηματίζονται εγκοπές κατάλληλες για να περνούν τα συρματόσχοινα, που χρησιμεύουν για να τους πιάνουν τα ανυψωτικά μηχανήματα και να τους μεταφέρουν στην οριστική τους θέση από τη θέση όπου κατασκευάσθηκαν. Οι εγκοπές αυτές είναι λοξές (σχ. 5.5β), ώστε η ισορροπία των ογκολίθων να είναι ευσταθής και να μην κινδυνεύουν να ανατραπουν.

Στην επιφάνεια των ογκολίθων αφήνονται και μερικές εσοχές, που μέσα τους αγκυρώνονται χαλύβδινες θηλιές. Στις θηλιές αυτές μπορούν να δεθούν βοηθητικά συρματόσχοινα, ώστε να μπορούν να γίνουν οι κατάλληλοι μικροχειρισμοί, που απαιτούνται, για να μπει ο κάθε ογκόλιθος με ακρίβεια στη σωστή του θέση. Τα ανυψωτικά μηχανήματα είναι γερανοί πλωτοί ή χερσαίοι ανάλογα με την περίπτωση.

Όταν η απόσταση μεταφοράς είναι μεγάλη, οι ογκόλιθοι γίνονται αντιοικονομικοί. Μπορούν τότε να χρησιμοποιηθούν **κυψελώτα κιβώτια** (caissons) από οπλισμένο σκυρόδεμα, που αποτελούνται μόνο από ένα σχετικά λεπτό περίβλημα και μερικά διαφράγματα (σχ. 5.5δ) κι' έτσι είναι πολύ ελαφρότερα. Μπορούν να έχουν πυθμένα, οπότε είναι πλωτά και η μεταφορά τους είναι ευκολότερη. Ή να είναι απύθμενα. Όταν μεταφερθούν στην τελική τους θέση, τα κενά τους γεμίζονται με αμμοχάλικο κι' έτσι αποκτούν την απαιτούμενη ευστάθεια.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των κυψελωτών κιβωτίων με πυθμένα είναι ότι επιπλέουν στο νερό. Έτσι, όταν κατασκευασθούν και πήξουν καλά, μπορούν να καθελκυσθούν, όπως ακριβώς ένα πλοίο, και να ρυμουλκηθούν στην οριστική τους θέση. Έπειτα τα κενά τους γεμίζονται σιγά-σιγά με σκυρόδεμα ή λιθόδεμα ή ακόμα και με αμμοχάλικο και τα κιβώτια βυθίζονται ήρεμα. Έτσι είναι εύκολο να γίνουν οι κατάλληλοι χειρισμοί, ώστε κάθε κιβώτιο να βρεθεί με ακρίβεια στη σωστή του θέση.



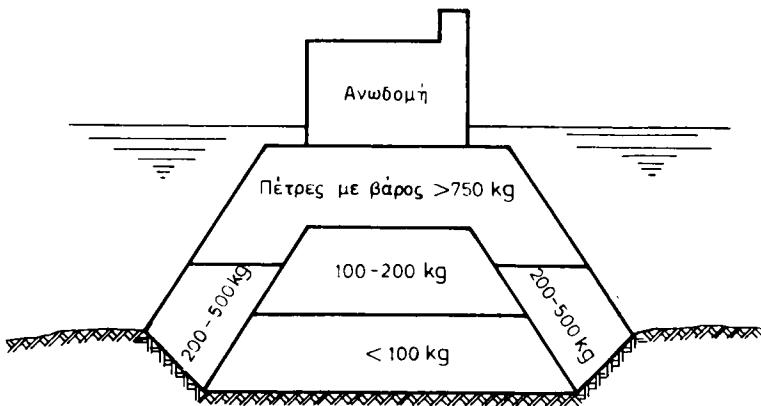
Σχ. 5.5δ.

Κυψελώτο κιβώτιο.

Τα απύθμενα κυψελώτα κιβώτια αποτελούν μια ενδιάμεση λύση, ανάμεσα στους ογκόλιθους και τα κιβώτια με πυθμένα. Τα κιβώτια αυτά δεν είναι πλωτά, αλλά μεταφέρονται με γερανούς, όπως και οι ογκόλιθοι. Είναι δύμας ελαφρότερα και επομένως μπορούν να γίνουν μεγαλύτερα, ώστε να μικρύνει ο αριθμός των μεταφορών. Επίσης το υλικό για τη συμπλήρωση των κενών τους μπορεί να είναι πολύ φθηνότερο από το υλικό, που αποτελεί τους συμπαγείς ογκόλιθους.

Στα λιμενικά έργα η θεμελίωση πολλές φορές περιορίζεται σε στρώματα λίθων και πάνω σ' αυτά εδράζεται η ανωδομή. Οι λίθοι διαστρώνονται φύρδην-μίγδην, δεν μπορούν δηλαδή τα θεμέλια αυτά να χαρακτηρισθούν ως **λιθοδομές** αλλά ως **λιθορριπές**. Βέβαια οι λίθοι δεν τοποθετούνται τυχαία, αλλά σε ορισμένες θέσεις του θεμελίου μπαίνουν πέτρες μικρότερες και σε άλλες μεγαλύτερες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5ε. Έτσι το θεμέλιο εξασφαλίζεται από τον κίνδυνο να παρασυρθούν οι πέτρες, που το αποτελούν, από την κίνηση του νερού. Εννοείται ότι οι πέτρες, που αποτελούν τις κατασκευές αυτές, είναι πολύ μεγάλες, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Γι' αυτό πολλές φορές χρειάζεται να προκατασκευασθούν από λιθοδομή, σκυρόδεμα ή λιθόδεμα.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η θεμελίωση με λιθορριπή κάτω από το νερό μπορεί να παρουσιάσει σημαντικές καθίζσεις. Γι' αυτό μια τέτοια κατασκευή αποκλείεται σχεδόν για άλλου είδους δομικά έργα και εφαρμόζεται μόνο σε έργα λιμενικά, όπου οι ανεκτές καθίζσεις είναι αρκετά μεγάλες.



Σχ. 5.5ε.

Θεμελίωση από λιθορριπή. Σε κάθε θέση προβλέπονται πέτρες με το κατάλληλο βάρος.

## 5.6 Βαθιές θεμελιώσεις.

### a) Γενικά.

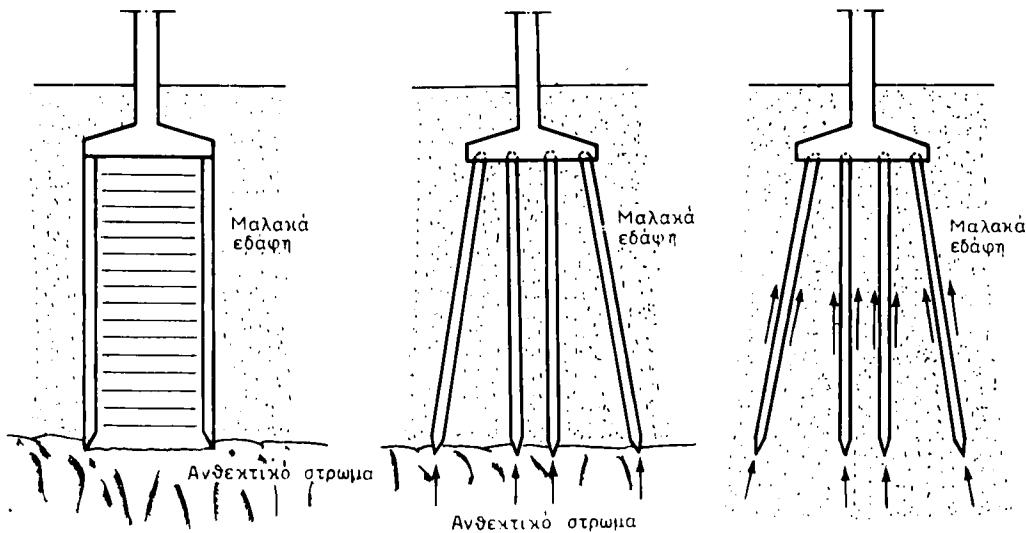
Οι βαθιές θεμελιώσεις είναι γενικά δύσκολες και δαπανηρές. Για να κατασκευασθούν, χρειάζεται σχεδόν πάντοτε βαρύς μηχανικός εξοπλισμός, ενώ ο κατασκευαστής πρέπει να έχει πείρα σε τέτοιες εργασίες. Αν δεν υπάρχει πείρα και ο εξοπλισμός είναι ακατάλληλος, είναι δυνατόν οι εργασίες να αποτύχουν και σ' αυτή την περίπτωση μια αποτυχία σημαίνει μεγάλες υλικές ζημιές. Γι' αυτό, πριν καταλήξουμε στην απόφαση ότι χρειάζεται μια βαθιά θεμελίωση, χρειάζεται να γίνει συστηματική έρευνα και μελέτη του θέματος.

Δύο είναι οι περιπτώσεις, που δικαιολογούν βαθιά θεμελίωση:

1) Όταν το στερεό έδαφος, που μπορεί να αναλάβει με ασφάλεια τα φορτία του έργου, βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, ώστε να μη συμφέρει να σκάψουμε όλα τα στρώματα του εδάφους, που το σκεπάζουν, για να εδράσουμε σ' αυτό ένα συνηθισμένο θεμέλιο.

2) Όταν το έδαφος εξακολουθεί σε μεγάλο βάθος να έχει την ίδια μικρή αντοχή, αλλά μπορεί, αν απαλλάξομε τα ανώτερα στρώματα του από τις πρόσθετες επιβαρύνσεις, να παρουσιάζει ανεκτές καθιζήσεις και επομένως να αναλάβει τα φορτία του έργου.

Στην πρώτη περίπτωση η θεμελίωση στηρίζεται μόνο στα χαμηλότερα σημεία της πάνω στο στερεό έδαφος και κατασκευάζεται με **καταδυόμενα φρέατα** (σχ. 5.6α) ή με πασσάλους, που λέγονται **πάσσαλοι αιχμής** (σχ. 5.6β).



Σχ. 5.6α.

Καταδυόμενο φρέαρ.

Σχ. 5.6β.

Πάσσαλοι αιχμής, δηλαδή πάσσαλοι που στηρίζονται σ' ένα στρώμα εδάφους με μεγάλη αντοχή.

Σχ. 5.6γ.

Πάσσαλοι τριβής, που βρίσκονται ολόκληροι μέσα σε έδαφος μαλακό, δηλαδή με μικρή αντοχή.

Στη δεύτερη περίπτωση η θεμελίωση εδράζεται σε όλα τα στρώματα του εδάφους, που συναντάει. Ένα μέρος από τα φορτία φθάνει στη χαμηλότερη άκρη της και πιέζει το έδαφος, που βρίσκεται από κάτω. Τα υπόλοιπα φορτία μεταδίδονται σ' όλο το έδαφος, που περιβάλλει τη θεμελίωση, με τις δυνάμεις τριβής, που αναπτύσσονται ανάμεσα στο έδαφος και στο θεμέλιο. Τα τελευταία αυτά φορτία πολλές φορές αντιπροσωπεύουν ένα πολύ σημαντικό ποσοστό από το σύνολο των φορτίων. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κυρίως πάσσαλοι, που λέγονται **πάσσαλοι τριβής** (σχ. 5.6γ).

### β) Καταδυόμενα φρέατα.

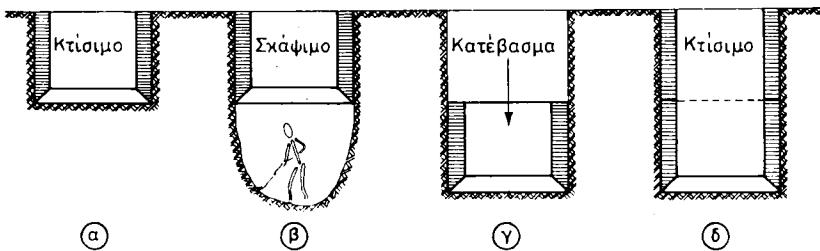
Τα καταδυόμενα φρέατα εφαρμόζονται κυρίως, όταν τα εδάφη είναι χαλαρά ή υδαρή και το στερεό έδαφος δεν βρίσκεται σε πολύ μεγάλο βάθος. Οι οριζόντιες διαστάσεις τους είναι συνήθως 2 ως 3 m και το βάθος τους 10 ως 15 m.

Η μέθοδος αυτή διαφέρει από τις αβαθείς θεμελιώσεις, επειδή το σκάψιμο για

το θεμέλιο γίνεται σύγχρονα με την κατασκευή του και έτσι δεν χρειάζεται να αντιστηριχθούν τα πρανή. Εκτός από αυτό και ο όγκος των εκσκαφών περιορίζεται, επειδή δεν απαιτείται να δώσουμε κλίση στα πρανή. Τέλος και η κατασκευή του θεμελίου γίνεται πιο οικονομικά, γιατί εκτελείται πάντοτε κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και όχι στο βάθος του ορύγματος.

Για την κατασκευή ενός καταδυόμενου φρέατος σκάβεται πρώτα ένα ρηχό όρυγμα (σχ. 5.6δ) συνήθως κυκλικό και μέσα σ' αυτό κατασκευάζεται το χαμηλότερο κομμάτι του φρέατος, που έχει τη μορφή επενδύσεως των πρανών του ορύγματος. Στο κάτω μέρος η επένδυση αυτή σχηματίζει ένα νύχι, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6δ(α), που διευκολύνει τήν επένδυση να βιθίζεται μέσα στο έδαφος. Το νύχι αυτό συνήθως οπλίζεται και με ένα μεταλλικό στεφάνι.

Έπειτα συνεχίζεται το σκάψιμο στον πυθμένα του ορύγματος, ώστε το βάθος του να διπλασιασθεί περίπου [σχ. 5.6δ(β)]. Το νέο όρυγμα έχει την ίδια κάτωφη με το αρχικό και έτσι η επένδυση μένει χωρίς στήριγμα και αρχίζει να γλυστράει προς τα κάτω με την επίδραση του βάρους της, ώσπου να φθάσει στον πάτο της νέας εκσκαφής [σχ. 5.6δ(γ)]. Τότε κατασκευάζεται ένα δεύτερο στοιχείο της επενδύσεως ακριβώς επάνω στο πρώτο [σχ. 5.6δ(δ)]. Ακολουθεί νέο σκάψιμο, νέο γλύστρημα της επενδύσεως του φρέατος προς τα κάτω, κατασκευή νέου τμήματος κ.ο.κ., ώσπου να φθάσουμε στο στερεό έδαφος και να ακουμπήσει καλά σ' αυτό ολόκληρο το νύχι του πρώτου τμήματος. Το φρέαρ μπορεί τότε να συμπληρωθεί με απλό σκυρόδεμα ή λιθόδεμα (σχ. 5.6ε) ή και να μείνει άδειο, αλλά να σκεπασθεί μόνο με μια χοντρή πλάκα από σκυρόδεμα (σχ. 5.6στ), ανάλογα και με την ποιότητα του εδάφους, που βρίσκεται από κάτω του.



**Σχ. 5.6δ.**

Διαδοχικές φάσεις εργασίας για την κατασκευή καταδυόμενου φρέατος.

Κατά κανόνα το έδαφος, όπου γίνονται τα καταδυόμενα φρέατα, είναι τόσο χαλαρό ή υδαρές, ώστε αρκεί να σκάβεται μόνο το κέντρο του ορύγματος. Με το σκάψιμο αυτό γίνονται κατολισθήσεις στα πρανή και η επένδυση γλυστράει προς τα κάτω, ενώ στο ανώτερο μέρος της συνεχίζεται το κτίσιμό της. Έτσι η κατασκευή προχωρεί σχεδόν συνεχώς και όχι με ξεχωριστά βήματα, όπως την περιγράψαμε.

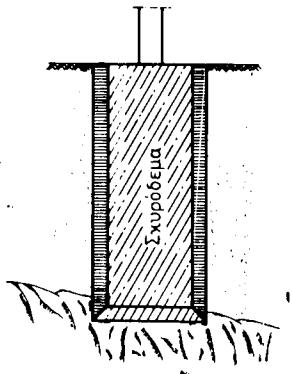
Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που το έδαφος δεν αφήνει την επένδυσή του να γλυστρήσει μόνη της με το βάρος της. Χρειάζεται τότε να τοποθετούμε επάνω στην επένδυση προσωρινά φορτία, για να την αναγκάσουμε να προχωρήσει προς τα κάτω.

Επειδή η εκσκαφή των καταδυόμενων φρεάτων γίνεται με μεγάλο βάθος, η εργασία είναι πάντοτε επικίνδυνη. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει παροχή καθαρού αέρα, επειδή στο βάθος της εκσκαφής συγκεντρώνεται διοξείδιο του άνθρακος ή άλλα βαριά αέρια, που μπορούν να προκαλέσουν συμπτώματα ασφυξίας. Είναι επίσης ακόπιμο οι εργάτες να είναι δεμένοι με σχοινιά, ώστε να μπορούμε να τους ανασύρουμε, αν χάσουν τις αισθήσεις τους ή αν συμβεί κανένα ατύχημα από απρόβλεπτη κατολισθηση χωμάτων.

'Όταν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής έχει μορφή σκελετού, κατασκευάζεται ένα καταδυόμενο φρέαρ κάτω από κάθε σημείο, όπου καταλήγουν τα φορτία της ανωδομής. 'Όταν η φέρουσα κατασκευή είναι συνεχής, κατασκευάζονται περισσότερα από ένα φρέατα κάτω από κάθε στοιχείο της

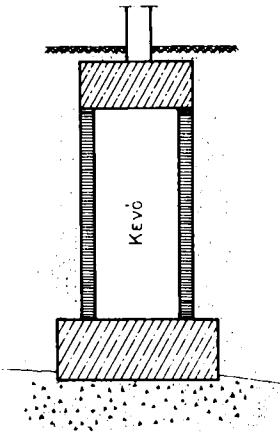
και πάνω τους στηρίζεται μια θεμελιοδοκός, που αποτελεί και τη χαμηλότερη ζώνη του στοιχείου της φέρουσας κατασκευής.

Παληότερα τα καταδυόμενα φρέατα κτίζοταν με πέτρες ή τούβλα συμπαγή και με υδραιιλικό κονίαμα (θηραϊκοκονίαμα). Σήμερα κατασκευάζονται γενικά με σκυρόδεμα οπλισμένο ή και απλό. Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι όλο και λιγότερο εφαρμόζεται αυτή η μέθοδος θεμελιώσεως, επειδή η πρόδοση της τεχνολογίας επιτρέπει σήμερα να γίνονται πασσαλώσεις με πασσάλους πολύ μεγάλης διαμέτρου, που λέγονται **φρεατοπάσσαλοι** και έχουν περίπου το ίδιο αποτέλεσμα με τα καταδυόμενα φρέατα.



**Σχ. 5.8ε.**

Καταδυόμενο φρέαρ, που στηρίζεται σε βραχώδες έδαφος. Ισοπεδώνεται ο βράχος και το φρέαρ συμπληρώνεται με σκυρόδεμα ή λιθόδεμα.



**Σχ. 5.8στ.**

Καταδυόμενο φρέαρ, που μένει άδειο, επειδή εδράζεται σε έδαφος με αντοχή σχετικά μικρή.

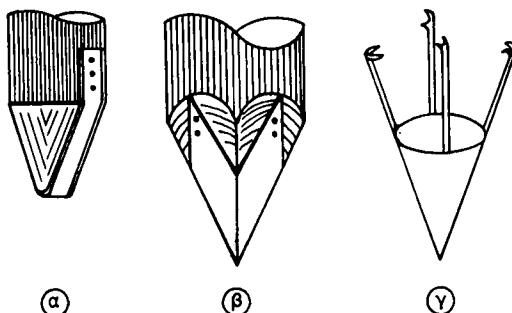
### γ) Πασσαλώσεις με προκατασκευασμένους πασσάλους.

Η πασσάλωση ως μέθοδος κατασκευής εφαρμόζεται από πολύ παληά. Οι προϊστορικές λίμναις κατοικίες στηρίζονταν πάνω σε πασσάλους. Γενικά σε περιοχές ελώδεις ή με εδάφη μαλακά και ασταθή η συνηθισμένη λύση ήταν πάντοτε η θεμελίωση με πασσάλους. Οι πάσσαλοι αρχικά ήταν ξύλινοι. Ξύλινοι πάσσαλοι χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε μικρά έργα και σε περιοχές, όπου η ξυλεία είναι άφθονη.

Στα νεώτερα χρόνια οι ξύλινοι πάσσαλοι τείνουν να αντικατασταθούν εντελώς από τους μεταλλικούς και περισσότερο από τους πασσάλους από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι τελευταίοι έχουν το πλεονέκτημα να μη σαπίζουν ούτε να σκουριάζουν μέσα στο έδαφος, ενώ αντίθετα αυτό συμβαίνει στους άλλους, ιδιαίτερα όταν βρίσκονται σε περιοχές, όπου η στάθμη των υπογείων νερών άλλοτε είναι ψηλά και άλλοτε χαμηλά.

Άσχετα με το υλικό κατασκευής σε κάθε προκατασκευασμένο πάσσαλο διακρίνομε την **αιχμή**, τον **κορμό** και την **κεφαλή**. Η κάτω άκρη του πασσάλου πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο μυτερή, για να εισδύει ευκολότερα στο έδαφος, γι' αυτό άλλωστε λέγεται και αιχμή. Στους μεταλλικούς πασσάλους η αιχμή διαμορφώνεται από το ίδιο το υλικό, στους ξύλινους όμως και στους πασσάλους από σκυρόδεμα

προβλέπεται συνήθως μια επένδυση με ένα χαλύβδινο **πέδιλο**, όπως αυτά που φαίνονται στο σχήμα 5.6ζ.



**Σχ. 5.6ζ.**

Χαλύβδινες αιχμές για πασσάλους: α). β) Από ξύλο. γ) Από σκυρόδεμα.

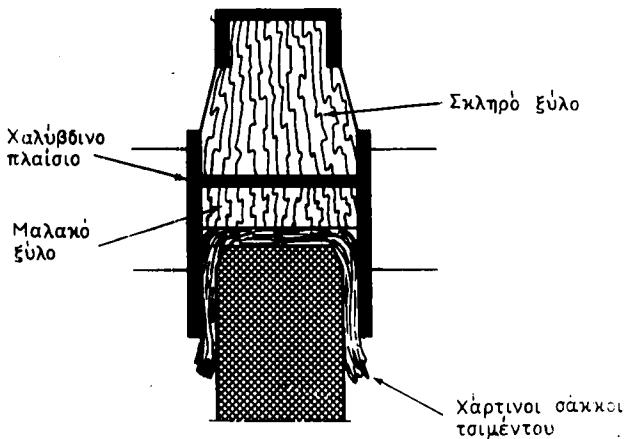
Ο κορμός των ξυλίνων πασσάλων είναι συνήθως κυλινδρικός, επειδή προέρχεται από τον κορμό κάποιου δένδρου. Στους μεταλλικούς πασσάλους ο κορμός έχει συνήθως διατομή διπλού του και σπανιότερα σχηματίζεται από σωλήνες. Οι πάσσαλοι από σκυρόδεμα έχουν συνήθως διατομή τετραγωνική, επειδή αυτή κατασκευάζεται πιο εύκολα, μπορεί όμως η διατομή να είναι και κυκλική, οκταγωνική ή παρόμοια.

Το μάκρος των πασσάλων κυμαίνεται συνήθως από 5 ως 20 μ. Σπάνια χρησιμοποιούνται μεγαλύτεροι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι. Ο κορμός του πασσάλου μπορεί να έχει την ίδια διατομή σ' όλο το μάκρος του και αυτό συμβαίνει κατά κανόνα στους μεταλλικούς πασσάλους και στους κοινούς πασσάλους από σκυρόδεμα. Αντίθετα στους ξύλινους πασσάλους και στους πασσάλους, που γίνονται με φυγοκέντριση, ο κορμός στενεύει ελαφρά από πάνω προς τα κάτω.

Η κεφαλή των πασσάλων είναι το ανώτερο κομμάτι τους. Πάνω της συνήθως προσαρμόζεται ένα ξύλινο **προσκέφαλο**, για να την προστατεύει από την καταστροφή, όταν δέχεται τα κτυπήματα του πασσαλοπήκτη (5.6η).

Όταν μπήγεται στο έδαφος ένας πάσσαλος, αναπτύσσονται σ' αυτό πολύ μεγάλες τάσεις, που προκαλούν τη θραύση του και επιτρέπουν έτσι στον πάσσαλο να προχωρήσει. Αξιόλογες τάσεις όμως αναπτύσσονται και μέσα στο σώμα του πασσάλου. Ιδιαίτερα μεγάλες τάσεις υπάρχουν κοντά στην κεφαλή του, όπου δέχεται τα κτυπήματα του πασσαλοπήκτη και κοντά στην αιχμή του, όπου ενεργούν οι αντιδράσεις του εδάφους. Γι' αυτό το λόγο χρειάζεται το **προσκέφαλο** και το **μεταλλικό πέδιλο** της αιχμής. Για τον ίδιο λόγο ο οπλισμός στους πασσάλους από σκυρόδεμα ενισχύεται στις δύο τους άκρες. Κυρίως πυκνώνονται οι συνδετήρες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6θ, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να διασταλεί το σκυρόδεμα εγκάρσια, όταν η καταπόνησή του σε θλίψη κατά τη διεύθυνση του άξονα του πασσάλου αυξάνεται πολύ.

Με προκατασκευασμένους πασσάλους μπορούν να πραγματοποιηθούν **πασσαλώσεις αιχμής**, **πασσαλώσεις τριβής** ή και πασσαλώσεις μόνο για τη βελτίωση του εδάφους [παράγρ. 5.4(β)]. Για τις



Σχ. 5.6η.

Προσκέφαλο πασσάλου από σκυρόδεμα.

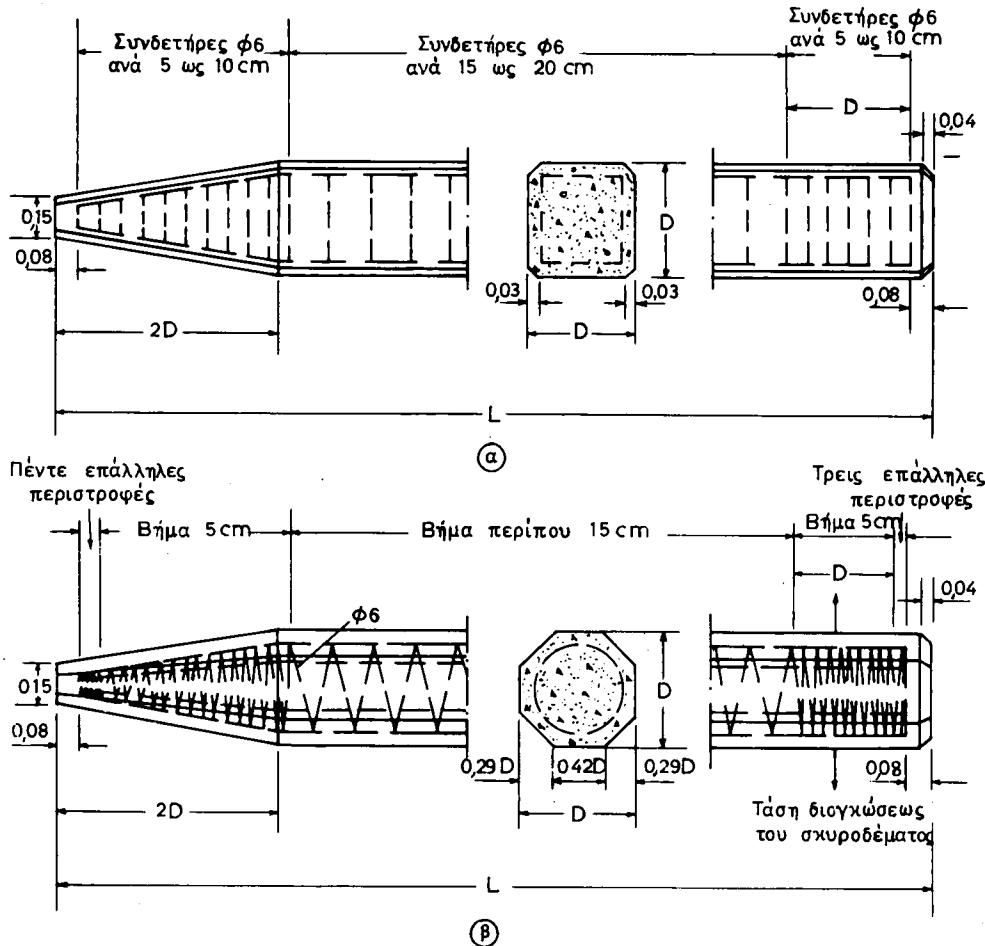
πασσαλώσεις τριβής αυτοί οι πάσσαλοι μειονεκτούν λίγο, επειδή η επιφάνειά τους είναι σχετικά λεία και έτσι ο συντελεστής τριβής είναι μικρός. Άλλα και ως πάσσαλοι αιχμής μειονεκτούν, επειδή η επιφάνεια εδράσεώς τους είναι εξαιρετικά μικρή. Παρ' όλα αυτά οι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι έχουν το πλεονέκτημα ότι η ποιότητά τους, το σχήμα τους και γενικά η κατασκευή τους ελέγχονται πολύ καλύτερα απ' όσο σε κείνους, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος.

Τελευταία χρησιμοποιούνται πάσσαλοι από σκυρόδεμα με διατομή σε σχήμα κύκλου ή δακτυλίου, που κατασκευάζονται με μια μέθοδο, που λέγεται **φυγοκέντριση**. Όταν κατασκευασθούν αυτοί οι πάσσαλοι και προτού πήξουν και ξεκαλουπωθούν, περιστρέφονται γύρω από τον αξονά τους με μεγάλη ταχύτητα με τη βοήθεια ειδικής συσκευής. Αναπτύσσεται έτσι μεγάλη φυγόκεντρος δύναμη, που προκαλεί έντονη συμπύκνωση του σκυροδέματος. Με τη συμπύκνωση αυτή αυξάνεται σημαντικά τόσο η αντοχή όσο και η στεγανότητα του σκυροδέματος και έτσι προστατεύεται και ο οπλισμός του από την υγρασία του εδάφους.

Οι πάσσαλοι μπήγονται στο έδαφος με ειδικά μηχανήματα, που ονομάζονται **πασσαλοπήκτες**. Υπάρχουν πολλών ειδών πασσαλοπήκτες. Μπορεί να είναι απλές πρόχειρες διατάξεις, που να επιτρέπουν σε ένα βάρος να πέφτει ελεύθερα και πολλές φορές πάνω στην κεφαλή του πασσάλου. Μπορεί όμως να είναι και μεγάλα συγκροτήματα ρυμουλκούμενα ή ιδιοκίνητα, που λειτουργούν με ατμό ή πεπιεσμένο αέρα (σχ. 5.6ι).

Οι πασσαλοπήκτες χρησιμεύουν κυρίως για τη διείσδυση προκατασκευασμένων πασσάλων για θεμελιώσεις, οι ίδιες όμως συσκευές χρησιμοποιούνται και στις δοκιμαστικές πασσαλώσεις, όπως και για την τοποθέτηση των χιτώνων, δηλαδή του περιβλήματος των πασσάλων, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος.

Γενικά κάθε πασσαλοπήκτης αποτελείται από ένα κινητό ψηλό ικρίωμα, ανάλογο με το μάκρος των πασσάλων. Το ικρίωμα έχει δύο κατακόρυφους οδηγούς, και ανάμεσά τους ανεβοκατεβαίνει ο **κριός**, δηλαδή το βάρος, που πέφτει στην κεφαλή του πασσάλου.



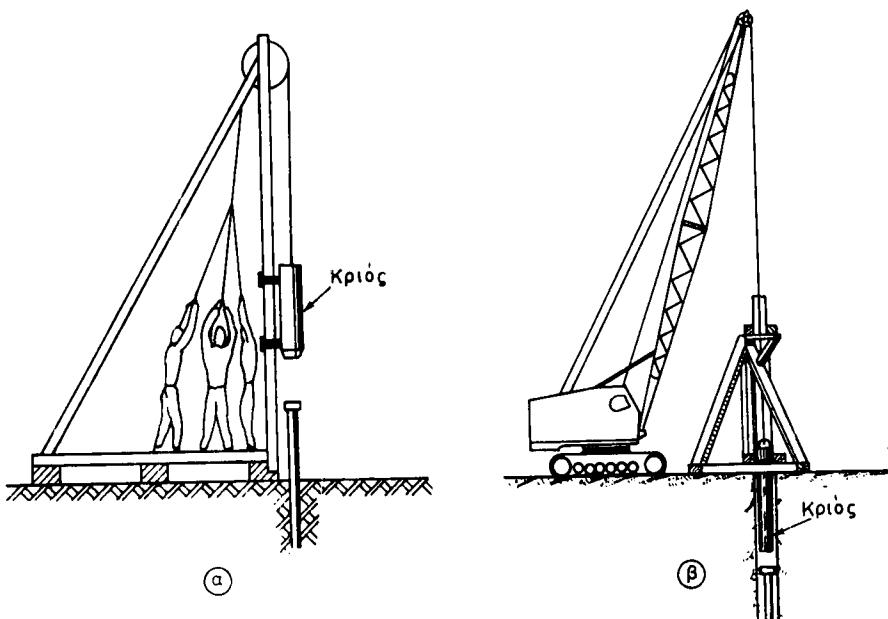
Σχ. 5.60.

Παραδείγματα πασσάλων προκατασκευασμένων από οπλισμένο σκυρόδεμα: α) Με διατομή τετραγωνική. β) Με διατομή οκταγωνική.

Όταν ο κριός ανυψώνεται με κάποιο τρόπο σ' ένα ορισμένο ύψος και έπειτα πέφτει ελεύθερα, ο πασσαλοπήκτης λέγεται **απλής ενέργειας**.

Έτσι η ενέργεια για κάθε κρούση υπολογίζεται, αν πολλαπλασιάσουμε το βάρος  $G$  του κριού με το ύψος  $h$ , από όπου πέφτει, και αφαιρέσουμε τις απώλειες από την τριβή του πάνω στους οδηγούς, δηλαδή:  $W = G \cdot h - \text{απώλειες}$ .

Όταν ο κριός έχει συνδέθει με ένα κινητήρα, που τον ανεβοκατεβάζει συνέχεια, ο πασσαλοπήκτης λέγεται **διπλής ενέργειας**. Η ενέργεια κάθε κρούσεως στην περίπτωση αυτή δεν προέρχεται μόνο



Σχ. 5.6ι.

Πασσαλοπήκτες: α) Χειροκίνητος. β) Μηχανοκίνητος με εργύστριες.

από το βάρος του κριού, αλλά και από τον κινητήρα, μπορεί δηλαδή να είναι  $W \geq G \cdot h$ .

Οι κριοί έχουν μεγάλο βάρος, μπορούν σε εξαιρετικές περιπτώσεις να φθάνουν και στους 10 τόνους. Το βάρος του κριού πάντως πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το  $\frac{1}{3}$  του βάρους του πασσάλου. Οι πασσαλοπήκτες απλής ενέργειας είναι αργοί και οι κρούσεις τους είναι μόνο 5 ως 15 κάθε λεπτό. Αντίθετα στους πασσαλοπήκτες διπλής ενέργειας οι κρούσεις μπορεί να είναι 100 ως 200 ή ακόμα και 300 κάθε λεπτό.

Οι πάσσαλοι μπορούν να καρφωθούν και με άλλους τρόπους. Αν μέσα από τον πάσσαλο περνάει νερό με μεγάλη πίεση και βγαίνει από τρύπες κοντά στην αιχμή του, τότε το νερό ξανάρχεται στην επιφάνεια του εδάφους ακολουθώντας το εξωτερικό του πασσάλου. Έτσι το νερό από τη μια μεριά σκάβει το έδαφος ακριβώς κάτω απ' τον πάσσαλο, και από την άλλη παίζει το ρόλο του λιπαντικού μέσου ανάμεσα στον πάσσαλο και το έδαφος. Μ' αυτό τον τρόπο το βάρος του πασσάλου, με τη βοήθεια και κάποιου μικρού φορτίου, αν χρειάζεται, τον κάνει να βυθίζεται μέσα στο έδαφος. Βεβαίως η μέθοδος αυτή απαγορεύεται να εφαρμοσθεί σε πασσάλωση τριβής. Η επιτυχία της περιορίζεται κυρίως σε αρμάδη εδάφη ή το πολύ σε μαλακούς πηλούς και αργίλους (σχ. 5.6ια).

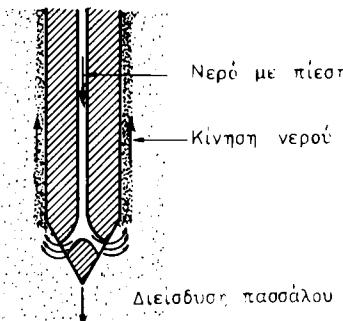
Οι πάσσαλοι μπορούν να καρφωθούν και με περιστροφή, με τον τρόπο δηλαδή που γίνονται οι περιστροφικές γεωτρήσεις, αλλά η μέθοδος αυτή δεν συνηθίζεται.

Οι πάσσαλοι είναι κατά κάνονα κατακόρυφοι, επεδή και τα φορτία, που μεταβιβάζουν, είναι και αυτά σχεδόν κατακόρυφα. Όταν όμως υπάρχουν και αξιόλογα οριζόντια φορτία, όπως π.χ. ωθήσεις από θόλους, χώματα, σεισμό κλπ., μερικοί ή και όλοι οι πάσσαλοι τοποθετούνται με κάποια κλίση.

Η τοποθέτηση πασσάλων με κλίση παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες κατά την εκτέλεση, επειδή απαιτείται ειδικός πασσαλοπήκτης ή τουλάχιστον ειδική ρύθμιση του πασσαλοπήκτη. Επίσης, αν οι

πάσσαλοι δεν είναι όλοι παράλληλοι, χρειάζεται μεγάλη προσοχή στη μελέτη, ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος, όταν μπαίνει ένας πάσσαλος, να συναντήσει κάποιον άλλο μέσα στο έδαφος. Συνήθως η κλίση των λοξών πασσάλων είναι μικρή και δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1:5 ή το πολύ το 1:4 σχετικά με την κατακόρυφη.

Όταν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής του έργου έχει τη μορφή σκελετού, χρειάζονται συνήθως δύο ή περισσότεροι πάσσαλοι κάτω από κάθε σημείο, όπου καταλήγουν τα φορτία της ανωδο-



**Σχ. 5.6ια.**

Η διείσδυση πασσάλου αιχμής μπορεί να γίνει ευκολότερα και με την παροχή νερού με πίεση.

μής. Παρόμοια και κάτω από τα συνεχή φέροντα στοιχεία χρειάζονται περισσότεροι από ένας πάσσαλοι. Για το λόγο αυτό οι κεφαλές των πασσάλων, που στηρίζουν το ίδιο στοιχείο, κολώνα ή τοίχο, συνδέονται μεταξύ τους με μια κατασκευή, που ονομάζεται **πασσαλοεσχάρα** ή **πασσαλόδεσμος**. Παληότερα η κατασκευή αυτή γινόταν με ξύλα, που σχημάτιζαν μια πραγματική σχάρα, τώρα όμως γίνεται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι πάσσαλοι μπαίνουν με τέτοιο τρόπο, ώστε οι κεφαλές τους να παίρνουν μια συμμετρική διάταξη γύρω από το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των φορτίων της ανωδομής, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6ιβ. Στο ίδιο σχήμα βλέπουμε ότι οι πασσαλοεσχάρες έχουν περίπου τη μορφή των απομονωμένων πεδίλων ή των συνεχών θεμελίων, ανάλογα με την περίπτωση. Πράγματι η μόνη διαφορά είναι ότι από κάτω δέχονται τις συγκεντρωμένες αντιδράσεις των πασσάλων, αντί να δέχονται τις μοιρασμένες αντιδράσεις του εδάφους.

Επειδή οι πασσαλώσεις χρησιμοποιούνται σε ασταθή εδάφη και υπάρχει πάντα η πιθανότητα να παρουσιασθούν διαφορετικές καθίζσεις στα διάφορα σημεία της θεμελιώσεως, είναι σωστό να συνδέονται όλες οι πασσαλοεσχάρες μεταξύ τους. Η σύνδεση γίνεται ή με ένα σύστημα δοκών συνδέσεως ή με μια συνεχή πλάκα. Οι δοκοί συνδέσεως λειτουργούν, όπως και στις αβαθείς θεμελιώσεις (σχ. 5.2ιδ), η πλάκα όμως λειτουργεί εντελώς διαφορετικά από την πλάκα μιας γενικής κοιτοστρώσεως, επειδή οι αντιδράσεις του εδάφους, που τη φορτίζουν από κάτω, είναι εντελώς ασήμαντες. Αν αυτές οι αντιδράσεις είναι μεγάλες, το έργο τότε δεν στηρίζεται μόνο στους πασσάλους, αλλά κυρίως στο έδαφος, που έχει απλώς βελτιωθεί, επειδή μπήκαν οι πάσσαλοι. Μια τέτοια θεμελίωση, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 5.4(β), δεν χαρακτηρίζεται ως βαθιά θεμελίωση, αλλά ως αβαθής με βελτίωση του εδάφους θεμελιώσεως.

### **δ) Πασσαλώσεις με πασσάλους, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος.**

Οι πάσσαλοι, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος, μπορεί να λειτουργήσουν και ως πάσσαλοι αιχμής και ως πάσσαλοι τριβής. Και για τις δύο περιπτώσεις είναι καλύτεροι από τους προκατασκευασμένους, επειδή έχουν πολύ μεγαλύτερη βάση και πολύ πιο ανώμαλη επιφάνεια. Για τους λόγους αυτούς προτιμούμε στα πιο σημαντικά έργα και στις πιο δύσκολες περιπτώσεις.

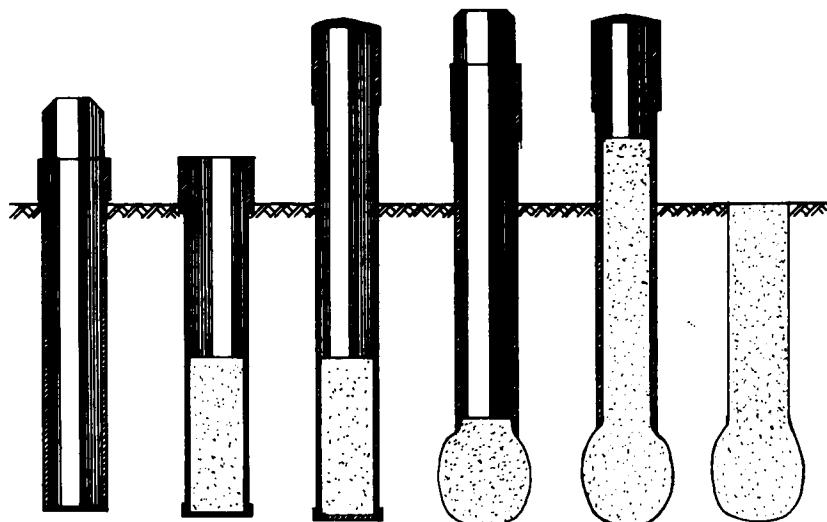
Πλήθος πασσάλων	Κάτοψη	Πληθος πασσάλων	Κάτοψη
5		11	
6		12	
7		13	
8		14	
9		15	
10		16	
1			
2			
3			
4			

### Σχ. 5.6β.

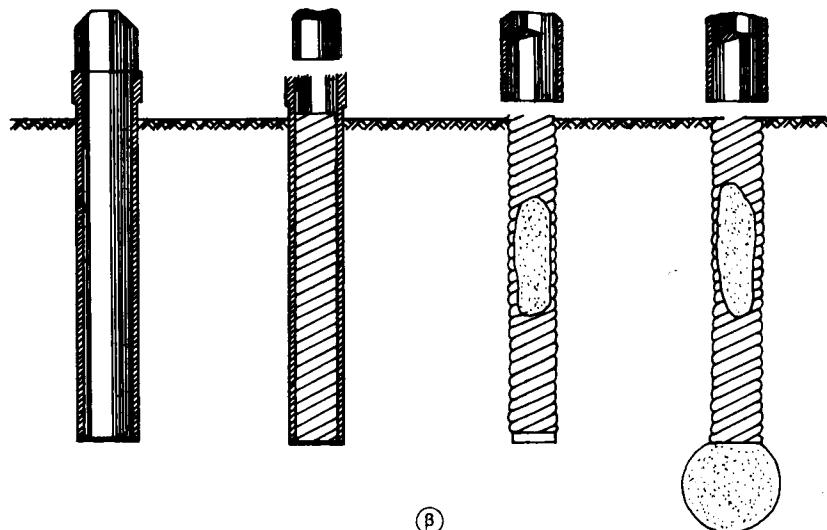
Τυπικές μορφές για πασσαλοεσχάρες.

Η κατασκευή των πασσάλων αυτών είναι γενικά πιο δαπανηρή από την κατασκευή και την έμπηξη των προκατασκευασμένων, εκτός αν το βάθος της θεμελιώσεως είναι εξαιρετικά μεγάλο. Η μεταφορά και η έμπηξη προκατασκευασμένων πασσάλων με πολύ μεγάλο μάκρος δημιουργεί τόσα προβλήματα, που δεν συμφέρει πια να τους χρησιμοποιήσουμε. Οι πάσσαλοι αντίθετα, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος, μπορεί να έχουν μάκρος 30 μ.ή και ακόμα μεγαλύτερο.

Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτών των πασσάλων είναι ότι δεν χρειάζεται χώρος για να τους αποθηκεύσουμε, ούτε χάνεται χρόνος, ώστου να πήξουν και να αποκτή-



(α)



(β)

**Σχ. 5.6ιγ.**

Διαδοχικές φάσεις εργασίας για την κατασκευή πασσάλων μέσα στο έδαφος: α) Χωρίς μόνιμη επένδυση. β) Με μόνιμη επένδυση.

σουν αρκετή αντοχή, ώστε να μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε. Τέλος οι πάσσαλοι αυτοί κατασκευάζονται ακριβώς στο μάκρος που χρειάζεται, ενώ στους προκατασκευασμένους χρειάζεται κατά κανόνα, όταν μπηχτούν, ή να τους κόψουμε τις κεφαλές ή να τους προσθέσουμε από πάνω ένα κομμάτι.

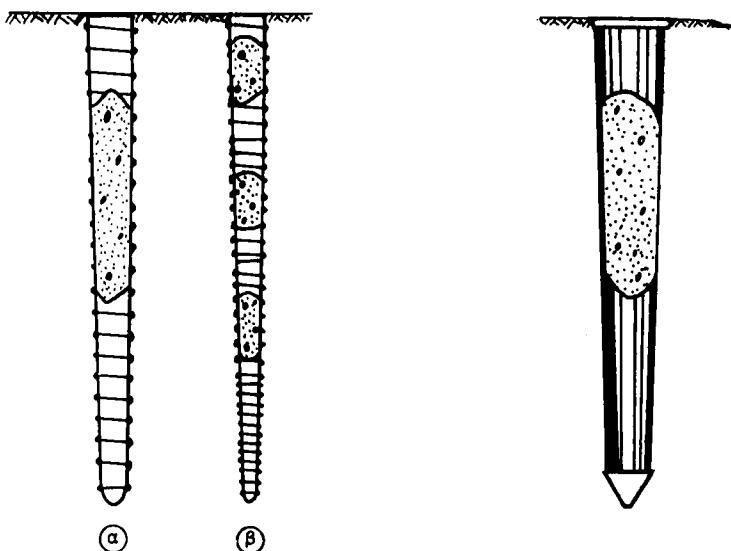
Υπάρχουν πολλά συστήματα για την κατασκευή πασσάλων μέσα στο έδαφος, που προστατεύονται συνήθως με διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Δύο παραδείγματα τέτοιων συστημάτων φαίνονται στο σχ. 5.6ιγ. Το υλικό της κατασκευής τους είναι το σκυρόδεμα, απλό ή οπλισμένο. Η γενική αρχή είναι ότι ανοίγεται μια τρύπα στο έδαφος και έπειτα γεμίζεται με σκυρόδεμα, γι' αυτό και οι πάσσαλοι αυτοί λέγονται και **έγχυτοι**.

Ανάλογα με την ποιότητα του έδαφους οι πάσσαλοι μπορεί να φέρουν ή να μην φέρουν επένδυση. Όταν το έδαφος είναι συνεκτικό και δεν υπάρχει κίνδυνος να γεμίσει η τρύπα με χώματα ή νερό, τότε ο πάσσαλος μπορεί να κατασκευασθεί χωρίς επένδυση. Βεβαίως πρέπει το έδαφος να είναι ακόμα ικανό να προστατεύει τον πάσσαλο, που ακόμα δεν έχει πήξει καλά, όταν δίπλα του ανοίγονται και νούργιες τρύπες.

Αντίθετα, όταν το έδαφος είναι χαλαρό, είναι απαραίτητο να επενδυθεί η τρύπα με ένα μεταλλικό χιτώνα, που παραμένει σα μόνιμο περίβλημα του πασσάλου. Το περίβλημα αυτό έχει συνήθως ανώμαλη επιφάνεια, μοιάζει δηλαδή με αυλακωτή λαμαρίνα, ώστε οι δυνάμεις τριβής να είναι μεγαλύτερες.

Και στις δύο περιπτώσεις είναι συνήθως ανάγκη να επενδυθούν προσωρινά τα τοιχώματα της τρύπας με ένα σωλήνα με χοντρά τοιχώματα, που τον ανασύρομε σιγά-σιγά, όσο προχωράει η κατασκευή του πασσάλου (σχ. 5.6ιγ.).

Τα διάφορα συστήματα χαρακτηρίζονται κυρίως από τη μορφή και τον οπλισμό του χαμηλότερου μέρους του πασσάλου. Διαφέρουν επίσης και οι λεπτομέρειες των διαφόρων φάσεων της κατασκευής. Τα σχήματα 5.6ιδ, 5.6ιε, 5.6ιστ και 5.6ιζ δείχνουν παραδείγματα τέτοιων συστημάτων, που εφαρμόζονται κυρίως στην Αμερική. Παληότερα στην Ευρώπη εφαρμοζόταν συνήθως το σύστημα



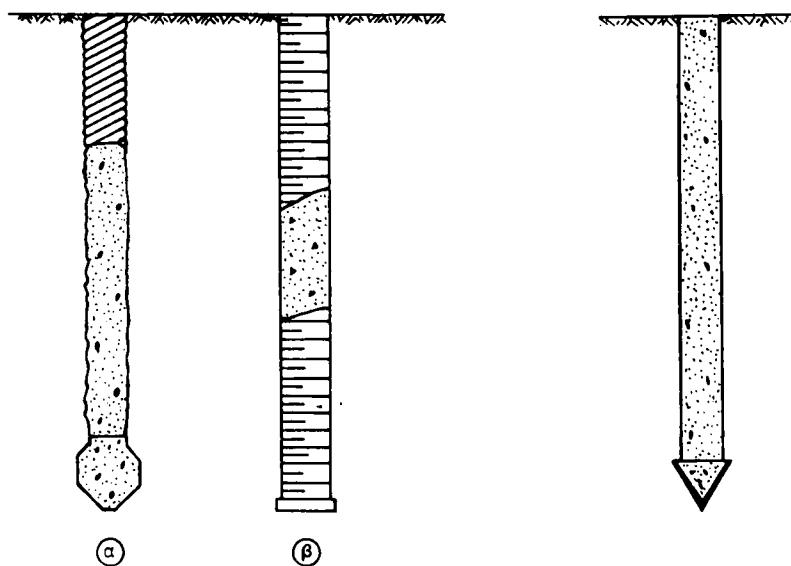
Έγχυτοι πάσσαλοι με μόνιμο περίβλημα τύπου Raymond (Standar - step).

Έγχυτος πάσσαλος με μόνιμο περίβλημα τύπου Union.

Franki, που χαρακτηρίζεται από το ότι το χαμηλότερο μέρος των πασσάλων είναι πολύ ογκώδες, ώστε να λειτουργεί περίπου σαν ένα απομονωμένο πέδιλο (σχ. 5.6ιη). Για να συμβεί αυτή η διόγκωση, το σκυρόδεμα συμπίέζεται με τις κρούσεις ενός κριού και συγχρόνως προχωρεί και ανοίγει την τρύπα, όπου κατασκευάζεται ο πάσσαλος. Στη χώρα μας εφαρμόζονται πολλά συστήματα εγχύτων πασσάλων, γιατί οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες έχουν φέρει από το εξωτερικό τον κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό.

Οι κεφαλές των πασσάλων, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος, ενώνονται με πασσαλοεσχάρες, όπως ακριβώς και οι κεφαλές των προκατασκευασμένων. Επίσης και οι πάσσαλοι αυτοί είναι κατά κανόνα κατακόρυφοι, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάζεται να έχουν μια μικρή κλίση.

Όταν η διάμετρος των πασσάλων είναι πολύ μεγάλη, περνάει δηλαδή το ένα μέτρο, τότε τους λέμε και **φρεατοπασσάλους**, που, όπως έπαμε, μπορούν να θεωρηθούν και ως εξέλιξη των καταδυομένων φρεάτων.

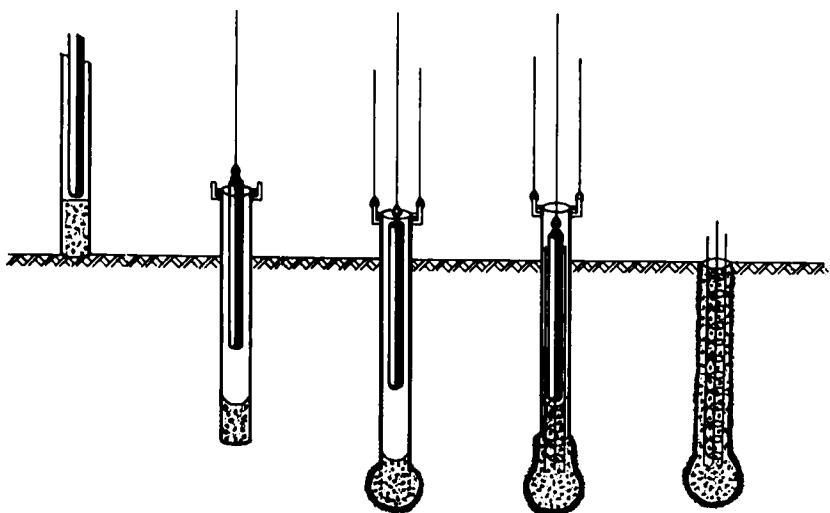


**Σχ. 5.6ιστ.**

Έγχυτοι πάσσαλοι με μόνιμο περίβλημα: α) Τύπου Western. β) Τύπου Mac Arthur.

**Σχ. 5.6ιζ.**

Έγχυτος πάσσαλος χωρίς περίβλημα τύπου Simplex.



Σχ. 5.6η.

Διαδοχικές φάσεις για την κατασκευή έγχυτου πασσάλου τύπου Franki.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΝ

#### 6.1 Γενικά.

Όπως η κατασκευή των θεμελίων χωρίζεται σε δύο φάσεις, έτσι διακρίνεται και ο υπολογισμός τους. Στην πρώτη φάση καθορίζονται το σχήμα και οι διαστάσεις, που πρέπει να έχει η κάτοψη του θεμελίου, ώστε οι πιέσεις, που θα επιβάλλει στο έδαφος να είναι ανεκτές. Η φάση αυτή χαρακτηρίζεται ως **Έλεγχος των πιέσεων του εδάφους**.

Στη δεύτερη φάση υπολογίζεται αυτό το ίδιο το θεμέλιο, καθορίζεται δηλαδή το υλικό του, το σχήμα του και οι υπόλοιπες διαστάσεις του, εκτός από τις διαστάσεις της κατόψεως του, που έχουν ήδη ορισθεί. Ειδικά για θεμέλια από οπλισμένο σκυρόδεμα υπολογίζεται και ο οπλισμός που χρειάζεται. Η φάση αυτή χαρακτηρίζεται ως καθαυτό **υπολογισμός του θεμέλιου**.

Σε απλές περιπτώσεις, όπως π.χ. στις θεμελιώσεις τοίχων με μικρά φορτία, οι δύο φάσεις του υπολογισμού μπορεί να συγχωνευθούν σε μια.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι μέθοδοι υπολογισμού και για τις δύο αυτές φάσεις και ακολουθούν εφαρμογές και παραδείγματα. Για διευκόλυνση του αναγνώστη γίνονται στο θεωρητικό μέρος παραμορφές στις αντίστοιχες εφαρμογές.

#### 6.2 Έλεγχος πιέσεων εδάφους σε αβαθείς θεμελιώσεις.

Η απλούστερη περίπτωση υπολογισμού είναι, όταν τα φορτία της ανωδομής είναι κατακόρυφα και έχει καθορισθεί μια ανεκτή πίεση για το έδαφος. Τότε η επιφάνεια εδράσεως των θεμελίων είναι οριζόντια και προσπαθούμε να πετύχομε, ώστε το κέντρο βάρους κάθε τέτοιας επιφάνειας να βρίσκεται ακριβώς κάτω από το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των φορτίων της ανωδομής.

Μένει τότε μόνο να υπολογισθεί πόσο πρέπει να είναι το εμβαδό της επιφάνειας εδράσεως του θεμέλιου [παράγρ. 6.4(a)].

Αν ονομάσομε  $P_a$  το κατακόρυφο φορτίο της ανωδομής και  $P_\theta$  το βάρος του θεμελίου μαζύ με τα χώματα, που μπορεί να υπάρχουν πάνω από την επιφάνεια εδράσεως του (σχ. 6.2a), μπορούμε να υπολογίσουμε την πίεση του εδάφους με τον τύπο:

$$p = \frac{P_a + P_\theta}{F}, \quad (1)$$

όπου:  $F$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας εδράσεως.

Επομένως, αν ονομάσομε  $p_a$  την ανεκτή πίεση του εδάφους, το εμβαδόν της επιφάνειας εδράσεως του θεμέλιου πρέπει να είναι:

$$F \geq \frac{P_a + P_\theta}{p_a} \quad (2)$$

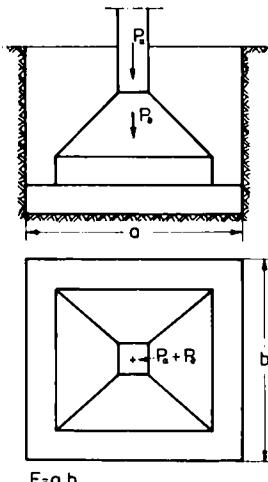
Αν ονομάσουμε  $h$  το βάθος του θεμελίου κάτω από το δάπεδο της κατασκευής και γ το μέσο ειδικό βάρος των υλικών, που βρίσκονται πάνω απ' την επιφάνεια εδράσεως του θεμελίου, τότε το φορτίο  $P_\theta = \gamma \cdot h \cdot F$ .

Έτσι ο τύπος (1) μπορεί να γραφτεί:

$$p = \frac{P_a}{F} + \frac{\gamma \cdot h \cdot F}{F} = \frac{P_a}{F} + \gamma \cdot h$$

Τότε ο τύπος (2) γίνεται:

$$F \geq \frac{P_a}{p_a - \gamma \cdot h} \quad (3)$$



Σχ. 6.2α.

Υπολογισμός διαστάσεων θεμελίου για την περίπτωση απομονωμένου πεδίου.

Με παρόμοιο τρόπο [παράγρ. 6.4(β)] υπολογίζονται και οι διαστάσεις της κατώψεως, δηλαδή ουσιαστικά το πλάτος  $b$ , ενός συνεχούς θεμελίου. Αν  $P_a$  είναι τώρα το κατακόρυφο φορτίο της ανωδομής, που αντιστοιχεί στη μονάδα του μήκους του θεμελίου και  $P_\theta$  το αντίστοιχο βάρος του θεμελίου και των χωμάτων, το πλάτος του θεμελίου βρίσκεται από τον τύπο:

$$b \geq \frac{P_a + P_\theta}{p_a} \quad (4) \quad \text{ή} \quad b \geq \frac{P_a}{p_a - \gamma \cdot h} \quad (5)$$

Όταν το θεμέλιο δέχεται φορτία σε περισσότερα από ένα σημεία του, όπως π.χ. τα θεμέλια 1-2-6-7, 3-4-5-8-9-10-13-14-15, 11-12, 16-17, 20-21 και 19-23 του σχήματος 5.2ιβ, δεν είναι αρκετό να διαλέξουμε το σχήμα της επιφάνειας για την έδρασή του και να υπολογίσουμε το εμβαδό της. Χρειάζεται ακόμη να βρούμε το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των φορτίων της ανωδομής, ώστε να το ποθετήσουμε ακριβώς κάτω απ' αυτό το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως του θεμελίου. Για να το πετύχουμε αυτό χρειάζεται να γίνουν δοκιμές και ιδιαίτερα να διαλέξουμε το κατάλληλο σχήμα.

Ως παράδειγμα αναφέρομε ότι η απλή λύση του θεμελίου 16-17 του σχήματος 5.2ιβ [παράγρ. 6.4(γ)] δεν μπορεί να εφαρμοσθεί, όταν το φορτίο της κολώνας, που βρίσκεται στο δρio της ιδιοκτησίας, είναι μεγαλύτερο απ' το φορτίο της άλλης. Τότε υποχρεωτικά εφαρμόζεται η λύση του θεμελίου 11 - 12 ή μια λύση ανάποδη από τη λύση του θεμελίου 20 - 21. Αντίθετα, αν το φορτίο της ακριανής κολώνας είναι εξαιρετικά μικρό, η απλή λύση του θεμελίου 16 - 17 θα οδηγούσε σε πολύ μεγάλη προέκταση του θεμελίου προς το μέρος του πεδίου 18. Η προέκταση αυτή θα δημιουργούσε άσκοπες δαπάνες, ενώ μια λύση στον τύπο του θεμελίου 11 - 12 είναι πολύ οικονομικότερη.

Τέλος στην περίπτωση του θεμελίου 1-2-6-7 διαλέγοντας κατάλληλα τη θέση και τις διαστάσεις του εσωτερικού κενού, πετυχαίνομε να τοποθετήσουμε σωστά το θεμέλιο, χωρίς μεγάλες προεξοχές γύρω από το πολύγωνο, που σχηματίζουν οι κολώνες.

Όπως είπαμε και στην παράγραφο 5.2(β)1, δεν μπορούμε πάντοτε να τοποθετήσουμε το θεμέλιο έτσι, ώστε το φορτίο της ανωδομής να περνάει από το κέντρο βάρους της κατόψεως του. Τότε το θεμέλιο είναι αναγκαστικά έκκεντρο και ο υπολογισμός του γίνεται με άλλο τρόπο.

Το έδαφος μπορεί να δεχθεί πιέσεις, δηλαδή τάσεις θλιππικές, όχι όμως και εφελκυστικές, γιατί, αν τραβήξουμε το θεμέλιο, απλούστατα θα ξεκολλήσει από το έδαφος. Γι' αυτό η εκκεντρότητα δεν πρέπει να είναι μεγάλη. Αν η συνισταμένη των φορτίων πέφτει έξω από την επιφάνεια εδράσεως του θεμελίου, δεν μπορεί να υπάρχει ισορροπία, όπως ξέρομε από τη στοιχειώδη Φυσική, και η κατασκευή θα ανατραπεί. Αν η συνισταμένη πέφτει μέσα στην επιφάνεια εδράσεως, μπορεί να υπάρχει ισορροπία, αλλά οι πιέσεις πάνω στο έδαφος δεν θα είναι παντού οι ίδιες.

Εξετάζομε την απλούστερη περίπτωση ενός ορθογώνιου θεμελίου με εκκεντρότητα μόνο κατά τη μία διεύθυνση [παράγρ. 6.4(δ)]. Η συνισταμένη δηλαδή των φορτίων της ανωδομής και του βάρους του θεμελίου δεν πέφτει στο κέντρο βάρους της κατόψεως, αλλά πάντως πέφτει σ' ένα σημείο Σ του ενός από τους δύο άξονες συμμετρίας (σχ. 6.2β). Το θεμέλιο αυτό μπορούμε να το θεωρήσουμε ή ως απομονωμένο πέδιλο, η ως ένα συνεχές θεμέλιο με πλάτος λ, από το οποίο εξετάζομε ένα στοιχείο με μάκρος b.

Στα ορθογώνια θεμέλια με εκκεντρότητα μόνο κατά μια διεύθυνση παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι, όταν η απόσταση ξ της συνισταμένης από την πιο κοντινή πλευρά είναι μεγαλύτερη ή ίση με  $\lambda/3$ , οπότε η εκκεντρότητα είναι μικρότερη ή ίση με  $\lambda/6$ , και η δεύτερη, όταν το ξ είναι μικρότερο από  $\lambda/3$  και το ε μεγαλύτερο από  $\lambda/6$ .

Στην πρώτη περίπτωση το έδαφος πιέζεται σε όλη την έκταση του θεμελίου, αν

και οι πιέσεις διαφέρουν από το ένα σημείο στο άλλο. Οι μεγαλύτερες πιέσεις εμφανίζονται στην πλευρά, που είναι πιο κοντά στη συνισταμένη και οι μικρότερες στην απέναντι της [σχ. 6.2β(a)]. Το μέγεθος των πιέσεων αυτών παρέχεται από τους τύπους:

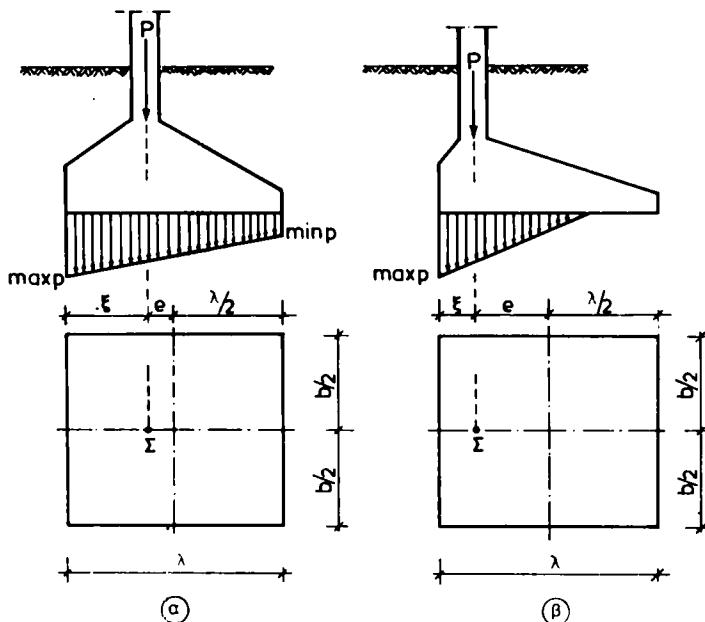
$$\max p = \frac{P_a + P_\theta}{F} \left( 1 + 6 - \frac{e}{\lambda} \right) \quad (6)$$

$$\min p = \frac{P_a + P_\theta}{F} \left( 1 - 6 - \frac{e}{\lambda} \right) \quad (7)$$

Είναι φανερό ότι, αν η εκκεντρότητα  $e = 0$ , οι τύποι (6) και (7) απλοποιούνται και δίνουν τον τύπο (1).

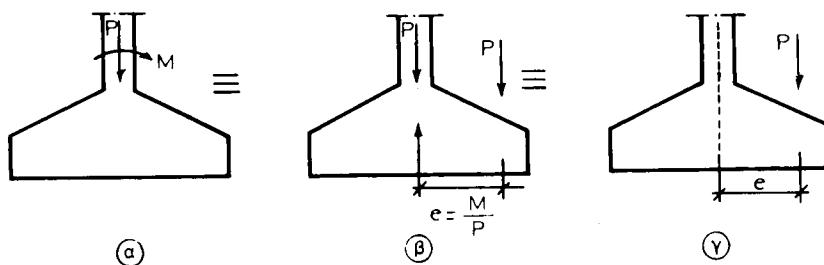
Στη δεύτερη περίπτωση ο τύπος (7) θα έδινε αρνητικό αποτέλεσμα, αν βέβαια εξακολουθούσε να ισχύει. Αρνητική πίεση σημαίνει εφελκυστική τάση, που όμως δεν μπορεί να μεταδοθεί από το θεμέλιο στο έδαφος. Έτσι τελικά μόνο ένα μέρος του θεμελίου θα πιέζει το έδαφος [σχ. 6.2β (β)] και οι πιέσεις θα είναι πάλι διαφορετικές από το ένα σημείο στο άλλο. Η μέγιστη πίεση εμφανίζεται πάλι στην πλευρά του θεμελίου, που είναι πιο κοντά στη συνισταμένη και παρέχεται από το τύπο:

$$\max p = \frac{2}{3} \cdot \frac{P_a + P_\theta}{b \cdot \xi} \quad (8)$$



Σχ. 6.2β.

Κατανομή των πιέσεων του έδαφους κάτω από ορθογώνια θεμέλια, που φορτίζονται έκκεντρα: α) Για μικρή εκκεντρότητα. β) Για μεγάλη εκκεντρότητα.



Σχ. 6.2γ.

Ο συνδυασμός μιας ροπής μ' ένα κεντρικό κατακόρυφο φορτίο, είναι ισοδύναμος με ένα μοναδικό έκκεντρο κατακόρυφο φορτίο.

πάρνομε ταχρ  $\leq p_a' = \frac{4}{3} p_a$ . Αυτό βέβαια ισχύει με την προϋπόθεση ότι η μέση πίεση του εδάφους κάτω από το θεμέλιο δεν ξεπερνάει την ανεκτή, δηλαδή ότι:

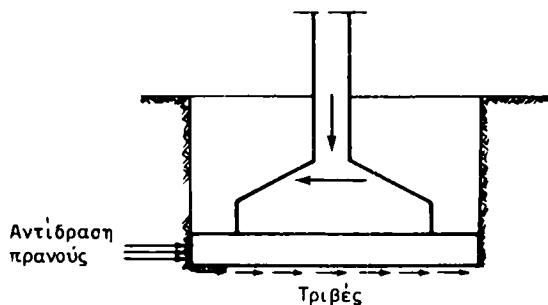
$$\frac{\text{ταχρ} + \text{μίνρ}}{2} \leq p_a$$

Είναι ευνόητο ότι οι καθιζήσεις κάτω από ένα έκκεντρο θεμέλιο δεν έχουν το ίδιο μέγεθος σε όλα του τα σημεία. Η μέση πάντως καθιζηση είναι μικρότερη από κείνη, που θα προκαλούσε ένα θεμέλιο με τις ίδιες διαστάσεις, αν σ' όλη του την έκταση η πίεση ήταν ίση με το ταχρ.

Όταν τα φέροντα στοιχεία της ανωδομής (κολώνες – τοίχοι) μεταφέρουν στα θεμέλια και ροπές, εκτός από τις κατακόρυφες δυνάμεις, αυτό ισοδυναμεί με μια μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της κατακόρυφης δυνάμεως, όπως εξηγείται στο σχήμα 6.2γ. Το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως του θεμελίου πρέπει λοιπόν να τοποθετηθεί κάτω ακριβώς από το ιδεατό αυτό μετατοπισμένο κατακόρυφο φορτίο. Αν δεν μπορούμε να το πετύχομε αυτό, το θεμέλιο γίνεται έκκεντρο και ο υπολογισμός του γίνεται με τη μέθοδο, που αναπτύχθηκε πιο πάνω για τα έκκεντρα θεμέλια.

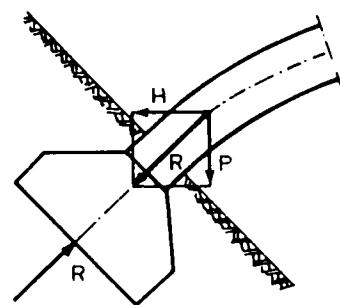
Τα κατακόρυφα φορτία και οι ροπές των στοιχείων της ανωδομής δεν έχουν σταθερές τιμές, επειδή και τα φορτία, που ενεργούν πάνω σε κάθε έργο, όταν αυτό λειτουργεί, άλλοτε είναι μεγαλύτερα και άλλοτε μικρότερα και αλλάζουν θέσεις. Επομένως στη γενική περίπτωση το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης αλλάζει θέση και δεν μπορούμε να πετύχομε μια λύση, που να μην υπάρχει έκκεντροτήτη για οποιαδήποτε φόρτιση. Πρέπει τότε να προσπαθούμε να δώσομε στο θεμέλιο τέτοια θέση, ώστε η έκκεντροτήτα να γίνεται όσο μπορεί μικρότερη, βάζοντας το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως κάτω από τη μέση θέση του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης [παράγρ. 6.4(ε)].

Τα φέροντα στοιχεία της ανωδομής μεταφέρουν στα θεμέλια και μικρές οριζόντιες δυνάμεις, η συνισταμένη δηλαδή των φορτίων δεν είναι κατακόρυφη, αλλά έχει κάποια κλίση. Οι οριζόντιες δυνάμεις ισορροπούνται από τις δυνάμεις τριβής ανάμεσα στο θεμέλιο και στο έδαφος στην επιφάνεια εδράσεως. Ένα μέρος από τις δυνάμεις αυτές μπορεί να το ισορροπούν και οι οριζόντιες αντιδράσεις των πρανών του ορύγματος (σχ. 6.2δ).



Σχ. 6.2δ.

Τα οριζόντια φορτία των θεμελίων ισορροπούν με τις τριβές στον πυθμένα του ορύγματος και τις αντιδράσεις στα πρανή του.



Σχ. 6.2ε.

Όταν η οριζόντια δύναμη  $H$  είναι μεγάλη, το θεμέλιο εδράζεται σε μια λοξή επιφάνεια.

Όταν οι οριζόντιες δυνάμεις είναι σημαντικές, όπως π.χ. στα σημεία όπου στηρίζονται τόξα ή θόλοι (σχ. 6.2ε), δίνουμε κάποια κλίση στην επιφάνεια εδράσεως του θεμελίου. Η κλίση ορίζεται έτσι, ώστε η συνισταμένη  $R$  των φορτίων να είναι περίπου κάθετη με την επιφάνεια εδράσεως. Επειδή η διεύθυνση της  $R$  δεν είναι συνήθως σταθερή, προσπαθούμε η επιφάνεια εδράσεως του θεμελίου να είναι κάθετη με τη μέση διεύθυνση της συνισταμένης.

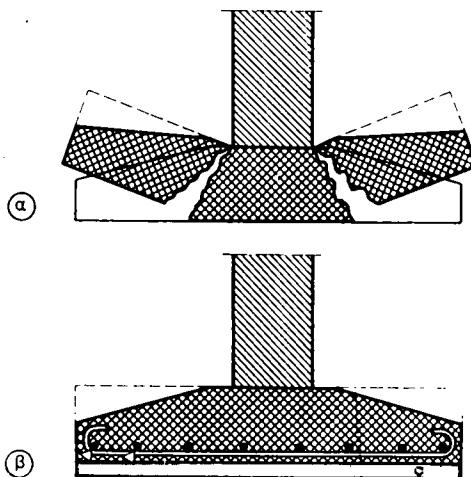
Ο υπολογισμός του εμβαδού της επιφάνειας για την έδραση των λοξών αυτών θεμελίων γίνεται με τον ίδιο τρόπο, με τη βοήθεια δηλαδή του τύπου (2). Στη θέση των φορτίων  $P_a$  και  $P_\theta$  δεν τοποθετούμε τα κατακόρυφα φορτία, αλλά τις συνιστώσες τους  $P_{1a}$  και  $P_{1\theta}$ , που είναι κάθετες με την επιφάνεια εδράσεως.

### 6.3 Υπολογισμός αβαθών θεμελίων.

Είναι πολύ εύκολο να υπολογίσουμε τα θεμέλια, που πρόκειται να γίνουν με φυσικούς ή τεχνητούς λίθους ή με απλό σκυρόδεμα. Τα υλικά αυτά έχουν σημαντική αντοχή σε θλίψη, ενώ αντίθετα η αντοχή τους σε εφελκυσμό και σε διάτμηση είναι πολύ μικρή. Πρέπει λοιπόν να υπολογίσουμε τη μορφή και τις διαστάσεις των θεμελίων έτσι, ώστε στο εσωτερικό τους να υπάρχουν κυρίως θλιπτικές τάσεις και ασήμαντες διατμητικές και εφελκυστικές.

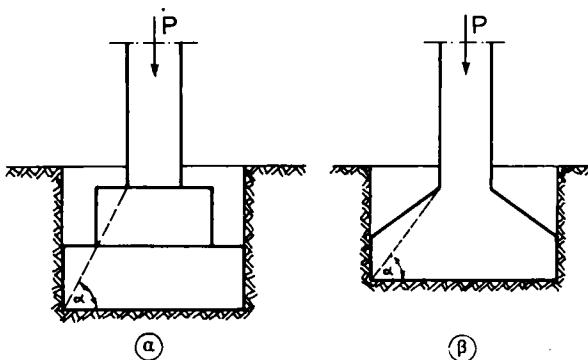
Στο πάνω μέρος των θεμελίων υπάρχουν οι πιέσεις της ανωδομής. Οι πιέσεις αυτές είναι βέβαια ανεκτές για την ανωδομή, όπως και για το θεμέλιο, που κατσκευάζεται με το ίδιο υλικό ή με υλικό, που έχει συνήθως κάπως μεγαλύτερη αντοχή. Στο κάτω μέρος των θεμελίων υπάρχουν οι πιέσεις του εδάφους. Επειδή κατά κανόνα οι πιέσεις της ανωδομής είναι πιο μεγάλες από τις ανεκτές πιέσεις του εδάφους, πρέπει προς το κάτω μέρος του θεμελίου οι πιέσεις να ελαπτώνονται και αυτό μπορεί να γίνει μόνο, αν το πλάτος του θεμελίου μεγαλώνει.

Όπως είπαμε και στην παράγραφο 5.2(β) 1 και 4, η διαπλάτυνση αυτή πρέπει να γίνεται σιγά-σιγά, για να υπάρχουν μέσα στο θεμέλιο τάσεις κυρίως θλιπτικές. Αν η διαπλάτυνση είναι απότομη, το θεμέλιο κάμπτεται, με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντικές εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις (σχ. 6.3α).



Σχ. 6.3α.

Όταν το πέδιλο διαπλατύνεται απότομα, κάμπηται και σπάει (α). Γι' αυτό βάζομε οπλισμό (β), για να πάρει τις εφελκυστικές τάσεις.



Σχ. 6.3β.

Στα άσπλα θεμέλια η γωνία α πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τις ελάχιστες τιμές, που καθορίζονται στον Πίνακα 6.3.1.

Ύστερα απ' αυτά που είπαμε, βλέπομε ότι για να υπολογίσουμε ένα τέτοιο θεμέλιο, αρκεί να καθορίσουμε την κατάλληλη γωνία α (σχ. 6.3β), ώστε να μην αναπτύσσονται απαράδεκτες τάσεις [παράγρ. 6.4(στ)]. Η γωνία α εξαρτάται πρώτα από το υλικό του θεμέλιου και έπειτα από την πίεση  $P$ , που φορτίζει την επιφάνεια του εδάφους κάτω από το θεμέλιο. Οι τιμές της εφα, και της γωνίας α μέσα σε παρένθεση, δίνονται στον Πίνακα 6.3.1 για μερικές συνηθισμένες περιπτώσεις. Τα σύμβολα B80, B120, B160 και B225 δείχνουν τις διάφορες ποιότητες του απλού σκυροδέματος. Το B120 σημαίνει π.χ. ότι ένας κύβος με ακμή 20 cm φτιαγμένος μ' αυτό το σκυρόδεμα πριν από 28 μέρες σπάει, όταν ασκηθεί πάνω του πίεση μεγαλύτερη από  $120 \text{ kg/cm}^2$ . Αν το θεμέλιο είναι από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους χτισμένους με επιμέλεια και με καλό τσιμεντοκονίαμα, μπορούμε να εφαρμόσουμε, όσα αναφέρονται στο σκυρόδεμα B80.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.1.**

	$p = 1$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 2$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 3$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 4$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 5$ $\text{kg/cm}^2$
Τοιχοποία και Β80	$\epsilon_{\text{φα}} = 1,23$ ( $\alpha = 51^\circ$ )	1,74 ( $60^\circ$ )	2,13 ( $65^\circ$ )	2,46 ( $68^\circ$ )	2,75 ( $70^\circ$ )
B120	1,00 ( $45^\circ$ )	1,42 ( $55^\circ$ )	1,74 ( $60^\circ$ )	2,01 ( $64^\circ$ )	2,25 ( $66^\circ$ )
B160	—	1,23 ( $51^\circ$ )	1,51 ( $56^\circ$ )	1,74 ( $60^\circ$ )	1,94 ( $63^\circ$ )
B225	—	1,04 ( $46^\circ$ )	1,27 ( $52^\circ$ )	1,47 ( $56^\circ$ )	1,64 ( $59^\circ$ )

Όταν το Θεμέλιο είναι από άλλα υλικά και ιδιαίτερα από οπλισμένο σκυρόδεμα, υπολογίζεται σύμφωνα με τις μεθόδους, που ακολουθούν γενικά οι υπολογισμοί στοιχείων από τα υλικά αυτά και που ξεφεύγουν από το αντικείμενο αυτού του βιβλίου.

**6.4 Εφαρμογές – Παραδείγματα.**

Για να γίνουν ευκολότερα κατανοητά, δύο αναφέρονται στις παραγράφους 6.2 και 6.3, δίνονται στη συνέχεια μερικά παραδείγματα, τόσο για τον έλεγχο των πιέσεων του εδάφους, όσο και για τον υπολογισμό του ίδιου του θεμελίου.

**α) Υπολογισμός διαστάσεων απομονωμένου πεδίου.**

Στύλος δομικού έργου μεταφέρει στη βάση του κατακόρυφο φορτίο 85 τόννων και πρόκειται να θεμελιώθει με ένα πέδιλο σε βάθος 1,50 m κάτω απ' την επιφάνεια του δαπέδου του έργου. Το έδαφος σ' αυτή τη στάθμη μπορεί να δεχθεί πίεση 2 kg/cm<sup>2</sup>. Να ορισθούν οι διαστάσεις της επιφάνειας για την έδραση του πεδίου.

**Λύση.**

Μπορούμε με αρκετά καλή προσέγγιση να δεχθούμε ως μέσο ειδικό βάρος πεδίου και επιχώσεων το  $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$ .

Τότε το  $\gamma \cdot h = 2000 \times 1,50 = 3000 \text{ kg/m}^2 = 0,3 \text{ kg/cm}^2$ . Εφαρμόζοντας τον τύπο (3) βρίσκομε:

$$F \geq \frac{85000 \text{ kg}}{(2,0 - 0,3) \text{ kg/cm}^2} = 50.000 \text{ cm}^2 = 5,00 \text{ m}^2$$

Η κάτοψη λοιπόν του πεδίου πρέπει να έχει εμβαδό τουλάχιστον ίσο με 5 m<sup>2</sup>. Μπορεί λοιπόν να έχει διαστάσεις 2,25 × 2,25 ή 2,00 × 2,50 κ.ο.κ. με το κέντρο βάρους της κάτω ακριβώς από τον άξονα του στύλου.

**β) Υπολογισμός συνεχούς θεμελίου.**

Ένας τοίχος μεταφέρει στη βάση του κατακόρυφα φορτία ίσα με 12 τόννους,

για κάθε μέτρο του μάκρους του και θεμελιώνεται σε βάθος ένος μέτρου κάτω από την επιφάνεια του δαπέδου. Το έδαφος σ' αυτή τη στάθμη μπορεί να δεχθεί πίεση 1 kg/cm<sup>2</sup>. Τι πλάτος πρέπει να έχει το θεμέλιο;

### Λύση.

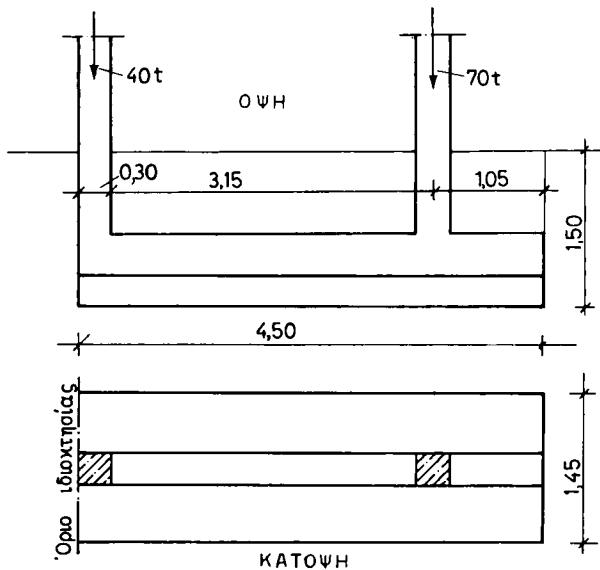
Παίρνοντας πάλι το  $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$  έχομε  $\gamma \cdot h = 2000 \times 1,00 = 2000 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ , απότελος:

$$b \geq \frac{12000 : 100 \text{ kg/cm}}{(1,0 - 0,2) \text{ kg/cm}^2} = \frac{120}{0,8} \text{ cm} = 150 \text{ cm} = 1,50 \text{ m}$$

Επομένως το πλάτος του θεμελίου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με 1,50 m και ο αξονάς του να βρίσκεται κάτω ακριβώς από τον άξονα του τοίχου.

### γ) Υπολογισμός κοινού θεμελίου για δύο κολώνες.

Δύο κολώνες με αντίστοιχα φορτία 40 και 70 τόννων πρόκειται να θεμελιώνονται σε βάθος 1,50 m κάτω απ' την επιφάνεια του δαπέδου (σχ. 6.4a). Το έδαφος σ' αυτή τη στάθμη μπορεί να δεχθεί πίεση 2 kg/cm<sup>2</sup>. Η πρώτη κολώνα έχει διαστάσεις 30 x 30 cm και βρίσκεται σε επαφή με το όριο της ιδιοκτησίας. Οι άξονες των κολωνών απέχουν μεταξύ τους 3,30 m και ορίζουν ένα επίπεδο κάθετο με το όριο της ιδιοκτησίας. Να ορισθεί η κάτοψη του θεμελίου.



Σχ. 6.4a.

Υπολογισμός ενός κοινού θεμελίου για δύο κολώνες.

### Λύση.

Παίρνοντας πάλι το  $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$ , έχομε  $\gamma \cdot h = 2000 \times 1,5 = 3000 \text{ kg/m}^2 = 0,3 \text{ kg/cm}^2$  και επομένως:

$$F \geq \frac{(40.000 + 70.000)kg}{(2,0 - 0,3)kg/cm^2} \simeq 64.700 \text{ cm}^2 = 6,47 \text{ m}^2$$

Το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των δύο φορτίων απέχει από το όριο της ιδιοκτησίας απόσταση  $x$ , που υπολογίζεται με την εξίσωση των ροπών και είναι:

$$x = \frac{40 \times 0,15 + 70 (0,15 + 3,30)}{40 + 70} = 2,25 \text{ m}$$

Πρέπει λοιπόν να δώσουμε στο θεμέλιο μάκρος 4,50 m, ώστε να βρίσκεται η μέση του ακριβώς κάτω από τη συνισταμένη, αφού η άκρη του υποχρεωτικά θα είναι στο όριο της ιδιοκτησίας. Είναι δηλαδή:  $\lambda = 2x = 4,50 \text{ m}$ .

Το πλάτος του θεμελίου βρίσκεται εύκολα, αφού είναι  $F = \lambda \cdot b$ . Θα είναι λοιπόν:

$$b = \frac{F}{\lambda} = \frac{6,47 \text{ m}^2}{4,50 \text{ m}} \simeq 1,45 \text{ m}$$

Το θεμέλιο αυτό θα έχει ορθογωνική κάτοψη με διαστάσεις  $1,45 \times 4,50 \text{ m}$ . Η μια από τις μικρές του πλευρές θα βρίσκεται στο όριο της ιδιοκτησίας, ενώ ο κατά μήκος άξονας του περνάει κάτω από τους άξονες των δύο κολωνών. Η άλλη μικρή πλευρά του θεμελίου απέχει  $1,05 \text{ m}$  από τον άξονα της μεσαίας κολώνας.

### **δ) Υπολογισμός διαστάσεων έκκεντρου απομονωμένου πεδίλου.**

Στύλος οικοδομικού έργου με διατομή  $30 \times 30 \text{ cm}$ , που ανήκει στην πρόσωφή του, μεταφέρει στη βάση του κατακόρυφο φορτίο 36 τόννων και πρόκειται να θεμελιωθεί με ένα πέδιλο σε βάθος  $1,50 \text{ m}$  κάτω από την επιφάνεια του χαμηλότερου δαπέδου του έργου. Το έδαφος σ' αυτή τη στάθμη μπορεί να δεχθεί μέση πίεση  $3 \text{ kg/cm}^2$ , μπορεί όμως να γίνει δεκτή μια τοπική της αύξηση κατά 20%. Ο Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός (Γ.Ο.Κ.) επιτρέπει να προεξέχουν τα πέδιλα κάτω από το πεζοδρόμιο κατά  $20 \text{ cm}$  έξω από την οικοδομική γραμμή. Να ορισθούν οι διαστάσεις της επιφάνειας της βάσης του πεδίλου.

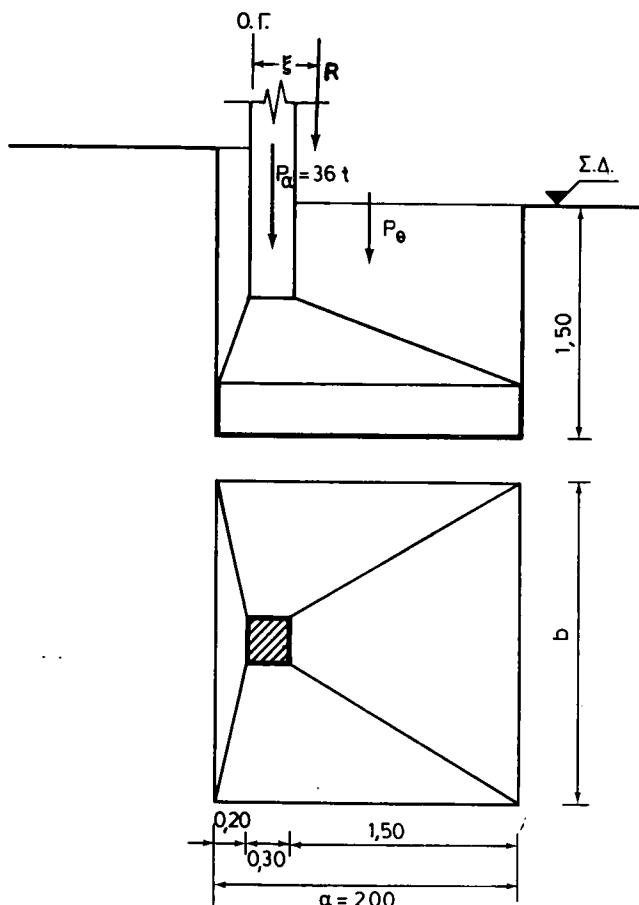
#### **Λύση.**

Δεχόμασθε δοκιμαστικά ότι η διάσταση του πεδίλου κάθετα προς την οικοδομική γραμμή θα είναι  $a = 2,00 \text{ m}$  και θα υπολογίσομε την άλλη οριζόντια διάστασή του  $b$  (σχ. 6.4β).

Για μέσο ειδικό βάρος πεδίλου και επιχώσεων  $\gamma = 2.000 \text{ kg/m}^3$  θα είναι:  $P_\theta = 2.000 \times 2,00 \times 1,50 \times b = 6000 \text{ b (kg)} = 6 \text{ b σε τόννους}$ .

Η συνισταμένη  $R = P_a + P_\theta = 36 + 6 \text{ b}$  και εφαρμόζεται σε απόσταση  $\xi$  από την εξωτερική ακμή του πεδίλου, δημο:

$$\xi = \frac{36 \times 0,35 + 6b \times 1,00}{36 + 6b} = \frac{2,1 + b}{6,0 + b} \text{ (m)}$$



Σχ. 6.48.

Απομονωμένο πέδιλο στην πρόσοψη οικοδομικού έργου.  
Ο.Γ. = Οικοδομική γραμμή, Σ.Δ. = Στάθμη δαπέδου.

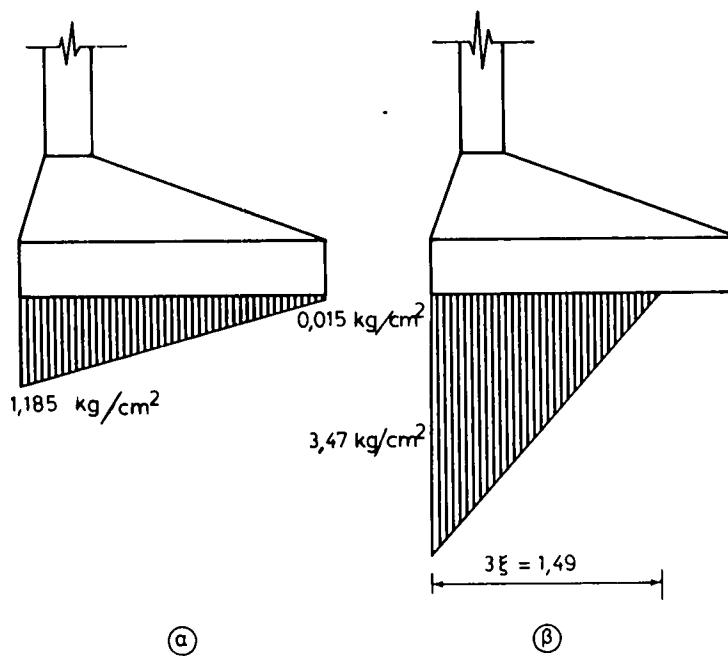
Αν θέλομε να υπάρχουν πιέσεις σε δλη την έκταση της βάσεως του πεδίλου θα πρέπει  $\min p \geq 0$ , δηλαδή πρέπει:

$$\xi \geq \frac{2,00}{3} \quad \text{ή} \quad \frac{2,1 + b}{6,0 + b} \geq \frac{2,00}{3}$$

Λύνοντας την ανίσωση αυτή βρίσκουμε  $b \geq 5,70$  m. Πράγματι, αν κάτασκευασθεί το πέδιλο με διαστάσεις βάσεως  $2,00 \times 6,00$  θα έχουμε [σχ. 6.4g(a)]:

$$\xi = \frac{2,1 + 6,0}{6,0 + 6,0} = 0,675 \text{ m} \quad \text{και} \quad e = \frac{2,00}{2} - 0,675 = 0,325 \text{ m}$$

οπότε:  $\min p = \frac{36,0 + 36,0}{2,00 \times 6,00} \left(1 - 6 \cdot \frac{0,325}{2,00}\right) = 0,15 \text{ t/m}^2 = 0,015 \text{ kg/cm}^2 \geq 0$

**Σχ. 6.4γ.**

Πιέσεις εδάφους κάτω από το πέδιλο του σχ. 6.4β.  
α) Για  $b = 6,00$  m. β) Για  $b = 1,75$  m.

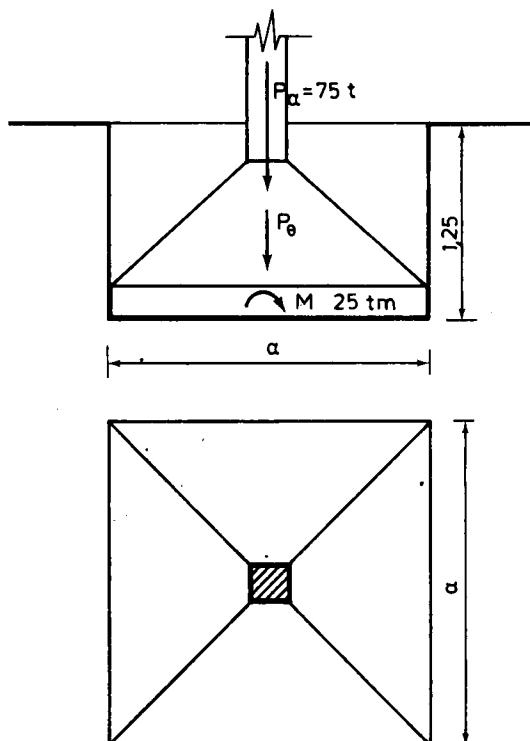
$$\max p = \frac{36,0 + 36,0}{2,00 \times 6,00} \left( 1 + 6 \cdot \frac{0,325}{2,00} \right) = 11,85 \text{ t/m}^2 = 1,185 \text{ kg/cm}^2 \leq 3,6 \text{ kg/cm}^2$$

Η λύση αυτή είναι θεωρητικά σωστή, αλλά πρακτικά είναι αντιοικονομική, επειδή το πέδιλο είναι πολύ μεγάλο και πιθανόν ανεφάρμοστη. Μπορούμε όμως να δεχθούμε ένα μικρότερο  $b$ , οπότε μόνο μια λουρίδα του πεδίλου θα φορτίζει το έδαφος, αλλά να φροντίσουμε η μέγιστη τάση να είναι ανεκτή. Η λουρίδα

αυτή θα έχει πλάτος ίσο με  $3\xi = \frac{6,3 + 3b}{6,0+b}$  /cm και η μέγιστη τάση του έδαφους θα είναι [σχ. 6.4γ (β)]:

$$\max p = \frac{2}{3} \cdot \frac{\frac{36,0 + 6b}{2,1 + b}}{b \cdot \frac{6,0 + b}{6,0 + b}} \leq 36 \text{ t/m}^2$$

Η ανίσωση αυτή γράφεται  $8b^2 + 6,9b - 36 \geq 0$  και δίνει λύση  $b \geq 1,735$  m. Πράγματι, αν κατασκευασθεί το πέδιλο με διαστάσεις βάσεως  $2,00 \times 1,75$  θα έχουμε:



**Σχ. 6.46.**  
Απομονωμένο πέδιλο με έκκεντρο φορτίο.

$$P_a + P_\theta = 36,0 + 6 \times 1,75 = 46,5 \text{ t} \quad \xi = \frac{2,1 + 1,75}{6,0 + 1,75} = 0,497 \text{ m}$$

$$\text{και } \max p = \frac{2}{3} \cdot \frac{46,5}{1,75 \times 0,497} = 34,7 \text{ t/m}^2 = 3,47 \text{ kg/cm}^2 \leq 3,6$$

**ε) Υπολογισμός διαστάσεων απομονωμένου πεδίλου με έκεντρο φορτίο.**

Στύλος δομικού έργου μεταφέρει στη βάση του κατακόρυφο φορτίο 75 τόννων και πρόκειται να θεμελιωθεί με ένα πέδιλο, που θα έχει τετραγωνική βάση, σε βάθος 1,25 m κάτω από την τελική στάθμη του εδάφους (σχ. 6.46). Σε περίπτωση σεισμού αναπτύσσεται στη στάθμη θεμελιώσεως και μια ροπή  $M = 25 \text{ tm}$  με εναλλασσόμενο πρόσημο, που ο άξονάς της μπορεί να είναι παράλληλος είτε προς τη μια είτε προς την άλλη πλευρά της βάσεως του πεδίλου. Το έδαφος στη στάθμη αυτή μπορεί να δεχτεί μια μέση πίεση ίση με  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ . Να υπολογισθεί το μήκος της πλευράς α της βάσεως του πεδίλου.

**Λύση.**

Ο αντισεισμικός Κανονισμός (όπως δημοσιεύθηκε τροποποιημένος στις 4/4/84)

προβλέπει ότι τοπικά η πίεση του εδάφους μπορεί να είναι αυξημένη κατά 50%, δηλαδή ίση με  $3,75 \text{ kg/cm}^2$ , πρώτα επειδή παρουσιάζεται μόνο τοπικά και δεύτερο γιατί εφαρμόζεται για πολύ μικρή διάρκεια.

Για μέσο ειδικό βάρος πεδίου και επιχώσεων  $\gamma = 2000 \text{ kg/m}^3$  θα είναι  $P_\theta = 2.000 \times 1,25 \text{ xax } a = 2500 \text{ a}^2 (\text{kg}) = 2,5a^2$  σε τόννους.

Η συνισταμένη  $R = P_a + P_\theta = 75 + 2,5a^2$  μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν εφαρμόζεται στο κέντρο του πεδίου αλλά σε απόσταση:

$$\theta = \frac{M}{R} = \frac{25}{75+2,5a^2} (\text{m}),$$

επειδή υπάρχει και η ροπή από το σεισμό, οπότε η μέγιστη πίεση του εδάφους είναι:

$$\max p = \frac{75 + 2,5a^2}{a^2} \left[ 1 + \frac{6}{a} \cdot \frac{25}{75 + 2,5a^2} \right] \leq 37,5 \text{ t/m}^2$$

$$\text{ή } 35a^3 - 75a - 150 \geq 0$$

Λύνοντας με λίγες απλές δοκιμές την ανίσωση αυτή, βρίσκομε:

$$a \geq 2,06 \text{ m περίπου}$$

Πράγματι αν ορίσομε το  $a = 2,10 \text{ m}$  θα είναι:

$$\begin{aligned} \max p &= \frac{75 + 2,5 \times 2,1^2}{2,1^2} \left[ 1 + \frac{6}{2,1} \cdot \frac{25}{75 + 2,5 \times 2,1^2} \right] = \\ &= \frac{86,025}{4,41} \cdot 1,83 = 35,8 \text{ t/m}^2 = 3,58 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{και } \min p = \frac{86,025}{4,41} \cdot 0,17 = 3,32 \text{ t/m}^2 = 0,332 \text{ kg/cm}^2$$

#### *στ) Υπολογισμός Θεμέλιου τοίχου από λιθοδομή.*

Ας πούμε ότι πρόκειται να κατασκευασθεί ένα θεμέλιο από λιθοδομή σε έδαφος με αντοχή  $2 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ t/m}^2$ . Η ανωδομή έχει ένα τοίχο με πάχος  $0,50 \text{ m}$  και φορτίο  $P_a = 40 \text{ t/m}$  στη στάθμη της επιφάνειας του εδάφους. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.3.1 έχομε εφα = 1,74. Αν λοιπόν το θεμέλιο έχει βάθος  $t$ , το πλάτος του δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από  $b = 0,50 + 2t/1,74$  (σχ. 6.4ε). Δεχόμασθε πάλι ότι το μέσο ειδικό βάρος του θεμέλιου και των χωμάτων είναι περίπου  $2 \text{ t/m}^3$ , οπότε το βάρος του θεμέλιου για ένα μέτρο μάκρους είναι:

$$P_\theta = 2,0 t \quad \left( 0,50 + \frac{2t}{1,74} \right) = t + \frac{4t^2}{1,74}$$

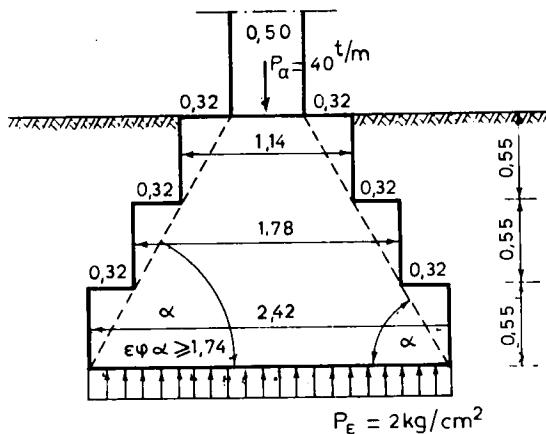
Η πίεση του έδαφος ρ στη στάθμη της θεμελιώσεως θα είναι:

$$p = \frac{P_a + P_\theta}{b} = \frac{40 + t + \frac{1,74}{2t}}{0,50 + \frac{1,74}{2t}} = \frac{69,9 + 1,74t + 4t^2}{0,87 + 2t}$$

Πρέπει δημοσίευση να είναι το:  $p \leq 20t/m^2$ , δηλαδή:

$$\frac{69,6 + 1,74t + 4t^2}{0,87 + 2t} \leq 20 \quad \text{ή} \quad 52,2 - 38,26t + 4t^2 \leq 0$$

Η λύση της παραπάνω ανισώσεως μας δίνει ότι το βάθος πρέπει να είναι  $t \geq 1,56$  m, από όπου προκύπτει ότι το πλάτος του θεμελίου πρέπει να είναι  $b \geq 2,40$  m. Στο σχήμα 6.4ε φαίνεται το τελικό σχέδιο του θεμελίου σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά.



**Σχ. 6.4ε.**

Παράδειγμα για τον υπολογισμό των διαστάσεων του θεμελίου ενός τοίχου από λιθοδομή.

## 6.5 Υπολογισμός για βαθιές θεμελιώσεις.

Όταν η θεμελίωση γίνεται με καταδυόμενα φρέατα, η επιφάνεια εδράσεώς τους υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στις αβαθείς θεμελιώσεις. Τα τοιχώματα και τα άλλα στοιχεία του φρέατος υπολογίζονται, ανάλογα με το υλικό τους, με τις γενικές μεθόδους υπολογισμού δομικών στοιχείων, που αποτελούνται από το ίδιο υλικό. Οι μέθοδοι αυτές γενικά ξεφεύγουν από το αντικείμενο αυτού του βιβλίου. Έτσι στην παράγραφο αυτή εξετάζεται ουσιαστικά ο υπολογισμός των πασσαλώσεων.

Όταν η έρευνα του εδάφους μας αποδείξει, ότι η κατάλληλη μέθοδος για τη θεμελίωση ενός έργου είναι η πασσάλωση, μας παρέχει και αρκετά στοιχεία, για να καθορίσουμε το μάκρος των πασσάλων, όπως και για να διαλέξουμε το σύστημα θεμελιώσεως, ανάλογα και με το μηχανικό εξοπλισμό, που είναι διαθέσιμος. Με αυτά τα στοιχεία γίνεται ο υπολογισμός, που μας δίνει τις άλλες διαστάσεις των πασσάλων και τον αριθμό τους.

Οι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι πρέπει να ύπολογισθούν και να κατασκευασθούν έτσι, ώστε να εξασφαλίζονται οι ακόλουθες δύο συνθήκες:

α) Ο πάσσαλος πρέπει να αντέχει στις καταπονήσεις, που δημιουργούνται, όταν τον μεταφέρουμε απ' την αρχική του θέση, για να τον στήσουμε δρόμο στο σημείο, όπου πρόκειται να τον τοποθετήσουμε. Κατά κανόνα η αρχική θέση είναι οριζόντια και έτσι οι καταπονήσεις μπορεί να είναι πολύ σοβαρές σε πασσάλους με μεγάλο μάκρος. Οι καταπονήσεις αυτές μπορούν να περιορισθούν, αν διαλέξουμε κατάλληλα τα σημεία, από όπου θα κρεμάσουμε τον πάσσαλο, για να τον μεταφέρουμε.

β) Ολόκληρος ο πάσσαλος και κυρίως η κεφαλή και η αιχμή του, πρέπει να αντέχουν στις καταπονήσεις, που προκαλούν τα κτυπήματα του κριού πάνω στην κεφαλή, όταν ο πάσσαλος καρφώνεται στο έδαφος. Αφού εξασφαλίσουμε αυτή τη συνθήκη, είμαστε βέβαιοι ότι ο πάσσαλος μπορεί να ανθέξει και στις μόνιμες καταπονήσεις, που προκαλούν τα φορτία της ανωδομής. Είναι φανερό ότι οι καταπονήσεις από τα φορτία αυτά είναι πολύ μικρότερες, αφού δεν μπορούν να προκαλέσουν υποχώρηση του πασσάλου, ενώ αυτό συμβαίνει για τις προηγούμενες.

Οι πάσσαλοι, που κατασκευάζονται μέσα στο έδαφος, υπολογίζονται πιο απλά, γιατί χρειάζεται μόνο να αντέχουν στις καταπονήσεις, που προκαλούν τα φορτία της ανωδομής του έργου.

Οι υπολογισμοί αυτοί των πασσάλων γίνονται με τις μεθόδους, που εφαρμόζονται για όλα τα δομικά στοιχεία, τα οποία αποτελούνται από το ίδιο μ' αυτούς υλικό. Η εξέταση των μέθοδων αυτών δεν είναι αντικείμενο αυτού του βιβλίου.

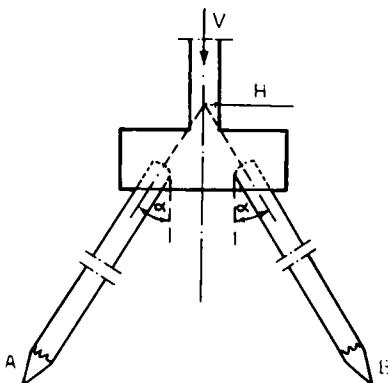
Όταν καθορισθούν όλα τα στοιχεία του πασσάλου, υπολογίζεται και το φορτίο, που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια από την ανωδομή στο έδαφος. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια ορισμένων μαθηματικών τύπων, που είναι μάλλον εμπειρικοί και προϋποθέτουν ότι γνωρίζουμε ορισμένες ιδιότητες του έδαφους, για να μπορούμε να δώσουμε αριθμητικές τιμές στις διάφορες παραμέτρους που περιέχουν.

Όταν υπολογισθεί το φορτίο, είναι συνήθως απαραίτητο να καρφώσουμε δοκιμαστικά μερικούς πασσάλους, για να επιβεβαιώσουμε το αποτέλεσμα. Ως στοιχεία για την επιβεβαίωση αυτή έχουμε τις διεισδύσεις των πασσάλων, που παρατηρούνται για κάθε χτύπημα στα διάφορα στρώματα του έδαφους και ιδιαίτερα προς το τέλος της εμπήξεως. Τα στοιχεία αυτά, μαζί με το βάρος του πασσάλου, το βάρος του κριού και το ύψος, από όπου πέφτει, εισάγονται σε ένα από τους μαθηματικούς τύπους, που λέγονται **δυναμικοί**, και μας δίνουν το φορτίο, που μπορεί να σηκώσει ο πάσσαλος.

Μπορούμε ακόμα να φορτίσουμε το δοκιμαστικό πάσσαλο και να μετρήσουμε τις υποχώρησεις που παρουσιάζει, δύο αυξάνονται τα φορτία. Οι υποχωρήσεις αυτές, τα αντίστοιχα φορτία, οι διαστάσεις και το βάρος του πασσάλου εισάγονται σε ένα από τους μαθηματικούς τύπους, που λέγονται **στατικοί** και μας δίνουν πάλι το φορτίο, που μπορεί να σηκώσει ο πάσσαλος. Έτσι με δύο διαφορετικούς τρόπους διασταυρώνουμε και επαληθεύουμε τα αποτέλεσματα.

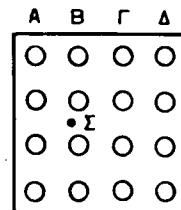
Μόλις καθορίσουμε το φορτίο του πασσάλου, είμαστε σε θέση πια να ύπολογισουμε και τον αριθμό των πασσάλων που χρειαζόμασθε. Αν  $P_a$  είναι το φορτίο ενός στοιχείου της ανωδομής και  $P_n$  το φορτίο, που μπορεί να σηκώσει κάθε πάσσαλος, τότε για τη θεμελίωση του στοιχείου αυτού χρειάζονται  $n$  πάσσαλοι, όπου  $n \geq P_a / P_n$ . Είναι φανερό ότι στο φορτίο  $P_a$  πρέπει να περιλαβούμε τόσο το βάρος της πασσαλοεσχάρας, δύο και των ίδιων των πασσάλων.

Τους π αυτούς πασσάλους διατάσσουμε κατάλληλα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.6ιβ και μάλιστα, δύο γίνεται πιο συμμετρικά γύρω από το σημείο εφαρμογής του φορτίου της ανωδομής. Αν το θεμέλιο είναι συνεχές, οι πάσσαλοι τοποθετούνται σε στοίχους συμμετρικά ως προς τον άξονα του στοι-

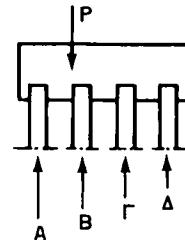


Σχ. 8.5α.

Υπολογισμός του αριθμού των λοξών πασσάλων, που χρειάζονται σε μια θεμελίωση.



ΚΑΤΩΦΗ



ΤΟΜΗ

Σχ. 8.5β.

Συμμετρική πασσαλοεσχάρα, που φορτίζεται έκκεντρα. Οι πάσσαλοι καταπονούνται ανομοιόμορφα.

χείσιο της ανωδομής. Οι ομάδες ή οι στοίχοι αυτοί των πασσάλων ενώνονται στις κεφάλες τους με μια πασσαλοεσχάρα.

Ένα άλλο στοιχείο, που πρέπει να καθορισθεί, είναι οι αποστάσεις των πασσάλων της ίδιας ομάδας. Δεν υπάρχουν σχετικοί ελληνικοί κανονισμοί και οι ξένοι κανονισμοί διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το θέμα αυτό. Γενικά η απόσταση ανάμεσα στους άξονες δύο γειτονικών πασσάλων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 80 cm, αλλά ούτε από το τριπλάσιο της διαμέτρου ή της πλευράς της διατομής του πασσάλου. Είναι πάντως καλύτερα οι αποστάσεις αυτές να μην είναι μικρότερες από 1,00 ως 1,50 m. Η μισή τουλάχιστον από την απόσταση αυτή πρέπει να χωρίζει και τους άξονες των περιμετρικών πασσάλων της ομάδας από τις άκρες της πασσαλοεσχάρας.

Όταν η ομάδα έχει και πασσάλους με κλίση, για να παραλάβουν τα οριζόντια φορτία της ανωδομής, οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους, ακριβώς επειδή υπάρχουν αυτά τα οριζόντια φορτία. Έτσι δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των πασσάλων που χρειαζόμασθε κάνοντας μια απλή διάρεση.

Ας πάρουμε για παράδειγμα την απλή διάταξη του σχήματος 6.5α, όπου οι πάσσαλοι της ομάδας τοποθετούνται σε δύο στοίχους, όλοι με κλίση ίση με α ως προς την κατακόρυφη. Ο αριθμός των πασσάλων του στοίχου A είναι  $n_A$  και καθένας τους έχει αξονική δύναμη  $N_A$ . Αντίστοιχα ο στοίχος B περιέχει  $n_B$  πασσάλους με αξονική δύναμη  $N_B$  τον καθένα.

Για να ισορροπεί το σύστημα, πρέπει να ισχύουν οι εξισώσεις:

$$n_A N_A \text{ημα} - n_B N_B \text{ημα} = H$$

$$n_A N_A \text{συνα} + n_B N_B \text{συνα} = V$$

Η λύση του συστήματος μας δίνει ότι:

$$n_A N_A = \frac{V/\text{συνα} + H/\text{ημα}}{2}$$

$$n_B N_B = \frac{V/\text{συνα} - H/\text{ημα}}{2}$$

Επειδή τα φορτία  $N_A$  και  $N_B$  πρέπει να είναι μικρότερα ή το πολύ ίσα με το φορτίο  $P_n$  που μπορεί να σηκώσει κάθε πάσσαλος, ο αριθμός των πασσάλων, που χρειάζονται για τη θεμελιώση είναι:

$$n_A \geq \frac{V/\sigma_u + H/\eta_m}{2P_n}$$

$$\text{και } n_B \geq \frac{V/\sigma_u - H/\eta_m}{2P_n}$$

Όταν υπάρχουν και πάσσαλοι κατακόρυφοι ή, όταν η διεύθυνση της συνισταμένης των δυνάμεων  $V$  και  $H$  αλλάζει, όπως π.χ. συμβαίνει, όταν η  $H$  είναι δύναμη από σεισμό, οι υπολογισμοί δεν είναι τόσο απλοί. Γενικά όλοι αυτοί οι υπολογισμοί βασίζονται στην παραδοχή, ότι οι πάσσαλοι μεταφέρουν στο έδαφος δυνάμεις μόνο κατά τη διεύθυνση του αξονά τους.

Τα φορτία των πασσάλων διαφέρουν το ένα από το άλλο και στην περίπτωση, που το κέντρο βάρους της ομάδας δεν βρίσκεται κάτω από το σημείο εφαρμογής  $S$  της συνισταμένης  $P_n$  των φορτίων της ανωδομής. Στο απλό παρόδειγμα του σχήματος 6.5β οι πάσσαλοι  $A$  έχουν τα μεγαλύτερα φορτία και οι πάσσαλοι  $\Delta$  τα μικρότερα. Πρέπει να αποφεύγουμε τέτοιες λύσεις, επειδή έτσι δεν εκμεταλλευόμασθε ολόκληρη την αντοχή των πασσάλων. Παρ' όλα αυτά πολλές φορές αναγκαζόμασθε να δεχθούμε μια τέτοια λύση, επειδή το σημείο εφαρμογής  $S$  μπορεί να αλλάζει θέση για τους διάφορους συνδυασμούς των φορτίων, που εφαρμόζονται στο έργο κατά τη λειτουργία του.

Σε μια πασσάλωση πρέπει, εκτός απ' τους πασσάλους, να υπολογίσουμε και τις πασσαλοεσχάρες. Το σχήμα και οι διαστάσεις της κατόψεως τους καθορίζονται από τον αριθμό των πασσάλων τους και τις αποστάσεις που τους χωρίζουν, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.6β. Το πάχος τους και ο οπλισμός τους, αφού κατά κανόνα κατασκευάζονται με οπλισμένο σκυρόδεμα, υπολογίζονται με τους κανόνες υπολογισμού των κατασκευών από το υλικό αυτό, οι κανόνες δύναμης αυτοί δεν περιλαμβάνονται στο σκοπό αυτού του βιβλίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

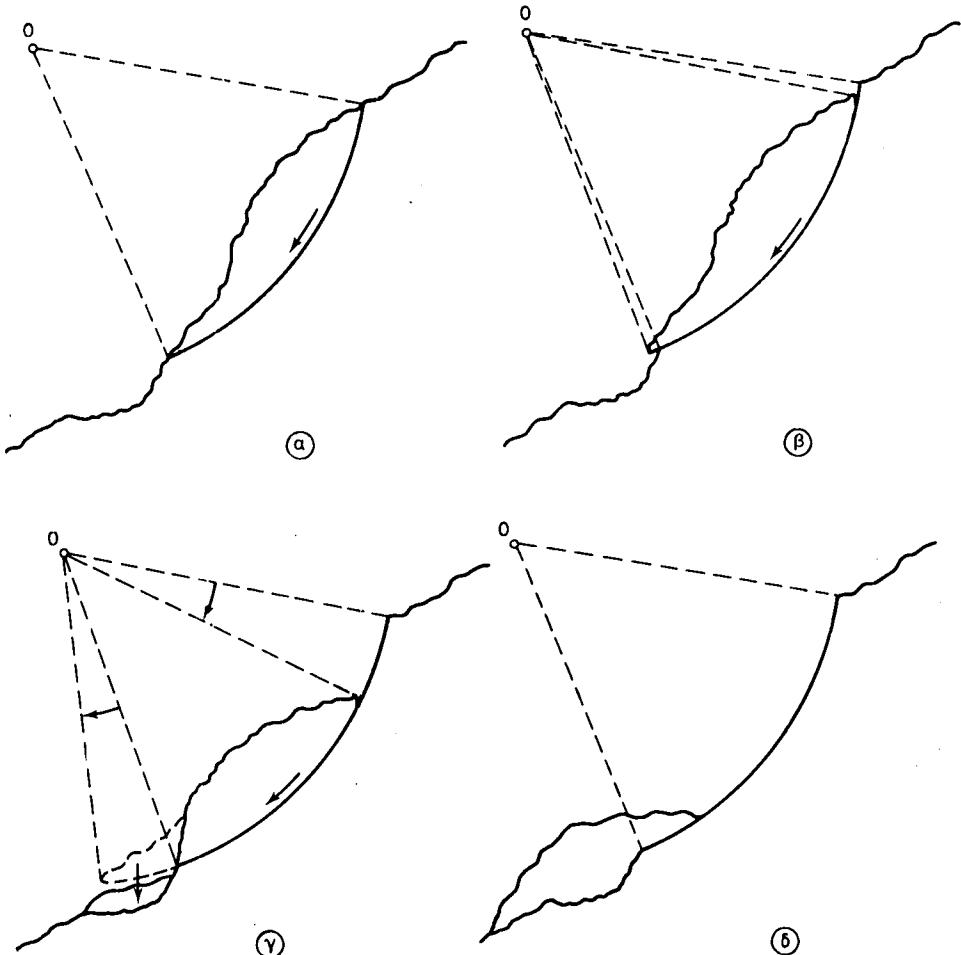
### ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ - ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΣ

#### 7.1 Κατολισθήσεις.

Όταν η επιφάνεια του εδάφους παρουσιάζει έντονες κλίσεις, είτε στην αρχική του φυσική κατάσταση, είτε μετά την κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου, υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος ορισμένα τμήματά του να αλλάξουν θέση κάτω από την επήρεια του βάρους τους. Παρουσιάζονται τότε κατακρημνίσεις βράχων ή κατολισθήσεις χωμάτων. Αυτά είναι συνηθισμένα φυσικά φαινόμενα και δυστυχώς στη χώρα μας έχουν προκαλέσει αξιοσημείωτες καταστροφές με ανθρώπινα θύματα και υλικές ζημιές.

Ο μηχανισμός της κατολισθήσεως φαίνεται στο σχήμα 7.1. Μια εδαφική μάζα αποκόπτεται από το υπόλοιπο έδαφος και περιστρέφεται γύρω από ένα νοητό άξονα Ο [σχ. 7.1(a)]. Η επιφάνεια, που χωρίζει το σταθερό έδαφος από αυτό που κινείται, έχει κατά προσέγγιση το σχήμα ενός κυλίνδρου και έτσι στο σχήμα φαίνεται σε τομή σαν τόξο κύκλου. Στην πρώτη φάση της κατολισθήσεως [σχ. 7.1(β)] γίνεται η αποκοπή του εδάφους και αρχίζει η περιστροφή. Παρουσιάζεται έτσι στο ψηλότερο μέρος, στη στέψη της κατολισθήσεως, μια ρωγμή, που διαμορφώνεται όπως ένα σκαλοπάτι. Όσο το φαινόμενο προχωρεί και η εδαφική μάζα περιστρέφεται, τα τμήματά της διαδοχικά [σχ. 7.1(γ)], κρεμούν στη βάση της κατολισθήσεως έξω από την επιφάνεια του εδάφους, θραύονται και κατρακυλούν προς τα κάτω. Όταν τελειώσει η κατολίσθηση [σχ. 7.1(δ)], μένει γυμνή η κυλινδρική επιφάνεια, ενώ προς τα κάτω έχουν συσσωρευθεί οι όγκοι του εδάφους που κατολίσθησε.

Ο κίνδυνος να συμβεί μια κατολίσθηση είναι βέβαια μεγαλύτερος, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του εδάφους, εξαρτάται όμως και από άλλους παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι η ποιότητα του εδάφους, η κλίση και η διεύθυνση των στρωμάτων, η κάλυψη με δένδρα και θάμνους, η υγρασία του εδάφους, η ευκολία αποστραγγίσεως κλπ. Ο κίνδυνος γίνεται εξαιρετικά μεγάλος, όταν εδάφη με μικρή φυσική πυκνότητα και ψηλή υγρασία εδράζονται σε κεκλιμένες επιφάνειες εδαφών, που είναι περισσότερο συμπαγή με μικρή διαπερατότητα. Το νερό τότε κυκλοφορεί στην επιφάνεια διαχωρισμού, τη λιπαίνει και διευκολύνει τη μετακίνηση και τελικά την κατολίσθηση. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι επιφάνειες, που χωρίζουν το σταθερό εδαφος από κείνο, που κατολισθαίνει, δεν είναι κυλινδρικές, αλλά ακολουθούν τη φυσική μορφή των στρωμάτων. Γενικά το σχήμα 7.1 δείχνει μια θεωρητική περίπτωση, ενώ στην πράξη και ιδιαίτερα, όταν η κατολίσθηση έχει μεγάλες διαστάσεις, το φαινόμενο είναι πολύ πιο σύνθετο.



Σχ. 7.1.

Κατολισθηση εδάφους: α) Αποκοπή από το άλλο έδαφος. β) Πρώτη φάση. γ) Εξέλιξη του φαινόμενου. δ) Αποτέλεσμα.

Υπάρχουν μέθοδοι, γενικά πολύ δαπανηρές, που μας επιτρέπουν να ενισχύσουμε τέτοια επικίνδυνα εδάφη, είτε στηρίζοντάς τα από κάτω, είτε εμποδίζοντάς το νερό να τα διαβρέχει, είτε κυρίως διευκολύνοντάς την αποστράγγιση κ.ο.κ. Είναι εν τούτοις προτιμότερο, όποτε μπορούμε, να αποφεύγομε τα εδάφη αυτά, δηλαδή να μη κατασκευάζομε τεχνικά έργα στην περιοχή τους. Αναφέραμε σχετικά ότι πολλές φορές έχει προταθεί να μεταφερθούν αρκετά ελληνικά χωριά, που είναι κτισμένα σε περιοχές επικίνδυνες για κατολισθήσεις, σε γειτονικές θέσεις, για να αποφύγουν αυτόν ακριβώς τον κίνδυνο.

## 7.2 Ευστάθεια πρανών.

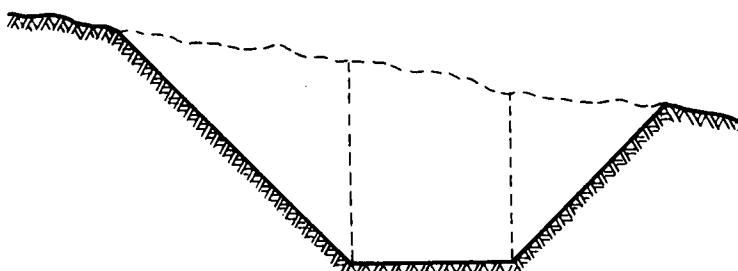
Το φαινόμενο της κατολισθήσεως μπορεί να παρουσιασθεί και σε εδάφη, που απέκτησαν κεκλιμένη ή και κατακόρυφη επιφάνεια, για να κατασκευασθεί κάποιο

τεχνικό έργο. Οι επιφάνειες αυτές, που τις ονομάζομε **πρανή**, μπορεί να προέρχονται είτε από εκσκαφές, οπότε δημιουργούνται **ορύγματα**, είτε από επίχωση, οπότε δημιουργούνται **επιχώματα**.

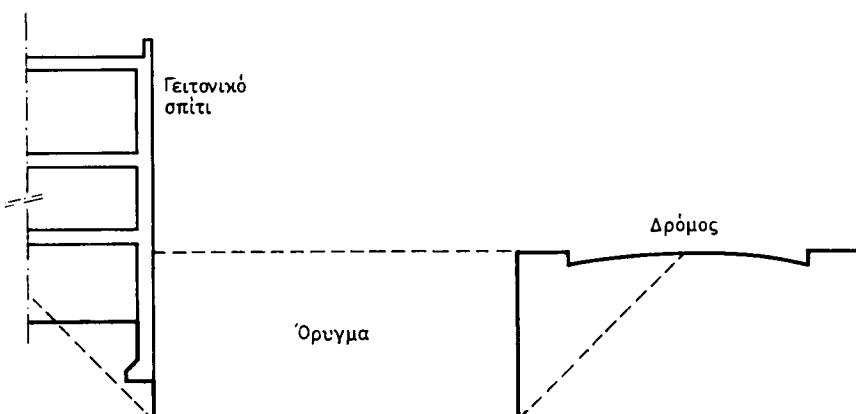
Όταν η εκσκαφή έχει προσωρινό χαρακτήρα, πρόκειται δηλαδή το όρυγμα να επιχωθεί πάλι πριν τελειώσει το έργο, τα πρανή γίνονται κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα για λόγους οικονομίας. Αυτό συμβαίνει γενικά στις εκσκαφές θεμελίων, στις εκσκαφές χαντακιών για την τοποθέτηση σωλήνων ή καλωδίων κ.ο.κ.

Όταν το έδαφος είναι αρκετά συνεκτικό, το βάθος της εκσκαφής σχετικά μικρό και ο χρόνος, που μεσολαβεί ως την επίχωση του ορύγματος περιορισμένος, οι κίνδυνοι για κατολίσθηση είναι μικροί. Όταν δημοσ δεν υπάρχουν όλες αυτές οι προϋποθέσεις και ιδίως, όταν υπάρχει πιθανότητα να βραχεί το έδαφος ή όταν κοντά στις εκσκαφές υπάρχουν κτήρια ή γενικότερα μεγάλα φορτία, πρέπει να παίρνομε προστατευτικά μέτρα.

Δυστυχώς στη χώρα μας για λόγους κακώς εννοούμενης οικονομίας δεν δίνεται μεγάλη σημασία σ' αυτούς τους κινδύνους. Έτσι συχνά διαβάζομε στις εφημερίδες για εργάτες, που πλακώθηκαν από χώματα, ενώ έσκαβαν χαντάκια για υπονόμους, ή για παληές οικοδομές, που γκρεμίσθηκαν ακολουθώντας το έδαφος, όπου ήταν θεμελιωμένες, επειδή δίπλα τους είχαν ανοιχτεί τα θεμέλια μιας νέας οικοδομής.

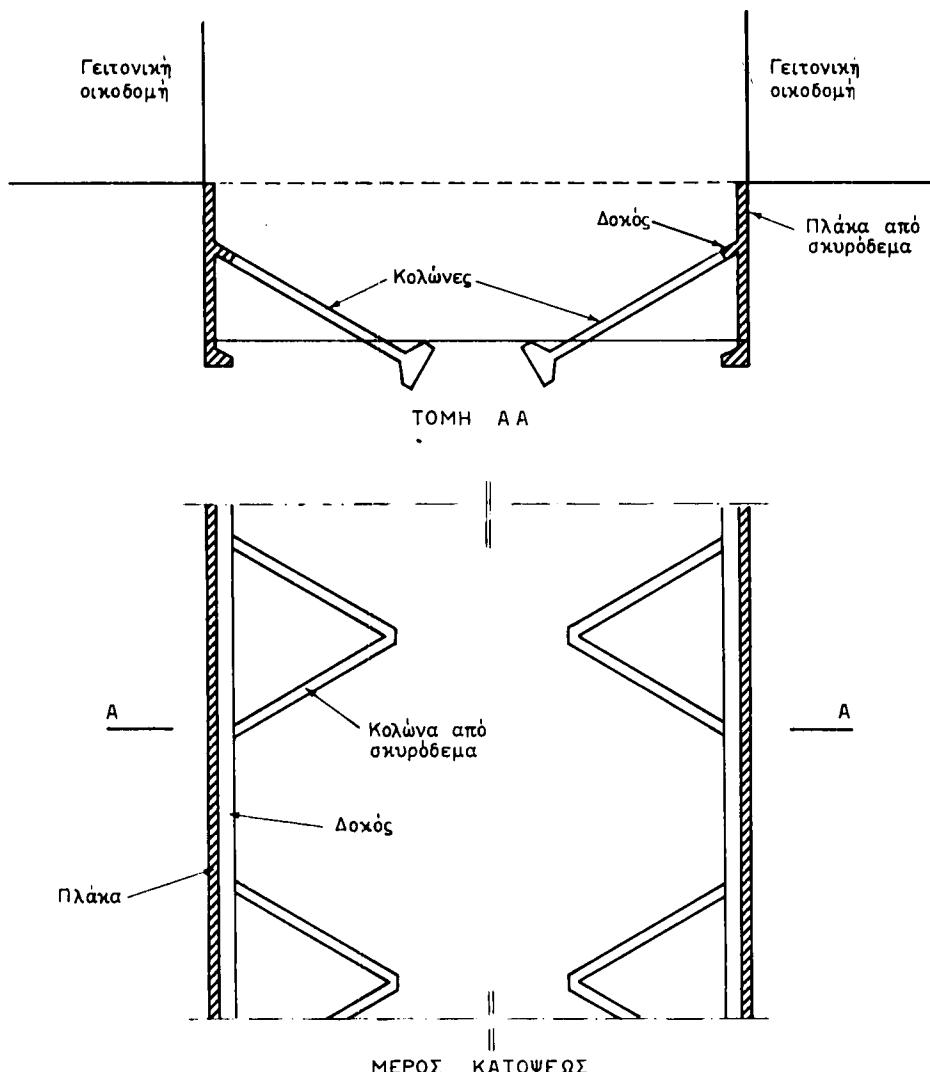


**Σχ. 7.2α.**  
Μόρφωση πρανών ορύγματος με μικρές κλίσεις.



**Σχ. 7.2β.**  
Περίπτωση, που δεν μπορούμε να δώσουμε κλίση στα πρανή ενός ορύγματος.

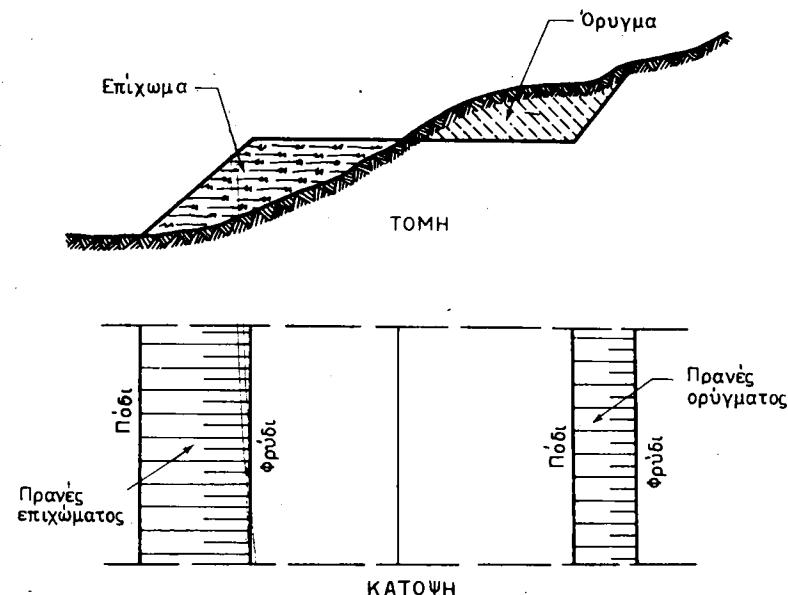
Για να αποφύγομε αυτούς τους κινδύνους, θα έπρεπε να μορφώσομε τα πρανή των ορυγμάτων με πολύ μικρή κλίση (σχ. 7.2α). Αυτό συνήθως ή δεν είναι δυνατό (σχ. 7.2β), επειδή δεν υπάρχει ο χώρος που απαιτείται, ή είναι πολύ δαπανηρό. Τότε η μόνη λύση είναι να κάνουμε αντιστηρίξεις. Όταν το όρυγμα έχει μικρό πλάτος [σχ. 5.2δ(α)], η αντιστήριξη είναι εύκολη, γιατί το ένα πρανές στηρίζει το απέναντί του. Για μεγάλα πλάτη (σχ. 7.2γ), όπως π.χ. στις γενικές εκσκαφές μιας μεγάλης οικοδομής, χρειάζεται να γίνουν σημαντικά έργα μετά από ειδική σε κάθε περίπτωση μελέτη.



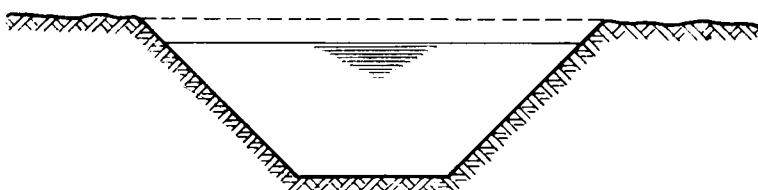
Σχ. 7.2γ.

Αντιστήριξη των πρανών ορύγματος με μεγάλο πλάτος και βάθος για την κατασκευή υπογείων μεγάλης οικοδομής.

Όταν τα ορύγματα ή τα επιχώματα έχουν μόνιμο χαρακτήρα, όπως π.χ. σ' ένα δρόμο (σχ. 7.2δ) ή σε μια αρδευτική διώρυγα (σχ. 7.2ε), τα πρανή μορφώνονται με κατάλληλες κλίσεις, ώστε να μην κινδυνεύουν να κατολισθήσουν, έστω και με τις δυσμενέστερες συνθήκες, που μπορεί κάποτε να παρουσιασθούν. Σ' ένα τέτοιο τεχνητό πρανές υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος να εμφανισθεί το φαινόμενο της κατολισθήσεως, όπως ακριβώς και σ' ένα φυσικό έδαφος με κεκλιμένη επιφάνεια. Και στην περιπτωση αυτή μια μάζα εδάφους μπορεί να περιστραφεί γλιστρώντας πάνω σε μια κυλινδρική επιφάνεια (σχ. 7.2στ).

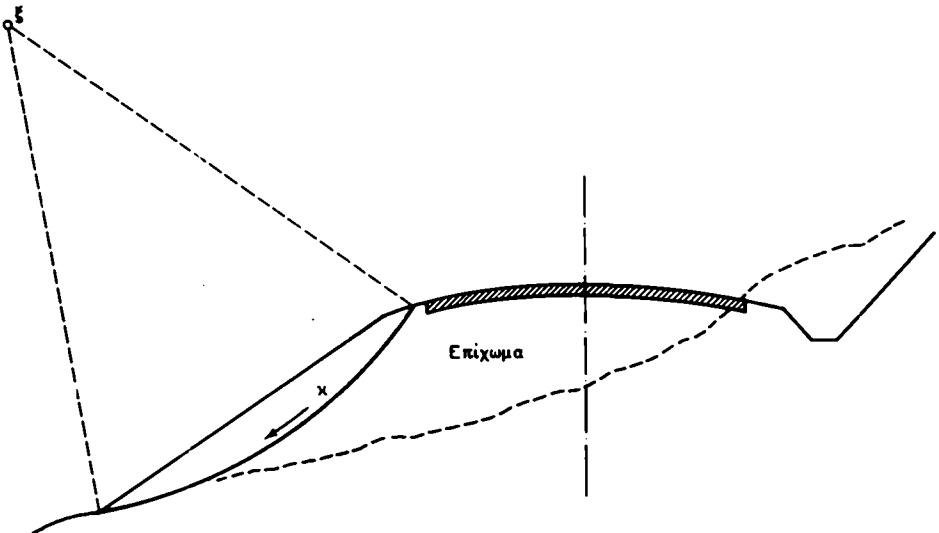


Σχ. 7.2δ.  
Πρανή ορυγμάτων και επιχώματων σε ένα δρόμο.



Σχ. 7.2ε.  
Πρανή σε μια αρδευτική διώρυγα.

Για ν' αποφύγομε τον κίνδυνο αυτό, πρέπει να δώσουμε στο πρανές μια κλίση αρκετά μικρότερη από κείνη, που αρχίζει να γίνεται επικίνδυνη. Υπάρχουν πολλοί τρόποι, για να υπολογίσουμε θεωρητικά την επικίνδυνη κλίση. Είναι απαραίτητο να εφαρμόσουμε κάποιον από αυτούς, αν έχομε να κάνουμε με ένα σοβαρό έργο, ιδίως όταν ενδεχόμενη καταστροφή του μπορεί να έχει και άλλες συνέπειες, όπως π.χ. σ' ένα φράγμα. Στις συνηθισμένες δημόσιες περιπτώσεις η περία έχει οδηγήσει σε ορισμένα συμπεράσματα, που πρέπει να τα έχομε υπ' άψη μας.

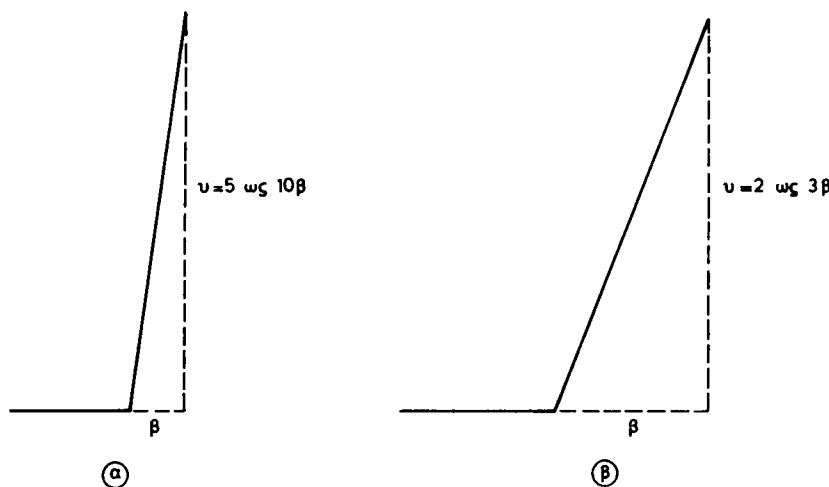


Σχ. 7.2στ.

Κατολίσθηση τεχνητού πρανούς κ = κυλινδρική επιφάνεια ολισθήσεως. ξ = άξονας περιστροφής.

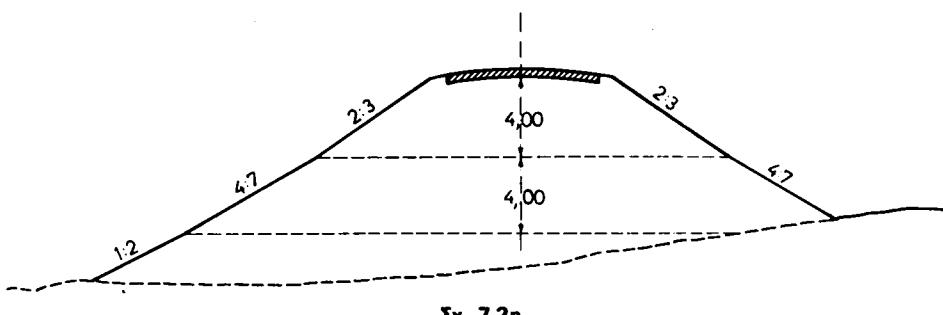
Για τα πρανή των ορυγμάτων (σχ. 7.2ζ) η κλίση μπορεί να φθάνει τα 5 ύψη προς ένα πλάτος βάσεως ή και τα 10:1, όταν πρόκειται για συμπαγή βράχο. Σε εξαιρετικά συμπαγείς βράχους μπορούμε να δεχθούμε ακόμα και κατακόρυφα πρανή. Όταν ο βράχος είναι μαλακός ή παρουσιάζει κομμούς και άλλα ελαπτώματα, η κλίση πρέπει να περιορίζεται στο 3:1 ή ακόμα και στο 2:1. Για τα χαλαρά (χονδρόκοκκα) εδάφη κατάλληλη γενικά είναι η κλίση 1 : 1. Για τα χαλαρά (χονδρόκοκκα) εδάφη η κλίση δημιουργείται μόνη της, γιατί οι κόκκοι τους κατρακυλούν προς τα κάτω, μόλις η κλίση γίνει μεγαλύτερη. Εν τούτοις η κλίση πρέπει να μορφώνεται μικρότερη από αυτή, που δημιουργείται φυσικά, ώστε να μη κατρακυλούν κόκκοι, αν οι συνθήκες γίνουν δυσμενέστερες. Για τα εδάφη αυτής της κατηγορίας εφαρμόζονται συνήθως κλίσεις 2 : 3 και σε εξαιρετικές περιπτώσεις 1 : 2. Σε μαλακές και υδαρείς αργίλους δεν μπορούν να σταθούν πρανή έστω και με μικρή κλίση και τότε είναι απαραίτητο να τα αντιστρίζομε, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.

Για τα πρανή των επιχωμάτων τα πράγματα είναι πιο απλά, επειδή σ' αυτά δεν αντιμετωπίζομε το φυσικό έδαφος, αλλά ένα τεχνικό έργο. Τα υλικά και οι συνθήκες κατασκευής είναι γνωστά και επομένως οι ιδιότητες του επιχώματος μπορούν να προβλεφθούν με αρκετή ακρίβεια. Με τα σύγχρονα μηχανήματα και εφ' όσον έχει προσδιορισθεί η βέλτιστη υγρασία του εδάφους, μπορούμε να πετύχουμε συμπύκνωσή του, που να πλησιάζει αρκετά τη μέγιστη. Επίσης μπορούμε συνήθως να διαλέξουμε το υλικό και να χρησιμοποιήσουμε εδάφη καλής ποιότητας. Με τις συνθήκες αυτές μπορούμε να δεχθούμε κλίσεις πρανών 2 : 3, αλλά με τον όρο ότι το επίχωμα δεν θα είναι πολύ ψηλό. Για ψηλότερα επιχώματα (σχ. 7.2η) είναι σκόπιμο να μειώνεται η κλίση των πρανών τους στο χαμηλότερο μέρος τους.



Σχ. 7.2ζ.

Συνηθισμένες κλίσεις σε πρανή ορυγμάτων: α) Βράχος. β) Ημίβραχος. γ) Έδαφος συνεκτικό. δ) Έδαφος χαλαρό.



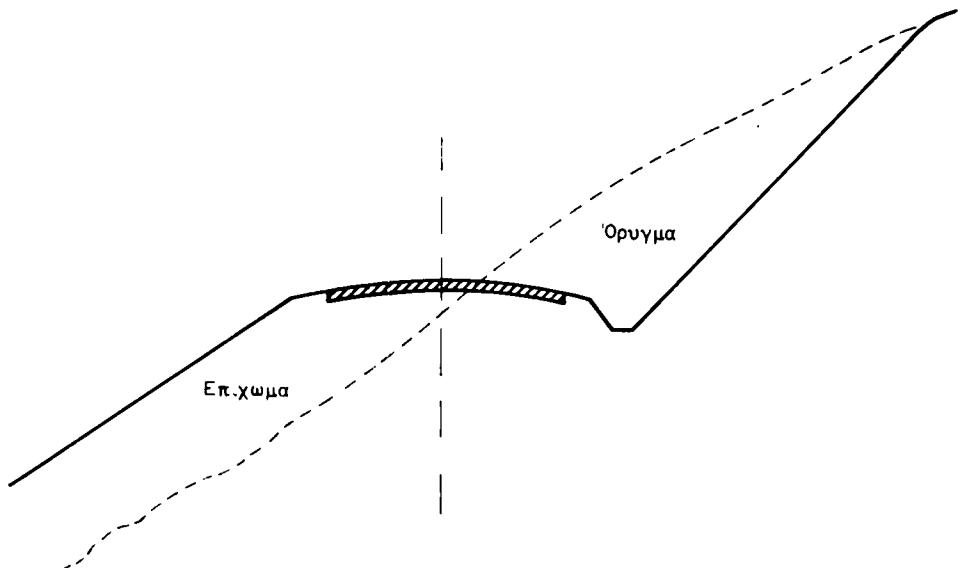
Σχ. 7.2η.

Παράδειγμα για τη μόρφωση πρανών σε ψηλά επιχώματα.

### 7.3 Τοίχοι αντιστηρίζεως.

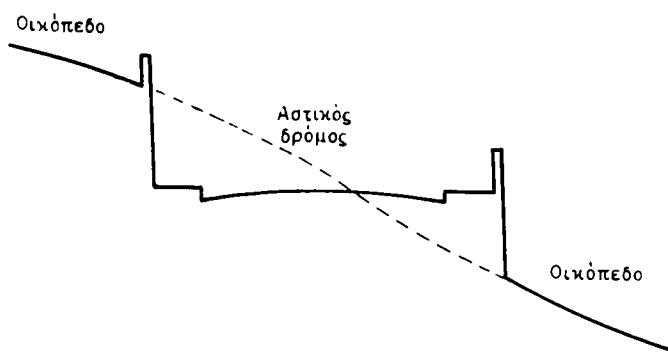
Όταν το φυσικό έδαφος, πάνω στο οποίο εκτελείται ένα τεχνικό έργο, παρου-

σιάζει έντονες φυσικές κλίσεις, η ανάγκη να μειώσουμε τις κλίσεις των πρανών των ορυγμάτων και των επιχωμάτων (σχ. 7.3α) οδηγεί είτε σε αδιέξοδο είτε σε λύσεις εξαιρετικά δαπανηρές. Άλλοτε πάλι υπάρχουν ειδικοί λόγοι (σχ. 7.3β), που δεν μας επιτρέπουν να μορφώσουμε κεκλιμένα πρανή. Στις περιπτώσεις αυτές τα πρανή πρέπει να μορφωθούν κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα. Για να μπορούν να σταθούν, χωρίς κίνδυνο να κατολισθήσουν, πρέπει να κατασκευασθούν τοίχοι,



Σχ. 7.3α.

Περίπτωση, που επίχωμα δεν έχει τέλος, επειδή η κλίση του φυσικού εδάφους είναι μεγάλη.



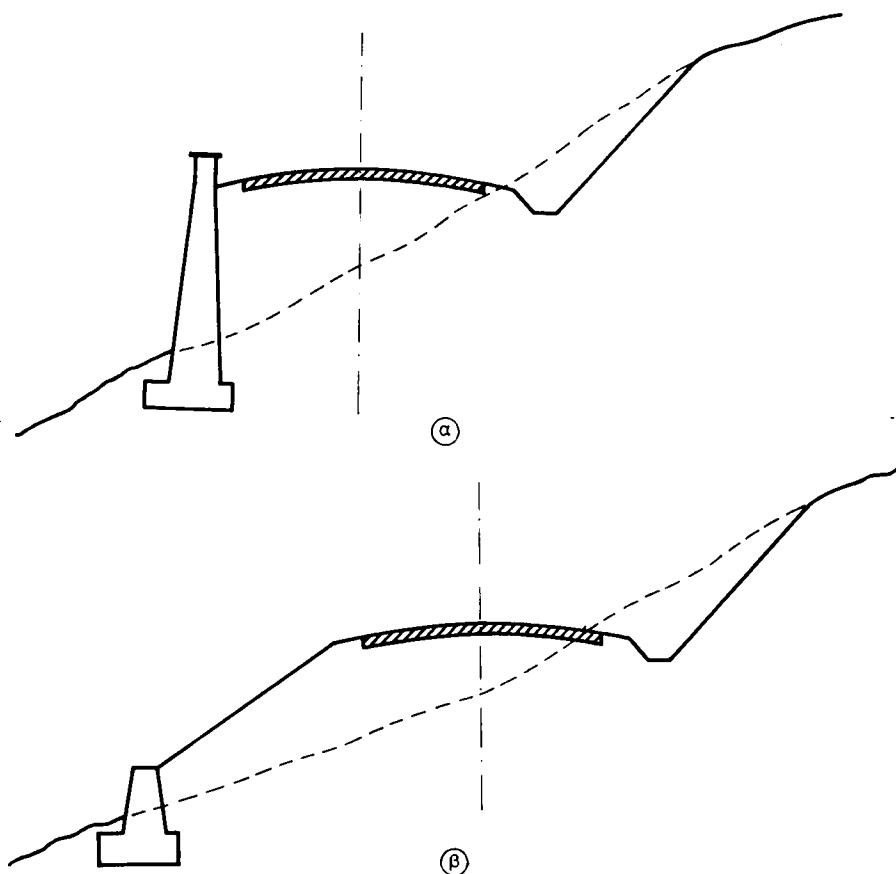
Σχ. 7.3β.

Περίπτωση, που δεν μπορούμε να δώσουμε κλίση σε δύο το πρανές ορύγματος ή επιχώματος.

που ονομάζονται **τοίχοι αντιστροφέως** ή **αναλημματικοί τοίχοι**, όπως τους έλεγαν οι αρχαίοι Έλληνες. Οι τοίχοι αυτοί διακρίνονται σε τοίχους **στέψεως**, όταν καλύ-

πτουν όλο το ύψος του πρανούς [σχ. 7.3γ(α)] και σε τοίχους **ποδιού** (ποδαρικά), δηλαδή αντικαθιστούν μόνο το χαμηλότερο μέρος του πρανούς [σχ. 7.3γ(β)].

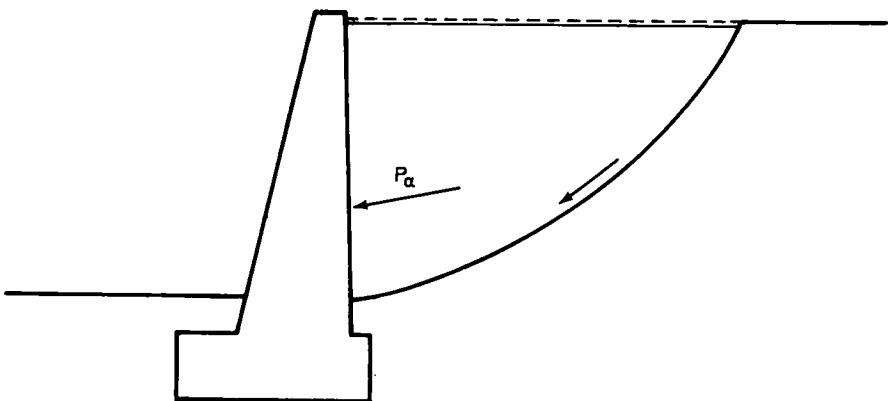
Οι τοίχοι αντιστηρίζεως είναι πολύ σοβαρά τεχνικά έργα και οι διαστάσεις τους, όπως και οι διαστάσεις των θεμελίων τους, πρέπει να καθορίζονται υστερα από προσεκτικό υπολογισμό. Το έδαφος πιέζει τον τοίχο και τείνει να τον μεταθέσει και για τον ανατρέψει. Πρέπει επομένως να γνωρίζομε με ποια δύναμη πιέζεται ο τοίχος, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις διαστάσεις του και τη θεμελίωσή του.



**Σχ. 7.3γ.**

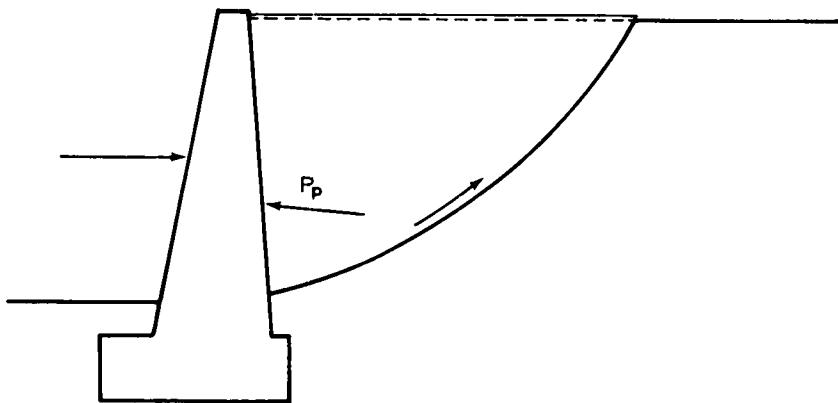
Τοίχοι αντιστηρίζεως: α) Στέψεως, β) Ποδιού (ποδαρικό).

Η πραγματική πίεση, που αναπτύσσεται και που την αποκαλούμε **ουδέτερη ώθηση** του εδάφους, είναι άγνωστη και εξαρτάται από τόσους παράγοντες, που πρακτικά είναι αδύνατο να την εκτιμήσουμε. Παρουσιάζεται όμως το ακόλουθο φαινόμενο, που μας απαλλάσσει από αυτή τη δυσκολία. Όταν το έδαφος αρχίσει να κατολισθάνει (σχ. 7.3δ), σπρώχνει τον τοίχο, που μετακινείται ελάχιστα. Έται το μέρος του εδάφους, που ξεκόλλησε από την υπόλοιπη μάζα, μετακινείται και αυτό



Σχ. 7.3δ.

Μηχανισμός, που προκαλεί τη φόρτιση του τοίχου αντιστηρίζεως με την ενεργητική ώθηση του εδάφους.



Σχ. 7.3ε.

Μηχανισμός, που προκαλεί τη φόρτιση του τοίχου αντιστηρίζεως με την παθητική ώθηση του εδάφους.

ελάχιστα και αποκτά μια νέα θέση ισορροπίας. Το βάρος του μοιράζεται στο σταθερό έδαφος και στον τοίχο. Η πίεση αυτή στον τοίχο, που τώρα λέγεται **ενεργητική ώθηση** του εδάφους, είναι μικρότερη από την ουδέτερη και είναι εύκολο να υπολογισθεί, αν γνωρίζομε τις βασικές ιδιότητες του εδάφους. Αν ο τοίχος υπολογισθεί για να αντέχει στην ενεργητική αυτή ώθηση, μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής, επειδή δεν μας ενοχλεί η ελάχιστη μετακίνησή του, που είναι αρκετή, για να μειώσει την ώθηση του εδάφους από την ουδέτερη στην ενεργητική.

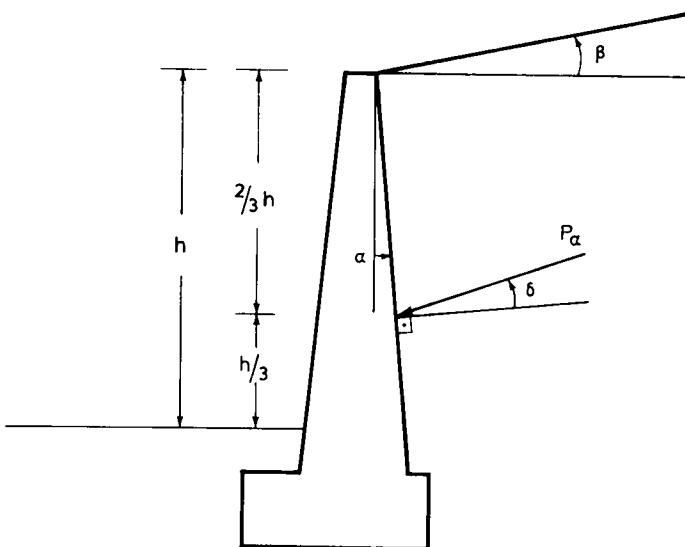
Αντίθετα, αν σπρώξουμε τον τοίχο προς το έδαφος, η δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσά τους θα αυξηθεί. Κάποια στιγμή πάλι μια μάζα εδάφους θα ξεκολλήσει από το υπόλοιπο έδαφος και θα προχωρήσει λίγο προς τα πάνω (σχ. 7.3ε), επειδή και ο τοίχος θα προχωρήσει λίγο προς το έδαφος. Από εκεί και πέρα η ώθηση του

εδάφους, που τώρα ονομάζεται **παθητική**, δεν αυξάνεται πια. Και η παθητική ώθηση, που είναι μεγαλύτερη από την ουδέτερη, μπορεί να υπολογισθεί εύκολα, όταν γνωρίζομε τις βασικές ιδιότητες του εδάφους. Η ώθηση αυτή χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των τοίχων αντιστρηζεως, που υπάρχει πιθανότητα να λειτουργήσουν με τον τρόπο αυτό για ένα οποιοδήποτε λόγο.

Για τον υπολογισμό της ενεργητικής ώθησεως, που ασκεί το έδαφος σ' ένα τοίχο αντιστρηζεως, υπάρχουν διάφοροι τύποι. Ένας από αυτούς είναι και ο ακόλουθος, που δίνει τη συνολική ώθηση:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\sin^2(\rho - \alpha)}{\sin^2 \alpha \left( 1 + \sqrt{\frac{\eta \mu (\rho + \delta) \eta \mu (\rho - \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha - \beta)}} \right)^2}$$

Τα γεωμετρικά μεγέθη, μήκη και γωνίες, που αναφέρονται στον τύπο, φαίνονται στο σχήμα 7.3στ. Με το γ παριστάνομε το υγρό φαινόμενο βάρος του εδάφους και



**Σχ. 7.3στ.**  
Ενεργητική ώθηση εδάφους σε τοίχο αντιστρηζεως.

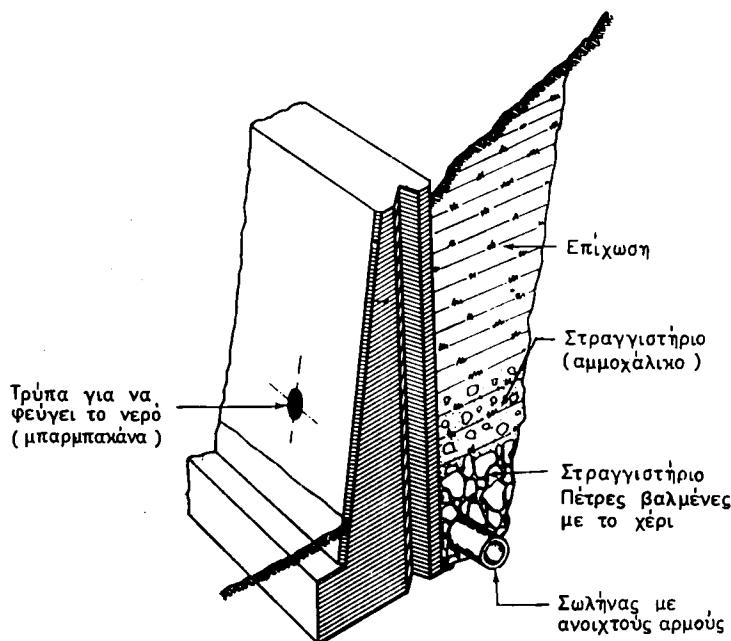
με το  $\rho$  τη γωνία εσωτερικής τριβής του ή του φυσικού πρανούς. Η γωνία αυτή μπορεί να προσδιορισθεί με μετρήσεις στο εργαστήριο, αλλά πρακτικά μπορούμε να την πάρομε από τον Πίνακα 7.3.1 ανάλογα με το είδος του εδάφους. Στον ίδιο πίνακα δίνεται και το υγρό φαινόμενο βάρος για την περίπτωση, που μας είναι δύσκολο να το μετρήσουμε. Η γωνία  $\delta$  είναι η γωνία τριβής ανάμεσα στο έδαφος και στον τοίχο, η ώθηση  $P_a$ , δηλαδή δεν είναι κάθετη στην επιφάνεια του τοίχου, αλλά σχηματίζει με την κάθετη στην επιφάνεια του τοίχου γωνία ίση με  $\delta$ . Το μέγε-

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.1.****Τιμές παραμέτρων για υπολογισμό τοίχων αντιστηρίζεως**

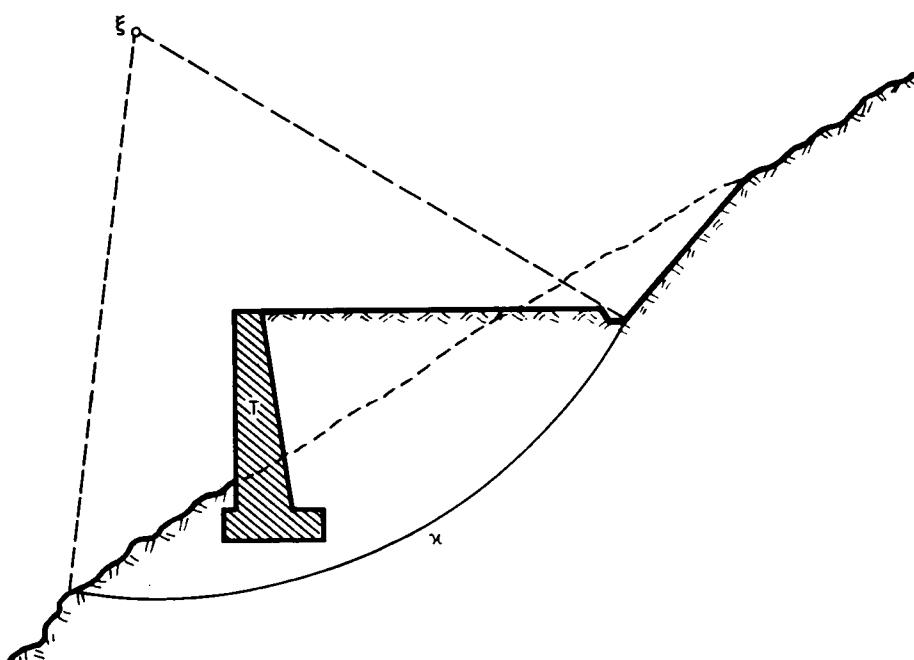
Είδος εδάφους	Γωνία ρ	Υγρό Φαινόμενο βάρος γ (kg/cm <sup>3</sup> )
<b>A. ΕΔΑΦΗ ΧΑΛΑΡΑ</b>		
Αραιή άμμος με κόκκους στρογγυλούς	30°	1,8
Αραιή άμμος με κόκκους γωνιώδεις	32°30'	1,8
Άμμος σχετικά πυκνή με κόκκους στρογγυλούς	32°30'	1,9
Άμμος σχετικά πυκνή με κόκκους γωνιώδεις	35°	1,9
Χαλικία χωρις άμμο	37°30'	1,6
Φυσικό αμμοχάλικο με κόκκους γωνιώδεις	40°	1,8
<b>B. ΕΔΑΦΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ</b>		
Άργιλος με μέτρια πυκνότητα	25°	1,9
Άργιλος συμπαγής με μεγάλη πλαστικότητα	20°	1,8
Άργιλος μαλακή με μικρή πλαστικότητα	17°30'	1,7
Άργιλος συμπαγής με αμμοχάλικο	30°	2,2
Αμμώδης πηλός με μέτρια πυκνότητα	27°30'	2,1
Αμμώδης πηλός μαλακός	27°30'	1,9
Πηλός	27°30'	1,8
Οργανική άργιλος μαλακή	20°	1,7
Κατ' εξοχήν οργανική άργιλος, χούμος	15°	1,4
Τύρφη	15°	1,1
Τύρφη αρκετά προσυμπιεσμένη	15°	1,3

Θος της γωνίας αυτής εξαρτάται από το έδαφος, αλλά κυρίως από το πόσο επίπεδη και λεία είναι η επιφάνεια του τοίχου. Επειδή η επιρροή της γωνίας αυτής είναι ασήμαντη, τη θεωρούμε συνήθως ίση με το μηδέν, παραδοχή που βρίσκεται προς το μέρος της ασφάλειας.

Είναι φανερό πως το μεγεθος της δυνάμεως  $P_a$ , που εφαρμόζεται στο τρίτο του ύψους  $h$ , εξαρτάται από τις τιμές, που θα δώσομε στις διάφορες παραμέτρους. Από αυτές μόνο η α έχει γνωστή τιμή και ίσως η β, αν και κανείς δεν μας εξασφαλίζει ότι δεν θα αλλάξει κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου. Οι παράμετροι γ, ρ και δ είναι πολύ δύσκολο να υπολογισθούν με βεβαιότητα και οι τιμές τους μπορούν να αλλάξουν πολύ, όταν το έδαφος είναι πολύ υγρό, και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει πολύ μεγαλύτερη τιμή για τη δύναμη  $P_a$ . Πρέπει λοιπόν να φροντίζομε, ώστε να μη μαζεύεται νερό πίσω απ' τον τοίχο αντιστηρίζεως. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε αφήνοντας σε διάφορα σημεία του μικρές τρύπες (μπαρμπακάνες), για να τρέχει από αυτές το νερό προς τα έξω. Είναι ακόμα σκόπιμο πίσω ακριβώς από τον τοίχο να γεμίζουμε το κενό με χαλίκια, ώστε να σχηματίζεται ένα στραγγιστήριο, παρόμοιο με κείνο, που φαίνεται στο σχήμα 7.3ζ.



**Σχ. 7.3ζ.**  
Αποστράγγιση πίσω από τοίχο αντιστηρίξεως.



**Σχ. 7.3η.**  
Κατολίσθηση πρανούς που παρασύρει και τον τοίχο αντιστηρίξεως Τ λόγω ρηχής θεμελιώσεώς του.  
κ = κυλινδρική επιφάνεια ολισθήσεως, ξ = άξονας περιστροφής.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη θεμελίωση των τοίχων αντιστηρίζεως. Η θεμελίωση πρέπει να γίνεται σε μεγάλο βάθος και, αν είναι δυνατόν, πάνω στο βραχώδες υπέδαφος, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος (σχ. 7.3η) να κατολισθήσει το πρανές μαζί με τον τοίχο. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί, όταν η επιφάνεια της κατολισθήσεως περνάει χαμηλότερα από τη θεμελίωση του τοίχου.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

#### 8.1 Επιχώματα.

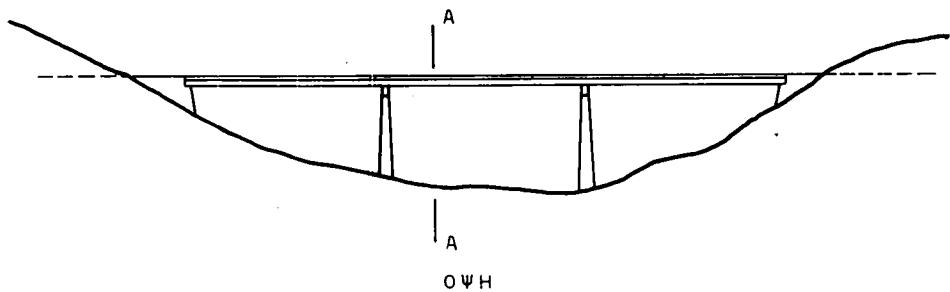
Σε πολλά τεχνικά έργα χρειάζεται να γίνουν επιχώσεις, να συγκεντρωθούν δηλαδή όγκοι εδάφους και, αφού πάρουν ένα προκαθορισμένο γεωμετρικό σχήμα, να αποτελέσουν ένα οργανικό στοιχείο του έργου.

Η απλούστερη περίπτωση παρουσιάζεται στα οικοδομικά έργα, όπου, αφού γίνουν οι κατασκευές των θεμελίων, ξαναγεμίζονται με χώμα τα ορύγματα, που χρειάσθηκε να σκαφθούν, ως τη στάθμη του χαμηλότερου δαπέδου της οικοδομής. Το ίδιο περίπου γίνεται και στις κατασκευές υπογείων δικτύων από σωλήνες ή καλώδια. Όταν τοποθετηθούν οι σωλήνες ή τα καλώδια, ξαναγεμίζονται τα χαντάκια, που χρειάσθηκε να ανοιχθούν, ως τη στάθμη του γύρω εδάφους, που μπορεί να είναι το φυσικό έδαφος ή η επιφάνεια ενός δρόμου ή ενός πεζοδρομίου.

Οι επιχώσεις αυτές πρέπει να μην παρουσιάζουν καθίζσεις με την πάροδο του χρόνου και την εφαρμογή των φορτίων λειτουργίας του έργου. Αν παρουσιασθούν καθίζσεις, το χαμηλότερο δάπεδο της οικοδομής, το οδόστρωμα ή η επίστρωση του πεζοδρομίου θα καθήσουν και αυτά, θα παρουσιάσουν ρωγμές και τελικά θα υποστούν τόσες ζημιές, ώστε θα χρειάζονται επισκευή ή και αντικατάσταση.

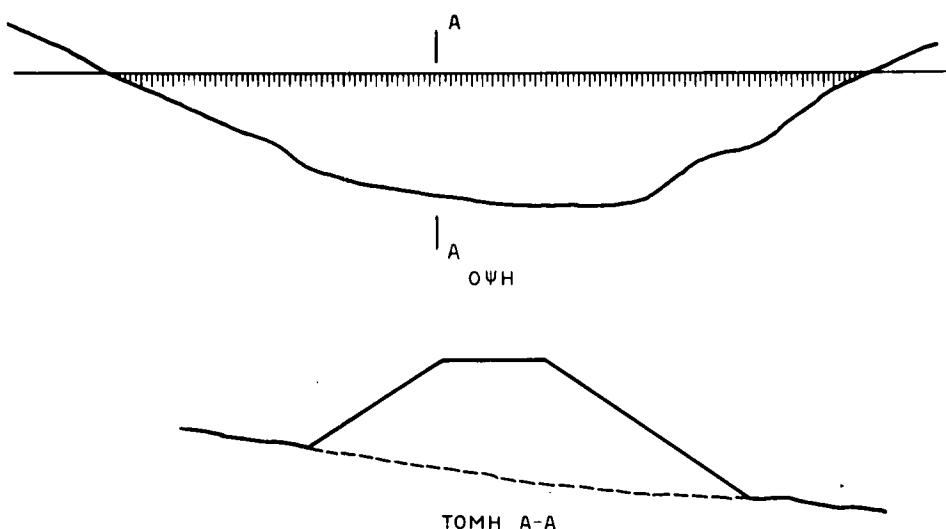
Πιο σημαντικός είναι ο ρόλος των επιχωμάτων σε άλλα είδη έργων, όπως είναι π.χ. οι δρόμοι. Όπου η επιφάνεια ενός δρόμου χρειάζεται να βρίσκεται ψηλότερα από το φυσικό έδαφος, είναι απαραίτητο να στηριχθεί πάνω σε μια κατάλληλη κατασκευή. Η κατασκευή αυτή μπορεί να έχει τη μορφή μιας γέφυρας (σχ. 8.1α), συνήθως όμως, για λόγους οικονομίας, αποτελείται από έδαφος, είναι δηλαδή ένα επίχωμα (σχ. 8.1β). Επιχώματα χρειάζονται και σε άλλα συγγενή έργα, όπως στις σιδηροδρομικές γραμμές, στα υδραγωγεία, ανοιχτά ή σωληνωτά, στις αρδευτικές διώρυγες (σχ. 8.1γ), τις αποστραγγιστικές τάφρους κλπ.

Στην περίπτωση αυτή μια πιθανή καθίζηση του επιχώματος, οταν εφαρμοσθούν πάνω του τα φορτία λειτουργίας του έργου σε συνδυασμό με άλλες πιθανές δυσμενείς συνθήκες, έχει σημαντικές επιπτώσεις. Αν η καθίζηση είναι μικρή, μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στη λειτουργία του έργου και να την καταστήσει επικίνδυνη, αν όμως είναι μεγάλη, τότε είναι πολύ πιθανόν ακόμα και να προκαλέσει διακοπή της λειτουργίας του έργου. Σ' ένα δρόμο π.χ. θα παρουσιασθούν στην αρχή λακκούβες και γενικά θα παραμορφωθεί το οδόστρωμά του, αλλά, αν το φαινόμενο συνεχισθεί, μπορεί στο τέλος να διακοπεί η κυκλοφορία.



Σχ. 8.1α.

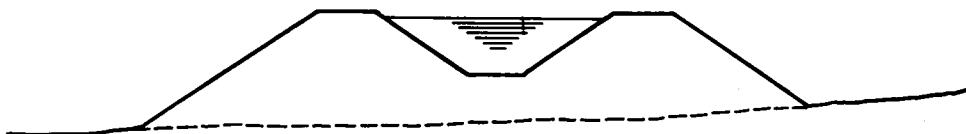
Κατασκευή δρόμου, που βρίσκεται ψηλότερα από το γύρω έδαφος με γέφυρα.



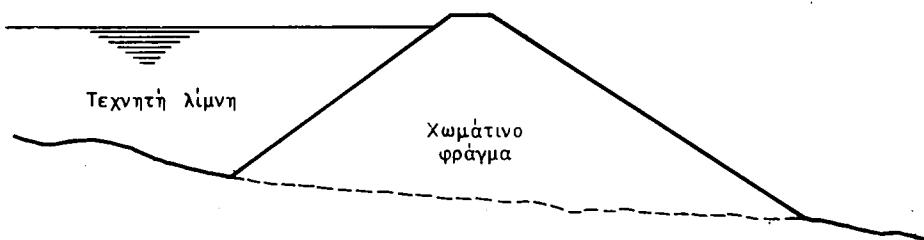
Σχ. 8.1β.

Κατασκευή δρόμου, που βρίσκεται ψηλότερα απ' το γύρω έδαφος με επίχωμα.

Μια ιδιαίτερη κατηγορία επιχωμάτων είναι τα χωμάτινα φράγματα (σχ. 8.1δ). Αυτά κατασκευάζονται, για να συγκρατήσουν τα νερά κάποιας φυσικής λεκάνης και να σχηματίσουν μια τεχνητή λίμνη με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την άρδευση, τη ρύθμιση των χειμάρρων κ.ο.κ. Παρόμοιας σημασίας, αλλά



**Σχ. 8.1γ.**  
Αρδευτική διώρυγα, που ακολουθεί τη στέψη ενός επιχώματος.



**Σχ. 8.1δ.**  
Χωμάτινο φράγμα (τομή).

σε μικρότερη κλίμακα, είναι και τα προστατευτικά αναχώματα στα αντιπλημμυρικά έργα. Τέτοια αναχώματα γίνονται δίπλα στα ποτάμια ή στην περίμετρο μιας πεδιάδας, που θέλομε να την προστατεύσουμε από τις πλημμύρες.

Στις περιπτώσεις αυτές μια καθίζηση, ή γενικότερα μια παραμόρφωση ή ακόμα και κατάρρευση του επιχώματος, μπορεί να έχει τραγικές συνέπειες. Το νερό θα περάσει από πάνω και θα καταστρέψει το έργο προκαλώντας καταστροφές και στις περιοχές, που βρίσκονται στο δρόμο του. Δεν είναι αρκετό επίσης το έργο να μπορεί να μη παραμορφώνεται κάτω από την πίεση του νερού και τις άλλες πιθανές δυσμενείς συνθήκες, αλλά πρέπει να είναι και η μάζα του αδιαπέραστη από το νερό.

Γενικά κάθε επίχωμα, άλλο λιγότερο και άλλο περισσότερο, πρέπει να είναι κατασκευασμένο έτσι, ώστε να διατηρεί το σχήμα του σχεδόν απαραμόρφωτο κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Η ικανότητα αυτή μπορεί να εξασφαλισθεί, αν το επίχωμα συμπυκνωθεί κατάλληλα.

## 8.2 Συμπύκνωση εδάφους.

Η καθίζηση του εδάφους εμφανίζεται, όταν για οποιοδήποτε λόγο μειωθεί ο όγκος του, πράγμα που σημαίνει ότι μειώνονται τα κενά που περιέχει. Αν λοιπόν κατά την κατασκευή του επιχώματος προηγηθεί συμπύκνωση, μειωθούν δηλαδή κατά κάποιον τρόπο τα κενά του εδάφους όσο γίνεται περισσότερο, τότε δεν θα υπάρχει πια περιθώριο για καθίζηση. Ταυτόχρονα θα αυξηθεί και η αντοχή του εδάφους και μαζύ μ' αυτή και η ευστάθεια των πρανών.

Ο επιθυμητός βαθμός συμπυκνώσεως εξαρτάται από το είδος του έργου και από τις επιπτώσεις, που μπορεί να έχει μια καθίζηση, στην ασφάλειά του. Οι απαιτήσεις επομένως είναι μικρότερες στα οικοδομικά έργα και τα υπόγεια δίκτυα, με-

γαλύτερες στους δρόμους και τα συγγενή έργα και εξαιρετικά μεγάλες στα φράγματα. Σημειώνομε πως με τη συμπύκνωση το έδαφος γίνεται καὶ πιο ομοιόμορφο και ἔτσι αποφεύγονται τοπικές αδυναμίες, που μπορούν να δώσουν την αφορμή, ν' αρχίσουν από κεί διάφορα δυσάρεστα φαινόμενα.

Η συμπύκνωση του εδάφους εξάσφαλίζεται με μηχανικά μέσα. Σκοπός της, δημοσίευμα, είναι να μειωθούν όσο γίνεται τα κενά, που υπάρχουν μέσα στο έδαφος. Αυτό μπορεί να συμβεί κυρίως με τον εξαναγκασμό των κόκκων του να πλησιάσουν όσο γίνεται ο ένας με τον άλλο και να πάρουν τις πιο κατάλληλες θέσεις. Είναι δυνατόν όμως να επιτευχθεί αυτό και με το σπάσιμο ορισμένων κόκκων ή συγκροτημάτων κόκκων στα συνεκτικά εδάφη, ώστε τα θραύσματά τους να συμπληρώσουν και αυτά μερικά κενά. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούμε να τα πετύχουμε, όταν εφαρμόσουμε κατά κάποιο τρόπο στο έδαφος θλιππικές τάσεις. Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα σχετικά με τη βελτίωση του εδάφους με μηχανικά μέσα, (παράγρ. 5.4β), οι τάσεις αυτές μπορούν να αναπτυχθούν είτε με κοπάνισμα (τύπανση) του εδάφους, είτε με δόνηση, είτε με κυλίνδρωση.

Στα σχήματα 5.4α, β, γ και δ φαίνονται και τα εργαλεία και τα μηχανήματα, που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

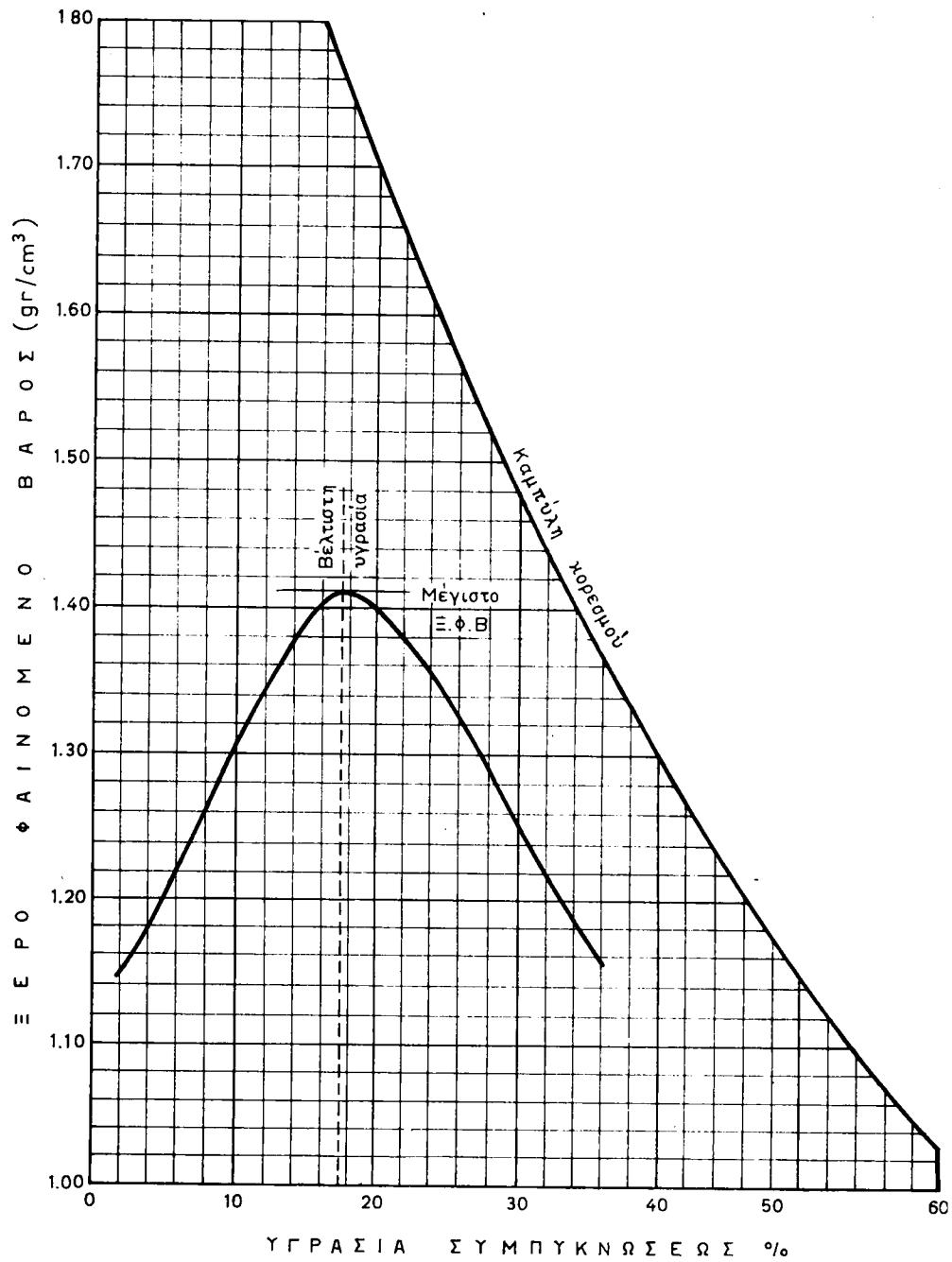
Άσχετα με τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν και με το είδος του εδάφους δύο παράγοντες επηρεάζουν άμεσα το αποτέλεσμα: το πάχος του στρώματος του εδάφους, που πρόκειται να συμπυκνωθεί, και η υγρασία του.

Είναι φανερό ότι, όσο πιο λεπτό είναι το στρώμα του εδάφους, τόσο ευκολότερα και καλύτερα μπορεί να συμπυκνωθεί. Τα επιχώματα λοιπόν πρέπει να κατασκευάζονται κατά λεπτές στρώσεις και κάθε μια να διαστρώνεται, αφού η προηγούμενη έχει συμπυκνωθεί στον επιθυμητό βαθμό.

Το πάχος των στρωμάτων εξαρτάται από τη μέθοδο συμπυκνώσεως και ιδιαίτερα από το εμβαδόν του στοιχείου, που επιβάλλει το φορτίο. Έτσι, αν χρησιμοποιούμε κόπανους ή χειροκίνητους κυλίνδρους, τα στρώματα πρέπει να έχουν πάχος 10 ως 20 cm, ενώ, αν χρησιμοποιούμε οδοστρωτήρες, το πάχος των στρωμάτων μπορεί να ξεπερνάει και τα 50 cm.

Στο σχήμα 8.2 βλέπομε την επίδραση της υγρασίας στην ικανότητα ενός εδάφους να συμπυκνωθεί. Όταν η υγρασία είναι πολύ μικρή ή πολύ μεγάλη, το ξηρό φαινόμενο βάρος παραμένει χαμηλό, δύσκολο και αν προσπαθούμε να συμπυκνώσουμε το έδαφος. Αυτό σημαίνει ότι το ποσοστό των κενών παραμένει μεγάλο. Για μια μέτρια υγρασία μπορούμε να πετύχουμε κάπως μεγαλύτερο ξηρό φαινόμενο βάρος και υπάρχει κάποιο ποσοστό υγρασίας, που το λέμε **βέλτιστη υγρασία**, επειδή για το ποσοστό αυτό το ξηρό φαινόμενο βάρος παίρνει τη μέγιστη τιμή, επομένως τα κενά περιορίζονται στο ελάχιστο. Το διάγραμμα του σχήματος 8.2 περιορίζεται προς τα δεξιά από μια καμπύλη. Η καμπύλη αυτή λέγεται **καμπύλη κορεσμού**, επειδή για κάθε ξηρό φαινόμενο βάρος η αντίστοιχη υγρασία γεμίζει όλα τα κενά του εδάφους, επομένως η υγρασία δεν μπορεί να πάρει μεγαλύτερες τιμές.

Το συμπέρασμα είναι ότι, πριν κατασκευασθεί κάθε επίχωμα, πρέπει με κάποια κατάλληλη δοκιμή να εξακριβωθεί η βέλτιστη υγρασία, που βέβαια δεν είναι η ίδια για όλα τα εδάφη. Κατά την κατασκευή του επιχώματος πρέπει να διαβρέχεται το έδαφος τόσο, ώστε, όταν διαστρώνεται, να έχει ακριβώς τη βέλτιστη υγρασία. Έτσι πετυχαίνουμε το καλύτερο αποτέλεσμα.

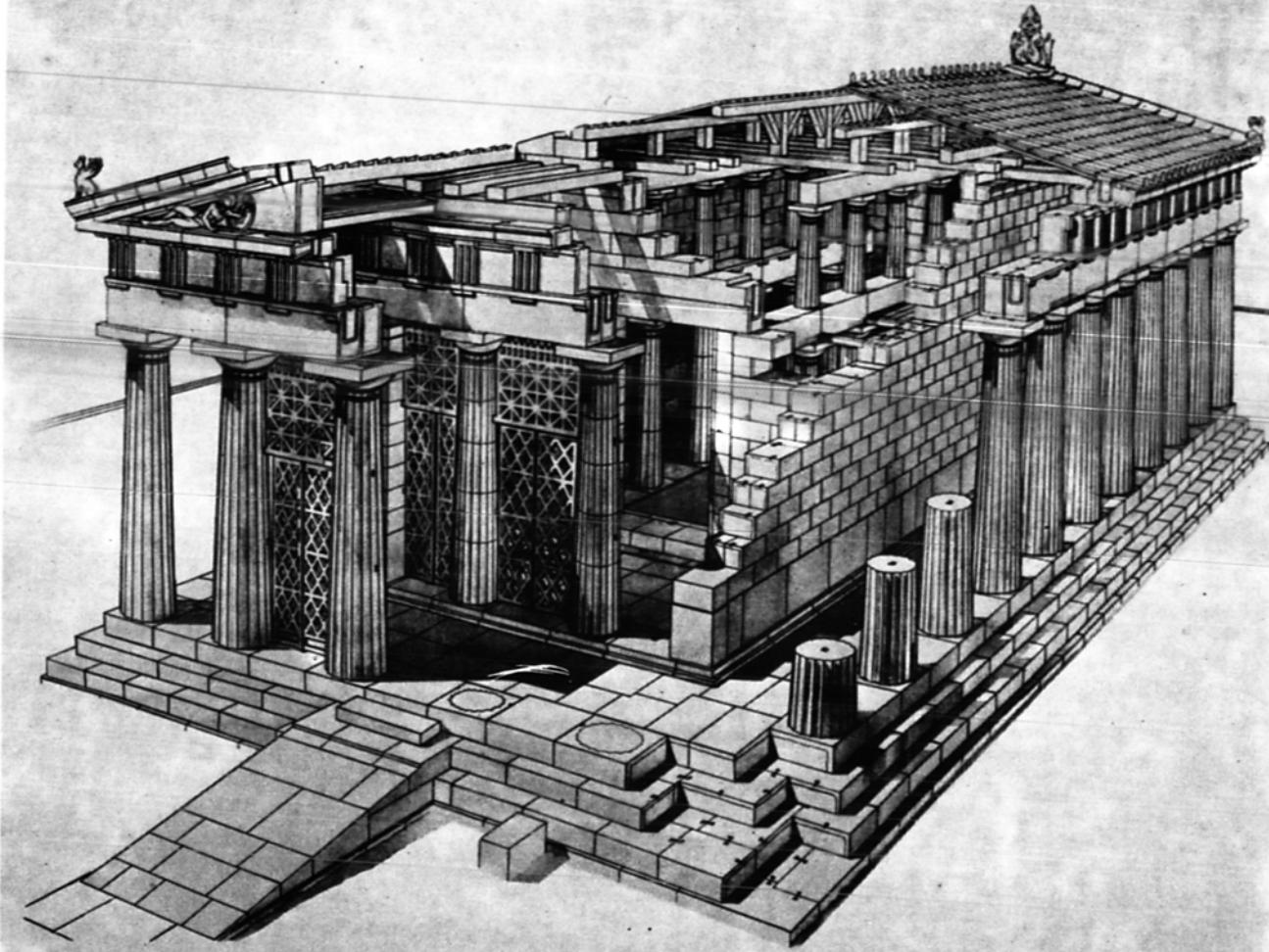


**Σχ. 8.2.**  
Διάγραμμα για του καθορισμά της βέλτιστης υγρασίας.

Μετά τη διάστρωση επακολουθεί το κοπάνισμα, η δόνηση ή η κυλίνδρωση και με κατάλληλη πάλι δοκιμή διαπιστώνεται, αν πετύχαμε τη συμπύκνωση, που προβλέπει η μελέτη, πριν διαστρωθεί το επόμενο στρώμα. Σε έργα με μικρή σημασία οι δοκιμές μπορεί να παραλείπονται, εφ' όσον ο κατασκευαστής έχει αρκετή πείρα, ώστε να διαπιστώσει κατά προσέγγιση χωρίς μέτρηση, αν το αποτέλεσμα της συμπύκνωσεως είναι ικανοποιητικό.

---





**Αιγαίνα: Νάός της Αφαίας Αθηνάς, Επάνω: Τα οικοδομικά στοιχεία του ναού (σε σχέδιασμα). Κάτω: Ο Ναός όπως είναι σήμερα.**



Μυκήνες: Η πύλη των Λεόντων.



Μυστράς: Η εκκλησία της Παναγίας της Οδηγήτριας.





Άρτα: Το ιστορικό γεφύρι της.



ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ  
ΛΙΘΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ



## ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ

### ΛΙΘΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ – ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

#### 0. Εισαγωγή.

Οι πέτρες (λίθοι) γίνανται από τα πρώτα υλικά, που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για όπλα, για εργαλεία και για να φτιάχει τα πρώτα του τεχνικά έργα και ιδιαίτερα τις πρώτες του κατοικίες. Γι' αυτό και οι πρώτες περίοδοι της προϊστορίας χαρακτηρίζονται με τους όρους «παλαιολιθική και νεολιθική εποχή». Σύγχρονα με τις πέτρες χρησιμοποίησε τα ξύλα και σε μικρότερο βαθμό τα κόκκαλα και τα κέρατα, όπως και τη λάσπη. Πολύ αργότερα μπόρεσε να βγάλει από τα κατάλληλα ορυκτά τα διάφορα μέταλλα και να τα προσθέσει στον κατάλογο των βασικών δομικών υλικών. Ως τη σημερινή εποχή τα κύρια μέρη όλων των τεχνικών έργων αποτελούνται από λίθινες, ξύλινες και μεταλλικές κατασκευές.

Η **Γενική Δομική** εξετάζει ακριβώς πώς γίνονται οι κατασκευές αυτές, χωρίς να ενδιαφέρεται ιδιαίτερα σε τι είδους έργο ανήκουν, αν δηλαδή το έργο είναι κτίριο, γέφυρα, δρόμος, λιμάνι, φράγμα ή ό,τιδήποτε άλλο. Στο βιβλίο αυτό περιλαμβάνεται το τμήμα της Γενικής Δομικής, που ασχολείται μόνο με τις **Λίθινες Κατασκευές**.

Με τον όρο **Λίθινες κατασκευές** δεν εννοούμε μόνον εκείνες, που γίνονται με φυσικές πέτρες, αλλά και εκείνες που γίνονται με τεχνητές, όπως και εκείνες, που αποκτούν τελικά τις ιδιότητες της πέτρας, ενώ είναι χυτές, όταν δηλαδή εκτελείται το έργο, τα υλικά τους έχουν τη μορφή πολτού. Όλες οι λίθινες κατασκευές, που δε γίνονται με φυσικές πέτρες, κατάγονται από τις πρωτόγονες κατασκευές, που γίνονταν με φυσική λάσπη, με το μίγμα δηλαδή χώματος και νερού. Η λάσπη αυτή, είτε με την αρχική της σύνθεση είτε εξελιγμένη στα σημερινά **κονιάματα** και **σκυροδέματα**, είναι η πρώτη ύλη για την κατασκευή των τεχνητών λίθων, όπως και για τις χυτές κατασκευές, ενώ σύγχρονα χρησιμοποιείται τόσο για τη σύνδεση των φυσικών ή τεχνητών λίθων μεταξύ τους, όσο και για την επικάλυψή τους, σε όσες περιπτώσεις χρειάζεται να μη μένουν εκτεθειμένοι.

Σύμφωνα με τη διάκριση αυτή των λιθίνων κατασκευών το βιβλίο χωρίζεται σε αντίστοιχα κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο με τον τίτλο **Λίθινες Κατασκευές** περιορίζεται στις κατασκευές από φυσικές πέτρες.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις **Κατασκευές από τεχνητούς λίθους**.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τις χυτές κατασκευές κι έχει τον τίτλο **Κατασκευές από Σκυρόδεμα**. Το κεφάλαιο αυτό είναι πολύ μεγάλο σε σύγκριση με τ' άλλα, επειδή στην εποχή μας οι χυτές κατασκευές έχουν επιβληθεί και αποτελούν συνήθως τα κυριότερα μέρη όλων των μεγάλων τεχνικών έργων.

Στο τέλος του βιβλίου έχει προστεθεί ένα τέταρτο κεφάλαιο με τον τίτλο **Οικονομικά Στοιχεία για Λιθίνες Κατασκευές**, όπου αναπτύσσονται οι βασικές έννοιες και περιγράφονται οι μέθοδοι, που μας επιτρέπουν να εκτιμήσουμε τις δαπάνες, που χρειάζεται να γίνουν, για να εκτελεσθεί ένα έργο, ή να καθορίσουμε πόσο πρέπει να πληρωθεί ένα έργο, που ήδη κατασκευάσθηκε.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### ΛΙΘΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

#### 1.1 Εισαγωγή.

Οι φυσικές πέτρες ήταν ως το τέλος σχεδόν του προηγούμενου αιώνα το κυριότερο δομικό υλικό. Το μεγαλύτερο και το πιο μόνιμο μέρος όλων των μεγάλων δομικών έργων ήταν από φυσικές πέτρες. Πριν από εκατό περίπου χρόνια άρχισαν να αναπτύσσονται οι μεταλλικές κατασκευές, που μόλις πριν από άλλα εκατό χρόνια είχαν πρωτοεφαρμοσθεί στη γεφυροποιία, ενώ αργότερα άρχισε η διάδοσή και η γενίκευση των χυτών κατασκευών. Σύγχρονα η βιομηχανική και κοινωνική ανάπτυξη είχαν σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η χρήση των τεχνητών λίθων, επειδή υπάρχει γενικά μια τάση να αντικατασταθούν τα φυσικά υλικά με βιομηχανικά προϊόντα. Ο λόγος είναι ότι αυτά έχουν πιο ομοιόμορφες ιδιότητες, που ελέγχονται καλύτερα, ενώ το κόστος της παραγωγής τους γίνεται ολοένα μικρότερο, όσο προοδεύει η τεχνολογία.

Έτσι σήμερα ο ρόλος των φυσικών λίθων έχει περιορισθεί πάρα πολύ. Σε περιοχές βέβαια χωρίς βιομηχανία, όπου συνήθως γίνονται μόνο μικρά έργα, οι πέτρες – φυσικές ή τεχνητές – εξακολουθούν να είναι το βασικό δομικό υλικό. Έτσι στα νησιά και τα βουνά της χώρας μας κτίζουν πάντοτε με πέτρες, ενώ στις πεδινές αγροτικές περιοχές χρησιμοποιούν κυρίως τεχνητούς λίθους.

Οι φυσικές πέτρες σαν δομικό υλικό μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τους ακόλουθους τρόπους:

- α) Να τοποθετηθούν φύρδην - μίγδην και να σχηματίσουν **λιθορριπή**.
- β) Να τοποθετηθούν σε κατάλληλες θέσεις μία - μία, ώστε να σχηματίσουν **ξηρολιθοδομή** (ξερολιθιά ή ξερολίθι).
- γ) Να κτισθούν και να συνδεθούν μεταξύ τους με **κονίαμα** (λάσπη), ώστε να σχηματίσουν **κανονική λιθοδομή**.
- δ) Να προστεθούν μέσα στο σκυρόδεμα και να σχηματίσουν έτσι **λιθόδεμα**, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ογκώδεις χυτές κατασκευές.
- ε) Να σπάσουν σε μικρά κομμάτια ή να θρυμματισθούν, ώστε να μεταβληθούν σε **σκύρα** (χαλίκια) ή **άμμο** και να χρησιμοποιηθούν σαν αδρανή υλικά σε κονιάματα και σκυροδέματα, σαν υλικά για κατασκευή οδοστρωμάτων κλπ.
- στ) Να σκισθούν σε λεπτές **πλάκες** και να χρησιμοποιηθούν για επενδύσεις τοίχων, επιστρώσεις δαπέδων, πεζοδρομίων, αυλών, ταρατσών κλπ.
- ζ) Να υποσθούν κατάλληλες χημικές επεξεργασίες, ώστε να δώσουν νέα δομικά υλικά, όπως π.χ. τον **ασβέστη**, το **γύψο**, το **τσιμέντο** κλπ.

Από τις χρήσεις αυτές μόνο οι τρεις πρώτες θα μας απασχολήσουν στο Κεφάλαιο αυτό, επειδή οι υπόλοιπες αποτελούν αντικείμενο άλλων Κεφαλαίων του βι-

βλίου ή και άλλων μαθημάτων.

Για τις τρεις αυτές χρήσεις πολλά είδη φυσικών λίθων είναι κατάλληλα. Πρέπει βέβαια να αποκλεισθούν, όσοι προέρχονται από μαλακά ορυκτά, που σπάνε ή θρυμματίζονται με ελαφρά κτυπήματα ή που με τον καιρό χάνουν τη συνοχή και την αντοχή τους και αρχίζουν να ξεφτάνε ή να τρίβονται. Ακατάλληλες είναι ακόμα και οι πέτρες, που έχουν ρωγμές, τρύπες, κενά ή μοιάζουν με σφουγγάρι, γιατί παρουσιάζουν μικρή αντοχή και κυρίως περιορισμένη στεγανότητα. Τέλος, πρέπει να αποφεύγονται οι πέτρες, που τις έχει στρογγυλέψει το νερό, όπως αυτές που βρίσκονται στις κοίτες των χειμάρρων ή κοντά στη θάλασσα, επειδή δεν μπορούν να συνδεθούν εύκολα μεταξύ τους κι έτσι οι κατασκευές μ' αυτές έχουν μικρή συνοχή και ευστάθεια. Αντίθετα οι πέτρες, που έχουν την τάση να παρουσιάζουν επίπεδες επιφάνειες εκεί που σπάνε, είναι οι προτιμότερες, επειδή μπορούν να πατήσουν η μια πάνω στην άλλη με εξαιρετική ευστάθεια.

Στην Ελλάδα οι περισσότερες πέτρες για κτίσιμο προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι ασβεστόλιθοι έχουν κατά κανόνα αρκετή αντοχή, χωρίς να είναι πολύ σκληροί, ώστε η επεξεργασία τους είναι εύκολη. Οι ευγενέστερες ποικιλίες ασβεστολίθων είναι τα μάρμαρα. Σε μερικές περιοχές, όπως π.χ. στο Πήλιο και στις Κυκλαδες, χρησιμοποιούνται και πέτρες από σκληρά και συμπαγή σχιστολιθικά πετρώματα.

Οι πέτρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως είναι μετά από μια μικρή επεξεργασία, που γίνεται από τον τεχνίτη, την ώρα που τις κτίζει. Χαρακτηρίζονται τότε σαν **αργοί λίθοι**. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται επεξεργασία των λίθων πριν από το κτίσιμο, ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή μορφή. Όταν η επεξεργασία γίνεται σε όλες τους τις όψεις, οι λίθοι λέγονται **λαξευτοί** (πελεκητοί, ξεστοί), ενώ, αν περιορίζεται μόνο στις επιφάνειές τους, που πρόκειται να φαίνονται μετά το κτίσιμο και σε στενές λωρίδες των γειτονικών τους επιφανειών, λέγονται **μισολαξευμένοι** (ημίξεστοι).

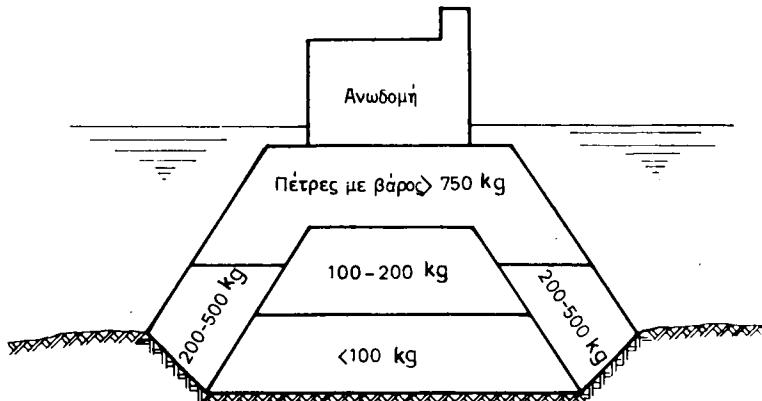
Οι φυσικές πέτρες προέρχονται κατά κανόνα από λατομεία και γι' αυτό λέγονται **ορυκτές**. Τα λατομεία ανοίγονται σε βραχώδεις περιοχές, όπου το πέτρωμα είναι κατάλληλο για την παραγωγή λίθων για κτίσιμο, όπως και για την παραγωγή σκύρων και άμμου. Η εξόρυξη γίνεται με εκρηκτικές ύλες, εκτός αν το υλικό είναι εξαιρετικής ποιότητας, όπως π.χ. μάρμαρο, και η τιμή του είναι πολύ υψηλή. Συμφέρει τότε να αυξηθεί το κόστος παραγωγής, για να μειωθούν οι φθορές του υλικού και γι' αυτό η εξόρυξη γίνεται με σφήνες και βαρειές ή και με ειδικά μηχανοκίνητα πριόνια. Οι πέτρες, που προέρχονται από τα επιφανειακά στρώματα των λατομείων, πρέπει να απορρίπτονται, επειδή δεν είναι κατάλληλες ούτε για κτίσιμο ούτε για παραγωγή σκύρων και άμμου.

Σπανιότερα χρησιμοποιούνται για κτίσιμο πέτρες **συλλεκτές**, αλλά δεν είναι κατά κανόνα καλής ποιότητας. Άλλοτε πάλι χρησιμοποιούνται πέτρες, που προέρχονται μετά από σπάσιμο σε μικρότερα κομμάτια ογκολίθων, που συλλέγονται στις κοίτες των χειμάρρων.

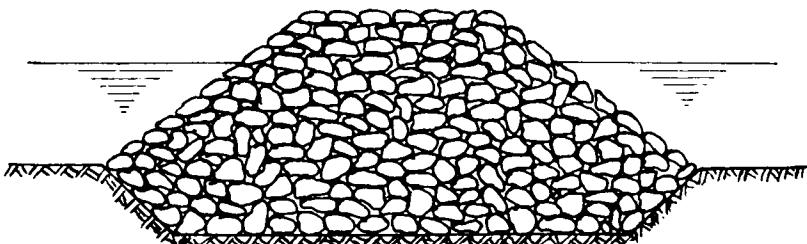
## 1.2 Λιθορριπές

**Λιθορριπές** λέγονται οι κατασκευές, όπου οι πέτρες τοποθετούνται φύρδην - μί-

γδην, ρίχνονται δηλαδή σε σωρούς και αφήνονται στις τυχαίες θέσεις, που παίρνουν μόνες τους μ' αυτό τον τρόπο. Συνήθως οι λιθορριπές εφαρμόζονται σέ λιμενικά έργα, όπου χρησιμεύουν είτε ως θεμέλια (σχ. 1.2α), είτε ως θεμέλιο και ανωδομή συγχρόνως (σχ. 1.2β και 1.2γ).



**Σχ. 1.2α.**  
Λιθορριπή, που χρησιμεύει για τη θεμελίωση λιμενικού έργου.



**Σχ. 1.2β.**  
Παράδειγμα δομικού έργου (μώλου) από λιθορριπή.

Λιθορριπές εφαρμόζονται και για την κατασκευή ορισμένων έργων, που ονομάζονται συνήθως **προστατευτικά**. Όταν ένα δομικό έργο βρίσκεται συνέχεια ή έστω κατά περιόδους μέσα στο νερό, κινδυνεύει πάντοτε να διαβρωθεί και να καταστραφεί από τη ροή ή τον κυματισμό του νερού. Για να προστατευθούν από αυτό τον κίνδυνο τα τρήματα του έργου, που βρίσκονται μέσα στο νερό και ιδιαίτερα κοντά στην επιφάνειά του, σκεπάζονται με ειδικές κατασκευές, που λέγονται προστατευτικά έργα. Τέτοια έργα από λιθορριπή φαίνονται στο σχήμα 1.2δ.

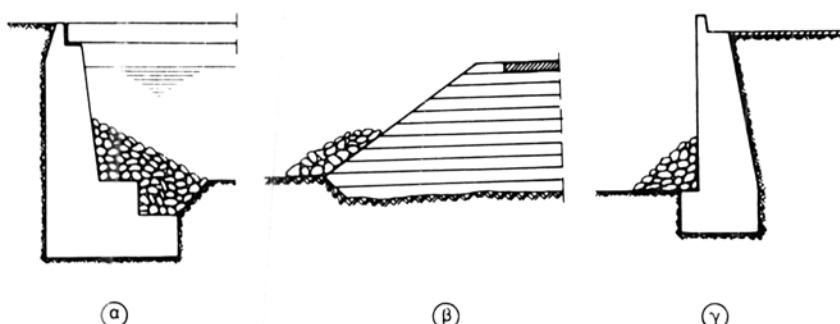
Οι λιθορριπές σήμερα κατασκευάζονται σχεδόν πάντοτε με τη βοήθεια δομικών μηχανημάτων. Οι πέτρες συλλέγονται με κατάλληλους εκσκαφείς ή φορτωτές, που τις μεταφέρουν και τις αφήνουν κατευθείαν στη θέση τους ή τις φορτώνουν σε κάποιο μεταφορικό μέσο, π.χ. ανατρεπόμενο αυτοκίνητο, πλωτή φορτηγίδα κ.ο.κ.

Το μέσο αυτό τις μεταφέρει στη θέση του έργου, όπου τις αφήνει μόνο του ή με τη βοήθεια γερανού.

Για τις λιθορριπές χρησιμοποιούνται πολύ μεγάλες πέτρες, ιδιαίτερα όταν πρέπει να μην παρασύρονται από δυνατά ρεύματα στη θάλασσα ή τα ποτάμια. Οι λιθορριπές μορφώνονται έτσι, ώστε να δημιουργούνται πρανή, δηλαδή πλευρικές επιφάνειες, που δεν είναι κατακόρυφες, αλλά παρουσιάζουν κάποια κλίση. Έτσι εξασφαλίζεται η ευσταθής ισορροπία και δεν υπάρχει κίνδυνος να αλλάξουν θέση οι πέτρες και να καταρρεύσει η λιθορριπή. Όπως φαίνεται και στα σχήματα 1.2α, 1.2β και 1.2δ, τα πρανή σχηματίζουν με τον ορίζοντα γωνίες σχετικά μικρές, το πολύ  $45^{\circ}$ , δηλαδή με κλίση  $1 : 1$ .



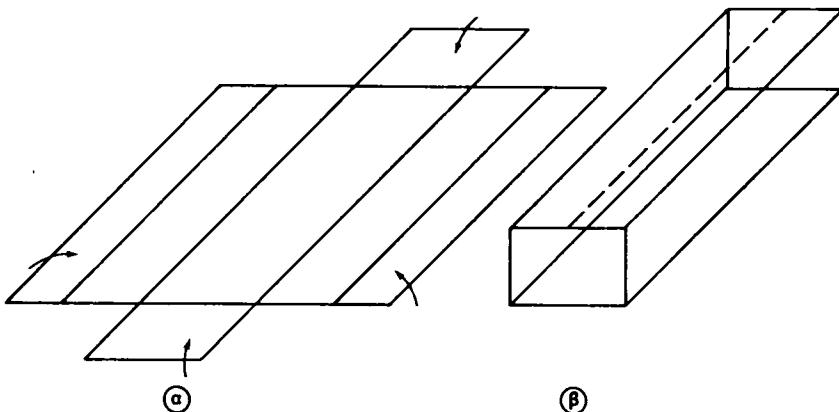
**Σχ. 1.2γ.**  
Μώλος κατασκευασμένος από λιθορριπή.



**Σχ. 1.2δ.**  
Προστατευτικά έργα από λιθορριπή: (α) Σε ακρόβαθρο γέφυρας. (β) Στο πόδι επιχώματος. (γ) Στο πόδι τοίχου αντιστρηίξεως.

Μια κατασκευή συγγενής με τις λιθορριπές είναι οι **φάκελλοι** ή **συρματοκιβώτα** λιθορριπών, γνωστά στην Ελλάδα και με τό όνομα **σαραζανέτα**, που εφαρμόζονται κι αυτά για την κατασκευή προστατευτικών έργων. Η λιθορριπή εγκιβωτίζεται μέσα σε φακέλλους από ανθεκτικό, καλά γαλβανισμένο χαλύβδινο πλέγμα (κοτετόσυρμα), που παίρνουν τελικά το σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου ή σπανιότερα κυλίνδρου κι έχουν όγκο αρκετών κυβικών μέτρων. Οι φάκελλοι τοποθετούνται ανοικτοί στην οριστική τους θέση, γεμίζονται με πέτρες και διπλώνονται. Το κλείσιμό τους εξασφαλίζεται, όταν οι άκρες του πλέγματος επικαλύψουν αρκετά η μια την άλλη και ραφθούν με χοντρό γαλβανισμένο σύρμα (σχ. 1.2ε).

Οι φάκελλοι έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν για το γέμισμά τους να χρησιμοποιηθούν πέτρες πολύ μικρότερες απ' αυτές, που χρειάζονται για τις συνηθισμένες λιθορριπές. Μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν πέτρες με οποιοδήποτε σχήμα, έστω και στρογγυλεμένες απ' το νερό. Οι πέτρες έτσι κατά κανόνα δεν χρειάζεται να μεταφερθούν από μακριά, μια και εκεί, όπου κατασκευάζονται τα προστατευτικά έργα, υπάρχουν συνήθως τέτοιες πέτρες. Το σχήμα και το μέγεθος των φακέλλων εξάλλου τους κάνει πολύ πιο ευσταθείς από τις απλές λιθορριπές.



Σχ. 1.2ε.

Κατασκευή συρματοκιβωτίου: (α) Πλέγμα σπλωμένο στο έδαφος, πριν γεμίσει. (β) Αφού γέμισε με πέτρες, το πλέγμα έχει διπλωθεί.

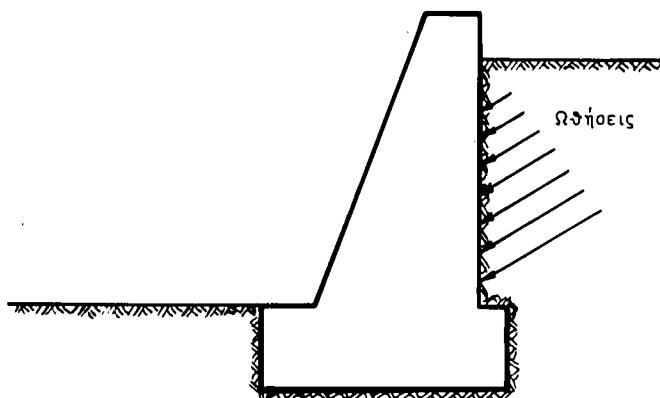
### 1.3 Ξηρολιθοδομές.

Οι **ξηρολιθοδομές** (ξερολιθιές ή ξερολίθια), οι λιθοδομές δηλαδή που κτίζονται χωρίς **κονίαμα** (λάσπη), εφαρμόζονται μόνο σε κατασκευές με μικρή σημασία, όπως π.χ. μάντρες, που χωρίζουν αγροτικές ιδιοκτησίες, μικρά βοηθητικά κτίσματα, όπως σταύλοι, αποχωρητήρια κλπ. Με τον τρόπο αυτό κατασκευάζονται επίσης χαμηλοί **τοίχοι αντιστηρίζεως** για δρόμους με μικρή κίνηση, ή για να δημιουργηθούν αυλές, πλατείες ή αγροί για καλλιέργεια σε εδάφη, που παρουσιάζουν μεγάλες κλίσεις.

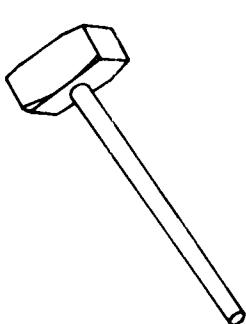
: **Τοίχος αντιστηρίζεως ή αναλημματικός**, λέγεται ένας τοίχος, όταν από τη μια του

όψη η επιφάνεια του εδάφους είναι σημαντικά υψηλότερα σχετικά με την άλλη του όψη (σχ. 1.3α). Το έδαφος τότε σπρώχνει τον τοίχο προς τα κάτω με σημαντικές δυνάμεις, που μεγαλώνουν πολύ γρήγορα, όσο μεγαλώνει η διαφορά της στάθμης του εδάφους ανάμεσα στις δύο όψεις του τοίχου.

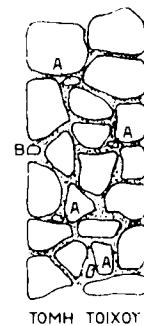
Οι ξηρολιθοδομές πρέπει να αντέχουν σε κατακόρυφες δυνάμεις, που προέρχονται κυρίως απ' το ίδιο τους το βάρος, αλλά και σε λοξές, ιδιαίτερα όταν λειτουργούν σαν τοίχοι αντιστηρίξεως, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να γκρεμισθούν ή να φύγουν ορισμένες πέτρες απ' τη θέση τους. Πρέπει λοιπόν οι πέτρες να είναι τοποθετημένες με προσοχή και με τέχνη, ώστε να μη μπορούμε να βγάλομε καμιά από κει που βρίσκεται, εκτός απ' τις πάνω - πάνω, τις πέτρες της **στέψεως** του τοίχου, δηλαδή κι αυτές μόνο σηκώνοντάς τες προς τα πάνω.



**Σχ. 1.3α.**  
Τοίχος αντιστηρίξεως.



**Σχ. 1.3β.**  
Σφυρί κτίστη.



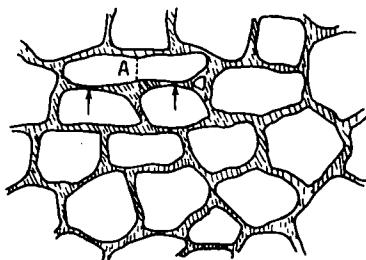
**Σχ. 1.3γ.**  
Χρησιμοποίηση τζιβικιών (αποκομμάτων από τις πέτρες)  
στο κτίσιμο λιθοδομής: A = Σωστή, B = Λάθος.

Οι ξηρολιθοδομές, για να εξασφαλισθούν όσα είπαμε προηγουμένως, κτίζονται με ορισμένους κανόνες, που τους λέμε **κανόνες δομήσεως**. Οι κυριότεροι απ' τους κανόνες αυτούς περιγράφονται ευθύς αμέσως:

α) Επειδή δεν υπάρχει κανένα συνδετικό υλικό, η αντοχή και η ευστάθεια του τοίχου εξαρτώνται μόνο απ' την ποιότητα, το σχήμα και τη θέση των λίθων. Οι πέτρες πρέπει να διαλέγονται με υπομονή και εξαιρετική επιμέλεια για κάθε συγκεκριμένη θέση, ώστε να ταιριάζουν σ' αυτή. Μπαίνουν πρώτα δοκιμαστικά στη θέση τους, διορθώνεται έπειτα το σχήμα τους με ένα σφυρί (σχ. 1.3β), που τους αφαιρεί μερικά μικρά κομμάτια τους και μόνο τότε μπαίνουν οριστικά στη θέση τους. Τα μικρά κομμάτια (τζιβίκια), που κόβονται, μπαίνουν κι αυτά σε κατάλληλες θέσεις, για να συμπληρώσουν μικρά κενά, αρκεί να βρίσκονται καλά κλεισμένα ανάμεσα στίς μεγάλες πέτρες, για να μη μπορούν να μετακινηθούν (σχ. 1.3γ).

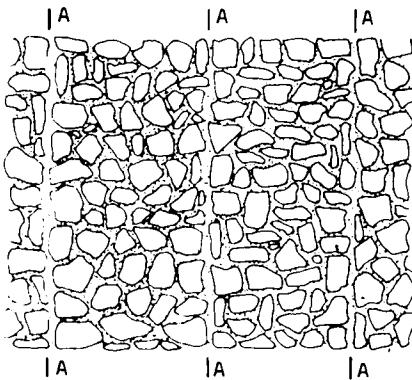
β) Κάθε πέτρα πρέπει να τοποθετείται έτσι, ώστε το ύψος της να είναι μικρότερο και από το μάκρος και από το πλάτος της. Οι δύο οριζόντιες επιφάνειές της, πάνω και κάτω, πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο επίπεδες, ώστε να στηρίζεται στη θέση της με ευστάθεια και να δημιουργεί καλή βάση για τις πέτρες, που θα μπουν από πάνω της. Οι πέτρες μπαίνουν συνήθως με τη μεγαλύτερη διάστασή τους παράλληλη προς το μάκρος του τοίχου (δρομικές), πρέπει όμως μερικές να μπαίνουν και με το μάκρος τους κάθετο προς τη διεύθυνση του τοίχου (μπατικές, διάτονες) (σχ. 1.5ε και 1.6ε).

γ) Οι πέτρες ακουμπούν η μια στην άλλη σε πολλά απομονωμένα σημεία, όπου και εφαρμόζονται οι δυνάμεις. Τα σημεία αυτά πρέπει να είναι όσο γίνεται περισσότερα και πυκνότερα. Στην αντίθετη περίπτωση οι πέτρες γεφυρώνουν μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στα σημεία στηρίζεως (σχ. 1.3δ) και, επειδή δεν έχουν μεγάλη αντοχή στην κάμψη, κινδυνεύουν να ραγίσουν και να σπάσουν.



Σχ. 1.3δ.

Όταν μια πέτρα στηρίζεται σε σημεία, που απέχουν πολύ μεταξύ τους (Α), υπάρχει κίνδυνος να σπάσει από την κάμψη.



Σχ. 1.3ε.

Κακό κτίσιμο τοίχου με σχεδόν κατακόρυφους συνεχείς αρμούς Α-Α.

δ) Κάθε πέτρα πρέπει να στηρίζεται τουλάχιστον σε δυο άλλες κάτω απ' αυτή. Αν δε γίνεται αυτό, υπάρχει ο κίνδυνος να σχηματισθούν κατακόρυφοι αρμοί (σχ. 1.3ε), που να χωρίζουν την ξηρολιθοδομή σε ανεξάρτητες στήλες, που καθεμιά τους μπορεί να μετακινηθεί ανεξάρτητα από τις γειτονικές της.

Αν και οι ξηρολιθοδομές εφαρμόζονται σε έργα με μικρή σημασία, χρειάζεται

εξαιρετική τέχνη για το κτίσιμό τους. Πρέπει λοιπόν να κτίζονται από καλούς τεχνίτες με μεγάλη πείρα. Αντίστροφα, το κτίσιμό τους, με τα προβλήματα που παρουσιάζει, είναι ο καλύτερος τρόπος, για να εκπαιδεύονται οι κτίστες. Έτσι εξηγείται, γιατί οι καλύτεροι κτίστες προέρχονται από ορισμένες ορεινές περιοχές της χώρας μας (Λαγκάδια Αρκαδίας, Κυκλαδες, Ήπειρος κλπ.), όπου από μικρά παιδιά μαθαίνουν να κτίζουν ή να διορθώνουν τις ξερολιθιές, που χωρίζουν τα κτήματά τους ή κρατάνε το χώμα τους στις απότομες πλαγιές των βουνών.

#### 1.4 Κονιάματα για κτίσιμο.

Αν εξαιρέσουμε τις ξερολιθοδομές, σ' όλες τις άλλες κατασκευές από φυσικές ή τεχνητές πέτρες, ανάμεσά τους παρεμβάλλεται **κονίαμα** (λάσπη), για να τις συνδέει και να εξασφαλίζει τη συνοχή της κατασκευής. Τα κονιάματα είναι μίγματα υλικών, που έχουν την ιδιότητα να γίνονται με τον καιρό τεχνητές πέτρες, ενώ, όταν τα χρησιμοποιούμε, έχουν τη μορφή της λάσπης. Για τα κονιάματα, όπως και για τα υλικά, που χρειάζονται για την παρασκευή τους, έχει γίνει λόγος στο μάθημα των Δομικών Υλικών. Θεωρούμε σκόπιμο όμως να δώσουμε και στο βιβλίο αυτό μια σύντομη περιγραφή.

Τα κονιάματα αποτελούνται συνήθως από μια **κονία** (κόλλα), που είναι το ενεργό υλικό, εκείνο δηλαδή που με τον καιρό αλλάζει και στρεοποιείται, και από υλικά αδρανή, συνήθως άμμο, που είναι απ' την αρχή στρειδέα και γίνονται ένα σώμα με την κονία, όταν στρεοποιηθεί κι αυτή. Οι περισσότερες κονίες, όταν πήζουν, συστέλλονται με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν ρωγμές (να τριχιάζουν). Τα αδρανή υλικά έχουν δυο σκοπούς: πρώτο να περιορίσουν αυτή τη συστολή, επομένως και τις ρωγμές και δεύτερο να κατεβάσουν το κόστος του κονιάματος.

'Ένα κονίαμα λέγεται **παχύ**, όταν η αναλογία της κονίας είναι τόσο μεγάλη, ώστε μέσα σ' αυτή να πλέουν οι κόκκοι των αδρανών υλικών. Αντίθετα λέγεται **ισχνό**, όταν η κονία είναι τόσο λίγη, ώστε να μη φθάνει για να γεμίσει τα κενά, που αφήνουν μεταξύ τους οι κόκκοι των αδρανών υλικών, όταν ακουμπούν ο ένας με τον άλλο. **Κανονικό** είναι το κονίαμα, όταν η κονία είναι τόση ακριβώς, ώστε να συμπληρώσει αυτά τα κενά, χωρίς να περισσεύει καθόλου.

'Οσο πιο παχύ είναι ένα κονίαμα, τόσο περισσότερες ρωγμές παρουσιάζει και όσο πιο ισχνό, τόσο μικράίνει η αντοχή του, αλλά και το κόστος του. Ανάλογα με το έργο και τη σημασία του, διαλέγομε κάθε φορά την κατάλληλη αναλογία κονίας και αδρανών υλικών. Ειδικά για το κτίσιμο χρησιμοποιούνται συνήθως ισχνά κονιάματα ή το πολύ, κανονικά.

Υπάρχουν πολλά είδη κονιαμάτων κατάλληλα για κτίσιμο. Παλιότερα χρησιμοποιήθηκαν ο πηλός, ένα μίγμα δηλαδή νερού με χώμα, ο γύψος και η άσφαλτος. Σήμερα τα κονιάματα αυτά εφαρμόζονται σπάνια και έχουν αντικατασταθεί από τα **ασβεστοκονιάματα**, τα **τσιμεντοκονιάματα** και τα **ασβεστοτσιμεντοκονιάματα**.

Τα **ασβεστοκονιάματα** έχουν σαν κονία πολτό σβησμένου ασβέστη, ένα μίγμα δηλαδή νερού με υδροξείδιο του ασβεστίου  $[Ca(OH)_2]$ . Τα αδρανή υλικά είναι άμμος, συνήθως λατομείου (νταμαρίσια), χωρίς να αποκλείεται και η ορυκτή, ποταμίσια ή και θαλασσινή, αρκεί να μην περιέχει αλάτι σε μεγάλο ποσοστό. Η άμμος πρέπει να είναι χοντρόκοκκη, οι μεγαλύτεροι κόκκοι της δηλαδή να έχουν διάμετρο

3 μη ή και παραπάνω σε ορισμένες περιπτώσεις. Καλό είναι οι κόκκοι να έχουν διαφορετική μεγέθη, αλλά μπορούμε να δεχθούμε και άμμους με όλους τους κόκκους τους περίπου ίσους, όταν το κονίαμα προορίζεται για κτίσιμο.

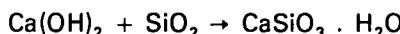
Οι αναλογίες των υλικών των ασβεστοκονιαμάτων ορίζονται με το λόγο του όγκου του πολτού του ασβέστη προς το φαινόμενο όγκο της άμμου. Το κανονικό ασβεστοκονίαμα έχει αναλογία περίπου 1:3, οπότε σε ένα κυβικό μέτρο κονιάματος περιέχονται περίπου 0,32 m<sup>3</sup> πολτού ασβέστη, 0,96 m<sup>3</sup> άμμου και προσθέτομε άλλα 0,20 m<sup>3</sup> ή 200 kg περίπου νερό, για να μπορεί να δουλευτεί η λάσπη. Παρατηρούμε ότι ο συνολικός όγκος των υλικών είναι πολύ μεγαλύτερος απ' τον όγκο του κονιάματος, επειδή το νερό κι ο ασβέστης γεμίζουν τα κενά, που υπάρχουν ανάμεσα στους κόκκους της άμμου.

Στο κτίσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κανονικό ασβεστοκονίαμα με αναλογία 1:3, αλλά τις περισσότερες φορές για λόγους οικονομίας τα κονιάματα είναι πιο ισχνά με αναλογίες 1:4 ή 1:5. Η εκλογή της αναλογίας εξαρτάται απ' τη σημασία του έργου και το σκοπό, που πρόκειται να εξυπηρετήσει η συγκεκριμένη κατασκευή.

Για να πάξει το ασβεστοκονίαμα, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια χημική αντίδραση:  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Ο σβησμένος ασβέστης απορροφά διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και γίνεται ανθρακικό ασβέστιο, ξαναγίνεται δηλαδή ασβεστόλιθος, ενώ σύγχρονα ελευθερώνεται νερό, που εξατμίζεται σιγά - σιγά. Επειδή η ατμόσφαιρα περιέχει πολύ λίγο διοξείδιο του άνθρακα, περίπου 0,04%, η αντίδραση γίνεται αργά και μόνο στον ελεύθερο αέρα. Γι' αυτό και τ' ασβεστοκονιάματα λέμε πως κατατάσσονται στα **αερικά** κονιάματα, δεν μπορούν δηλαδή να πάξουν μέσα στο νερό, ούτε και μέσα σε θεμέλια ή σε κατασκευές με μεγάλο πάχος. Επειδή με την αντίδραση ελευθερώνεται νερό, το πήξιμο γίνεται ακόμα πιο αργά, όταν υπάρχει κρύο και υγρασία και το νερό δυσκολεύεται να εξατμισθεί. Μπορούμε τότε να επιταχύνομε το πήξιμο, αν ανάψωμε δίπλα στις κατασκευές φωτιές με ξύλα, ώστε και περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα να υπάρχει και η υγρασία και το κρύο να λιγοστεύουν.

Όπως είπαμε προηγουμένως υπάρχουν κατασκευές, όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αερικά κονιάματα. Είναι λοιπόν απαραίτητα και τα **υδραυλικά** κονιάματα, που μπορούν να πάξουν χωρίς αέρα, ακόμα και μέσα στο νερό.

Ένα υδραυλικό κονίαμα, που χρησιμοποιήθηκε πολύ στη Ρωμαϊκή εποχή, ήταν το **κουρασάνι**, ένα ασβεστοκονίαμα δηλαδή, που αντί για άμμο περιέχει αλεσμένα τούβλα και κεραμίδια. Ένα μέρος από τους κόκκους αυτούς είναι αδρανές και παίζει το ρόλο της άμμου, υπάρχουν όμως και μερικοί, που περιέχουν διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) σε κατάλληλη μορφή, ώστε το πήξιμο του κονιάματος γίνεται σύμφωνα με μια διαφορετική χημική αντίδραση:



Στην αντίδραση αυτή δεν παίρνουν μέρος πρόσθετα στοιχεία από το περιβάλλον, ούτε παράγονται προϊόντα, που να πρέπει να αποβληθούν από το κονίαμα. Η αντίδραση αυτή λοιπόν μπορεί να γίνει κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες.

Παρόμοιο υδραυλικό κονίαμα παράγεται, αν αντί για αλεσμένα κεραμίδια χρησι-

μοποιηθεί ένα ειδικό χώμα, που βρίσκεται συνήθως κοντά σε ηφαίστεια και λέγεται **Πουζολάνα** από το όνομα της πόλεως Pozzuoli (Ποτίολοι), που βρισκόταν κοντά στο Βεζούβιο. Υπάρχει και στην Ελλάδα τέτοιο υλικό, η **Θηραϊκή Γη**, που παράγεται στή Σαντορίνη δίπλα στό ήφαίστειο και οι ντόπιοι κατά παραφθορά τή λένε και **Πορσελάνα**, αλλά και στο νησάκι Γιαλί κοντά στη Νίσυρο στα Δωδεκάνησα. Τα **Θηραϊκονιάματα**, μίγματα δηλαδή θηραϊκής γης με πολτό ασβέστη, ήταν σε μεγάλη χρήση ως την αρχή του εικοστού αιώνα, ιδιαίτερα για τα λιμενικά έργα.

Υδραυλικά κονιάματα μπορούν να γίνουν και με ειδικές ποικιλίες ασβέστη, που λέγεται **υδραυλικός ασβέστης**. Ο ασβέστης αυτός προέρχεται από το ψήσιμο ασβεστολίθων, που περιέχουν εκτός από τον ασβεστίτη (ανθρακικό ασβέστιο =  $\text{CaCO}_3$ ) και σημαντική αναλογία ορυκτών πλουσίων σε πυρίτιο. Μετά το ψήσιμο ο υδραυλικός ασβέστης περιέχει αρκετό διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) σε κατάλληλη μορφή, ώστε να μπορεί να γίνει η χημική αντίδραση, που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Ένας υδραυλικός ασβέστης πολύ καλής ποιότητας παραγόταν από ένα πέτρωμα στην περιοχή του Portland στην Αγγλία και η βιομηχανία προσπάθησε να βρει τρόπους να παράγει παρόμοιο υλικό και μ' άλλα πετρώματα. Έτσι άρχισε να παράγεται η **τεχνητή κονία Portland**, που είναι πιο γνωστή με την ονομασία **τσιμέντο**. Σε όλο τον κόσμο σήμερα παράγεται βιομηχανικά τσιμέντο σε τεράστιες ποσότητες κι έτσι όλα τα παλιότερα είδη υδραυλικών κονιαμάτων ανήκουν πια πρακτικά στην Ιστορία κι έχουν αντικατασταθεί με τα **τσιμεντοκονιάματα**, που είναι μίγματα τσιμέντου, άμμου και νερού.

Κονία των τσιμεντοκονιαμάτων είναι ο **τσιμεντοπολτός**, το γαλάκτωμα δηλαδή του τσιμέντου μέσα στο νερό, ενώ η άμμος αποτελεί το αδρανές συστατικό. Για την άμμο των τσιμεντοκονιαμάτων ισχύουν, όσα αναφέρθηκαν για την άμμο των ασβεστοκονιαμάτων.

Οι αναλογίες των υλικών καθορίζονται με το λόγο του όγκου του τσιμέντου προς τον όγκο της άμμου και είναι συνήθως 1:3, 1:4, 1:5 ή και 1:6, δταν το κονίαμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για κτίσιμο. Σπανιότερα χρησιμοποιούνται κονιάματα ακόμα πιο ισχνά. Στο μίγμα τσιμέντου και άμμου πρέπει να προστεθεί και νερό σε τόση αναλογία, ώστε να προκύψει ένας πλαστικός και ευκατέργαστος πηχτός πολτός.

Σ' ένα κυβικό μέτρο τσιμεντοκονιάματος με αναλογία 1:3, που είναι περίπου το κανονικό, περιέχονται γύρω στα 420 kg ή  $0,35 \text{ m}^3$  τσιμέντου,  $1,04 \text{ m}^3$  άμμου και 240 kg ή  $0,24 \text{ m}^3$  νερού. Παρατηρούμε ότι ο όγκος του κονιάματος είναι μικρότερος όχι μόνο απ' το άθροισμα των όγκων των τριών συστατικών του, αλλά κι από τον όγκο μόνο της άμμου, ενώ στα ασβεστοκονιάματα συμβαίνει το αντίθετο.

Ο λόγος του όγκου του κονιάματος προς τον όγκο της άμμου λέγεται **απόδοση** του κονιάματος. Η απόδοση λοιπόν των τσιμεντοκονιαμάτων είναι μικρότερη από τη μονάδα, ενώ των ασβεστοκονιαμάτων είναι μεγαλύτερη.

Όταν πήζουν τα τσιμεντοκονιάματα, συμβαίνουν στη μάζα τους πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις, που αρχίζουν αμέσως μόλις το τσιμέντο έλθει σ' επαφή με το νερό. Για τις αντιδράσεις αυτές δε χρειάζονται στοιχεία από την ατμόσφαιρα, επομένως το πήξιμο γίνεται οπουδήποτε, αρκεί να υπάρχει αρκετό νερό. Για το λόγο αυτό τα τσιμεντοκονιάματα, που, όπως, είπαμε, κατατάσσονται στα **υδραυλικά** κο-

νιάματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μέσα στο νερό και μέσα στη γη (σε θεμέλια) και στον ελεύθερο αέρα.

Οι χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν το πήξιμο του τσιμέντου, γίνονται γρήγορα σε σύγκριση με το πήξιμο του ασβέστη. Γι' αυτό τα τσιμεντοκονιάματα πρέπει να παρασκευάζονται σε μικρές ποσότητες, κι αν αρχίσουν να δείχνουν σημάδια πιηξιματος, πρέπει να τα πετάμε σαν άχρηστα, χωρίς να προσπαθούμε να τα ανανεώσουμε προσθέτοντας νερό ή έστω και τσιμέντο.

Τα **ασβεστοτσιμεντοκονιάματα** είναι μίγματα ασβεστοκονιαμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων ή, πιο απλά, μίγματα ασβέστη, τσιμέντου, άμμου και νερού. Οι αναλογίες μπορούν να ποικίλλουν ανάλογα με το αποτέλεσμα, που επιδιώκομε. Όταν το ποσοστό του τσιμέντου είναι μικρό, επικρατούν τα χαρακτηριστικά του ασβεστοκονιάματος, αλλά η αντοχή είναι κάπως πιο μεγάλη και το πήξιμο γίνεται πιο γρήγορα. Αντίθετα, όταν το ποσοστό του τσιμέντου είναι μεγάλο, επικρατούν τα χαρακτηριστικά του τσιμεντοκονιάματος, αλλά η αντοχή είναι κάπως πιο μικρή και το πήξιμο γίνεται πιο αργά. Συνήθως μας ενδιαφέρει να επιβραδύνουμε το πήξιμο του κονιάματος, ώστε το κτίσιμο να γίνεται με μεγαλύτερη άνεση κι αυτός είναι ο κύριος λόγος, που προτιμούνται τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα από τα τσιμεντοκονιάματα.

Άσχετα με το είδος του, το κονίαμα είναι το αδύνατο στοιχείο της λιθοδομής. Η αδυναμία του διορθώνεται με τον καιρό και δεν αποκλείεται τελικά μερικά κονιάματα να γίνουν πιο ανθεκτικά από τις ίδιες τις πέτρες. Στις πρώτες όμως φάσεις, όσο το κονίαμα πήζει και σκληραίνει, η αντοχή του είναι μικρή και οι παραμορφώσεις του από τα φορτία, που του επιβάλλονται, μεγάλες. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι λιθοδομές παρουσιάζουν μια **καθίζηση** (κάθονται). Αυτό συμβαίνει, πρώτα γιατί τα κονιάματα συστέλλονται, όταν πήζουν και έπειτα, γιατί παραμορφώνονται και συμπίεζονται κάτω απ' το βάρος της ίδιας της λιθοδομής και των φορτίων, που μπορεί να ενεργούν πάνω της. Η καθίζηση αυτή, που μπορεί να φθάσει και σε μερικά εκατοστά του μέτρου για ψηλούς τοίχους, πρέπει να προβλέπεται, όταν κατασκευάζεται το έργο, ώστε να μην προκαλέσει ύστερα δυσάρεστες εκπλήξεις.

Η ανάμιξη των υλικών, που χρειάζονται, για να παρασκευασθεί ένα κονίαμα, μπορεί να γίνει είτε μηχανικά είτε με τα χέρια. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται μικροί αναμικτήρες (μπετονιέρες), σαν κι αυτούς, που περιγράφονται στο τρίτο κεφάλαιο (σχ. 3.4ι, 3.4ια, 3.4ιβ). Οι ποσότητες των υλικών μετριούνται με κατάλληλα δοχεία και ρίχνονται μέσα στον αναμικτήρα, όπου ανακατεύονται με το νερό, που τρέχει σιγά - σιγά στο εσωτερικό του.

Όταν τα κονιάματα παρασκευάζονται χωρίς μηχανήματα, χρειάζεται πρώτα να προετοιμασθεί μια καθαρή επιφάνεια, για να γίνει πάνω σ' αυτή το κονίαμα. Η επιφάνεια αυτή μπορεί να είναι μια στρώση από σκυρόδεμα, μια μεγάλη λαμαρίνα, ή ακόμη και το φυσικό έδαφος, αν είναι σκληρό και έχουν αφαιρεθεί όλες οι πέτρες και τα χαλαρά χώματα. Πρώτα γίνεται ένας σωρός από άμμο και στο κέντρο του σχηματίζεται με το φτυάρι ή την τσάπα μια λακκούβα. Η άμμος παίρνει έτσι το σχήμα μιας στεφάνης με ύψος 15 ως 20 cm και μέσα σ' αυτή ρίχνεται ο ασβέστης ή το τσιμέντο ή και τα δύο αυτά υλικά μαζί. Έπειτα ένας βοηθός ρίχνει σιγά - σιγά το νερό στο κέντρο της στεφάνης, ενώ σύγχρονα ο τεχνίτης μεταφέρει με το φτυάρι ή την τσάπα μικρές ποσότητες άμμου από το εσωτερικό της στεφάνης προς

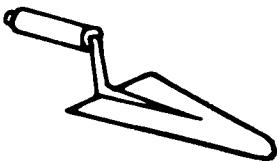
το κέντρο και τις ανακατεύει με τον ασβέστη ή το τσιμέντο. Η ανάμιξη πρέπει να γίνεται με προσοχή, ώστε η στεφάνη της άμμου να μην παρουσιάσει διακοπή και να εμποδίζεται έτσι το νερό να φύγει προς τα έξω, ώστου να αναμιχθούν τα υλικά αρκετά και να γίνουν ένας πηχτός πολτός. Η ανάμιξη πρέπει να συνεχίζεται αρκετή ώρα και να σταματά μόνον, όταν το μίγμα αποκτήσει παντού το ίδιο χρώμα και δε διακρίνονται πια τα υλικά, που το αποτελούν.

Το μέτρημα των στερεών υλικών γίνεται με κατάλληλα δοχεία, π.χ. δοχεία πετρελαίου (γκαζοντενεκέδες) (σχ. 3.4γ), μονότροχα (καρροτσάκια) (σχ. 3.4β) κλπ., ενώ η ποσότητα του νερού κανονίζεται συνήθως εμπειρικά. Ο τεχνίτης καθορίζει την ποσότητα του νερού, ώστε το κονίαμα να είναι πηκτό, να πιάνεται δηλαδή με το μυστρί και να σχηματίζει σωρούς χωρίς να χύνεται, αλλά και πλαστικό, ώστε να μπορεί να δουλεύεται με ευκολία.

## 1.5 Αργολιθοδομές

**Αργολιθοδομές** λέγονται οι κατασκευές, που γίνονται με αργούς λίθους και κονίαμα. Εφαρμόζονται κυρίως σε τοίχους, τόσο κοινούς όσο και τοίχους αντιστηρίξεως. Στο κτίσιμό τους ακολουθούνται οι κανόνες δομήσεως, που αναφέρθηκαν για τις ξηρολιθοδομές, και γενικά η εργασία γίνεται με τον ίδιο τρόπο.

Η μόνη διαφορά είναι ότι, πριν μπει στη θέση της κάθε πέτρα, στρώνεται με το **μυστρί** (σχ. 1.5α) κονίαμα πάνω στις πέτρες, που έχουν ήδη κτισθεί και πρόκειται πάνω τους να στηριχθεί η νέα πέτρα. Έπειτα τοποθετείται η νέα πέτρα **κολυμπητή** μέσα στο κονίαμα και σπρώχνεται με το **σφυρί** (σχ. 1.3β) με ελαφρά κτυπήματα, ώστε να πάει στη σωστή της θέση.



Σχ. 1.5α.  
Μυστρί.

Οι πέτρες δεν πρέπει να σφηνώνονται μεταξύ τους, αλλά να κτίζονται με άνεση, ώστε το κονίαμα να τις περιβάλλει από παντού, εκτός από τις επιφάνειές τους, που ανήκουν στις όψεις του τοίχου. Το μέσο πάχος των αρμών είναι αρκετά μεγάλο, περίπου 2 ως 3 cm, επειδή οι πέτρες έχουν ανώμαλες επιφάνειες. Όπου το πάχος των αρμών είναι πολύ μεγαλύτερο, πρέπει να μπαίνουν μικρές πέτρες (τζβίκια) και να γεμίζουν το κενό (σχ. 1.3γ).

Οι όψεις των αργολιθοδομών δεν μπορεί να είναι επίπεδες, αφού οι πέτρες είναι ακατέργαστες, οι ανωμαλίες τους όμως πρέπει να είναι όσο γίνεται μικρότερες. Κανένα σημείο του τοίχου δεν πρέπει να εξέχει από τη θεωρητική του επιφάνεια, ενώ κανένα σημείο της ορατής επιφάνειας κάθε πέτρας δεν πρέπει να βρίσκεται πιο μέσα από τη θεωρητική επιφάνεια του τοίχου περισσότερο από 3 ως 4 cm. Η θεωρητική επιφάνεια του τοίχου καθορίζεται με οριζόντια **ράμματα** (σχ. 1.5β), τεντωμένους σπάγγους δηλαδή, που στηρίζονται στις δύο τους άκρες είτε πάνω σε

ήδη κτισμένα στοιχεία του έργου, είτε σε προσωρινούς ξύλινους οδηγούς. Όταν η επιφάνεια του τοίχου είναι κατακόρυφη, υλοποιείται ανάμεσα από τα οριζόντια ράμματα με το **ζύγι** (νήμα της στάθμης) (σχ. 1.5γ), που βοηθά τον τεχνίτη να βάλει τις πέτρες στη σωστή τους θέση. Αν η επιφάνεια είναι λοξή, αντί για ζύγι χρησιμοποιούνται ξύλινες πήχες.



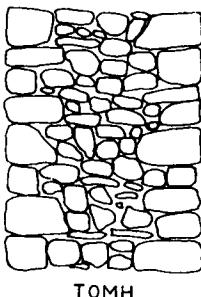
Σχ. 1.5β.  
Ράμμα.



Σχ. 1.5γ.  
Ζύγι (νήμα της στάθμης).

Είναι φυσικό ότι, για να γίνει η επιφάνεια του τοίχου ομαλή, χρειάζεται πρώτα νά διαλεχθεί κάθε πέτρα, που θα έχει ορατή επιφάνεια, και να γίνει μια επεξεργασία αυτής της επιφάνειας με το σφυρί, ώστε να πάρει όσο γίνεται πιο επίπεδη μορφή. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι και οι οριζόντιες επιφάνειες των λίθων πρέπει να είναι όσο μπορούμε πιο επίπεδες, για να εδράζονται με μεγαλύτερη ασφάλεια, επειδή και η αργολιθοδομή, αν και ενισχύεται με το κονίαμα, δεν παύει να είναι ένα σύνολο από πέτρες, που πρέπει να συμπεριφέρονται σαν ενιαίο στερεό σώμα.

Επειδή οι πέτρες δεν παρουσιάζουν πολλές επίπεδες επιφάνειες, υπάρχει πάντα η τάση να χρησιμοποιούνται οι καλύτερες έδρες τους, για να μορφώνονται οι ορατές επιφάνειες της λιθοδομής. Έτσι υπάρχει ο κίνδυνος να παρασυρθεί ο τεχνίτης και να κατασκευάσει δύο επιμελημένες όψεις στη λιθοδομή, ασύνδετες μεταξύ τους, που τις αποτελούν πέτρες, που στηρίζονται πολύ άσχημα η μια στην άλλη. Το



TOMH

Σχ. 1.5δ.

Κακό κτίσμα λιθοδομής με δύο ασύνδετες προσεγμένες όψεις και συμπλήρωση του κενού με μικρές πέτρες και πολύ κονίαμα.

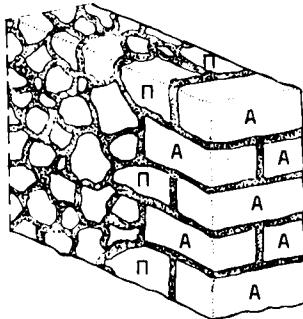
κενό ανάμεσα στις δύο όψεις συμπληρώνεται με μικρές πέτρες και πολύ κονίαμα (σχ. 1.5δ). Μια τέτοια κατασκευή δε θα μπορούσε ούτε να σταθεί, αν δέν υπήρχε κονίαμα, αλλά και με το κονίαμα η ευστάθειά της είναι πολύ αμφίβολη και τέτοιες λιθοδομές πρέπει να απορρίπτονται. Αντίθετα, οι καλύτερες έδρες κάθε πέτρας, οι μεγαλύτερες δηλαδή και πιο επίπεδες, πρέπει να μπαίνουν οριζόντιες, για να εξασφαλίζουν την καλύτερη έδρασή τους.

Αρκετές πέτρες πρέπει να μπαίνουν με τη μεγαλύτερη διάστασή τους κάθετη προς την όψη της λιθοδομής (μπατικές ή διάτονες). Όταν μάλιστα το πάχος του τοίχου δεν ξεπερνά τα 50 ως 60 cm, είναι καλό να υπάρχουν και μερικές πέτρες διαμπερείς, που να φθάνουν δηλαδή από τη μια όψη της λιθοδομής ως την άλλη (σχ. 1.5ε). Έτσι ο τοίχος συνδέεται σ' όλο του το πάχος και συμπεριφέρεται σαν ένα στερεό σώμα.



Σχ. 1.5ε.

Ιδανικό κτίσιμο λιθοδομής: A = Πέτρα διαμπε-  
ρής, B = Πέτρες μπατικές (διάτονες).



Σχ. 1.5στ.

Αγκωνάρια (A) και παραγκώνια (Π) σε λαμπά (παραστάδα) λιθοδομής.

Συνήθως είναι απαραίτητο στις αργολιθοδομές να χρησιμοποιούνται και μερικές πέτρες **μισολαξευμένες** (ημίξεστες). Αυτό χρειάζεται κυρίως εκεί, όπου οι λιθοδομές σχηματίζουν γωνίες ή έχουν ανοίγματα, π.χ. πόρτες και παράθυρα. Στις θέσεις αυτές χρησιμοποιούνται **αγκωνάρια** (γωνιόλιθοι). Τα αγκωνάρια (A) τοποθετούνται έτσι, ώστε να συμπλέκονται και μεταξύ τους, αλλά και με το κύριο σώμα της λιθοδομής (σχ. 1.5στ.). Οι διαστάσεις τους είναι συνήθως  $50 \times 25 \times 25$  cm ή λίγο μικρότερες. Δίπλα στα αγκωνάρια είναι σκόπιμο να μπαίνουν και άλλες μισολαξευμένες πέτρες, τα παραγκώνια (Π), ώστε να γίνεται ομαλή μετάβαση από το ένα σύστημα δομήσεως στο άλλο.

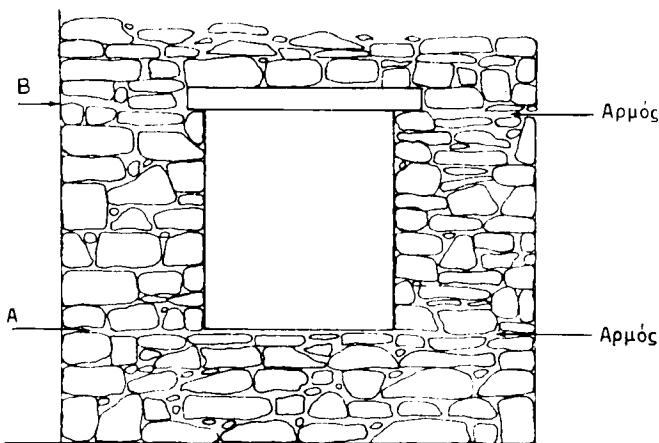
Στην Αττική από την αρχαιότητα τα αγκωνάρια προέρχονταν από τα λατομεία της Πειραιϊκής Χερσονήσου (πώροι λίθοι). Τα τελευταία χρόνια για λόγους οικονομίας χρησιμοποιούνται σαν αγκωνάρια κυρίως τεχνητοί λίθοι, δηλαδή τσιμεντόλιθοι.

Για ένα κυβικό μέτρο λιθοδομής χρειάζονται περίπου  $1,15 m^3$  πέτρες και  $0,33 m^3$  κονίαμα. "Όταν χρησιμοποιούνται αγκωνάρια, ο όγκος του κονιάματος μικραίνει, αλλά ασήμαντα, ενώ ο όγκος των αργών λίθων μικραίνει κατά  $0,02 m^3$  για κάθε αγκωνάρι. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο όγκος της λιθοδομής είναι σημαντικά μικρότερος από τον όγκο των λίθων, που χρησιμοποιούνται για το κτίσιμό της. Η απόδοση δηλαδή της αργολιθοδομής είναι αρκετά μικρότερη από τη μονάδα.

'Οσο κτίζεται η αργολιθοδομή, οι αρμοί παίρνουν τυχαία σχήματα, πρέπει όμως να γίνεται προσπάθεια, ώστε κάθε τόσο να σχηματίζεται ένας οριζόντιος αρμός εδράσεως, που να εκτείνεται πέρα για πέρα σ' όλη τη λιθοδομή (ντουζένι). Οι αρμοί αυτοί γίνονται συνήθως εκεί, όπου διακόπτεται προσωρινά η δουλειά, είτε επειδή

τέλειωσε η μέρα, είτε επειδή πρέπει να ψηλώσουν οι σκαλωσιές (ικριώματα) (σχ. 1.5ζ).

Γενικά για το κτίσιμο των λιθοδομών χρειάζονται σκαλωσιές, ώστε οι τεχνίτες να βρίσκονται πολύ κοντά στο σημείο, όπου γίνεται η δουλειά, χωρίς να χρειάζεται να τεντώνουν τα χέρια τους ή να σκύβουν υπερβολικά. Οι σκαλωσιές αποτελούνται από κατακόρυφα ξύλα (ελατάκια), που στήνονται από τη μια ή και από τις δύο όψεις της λιθοδομής και συνδέονται μεταξύ τους με άλλα ξύλα οριζόντια και διαγώνια. Τα οριζόντια ξύλα (καδρόνια), που είναι κάθετα προς την επιφάνεια της λιθοδομής κατά κανόνα τη διαπερνούν κι έτσι χρειάζεται να μένουν τρύπες (ξυλότρυπες ή σκαλότρυπες) στην κατασκευή. Οι τρύπες αυτές κλείνονται αργότερα, όταν ξηλώνεται η σκαλωσιά. Σε τοίχους αντιστηρίζεως οι σκαλότρυπες μπορούν να μείνουν και μόνιμα, για να διευκολύνουν την αποστράγγιση του εδάφους που βρίσκεται πίσω από τον τοίχο.

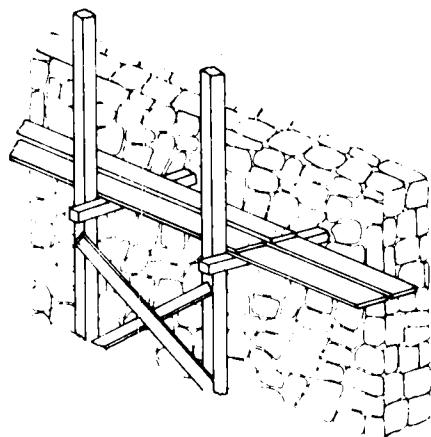


**Σχ. 1.5ζ.**  
Οριζόντιοι αρμοί εργασίας (ντουζένια) σε αργολιθοδομή.

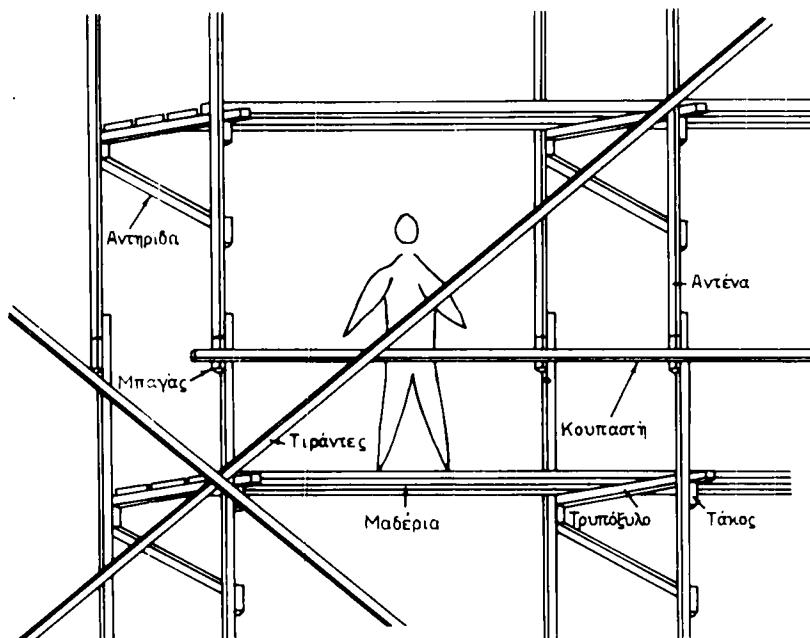
Πάνω στα οριζόντια αυτά ξύλα στηρίζονται **μαδέρια** (δίπλακες), όπου πατούν και κυκλοφορούν οι εργαζόμενοι και ακουμπούν τα εργαλεία τους, τις πέτρες και το κονίαμα (σχ. 1.5η και 1.5θ). Όσο προχωρεί το κτίσιμο, οι σκαλωσιές επεκτείνονται προς τα πάνω και τα μαδέρια μεταφέρονται ψηλότερα. Κάθε ένα μέτρο περίπου πρέπει να προβλέπεται και μια σειρά μαδέρια.

Τα τελευταία χρόνια, εκτός από τις ξύλινες σκαλωσιές, χρησιμοποιούνται στη χώρα μας και μεταλλικές. Οι σκαλωσιές αυτές αποτελούνται κυρίως από σωλήνες, που συνδέονται με κατάλληλους συνδέσμους, που διαφέρουν από το ένα σύστημα στο άλλο. Και στις μεταλλικές σκαλωσιές σα δάπεδο εργασίας χρησιμοποιούνται κατά κανόνα ξύλινα μαδέρια (σχ. 1.5ι, 1.5ια και 1.5ιβ).

Στις αργολιθοδομές χρησιμοποιούνται πέτρες με βάρος 20 ως 50 kg, με όγκο δηλαδή 8 ως 20 κυβικές παλάμες. Οι μεγαλύτερες πέτρες δημιουργούν προβλήματα στη μεταφορά και την τοποθέτησή τους, επειδή έχουν υπερβολικό βάρος και

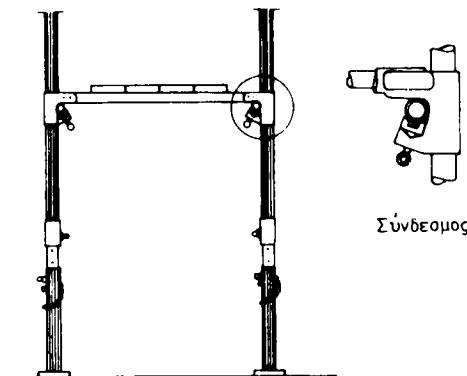


**Σχ. 1.5η.**  
Ξύλινη σκαλωσιά (ικρίωμα) για το κτίσιμο τοίχου.

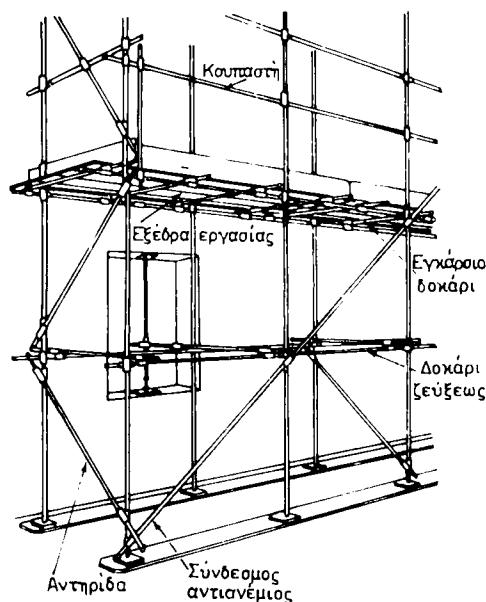


**Σχ. 1.5θ.**  
Τυπική διάταξη ξύλινης σκαλωσιάς με μεγάλο ύψος.

δεν μπορεί να τις δουλέψει ένας τεχνίτης μόνος του. Παλιότερα χρησιμοποιήθηκαν πέτρες με τεράστιες διαστάσεις, στην Ελλάδα π.χ. έχομε τα Κυκλώπεια τείχη και ιδιαίτερα το υπέρυθρο του Θησαυρού του Ατρέα στις Μυκήνες, που ζυγίζει πάνω από 120 τόννους. Η τεχνική αυτή ήταν απαραίτητη τότε, γιατί δεν υπήρχαν άλλα



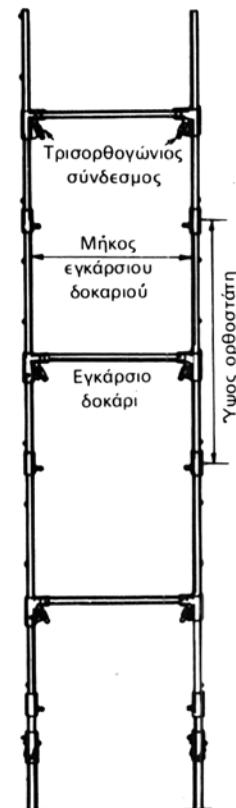
**Σχ. 1.5ι.**  
Μεταλλική σκαλωσιά (ικρίωμα) για κτίσιμο τοίχου.



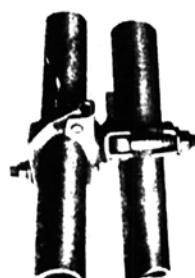
**Σχ. 1.5ια.**  
Τυπική διάταξη σωληνωτής σκαλωσιάς.

κατάλληλα δομικά υλικά, για να κατασκευασθούν έργα με απαιτήσεις μεγάλης αντοχής.

Πέτρες ελαφρότερες από 20 kg πρέπει να αποφεύγονται στις αργολιθοδομές, επειδή μειώνουν την αντοχή της κατασκευής για δύο λόγους:



Σύνδεσμοι Τ με σταθερή ή περιστρεφόμενη κεφαλή. Για τη σύνδεση κουπαστών  $1\frac{1}{2}$ " γύρω από εξέδρες σε σκάλες (δεξιά και αριστερά) κλπ.



### Σχ. 1.5ιβ.

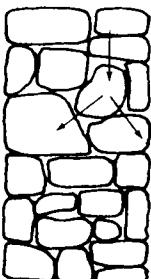
Διάφοροι σύνδεσμοι σωληνωτών ικριωμάτων.

- a) Επειδή οι πέτρες είναι ελαφριές, μικρές σχετικά δυνάμεις οριζόντιες ή λοξές μπορούν να υπερνικήσουν τις τριβές και να τις μετακινήσουν. Τέτοιες δυνάμεις υπάρχουν πάντοτε μέσα στις αργολιθοδομές (σχ. 1.5ιγ), επειδή οι αρμοί εδράσεως δεν είναι ποτέ εντελώς οριζόντιοι.

β) Όσο οι πέτρες είναι μικρότερες, αυξάνεται το ποσοστό του κονιάματος, που έχει γενικά αντοχή πολύ μικρότερη από τις πέτρες.

Αυτά βέβαια ισχύουν για τις κύριες πέτρες της λιθοδομής, γιατί, όπως είπαμε, χρησιμοποιούνται και τα αποκόμματα (τζιβίκια), για να συμπληρώνουν ορισμένα κενά.

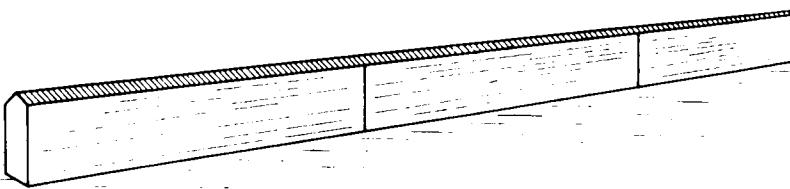
Αφού οι πέτρες πρέπει να είναι μεγάλες, είναι φυσικό ότι οι διαστάσεις των αργολιθοδομών δεν μπορούν να είναι μικρότερες από ορισμένα όρια. Καμιά διάσταση δομικού στοιχείου από αργολιθοδομή δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 50 cm ή σε εξαιρετικές περιπτώσεις από 45 cm. Τα όρια αυτά είναι μια πρόσθετη αιτία, που περιόρισε τη χρήση των λιθοδομών, τουλάχιστον για τις κατασκευές εκείνες, όπου ο χώρος είναι πολύτιμος, όπως π.χ. στις αστικές κατοικίες.



ΤΟΜΗ

Σχ. 1.5ιγ.

Λοξές δυνάμεις, που αναπτύσσονται μέσα στο σώμα της λιθοδομής.



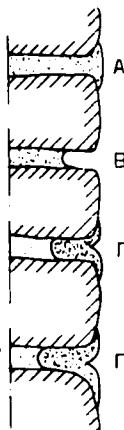
Σχ. 1.5ιδ.

Αρμοί διαστολής σε τοίχο με μεγάλο μάκρος.

Το κτίσιμο της αργολιθοδομής συμπληρώνεται με μια εργασία, που λέγεται **μύστρισμα**. Το μύστρισμα πρέπει να γίνεται, είτε ο τοίχος πρόκειται να σοβαντιστεί είτε όχι. Μόνον όταν προβλέπεται συστηματικό αρμολόγημα της λιθοδομής, πράγμα που δε συμβαίνει κατά κανόνα στις αργολιθοδομές, το μύστρισμα παραλείπεται.

Το μύστρισμα γίνεται συγχρόνως με το κτίσιμο κι έχει σκοπό να προστατεύει τους αρμούς. Μόλις προχωρήσει λίγο το κτίσιμο και στεγνώσει κάπως το κονίαμα (σχ. 1.5ιε, Θέση Α), καθαρίζονται από τα χαλαρά κονιάματα οι αρμοί στις όψεις της λιθοδομής (Θέση Β) και συμπληρώνονται με το ίδιο κονίαμα του κτισίματος (Θέση Γ). Το κονίαμα συμπιέζεται μέσα στους αρμούς για να μη μείνουν κενά και η επιφάνειά του στρώνεται με το μυστρί. Επειδή το κονίαμα έχει την τάση να εμφανίσει ρωγμές εκεί, όπου καταλήγουν οι αρμοί, σχηματίζονται με το μυστρί χαραγές

ακριβώς σ' αυτές τις θέσεις. Οι χαραγές αφήνουν το κονίαμα να συσταλεί, χωρίς να ραγίσει.



Σχ. 1.5ε.

Μύστρισμα αργολιθοδομής: A = Αρχική μορφή. B = Καθάρισμα αρμού. Γ = Μετά το μύστρισμα.

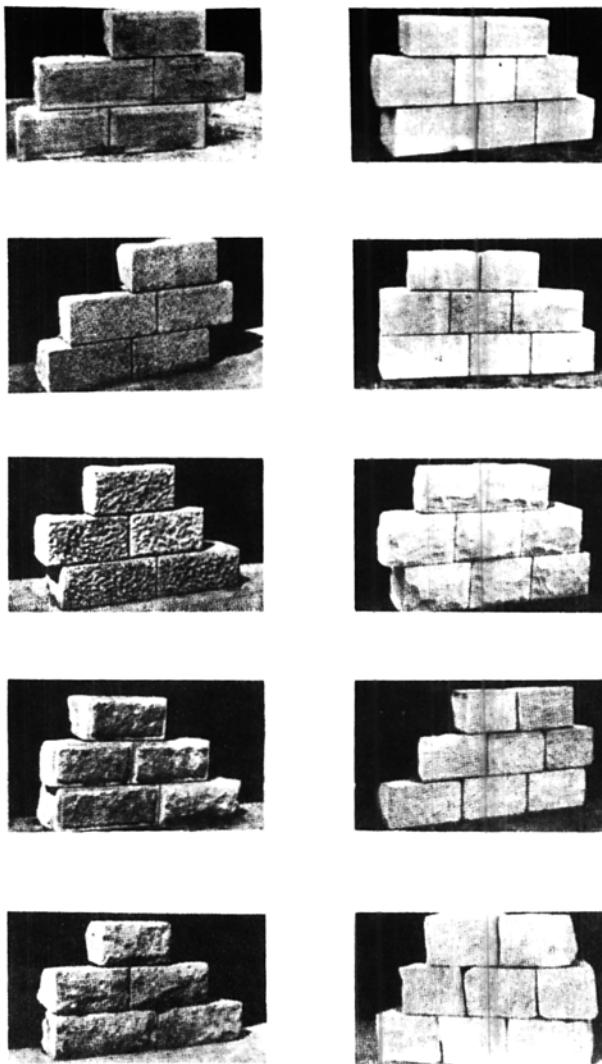
## 1.6 Λιθοδομές με λαξευτές πέτρες.

Οι λαξευτές (πελεκητές, ξεστές) πέτρες, πριν χρησιμοποιηθούν, έχουν αποκήσει μετά από κατάλληλη επεξεργασία το ακριβές γεωμετρικό σχήμα, που χρειάζεται για την κατασκευή της λιθοδομής. Ο βαθμός της επεξεργασίας δεν είναι πάντα ο ίδιος, αλλά εξαρτάται από τις απαιτήσεις του έργου (σχ. 1.6α). Αντίστοιχα είναι και τα εργαλεία, που χρησιμοποιούνται κάθε φορά.

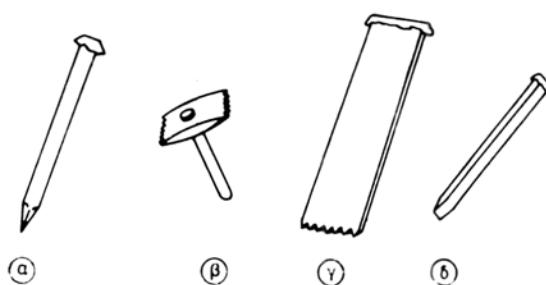
Στο σχήμα 1.6β φαίνονται μερικά από τα εργαλεία των μαρμαράδων (λιθόξων), των τεχνιτών δηλαδή, που λαξεύουν τις πέτρες. Με το **βελόνι** [σχ. 1.6β(α)] γίνεται η πρώτη επεξεργασία, που συνήθως θεωρείται αρκετή για τις έδρες των λίθων, που δεν πρόκειται να φαίνονται μετά το κτίσμα. Μερικές φορές λαξεύονται καί οι ορατές έδρες μόνο με το βελόνι εκτός από ένα στενό περιθώριο γύρω - γύρω (σχ. 1.6γ) και διαμορφώνονται μάλιστα έτσι, ώστε να εξέχουν από τη θεωρητική επιφάνεια της λιθοδομής.

Με τη **θραπίνια** (πλακοειδής σφύρα) [σχ. 1.6β(β)] γίνεται τελειότερη επεξεργασία, ώστε οι επιφάνειες των λίθων να παρουσιάζουν ανωμαλίες το πολύ 2 ως 3 mm. Το ίδιο περίπου αποτέλεσμα έχει και η επεξεργασία με το **χτένι** [σχ. 1.6β(γ)]. Τα περιθώρια των ορατών επιφανειών των λίθων και λουρίδες με πλάτος περίπου 5 cm στις γειτονικές τους έδρες πρέπει να έχουν τουλάχιστον αυτή την επεξεργασία.

Με το **καλέμι** (σμίλη) [σχ. 1.6β (δ)] μπορούν οι επιφάνειες των λίθων να εξομαλυνθούν τέλεια. Αυτή η εργασία περιορίζεται μόνο στις ορατές επιφάνειες και σε στενές λουρίδες των επιφανειών, που συνορεύουν με τις ορατές. Μπορεί να γίνει και τελειότερη επεξεργασία, αν οι πέτρες τριφθούν με ελαφρά πετρά, στοκαρι-



**Σχ. 1.6α.**  
Διάφοροι τύποι λαξευτών λίθων.

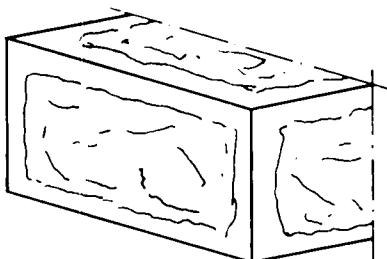


**Σχ. 1.6β.**

Εργαλεία μαρμαράδων (λιθοξόων): (α) Βελόνι. (β) Θραπίνια. (γ) Χτένι. (δ) Καλέμι (σμίλη).

σθούν κλπ., οπότε οι επιφάνειές τους γίνονται λείες ή και σπιλπνές, αρκεί οι πέτρες να είναι σκληρές. Τέτοια επεξεργασία όμως γίνεται μόνο σε πλάκες (μάρμαρα, γρανίτες κλπ.), που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις τοίχων κι όχι σε πέτρες για κτίσιμο.

Με λαξευτές πέτρες κατασκευάζονται τοίχοι σε οικοδομικά έργα, βάθρα σε γέφυρες, αψίδες και θόλοι, τοίχοι αντιστηρίζεως κλπ. Το κτίσιμο με λαξευτές πέτρες είναι εξαιρετικά δαπανηρό και γι' αυτό όλο και πιο σπάνια εφαρμόζεται. Παλιότερα τέτοιες λιθοδομές ήταν συνηθισμένες, τουλάχιστον σε έργα με κάποια ιδιαίτερη σημασία. Σήμερα συνήθως γίνονται απομιμήσεις είτε με λίθινες επενδύσεις, είτε με επιχρισμάτα **αρπφιστέλ** (τύπου τεχνητού λίθου).



Σχ. 1.8γ.

Πέτρα λαξευμένη μόνο στην περιμέτρο της ορατής της έδρας.

Στις λιθοδομές με λαξευτές πέτρες χρησιμοποιείται κονίαμα, αλλά η σημασία του είναι πολύ μικρότερη, επειδή με την κατεργασία των λίθων εξασφαλίζεται η καλή τους έδραση. Το πάχος των αρμών είναι συνήθως 3 ως 6 mm, ενώ όπως είπαμε, στις αργολιθοδομές είναι 2 ως 3 cm και το κονίαμα αντιπροσωπεύει το 1/3 του δύκου των αργολιθοδομών.

Οι αρχαίοι Έλληνες, όταν χρησιμοποιούσαν σε μνημειώδη έργα άριστα επεξεργασμένα μάρμαρα, δε χρησιμοποιούσαν καθόλου κονίαμα, αλλά μόνο μια πολύ λεπτή στρώση από γαλάκτωμα ασβέστη. Αντίθετα στη Ρωμαϊκή εποχή γενικεύθηκε η χρήση των κονιαμάτων.

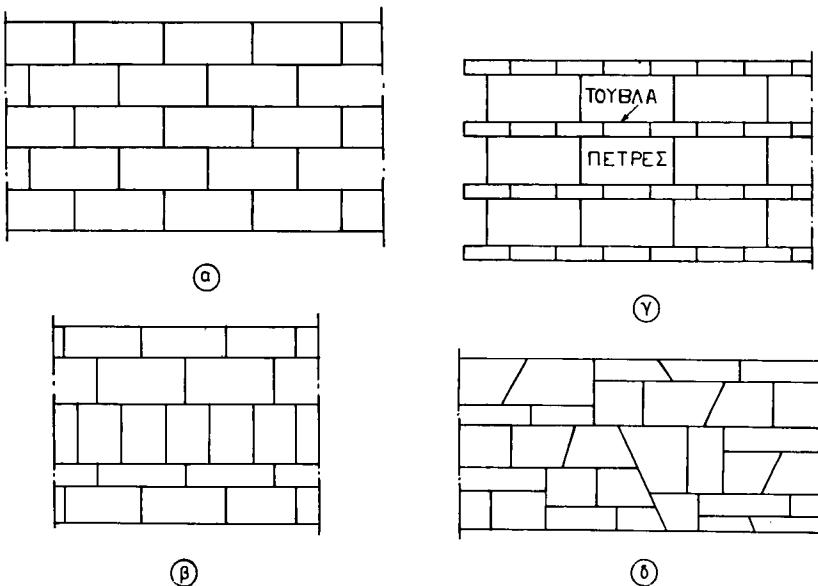
Οι τοίχοι με λαξευτές πέτρες κτίζονται με κάποιο από τα ακόλουθα συστήματα:

α) **Το ισόδομο σύστημα.** Οι πέτρες τοποθετούνται κατά στρώσεις με το ίδιο ύψος, είναι επομένως όλες ισοϋψείς, μπορεί όμως είτε να είναι όλες ίσες μεταξύ τους είτε όχι [σχ. 1.6δ (α)]. Κάθε πέτρα έχει ορατή επιφάνεια σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου.

β) **Το ψευδοισόδομο σύστημα.** Οι πέτρες τοποθετούνται κατά στρώσεις, αλλά κάθε στρώση μπορεί να έχει διαφορετικό ύψος από τις άλλες. Οι πέτρες είναι άνισες, αλλά οι ορατές τους επιφάνειες έχουν πάλι σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου [σχ. 1.6δ (β)]. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε πολύ στη Βυζαντινή αρχιτεκτονική και μάλιστα με την ακόλουθη παραλλαγή. Οι στρώσεις ήταν μια φαρδειά από λαξευτές πέτρες και μια στενή από τούβλα [σχ. 1.6δ (γ)] και αυτό επαναλαμβανόταν σε όλο το ύψος της κατασκευής.

γ) **To ανισόδομο σύστημα.** Οι αρμοί εδράσεως είναι οριζόντιοι και οι υπόλοιποι αρμοί, που λέγονται αρμοί ώσεως, κατά κανόνα αλλά όχι απαραίτητα είναι κατακόρυφοι, δεν υπάρχουν όμως στρώσεις, που να συνεχίζονται σ' όλο το μάκρος του τοίχου και οι πέτρες δεν έχουν όλες τις ορατές τους επιφάνειες με σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου [σχ. 1.6δ (δ)].

Σε όλα τα συστήματα αυτά ισχύει ένας γενικός κανόνας. Οι αρμοί στις όψεις της λιθοδομής, που δεν είναι οριζόντιοι, πρέπει να διασταυρώνονται έτσι, ώστε κάθε πέτρα να στηρίζεται σε δυο τουλάχιστον πέτρες της από κάτω στρώσεως.

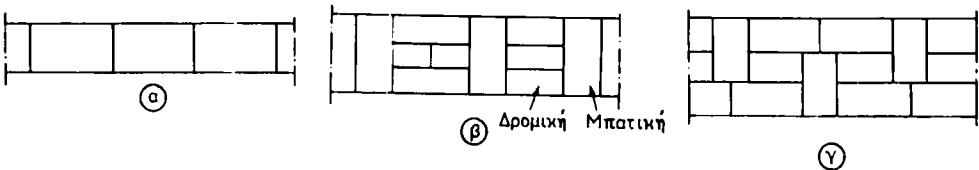


Σχ. 1.66.

Συστήματα για το κτίσιμο λιθοδομών με λαξευτές πέτρες: (α) Ισόδομο. (β) Ψευδοισόδομο. (γ) Ψευδοισόδομο βυζαντινού τύπου. (δ) Ανισόδομο.

Τα συστήματα, που περιγράφαμε, αναφέρονται στις όψεις των λιθοδομών. Οι πέτρες όμως μπορούν να τοποθετηθούν και ως προς το πάχος του τοίχου κατά διάφορους τρόπους. Όταν το πάχος του τοίχου είναι μικρό, όλες οι πέτρες έχουν το ίδιο πλάτος, ίσο με το πάχος του τοίχου. Τοποθετούνται έτσι, ώστε η μεγαλύτερη διάστασή τους να είναι παράλληλη με το μάκρος του τοίχου [σχ. 1.6ε (α)]. Οι πέτρες αυτές λέγονται **δρομικές**, όπως άλλωστε **δρομική** λέγεται και η λιθοδομή.

Όταν η λιθοδομή έχει μεγαλύτερο πάχος, τότε μερικές πέτρες έχουν μάκρος ίσο με το πάχος αυτό και τοποθετούνται με τη μεγάλη τους διάσταση κάθετη προς το μάκρος της λιθοδομής. Οι πέτρες αυτές λέγονται **μπατικές** (διάτονες). Οι υπόλοιπες πέτρες κτίζονται δρομικές, αλλά χρειάζονται δύο ή και τρεις, η μια δίπλα στην άλλη, για να συμπληρώσουν το πάχος του τοίχου [σχ. 1.6ε (β)]. Για τοίχους πολύ χοντρούς μπορεί και οι μπατικές πέτρες να μη φθάνουν από τη μια όψη τους ως την άλλη, αλλά να πιάνουν ένα μέρος μόνον από το πάχος του τοίχου [σχ. 1.6ε (γ)].



Σχ. 1.6ε.

Οριζόντιες τομές λιθοδομών με πέτρες λαξευτές:  
(α) Τοίχος δρομικός. (β), (γ) Τοίχοι μπατικοί (διάτονοι).

### 1.7 Λιθοδομές με πέτρες μισολαξευμένες.

Οι λιθοδομές με πέτρες μισολαξευμένες (μισοπελεκημένες, ημίξεστες), όπως και οι λιθοδομές με λαξευτές πέτρες, εφαρμόζονται εκεί, όπου ενδιαφέρει η καλή εμφάνιση της λιθοδομής. Η κατασκευή αυτή είναι πολύ φθηνότερη από την προηγούμενη, εξακολουθεί όμως να είναι πολύ ακριβή σε σύγκριση με την αργολιθοδομή. Γι' αυτό η χρήση της περιορίζεται σε πολυτελείς κατοικίες, κτίρια με μνημειακή εμφάνιση κ.ο.κ., όπου είναι δικαιολογημένο να αυξηθεί το κόστος, για να βελτιωθεί η εμφάνιση του εργού.

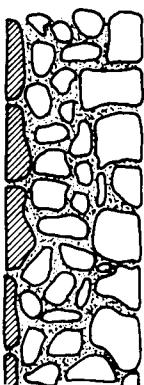
Οι μισολαξευμένες πέτρες χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για τη μια όψη της λιθοδομής και σπανιότερα για τις δύο, ενώ ο υπόλοιπος όγκος της λιθοδομής κτίζεται με πέτρες αργές. Είναι λοιπόν πολύ πιο πιθανό από ό,τι στις αργολιθοδομές, να γίνει η κακοτεχνία του σχήματος 1.5δ, να κατασκευασθεί δηλαδή ο τοίχος από δύο λεπτές εξωτερικές στρώσεις, που συνδέονται πολύ άσχημα μεταξύ τους. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχουν δυο μπατικές πέτρες σε καθε τετραγωνικό μέτρο λιθοδομής.

Οι μισολαξευμένες πέτρες της όψεως δεν πρέπει να έχουν πάχος μικρότερο από τη μικρότερη διάσταση της ορατής τους επιφάνειας. Απαγορεύεται δηλαδή να χρησιμοποιούνται πέτρες πλακοειδείς και να κτίζονται όρθιες (παναγίες), ώστε να αποτελούν ουσιαστικά επένδυση της λιθοδομής (σχ. 1.7α).

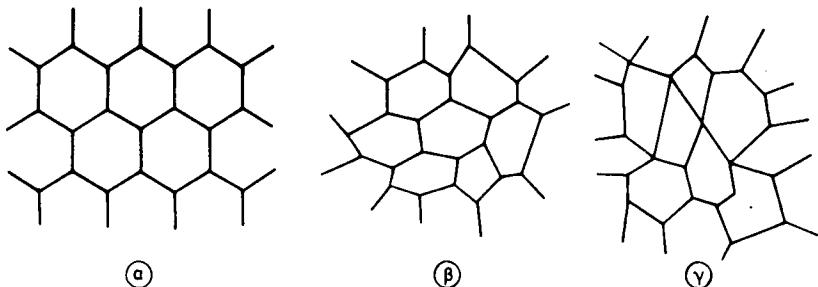
Στις λιθοδομές με πέτρες μισολαξευμένες εφαρμόζονται τα ίδια συστήματα δομήσεως, όπως και όταν χρησιμοποιούνται πέτρες λαξευτές: το ισόδομο, το ψευδισόδομο και πιο συχνά το ανισόδομο. Εκτός απ' αυτά, εφαρμόζεται και το **μωσαϊκό σύστημα**, που μπορεί να είναι **ομαλό ή ανώμαλο**.

Στο ομαλό μωσαϊκό οι πέτρες έχουν ορατές επιφάνειες με σχήμα κανονικού εξαγώνου ή εξαγώνου με ένα κατακόρυφο και έναν οριζόντιο άξονα συμμετρίας κι έχουν όλες το ίδιο μέγεθος [σχ. 1.7β (α)]. Το ένα τρίτο των αρμών είναι κατακόρυφοι και οι υπόλοιποι λοξοί, δεν υπάρχουν δηλαδή καθόλου οριζόντιοι αρμοί.

Στο ανώμαλο μωσαϊκό οι πέτρες έχουν άνισες ορατές επιφάνειες. Το σχήμα τους είναι πάλι πολυγωνικό, όχι όμως αναγκαστικά εξαγωνικό, αν και γίνεται προσπάθεια να κυριαρχούν τα εξάγωνα. Δε χρειάζεται να υπάρχουν αυστηρά κατακόρυφοι αρμοί, αλλά γενικά δεν πρέπει να υπάρχουν αρμοί οριζόντιοι. Χρειάζεται προσοχή, ώστε σε κάθε κορυφή να συναντιώνται μόνο τρεις αρμοί και ανάμεσα σε δυο γειτονικά σημεία συναντήσεως οι αρμοί να είναι όσο γίνεται πιο ευθύγραμμοι. Στο σχήμα 1.7β (β) φαίνεται ένα παράδειγμα καλού και στο σχήμα 1.7β (γ) ένα παράδειγμα κακού ανώμαλου μωσαϊκού.

**Σχ. 1.7α.**

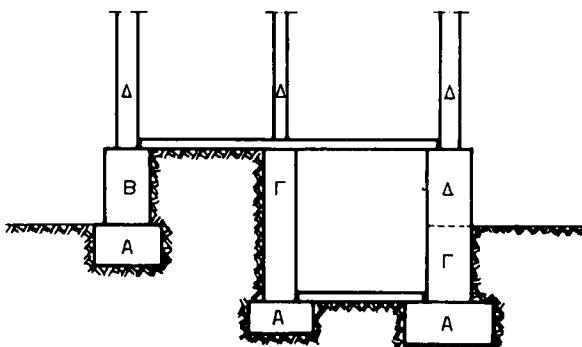
Κακό κτίσιμο τοίχου με πέτρες μισολαξευμένες, που έχουν μπει όρθιες (παναγίες) στη μία του όψη.

**Σχ. 1.7β.**

Μωσαϊκές λιθοδομές: (α) Ομαλό μωσαϊκό. (β) Καλό ανώμαλο μωσαϊκό. (γ) Κακό ανώμαλο μωσαϊκό.

### 1.8 Τοίχοι οικοδομικών έργων.

Η κύρια εφαρμογή των λιθοδομών είναι η κατασκευή τοίχων. Στα οικοδομικά έργα οι τοίχοι μπορεί να είναι τοίχοι θεμελίων (Α), βάσεως (Β), υπογείων (Γ) ή ανωδομής (Δ), άσχετα αν κτίζονται με πέτρες αργές, λαξευτές ή μισολαξευμένες (σχ. 1.8α).

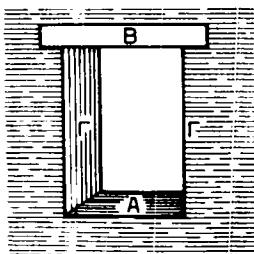
**Σχ. 1.8α.**

Διάφορα είδη τοίχων: Α = Τοίχοι θεμελίων. Β = Τοίχοι βάσεων. Γ = Τοίχοι υπογείων χώρων.  
Δ = Τοίχοι ανωδομής.

Οι τοίχοι των θεμελίων δεν έχουν καμιά ορατή επιφάνεια. Στο κτίσιμο όλη η προσοχή πρέπει να δίνεται στο να μπαίνουν οι πέτρες στη σωστή τους θέση και να συνδέονται καλά με το κονίαμα, που πρέπει να είναι υδραυλικό, αφού ο μοναδικός προορισμός του τοίχου είναι να έχει την απαραίτητη αντοχή, ώστε να μεταβιβάζει τις δυνάμεις στο έδαφος. Πρέπει να αποφεύγεται η κατασκευή των τοίχων των θεμελίων με τη μέθοδο της λιθορριπής, όπως και η συνήθεια να γίνεται κάποια οικονομία στο κονίαμα τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητα. Οι κακοτεχνίες στα θεμέλια μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα μια έστω και μικρή καθίζηση της ανωδομής, που να στοιχίσει πολύ ακριβά σε σχέση με την οικονομία, που μπορεί να έχει γίνει.

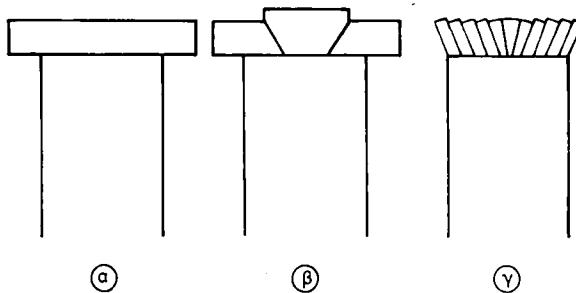
Οι τοίχοι βάσεως έχουν μια ορατή επιφάνεια, την εξωτερική, επειδή από μέσα υπάρχουν συνήθως επιχώσεις, που πάνω τους στρώνεται το χαμηλότερο δάπεδο της οικοδομής. Οι τοίχοι υπογείων έχουν κι αυτοί μια μόνο ορατή επιφάνεια, την εσωτερική. Οι τοίχοι βάσεως και υπογείων λοιπόν λειτουργούν σαν τοίχοι αντιστροφίεως, δέχονται δηλαδή και αθήσεις από τα χώματα, που βρίσκονται μόνο από τη μια τους όψη. Πρέπει λοιπόν να κατασκευάζονται κάπως παχύτεροι, ώστε να έχουν μεγαλύτερη ευστάθεια και αντοχή. Είναι σκόπιμο και σ' αυτούς τους τοίχους να χρησιμοποιούνται κονιάματα υδραυλικά, όχι μόνον επειδή δεν είναι απόλυτα εκτεθειμένα στον αέρα, αλλά και επειδή πρέπει να έχουν μεγαλύτερη αντοχή και στεγανότητα.

Οι τοίχοι ανωδομής έχουν και τις δυο τους επιφάνειες ορατές, ενώ συνήθως έχουν και διάφορα ανοίγματα, κυρίως πόρτες και παράθυρα. Κατά κανόνα τα ανοίγματα αυτά έχουν σχήμα ορθογώνιο. Η κάτω πλευρά τους (Α) λέγεται **ποδιά** για τα παράθυρα και **κατώφλι** για τις πόρτες, η πάνω (Β) **ανώφλι** (υπέρθυρο, πρέκι) και οι δυο κατακόρυφες (Γ) **λαμπάδες** (παραστάδες) (σχ. 1.8β).

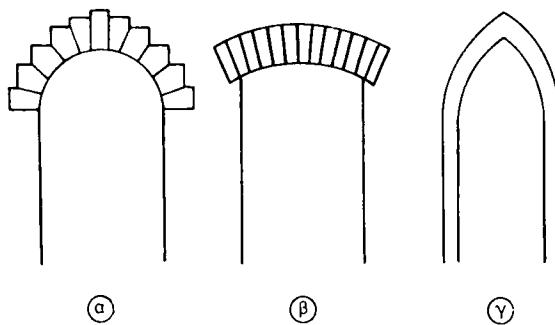


**Σχ. 1.8β.**  
Όνοματολογία στοιχείων κουφώματος:  
Α = Κατώφλι ή ποδιά. Β = Ανώφλι (υπέρθυρο, πρέκι). Γ = Λαμπάδες (παραστάδες).

Οι παραστάδες μορφώνονται συνήθως από τη λιθοδομή, με τη βοήθεια αγκωναριών, όταν ο τοίχος είναι από αργολιθοδομή. Τα κατώφλια και οι ποδιές μπορούν να είναι πάλι στοιχεία της λιθοδομής ιδίως όταν χρησιμοποιούνται πέτρες λαξευτές, συνήθως όμως κατασκευάζονται από άλλα υλικά, π.χ. πλάκες μαρμάρου, σκυρόδεμα και τα παρόμοια. Τα ανώφλια κατασκευάζονται συνήθως από οπλισμένο σκυρόδεμα και σπανιότερα από μέταλλο ή ξύλο. Μπορούν να κατασκευασθούν και από λαξευτές πέτρες [σχ. 1.8γ (α) και (β)] ή τούβλα [(σχ. 1.8γ (γ))], συνήθως όμως τότε παίρνουν καμπύλη μορφή (σχ. 1.8δ), σχηματίζουν δηλαδή αψίδες, που γι' αυτές αναφέρονται περισσότερα πράγματα σε επόμενη παράγραφο (1.10).



**Σχ. 1.8γ.**  
Τύποι επιπέδων ανωφλίων.

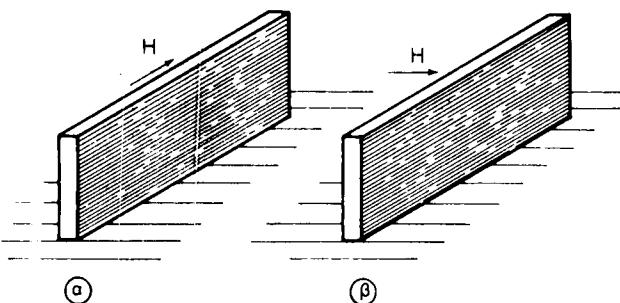


**Σχ. 1.8δ.**  
Τύποι καμπύλων ανωφλίων (αψίδες).

Περισσότερα στοιχεία σχετικά με τις πόρτες και τα παράθυρα αναφέρονται στο βιβλίο της Οικοδομικής.

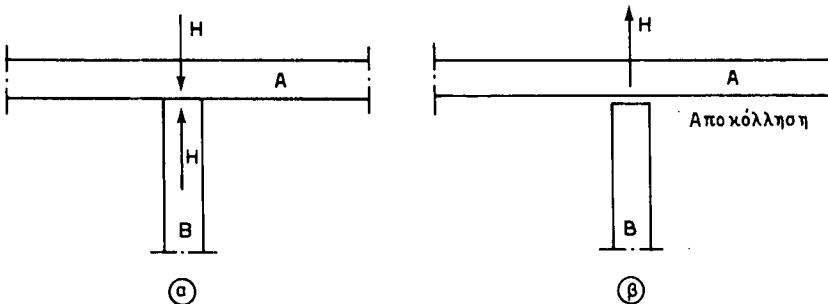
Οι τοίχοι ανωδομής δέχονται κυρίως κατακόρυφα φορτία από το ίδιο το βάρος τους, αλλά και από το βάρος των πατώματων και των στεγών, που στηρίζονται πάνω τους. Συχνά εκτός από τα κατακόρυφα φορτία υπάρχουν και οριζόντια, είτε από τα πατώματα και τις στέγες, είτε από εξωτερικές αιτίες, όπως ο άνεμος ή ο σεισμός. Όταν τα οριζόντια αυτά φορτία ενεργούν κατά μήκος του τοίχου [σχ. 1.8ε (α)], δεν είναι επικίνδυνα, όταν όμως ενεργούν κάθετα προς τον τοίχο, [σχ. 1.8ε (β)], μπορούν εύκολα να τον ανατρέψουν. Γ' αυτό οι τοίχοι της ανωδομής πρέπει πάντοτε να συνδέονται καλά στις γωνιές και τις διασταυρώσεις, ώστε κάθε τέτοια δύναμη να μεταβιβάζεται σε κάποιον άλλο τοίχο κάθετο με τον πρώτο, παράλληλο δηλαδή με τη διεύθυνσή της, κι έτσι να αποφεύγεται ο κίνδυνος της ανατροπής. Η σύνδεση των τοίχων με τα πατώματα και τις στέγες αυξάνει βέβαια κάπως την ευστάθειά τους, δεν είναι όμως αρκετή.

Στις θέσεις, όπου οι τοίχοι σχηματίζουν γωνιές, ταύ ή σταυρούς, η οριζόντια δύναμη μπορεί είτε να πιέζει τον ένα τοίχο πάνω στον άλλο [σχ. 1.8στ (α)], είτε ο ένας τοίχος να τραβά τον άλλο [σχ. 1.8στ (β)]. Στην πρώτη περίπτωση στην περιοχή της συνδέσεως υπάρχουν θλιπτικές τάσεις και οι δυνάμεις μεταβιβάζονται ομαλά,



Σχ. 1.8ε.

Οριζόντια φορτία, που εφαρμόζονται σε τοίχους: (α) Ακίνδυνο κατά μήκος φορτίο.  
 (β) Επικίνδυνο εγκάρσιο φορτίο, που τείνει να ανατρέψει τον τοίχο.

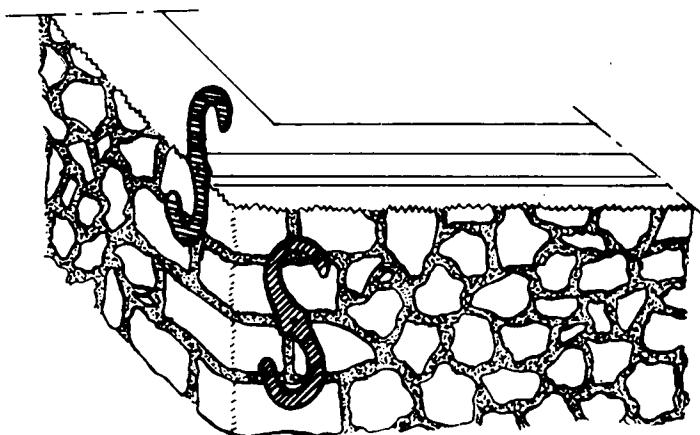


Σχ. 1.8στ.

Μεταβίβαση οριζόντιων φορτίων από ένα τοίχο σε άλλον κάθετο με τον πρώτο:  
 (α) Θλίψη = Ασφαλής μεταβίβαση. (β) Εφελκυσμός = Αποκόλληση.

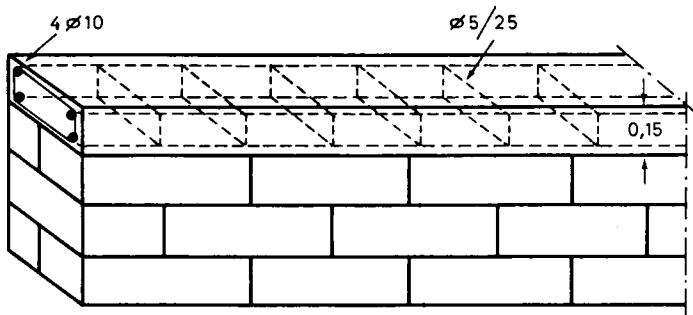
αρκεί οι πέτρες να είναι κατάλληλα κτισμένες και να συμπλέκονται καλά μεταξύ τους.

Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση οι τάσεις είναι εφελκυστικές και υπάρχει κίνδυνος να ξεκολλήσει ο ένας τοίχος απ' τον άλλο. Για να αποφύγουν μια τέτοια αποκόλληση, τοποθετούσαν άλλοτε μέσα στο κονίαμα μερικών οριζόντιων αρμών (ντουζενιών) ειδικούς χαλύβδινους ελκυστήρες, που στην κεφαλή τους βίδωναν ειδικά ελάσματα αγκυρώσεως (σχ. 1.8ζ). Σήμερα οι ελκυστήρες αυτοί έχουν αντικατασταθεί με **διαζώματα** (σαινάζ) από οπλισμένο σκυρόδεμα (σχ. 1.8η). Ο αντισεισμικός κανονισμός, που ισχύει για όλη την Ελλάδα, επιβάλλει τα διαζώματα αυτά στη στάθμη κάθε δαπέδου και στη στάθμη της στέγης, ενώ για τις πιο επικίνδυνες περιοχές της χώρας, προβλέπονται κι άλλα σ' ενδιάμεσες στάθμες. Το πλάτος τους πρέπει να είναι ίσο με το πάχος του τοίχου και το ύψος τους τουλάχιστον 15 cm. Ο οπλισμός τους πρέπει να αποτελείται από τέσσερεις τουλάχιστον ράβδους Ø10 κατά μήκος των τεσσάρων ακμών τους και 4 τουλάχιστον συνδετήρες Ø5 για κάθε μέτρο του μήκους τους. Εκεί που ο ένας τοίχος συναντά κάποιον άλλο σχηματίζοντας γωνία, ταυ τί σταυρό, ο κατά μήκος οπλισμός των αντίστοιχων διαζωμάτων



Σχ. 1.8ζ.

Ελάσματα αγκυρώσεως για τη σύνδεση δύο τοίχων από λιθοδομή καθέτων μεταξύ τους.



Σχ. 1.8η.

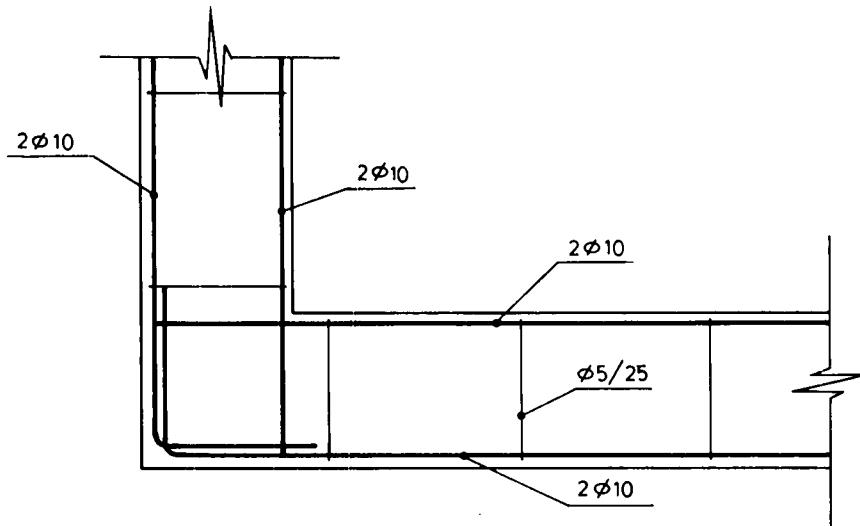
Διάζωμα (σαινάζ) τοίχου κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

πρέπει να συνεχίζεται μέσα στο άλλο διάζωμα, όπως φαίνεται στο σχ. 1.8θ.

Για την κατασκευή των διαζωμάτων χρειάζεται βέβαια να διακοπεί το κτίσιμο, να κατασκευασθεί ένα στοιχειώδες καλούπι (ξυλότυπος), να μπει ο οπλισμός, να διαστρωθεί το σκυρόδεμα, να πήξει αρκετά κι έπειτα να συνεχισθεί το κτίσιμο.

Υπάρχουν περιπτώσεις, που ένας τοίχος μπορεί να δέχεται δυνάμεις κάθετες προς αυτόν και δε διασταυρώνεται με άλλους τοίχους σε αρκετά πυκνές θέσεις. Για να εξασφαλισθεί ένας τέτοιος τοίχος από τον κίνδυνο της ανατροπής, μπορεί να ενισχυθεί με ορισμένα στοιχεία, πάλι από λιθοδομή, που παίρνουν τη μορφή είτε **παραστάδων** (πιλάστρων) είτε **αντηρίδων**, όπως φαίνονται στο σχήμα 1.8ι. Παραδείγματα τέτοιων κατασκευών συναντάμε πολλά στη γοτθική αρχιτεκτονική, που χαρακτηρίζεται από τα μεγάλα ύψη και τη μεγάλη λυγερότητα, αλλά και στη Βυζαντινή αρχιτεκτονική, κυρίως σε εκκλησίες.

Οι κανονισμοί, που ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα, απαγορεύουν την κατασκευή τοίχων, που φέρουν φορτία, σε οικοδομές, που έχουν περισσότερα από ένα πατώματα πάνω απ' το υπόγειο και το ισόγειο. Επειδή λόγω του μεγάλου τους βάρους

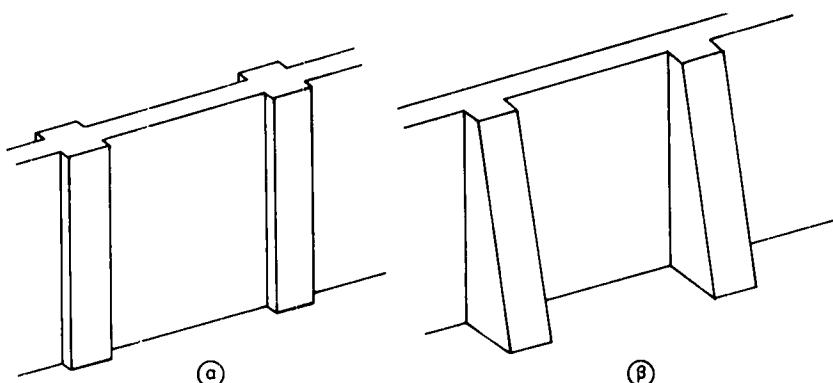


Σχ. 1.8θ.

Ενισχύσεις τοίχων: (a) Παραστάδες (πιλάστρα). (β) Αντηρίδες.

δεν κατασκευάζονται τοίχοι από λιθοδομή, που να φέρονται από άλλα δομικά στοιχεία, στα οικοδομικά τουλάχιστον έργα δεν κατασκευάζονται σήμερα τοίχοι από λιθοδομή με ύψος μεγαλύτερο από 10 m. Για ένα τέτοιο ύψος οι θλιπτικές τάσεις, που αναπτύσσονται μέσα στις λιθοδομές από το βάρος τους και τα κατακόρυφα φορτία των πατωμάτων και της στέγης, είναι πολύ μικρές σχετικά με την αντοχή όχι μόνο των λίθων, αλλά και των κονιαμάτων.

Το συμπέρασμα είναι ότι μια καλοκτισμένη λιθοδομή δε χρειάζεται υπολογισμό, για να διαπιστώσουμε αν έχει την απαραίτητη αντοχή. Πολύ μεγαλύτερη σημασία από την αντοχή των λίθων και των κονιαμάτων έχει το σωστό κτίσιμο, το να μπαίνουν δηλαδή οι κατάλληλες πέτρες με τέχνη στις κατάλληλες θέσεις και να υπάρχει αρκετό και σωστά μοιρασμένο κονίαμα.



Σχ. 1.8ι.

Ενισχύσεις τοίχων: (a) Παραστάδες (πιλάστρα). (β) Αντηρίδες.

## 1.9 Διάνοιξη Θυρών και παραθύρων σε υπάρχοντες τοίχους.

Η λιθοδομή είναι μια κατασκευή, που μπορεί να ζήσει και αιώνες ακόμη, αν έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τους κανόνες, που αναφέρονται στην παράγραφο 1.3. Είναι πολύ φυσικό στη μακρά ζωή ενός κτιρίου με λιθοδομές να αλλάξει η λειτουργία του ή ακόμα και οι γενικότερες ανάγκες αυτών που το χρησιμοποιούν. Για το λόγο αυτό είναι συνηθισμένο το φαινόμενο να χρειάζεται να ανοιχτούν σε μια παλιά λιθοδομή καινούργια κουφώματα, πόρτες ή παράθυρα. Τέτοιες ανάγκες παρουσιάζονται ιδιαίτερα στις αναπαλαιώσεις διατηρητέων κτιρίων, που τα τελευταία χρόνια γίνονται πολύ συχνά στην Ελλάδα, αλλά και σε άλλες χώρες. Η εργασία της διανοίξεως των κουφωμάτων είναι πολύ σοβαρή και επικίνδυνη και πρέπει να εκτελείται με προσοχή και να λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα.

Οι λιθοδομές γενικά είναι κατασκευές φέρουσες, ο τοίχος λοιπόν που πρόκειται να τρυπηθεί στηρίζει κατά κανόνα κάποια στοιχεία του κτιρίου. Πριν αρχίσει επομένως οποιαδήποτε εργασία πρέπει να υποστυλωθούν οι κατασκευές που στηρίζονται στον τοίχο αυτό, ώστε τα φορτία, αντί να φορτίζουν τον τοίχο, να φορτίζουν τα προσωρινά υποστυλώματα. Η υποστύλωση (μπουντελιάρισμα) γίνεται συνήθως με ξύλα, μπορούν δωματίων να χρησιμοποιηθούν και μεταλλικά στοιχεία (σχ. 4.5ιβ και 4.5ιγ). Είναι σωστό να γίνεται κάποια εκτίμηση των φορτίων, που αντιστοιχούν στην περιοχή του τοίχου που μας ενδιαφέρει, ώστε να ελέγχεται αν επαρκούν οι διατομές των ξύλινων ή μεταλλικών στύλων για να τα αναλάβουν. Η υποστύλωση γίνεται και από τις δύο πλευρές του τοίχου, εκτός αν ο τοίχος είναι εξωτερικός, οπότε γίνεται μόνο στο εσωτερικό του κτιρίου. Για να σφηνωθούν οι ξύλινοι στύλοι στην οροφή, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται ένα ζευγάρι σφήνες [σχ. 4.5στ(γ)], ενώ για τους μεταλλικούς στύλους η σφήνωση γίνεται συνήθως με μια κοχλιωτή διάταξη. Συνιστάται επίσης να συνδέονται μεταξύ τους οι κατακόρυφοι στύλοι με οριζόντια ή διαγώνια στοιχεία.

Όταν συμπληρωθεί και ελεγχθεί η υποστύλωση, μπορεί να αρχίσει το γκρέμισμα του τοίχου. Το γκρέμισμα πρέπει να αρχίσει από πάνω και να συνεχιστεί προς τα κάτω, οι πέτρες δηλαδή πρέπει να αφαιρούνται με την ανάποδη σειρά απ' αυτήν που τοποθετήθηκαν αρχικά, όταν χτιζόταν ο τοίχος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην αφαίρεση της πρώτης πέτρας, ώστε να μη γίνουν ζημιές στην κατασκευή, που στηρίζεται στον τοίχο. Από κει και πέρα οι πέτρες αφαιρούνται σχετικά ευκολότερα με τη βοήθεια λοστών και άλλων κατάλληλων εργαλείων. Το γκρέμισμα γίνεται μόνον από τη μια μεριά του τοίχου, ώστε να αποφεύγονται ατυχήματα. Οι πρώτες πέτρες, που αφαιρούνται με ιδιαίτερη προσοχή, μεταφέρονται χέρι με χέρι στο πάτωμα από τη μεριά που γίνεται η εργασία. Οι υπόλοιπες μπορούν να σπρώχνονται και να πέφτουν προς την αντίθετη πλευρά, εφόσον κάτι τέτοιο δεν είναι επικίνδυνο. Όταν τελειώσει το γκρέμισμα, το άνοιγμα που δημιουργείται είναι πολύ φαρδύτερο επάνω από όσο είναι κάτω και γενικά πολύ μεγαλύτερο από το κούφωμα, που τελικά θέλομε να διαμορφώσομε.

Η τρίτη φάση της δουλειάς είναι το χτίσιμο των λαμπάδων ή και της ποδιάς, αν πρόκειται για παράθυρο. Εδώ διακρίνομε δύο περιπτώσεις. Αν ο τοίχος είναι σοβαντισμένος, είναι προτιμότερο να γίνει η εργασία αυτή με τη διάστρωση απλού σκυροδέματος. Κατασκευάζονται λοιπόν κατάλληλα καλούπια (παράγραφος 4.5.3) και συμπληρώνονται με προσοχή όλα τα κενά με σκυρόδεμα, που περιέχει 200 kg

τοιμέντο στο κυβικό μέτρο. Αν η λιθοδομή είναι ορατή, η κατασκευή της ποδιάς και των λαμπάδων γίνεται υποχρεωτικά πάλι με λιθοδομή. Πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο καλύτερος τεχνίτης που διαθέτομε, για να μπορέσει να μιμηθεί το σύστημα δομήσεως του υπόλοιπου τοίχου, ώστε να μη διακρίνεται το νέο κομμάτι του τοίχου από το παλιό. Θα χρησιμοποιηθούν βέβαια οι πέτρες που προκύψανε από το γκρέμισμα, θα χρειαστούν όμως και αγκωνάρια, που θα πρέπει να αναζητηθούν με προσοχή και να υποστούν ίσως κάποια επεξεργασία, ώστε να μοιάζουν με τα αγκωνάρια του υπόλοιπου τοίχου.

Στη συνέχεια τοποθετείται το ανώφλιο (πρέκι), που θα πρέπει να είναι όμοιο με τα ανώφλια του υπόλοιπου τοίχου. Αν βέβαια ο τοίχος είναι σοβαντισμένος, το απλούστερο είναι να χρησιμοποιήσουμε ανώφλια από οπλισμένο σκυρόδεμα, που τα κατασκευάζομε σε κάποια θέση κοντά στο κτίριο.

Η τελευταία φάση της δουλειάς είναι η ανακατασκευή της λιθοδομής πάνω από το κούφωμα. Στη φάση αυτή ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις τελευταίες πέτρες, που πρέπει να είναι μισολαξευμένες, ώστε να μπορέσουν να συμπληρώσουν καλά το κενό κάτω από την οροφή. Αν ο τοίχος είναι σοβαντισμένος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τούβλα αντί πέτρες και να εφαρμόσουμε τη μέθοδο χτισίματος τοίχων, που δεν είναι φέροντες (σχ. 2.6β).

Όταν συμπληρωθούν όλες οι εργασίες που περιγράψαμε αφήνομε να περάσουν μια-δυο μέρες, για να πήξουν τα κονιάματα και έπειτα αφαιρούμε και απομακρύνομε την υποστύλωση.

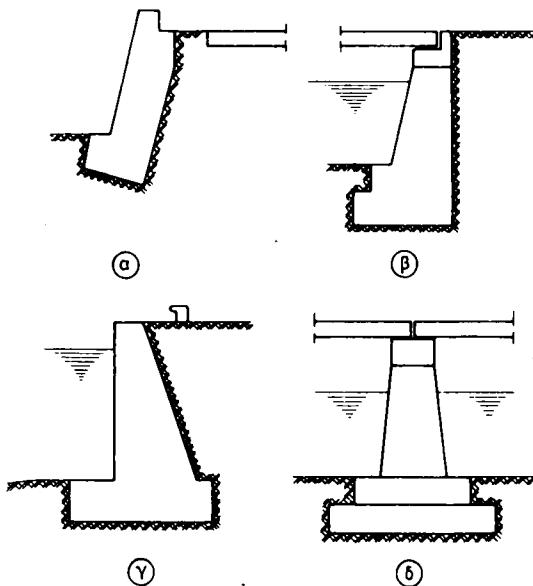
## 1.10 Τοίχοι αντιστηρίζεως και παρόμοιες κατασκευές.

Οι λιθοδομές εξακολουθούν να εφαρμόζονται συχνά στην οδοποία για την κατασκευή τοίχων αντιστηρίζεως [σχ. 1.10α(α)]. Τοίχοι αντιστηρίζεως βέβαια κατασκευάζονται και σε άλλα είδη έργων: σιδηροδρομικά, υδραυλικά, οικοδομικά κλπ. Άλλες κατασκευές, που μοιάζουν με τους τοίχους αντιστηρίζεως, είναι τα ακρόβαθρα των γεφυρών [σχ. 1.10α(β)], οι κρηπίδες των λιμανιών [σχ. 1.10α(γ) κλπ. Λιγότερες ομοιότητες παρουσιάζουν τα μεσόβαθρα των γεφυρών [σχ. 1.10α(δ)], αν και έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με τα προηγούμενα.

Στις κατασκευές αυτού του είδους, [όπως αναφέρεται και στην παρ. 7.3 του βιβλίου «Γενική Δομική I»] ενεργούν δυνάμεις με αξιόλογες οριζόντιες συνιστώσες (σχ. 1.10β). Έτσι σε μια οριζόντια τομή Α-Α του τοίχου (σχ. 1.10γ) δεν ενεργεί μόνο μια εσωτερική κατακόρυφη δύναμη P, όπως στους συνηθισμένους τοίχους, αλλά και μια οριζόντια δύναμη H, όπως και μια ροπή M. Η κατακόρυφη δυναμη προκαλεί θλιπτικές τάσεις, αλλά ο συνδυασμός της με τη ροπή κάνει τις τάσεις αυτές να είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένες (σχ. 1.10δ), επειδή ισοδυναμεί με μια μετάθεση της κατακόρυφης δυνάμεως P από το μέσο της τομής σε μια νέα θέση, που απέχει από την άκρη της κατά  $\xi < b/2$ . Όταν η ροπή είναι μεγάλη

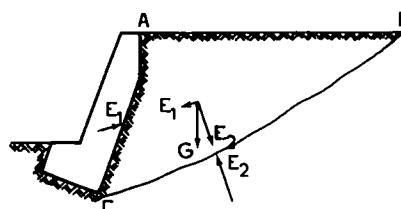
$M > P \cdot \frac{b}{6}$ , οι τάσεις στη μια όψη του τοίχου παύουν να είναι θλιπτικές και γίνονται εφελκυστικές [σχ. 1.10ε(α)].

Η λιθοδομή δεν μπορεί ν' αναλάβει μεγάλες εφελκυστικές τάσεις, γιατί οι γειτονικές πέτρες θα ξεκολλήσουν η μια από την άλλη. Έτσι τελικά στην τομή Α-Α είναι πολύ πιθανότερο ότι θα μείνουν μόνο τάσεις θλιπτικές, που θα καλύπτουν ό-



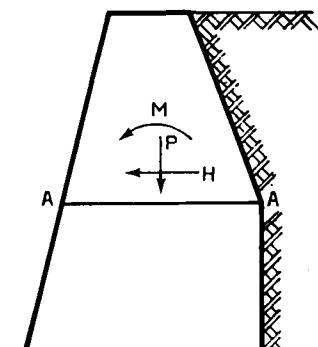
Σχ. 1.10α.

Χαρακτηριστικοί τύποι δομικών έργων από λιθοδομή: (α) Τοίχος αντιστρίξεως. (β) Ακρόβαθρο γέφυρας. (γ) Κρηπίδα λιμανιού. (δ) Μεσόβαθρο γέφυρας.



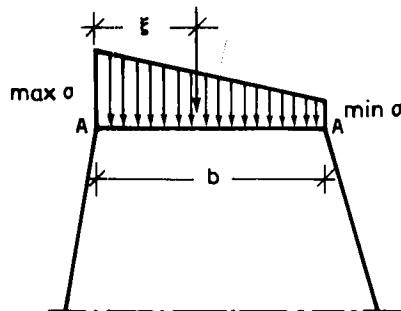
Σχ. 1.10β.

Οι τοίχοι αντιστρίξεως και οι συγγενείς τους κατασκευές φορτίζονται και από σοβαρές αθήσεις ( $E_1$ ,  $E_2$ ) από το έδαφος, που είναι σχεδόν οριζόντιες:  $AB\Gamma$  = Πρίσμα έδαφους, που σπρώχνει τον τοίχο.  $B\Gamma$  = Επιφάνεια, όπου σπάει το έδαφος και πάνω της γλυστράει το πρίσμα.



Σχ. 1.10γ.

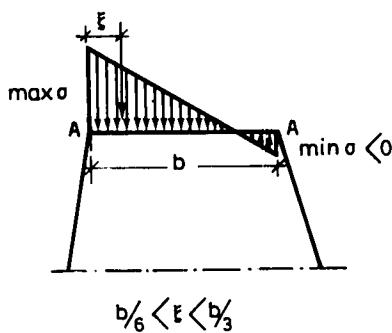
Εσωτερικές δυνάμεις σε μια οριζόντια διατομή A-A τοίχου αντιστρίξεως.



$$\frac{b}{3} < \xi < \frac{b}{2}$$

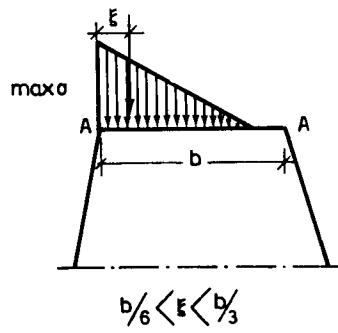
Σχ. 1.10δ.

Κατανομή των θλιπτικών τάσεων σε μια διατομή A-A τοίχου αντιστηρίζεως, όταν η ροπή είναι σχετικά μικρή.



$$\frac{b}{6} < \xi < \frac{b}{3}$$

(a)



$$\frac{b}{6} < \xi < \frac{b}{3}$$

(β)

Σχ. 1.10ε.

Κατανομή των τάσεων σε μια διατομή A-A τοίχου αντιστηρίζεως, όταν η ροπή είναι μεγάλη:  
(α) Με τάσεις εφελκυσμού. (β) Χωρίς τάσεις εφελκυσμού.

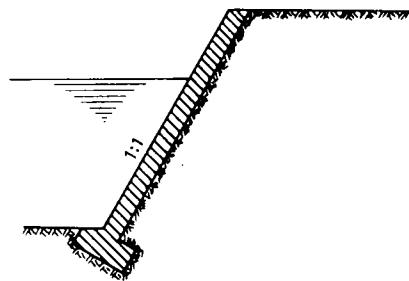
μως μόνο ένα τρήμα της [σχ. 1.10ε(β)], Είναι φανερό ότι, αν η ροπή είναι ακόμα μεγαλύτερη, ο τοίχος θα σπάσει και το κομμάτι του, που βρίσκεται πάνω από τη διατομή A-A, θα ανατραπεί. Κάτι τέτοιο είναι αναπόφευκτο, όταν είναι η ροπή

$M \geq P \cdot \frac{b}{2}$ , αλλά για λόγους ασφάλειας πρέπει η λιθοδομή να έχει αρκετά μεγάλο πάχος  $b$ , ώστε η ροπή  $M$  να μην ξεπερνά το  $P \cdot \frac{b}{3}$  και μάλιστα για σοβαρά έργα όπως τα βάθρα των γεφυρών, το  $P \cdot \frac{b}{4}$ .

Το συμπέρασμα είναι, ότι οι τοίχοι αντιστηρίζεως και οι παρόμοιες μ' αυτούς κατασκευές είναι έργα, που διατρέχουν πολύ περισσότερους κινδύνους απ' τους συνηθισμένους τοίχους των οικοδομών. Πρέπει συνεπώς οι διαστάσεις τους να κα-

θορίζονται μετά από ειδική μελέτη από διπλωματούχο μηχανικό και είναι πολύ επικίνδυνο να μειώνονται στην κατασκευή για λόγους οικονομίας, επειδή ίσως δίνουν την εντύπωση πως είναι υπερβολικές. Πρέπει ακόμα να κτίζονται με ιδιαίτερη προσοχή και με κονιάματα μεγάλης αντοχής, ώστε να μπορούν να παραλάβουν και ορισμένες μικρές εφελκυστικές τάσεις. Επειδή μάλιστα τα πάχη είναι μεγάλα και συνήθως υπάρχει μόνο μια ελεύθερη όψη, ακόμα και την ώρα που χτίζονται, τα κονιάματα πρέπει να είναι υδραυλικά, δηλαδή τσιμεντοκονιάματα ή ασβεστοτσιμεντοκονιάματα με μικρή αναλογία ασβέστη.

Μια κατασκευή, που μοιάζει με τοίχο αντιστηρίζεως, είναι ο **τοίχος επενδύσεως** (σχ. 1.10στ.). Ο τοίχος επενδύσεως σκεπάζει μια επιφάνεια εδάφους, που θα στεκόταν και χωρίς τον τοίχο, ενώ ο τοίχος αντιστηρίζει μια επιφάνεια εδάφους, που θα γκρεμίζοταν, αν έλειπε ο τοίχος. Οι τοίχοι επενδύσεως έχουν σκοπό μόνο να προστατέψουν το έδαφος απ' τη φθορά, κυρίως απ' τη διάβρωση από νερά είτε της βροχής, είτε κάποιου χειμάρρου, ποταμού, της θάλασσας κ.ο.κ. Έτσι το πάχος τους μπορεί να είναι πολύ μικρό και το κονίαμα να έχει κάπως μικρότερη αντοχή.



**Σχ. 1.10στ.**

Τοίχος για επένδυση πρανούς εδάφους με μεγάλη κλίση.

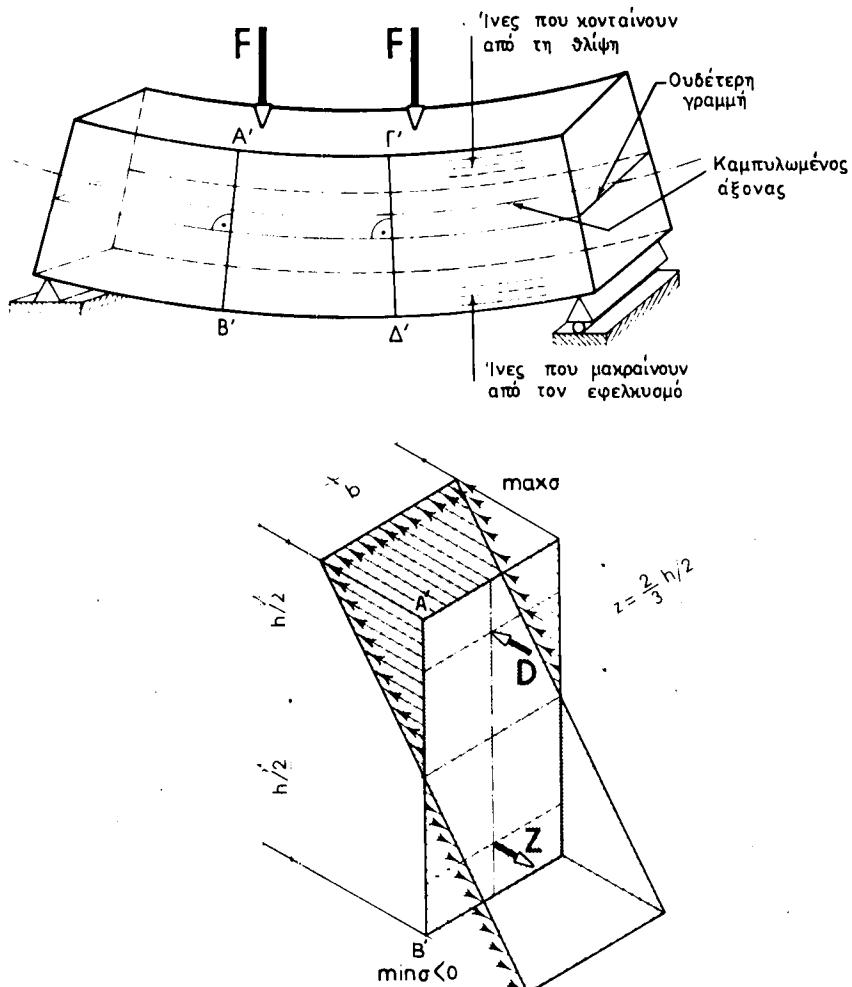
Παρ' όλα αυτά και αυτοί οι τοίχοι πρέπει να είναι καλά κτισμένοι κι οι αρμοί τους να είναι καλά γεμισμένοι με κονίαμα. Έτσι επιτυγχάνεται και ικανοποιητική στεγανότητα, που είναι απαραίτητη, μια και ο κύριος σκοπός τους είναι η προστασία του εδάφους, που καλύπτουν, από τα νερά.

### 1.11 Θόλοι και αψίδες.

'Οπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η λιθοδομή έχει σημαντική αντοχή σε θλίψη, ενώ αντίθετα η αντοχή της σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρή, επειδή έχει σαν αποτέλεσμα να ξεκολλάνε οι πέτρες απ' τις διπλανές τους. Η λιθοδομή λοιπόν είναι πολύ κατάλληλη για τα κατακόρυφα στοιχεία των έργων, όπου το βάρος της, όπως και τα βάρη των κατασκευών, που στηρίζονται σ' αυτήν, προκαλούν κυρίως κατακόρυφες δυνάμεις, που την καταπονούν σε θλίψη.

Αντίθετα η κατασκευή των οριζόντιων στοιχείων των δομικών έργων, που έχουν σκοπό να καλύψουν ένα χώρο ή ένα οποιοδήποτε άνοιγμα, ήταν πάντοτε ένα

πολύ δύσκολο πρόβλημα. Ένα οριζόντιο δομικό στοιχείο κάμπτεται τόσο από το ίδιο το βάρος του, όσο και απ' τα διάφορα φορτία που φέρει, π.χ. επικαλύψεις, χιόνι, έπιπλα, ανθρώπους, οχήματα κλπ. Όπως έχει διαχθεί στο μάθημα της «Αντοχής Υλικών», σ' ένα στοιχείο που κάμπτεται αναπτύσσονται τόσο θλιπτικές όσο και εφελκυστικές τάσεις (σχ. 1.11α). Το υλικό λοιπόν των στοιχείων αυτών πρέπει να



Σχ. 1.11α.

Με την κάμψη αναπτύσσονται στις διατομές του στοιχείου, που κάμπεται, τάσεις εφελκυστικές και θλιπτικές.

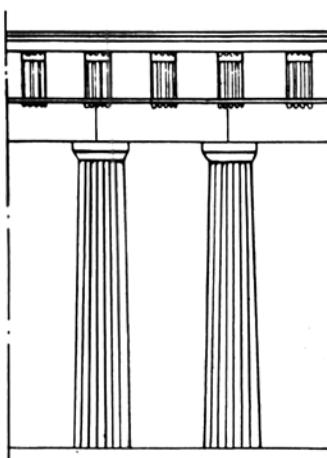
έχει και αντοχή στον εφελκυσμό. Γι' αυτό το λόγο ως την εποχή, που άρχισαν να χρησιμοποιούνται σα δομικά υλικά το ατσάλι και το οπλισμένο σκυρόδεμα, κύριο υλικό για την κατασκευή οριζόντιων δομικών στοιχείων ήταν το ξύλο. Ξύλινες ήταν οι στέγες, ξύλινα τα πατώματα, ακόμα και τα υπέρυθρα.

Υπήρχαν όμως πάντοτε και περιπτώσεις, που μια κατασκευή έπρεπε να είναι ολόκληρη πέτρινη, είτε επειδή δεν υπήρχαν ξύλα, είτε γιατί υπήρχε κίνδυνος πυρκαϊάς, είτε ακόμα για λόγους καθαρά αρχιτεκτονικούς. Το πρόβλημα λύνεται εύκολα για μικρά ανοίγματα, όταν τα οριζόντια δομικά στοιχεία είναι μονολιθικά. Οι πέτρες, όταν δεν παρουσιάζουν τοπικά ελαττώματα, έχουν μιαν αξιόλογη αντοχή σε εφελκυσμό, αν και πάντοτε είναι πολύ μικρότερη απ' την αντοχή τους σε θλίψη. Όταν λοιπόν οι πέτρες έχουν τις απαραίτητες διαστάσεις, μπορούν να γεφυρώσουν ένα κενό. Τέτοια παραδείγματα έχουμε στις Μηκυναϊκές κατασκευές (σχ. 1.11β) και στα επιστύλια των αρχαίων Ελληνικών ναών (σχ. 1.11γ).



Σχ. 1.11β.

Μονολιθικό υπέρθυρο.  
Πύλη των Λεόντων στις Μυκήνες.



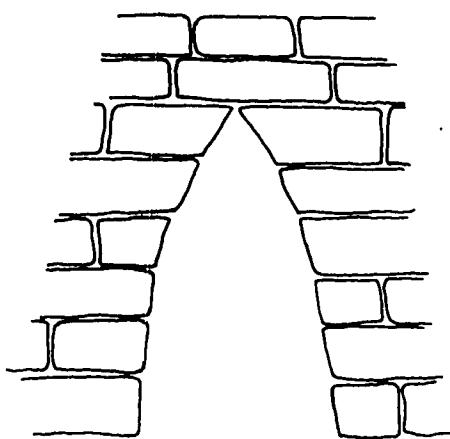
Σχ. 1.11γ.

Μονολιθικά επιστύλια σε αρχαίους  
Ελληνικούς ναούς.

Πέτρες όμως με τόσο μεγάλες διαστάσεις και δύσκολα βρίσκονται και ακόμα δυσκολότερα μεταφέρονται και τοποθετούνται στη θέση τους. Χρειάσθηκε έτσι να αναπυχθούν άλλες μέθοδοι κατασκευής. Μια τέτοια μέθοδος είναι γνωστή ως **εκφορικό σύστημα** δομήσεως, που εφαρμόσθηκε κυρίως στη Μυκηναϊκή αρχιτεκτονική. Με το σύστημα αυτό κάθε πέτρα προχωρεί λίγο πιο πέρα απ' αυτή που βρίσκεται από κάτω της, ώστε όσο προχωρούμε προς τα πάνω το άνοιγμα να στενεύει, ώσπου να κλείσει εντελώς (σχ. 1.11δ). Ένα θαυμάσια διατηρημένο παράδειγμα αυτής της μεθόδου είναι ο θησαυρός του Ατρέα στις Μυκήνες (σχ. 1.11ε).

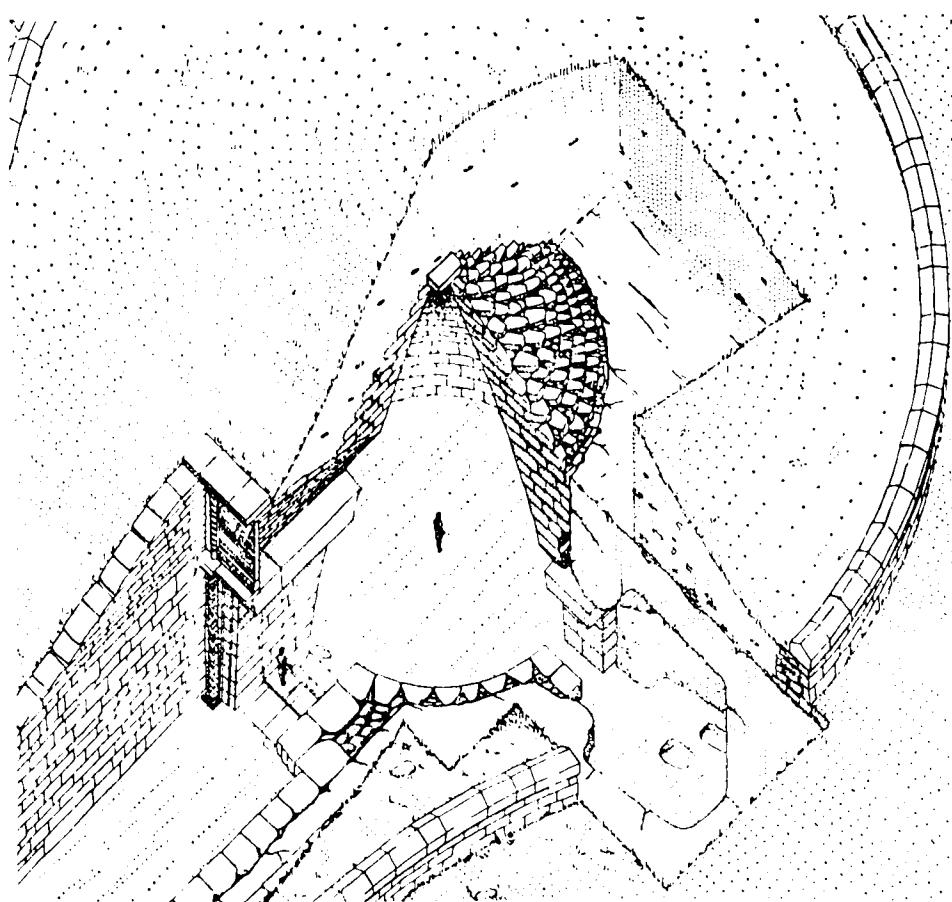
Η κλασική μέθοδος για την κατασκευή οριζόντιων δομικών στοιχείων από λιθοδομή είναι η εφαρμογή θόλων και αψίδων. **Θόλος** λέγεται μια κατασκευή με καμπύλη επιφάνεια, που σκεπάζει ένα χώρο. **Αψίδα** λέγεται μια ανάλογη κατασκευή, που σκεπάζει όμως ένα άνοιγμα σ' ένα τοίχο. Η διαφορά δηλαδή είναι ότι η αψίδα (σχ. 1.11στ') έχει περιορισμένο πλάτος.

Θόλοι εφαρμόζονται στα οικοδομικά έργα, αλλά και σε άλλες κατηγορίες έργων, όπως π.χ. στις γέφυρες. Ως πριν από έναν αιώνα οι κυριότερες γέφυρες σ' όλο τον κόσμο ήταν θολωτές πέτρινες (σχ. 1.11ζ). Οι υδατογέφυρες των Ρωμαϊκών υδρα-



Σχ. 1.11δ.

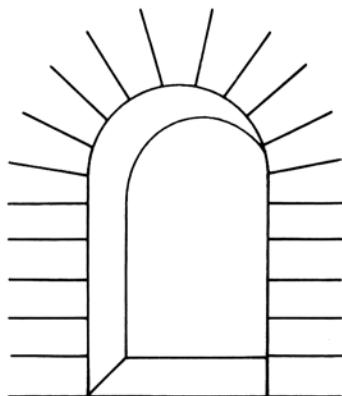
Κάλυψη ανοίγματος σε λιθόδομή κατά το εκφορικό σύστημα.



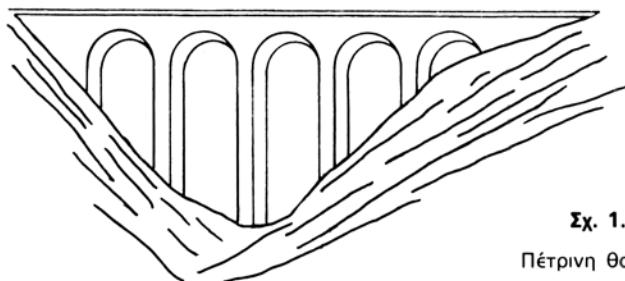
Σχ. 1.11ε.

Ο Θησαυρός του Ατρέα στις Μυκηνές.

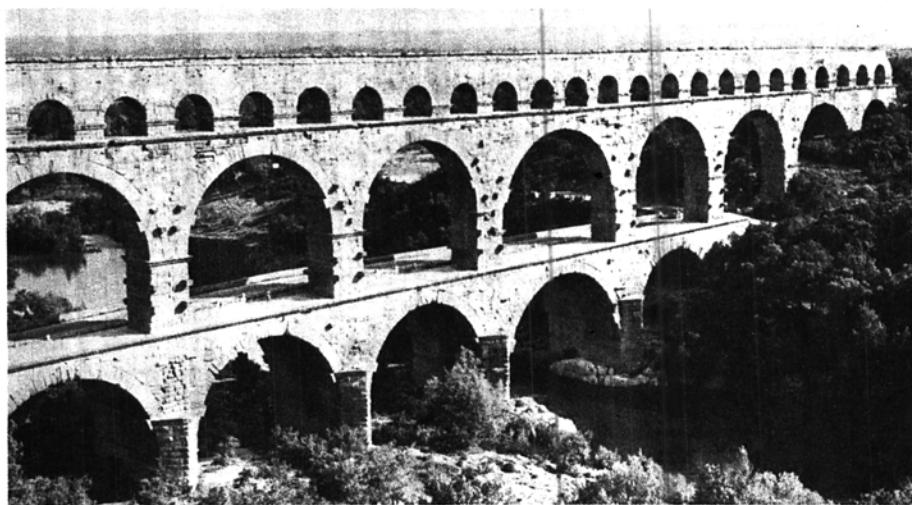
γωγείων, που σώζονται ως σήμερα αποτελούν ωραιότατα παραδείγματα τέτοιων κατασκευών (σχ.1.11η).



**Σχ. 1.11στ.**  
Κάλυψη ανοίγματος σε  
λιθόδομή με αφίδα.

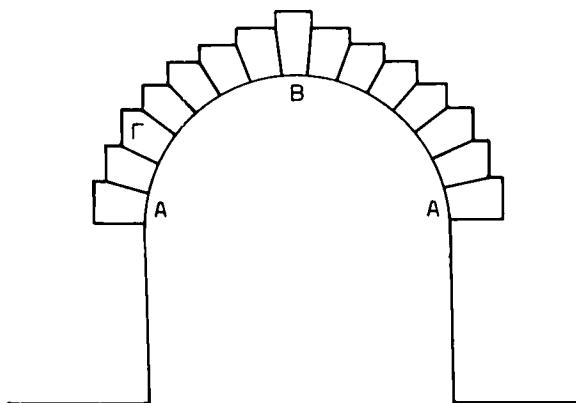


**Σχ. 1.11ζ.**  
Πέτρινη θολωτή γέφυρα.



**Σχ. 1.11η.**  
Ρωμαϊκό θολωτό υδραγωγείο (υδατογέφυρα).

Οι θόλοι κι οι αψίδες κτίζονται με πέτρες λαξευτές ή τουλάχιστον μισολαξευμένες. Οι αρμοί είναι κάθετοι ή περίπου κάθετοι με την κάτω επιφάνεια, που λέγεται **εσωράχο** (άντυγα) του θόλου ή της αψίδας. Οι πέτρες λέγονται **θολίτες** και οι πάνω τους επιφάνειες σχηματίζουν το **εξωράχο**. Τα ψηλότερα σημεία του θόλου ή της αψίδας σχηματίζουν το **κλειδί** τους, γι' αυτό και οι θολίτες, που μπαίνουν σ' αυτή τη θέση, λέγονται **κλειδιά**. Οι δύο άκρες, εκεί δηλαδή που ο θόλος ή η αψίδα στηρίζεται στις από κάτω κατασκευές, λέγονται **γενέσεις** (σχ. 1.11θ).



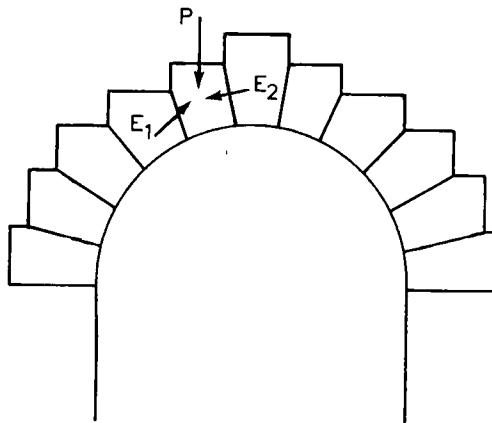
Σχ. 1.11θ.

Ονοματολογία αψίδας ή θόλου: A = Γένεση. B = Κλειδί. Γ = Θολίτης.

Οι θόλοι κι οι αψίδες, αν και είναι στοιχεία οριζόντια, δεν κάμπονται, αλλ' αντίθετα σ' όλες τους τις θέσεις αναπτύσσονται τάσεις θλιπτικές. Αυτό εξηγείται, επειδή οι αρμοί των θολιτών δεν είναι κατακόρυφοι, αλλά συγκλίνουν. Έτσι κάθε θολίτης με το βάρος του και τα φορτία, που επιβάλλονται πάνω του, δεν μπορεί να πέσει προς τα κάτω, αλλά σφηνώνεται ανάμεσα από τους γειτονικούς του και τους πιέζει με δύο δυνάμεις  $E_1$  και  $E_2$ , που ισορροπούν με το φορτίο  $P$  (σχ. 1.11ι). Οι δυνάμεις αυτές είναι περίπου κάθετες προς τα επίπεδα των αρμών και προκαλούν σχεδόν ομοιόμορφες θλιπτικές τάσεις. Για το λόγο αυτό ακριβώς οι κατασκευές αυτές είναι κατάλληλες για υλικά, που δεν έχουν αξιόλογη αντοχή σε εφελκυσμό, όπως ακριβώς είναι οι φυσικές πέτρες αλλά και οι τεχνητές, όπως και το σκυρόδεμα είτε απλό είτε οπλισμένο.

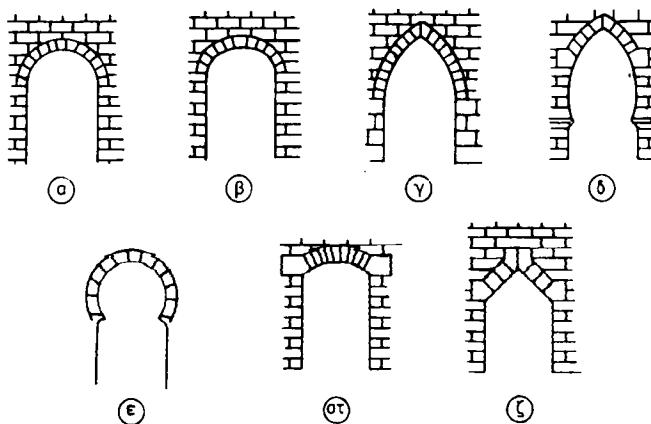
Οι θόλοι κι οι αψίδες ανάλογα με τον αρχιτεκτονικό ρυθμό του έργου μπορούν να έχουν διάφορες μορφές, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11ια. Σε ορισμένες περιπτώσεις [(α), (β), (γ), (δ) και (ε)] στις γενέσεις τους οι εφαπτόμενες του εσωράχιου είναι κατακόρυφες ή κλείνουν έτσι, ώστε να τέμνονται χαμηλότερα από τις γενέσεις. Οι αρμοί τότε στις γενέσεις, εκεί που στηρίζονται οι πρώτοι θολίτες, είναι οριζόντιοι και οι δυνάμεις, που εφαρμόζονται στις γενέσεις σχεδόν κατακόρυφες.

Σε άλλες περιπτώσεις [(στ), (ζ)] οι εφαπτόμενες του εσωράχιου στις γενέσεις είναι λοξές και τέμνονται ψηλότερα από το κλειδί. Οι αρμοί τότε των θολιτών είναι συνήθως λοξοί στην περιοχή των γενέσεων και οι δυνάμεις (ωθήσεις), που ενεργούν πάνω του, είναι κι αυτές λοξές. Οι θόλοι κι οι αψίδες, που έχουν τέτοιες μορ-



Σχ. 1.11ι.

Δυνάμεις, που αναπτύσσονται στους αρμούς ανάμεσα στους θολίτες.



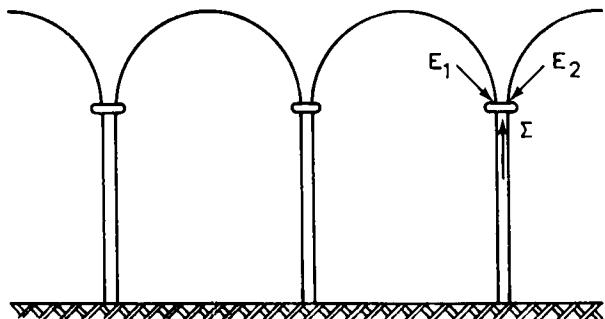
Σχ. 1.11ια.

Διάφορα σχήματα αψίδων.

φές, λέγονται **χαμηλωμένοι** και προτιμούνται, όποτε χρειάζεται να γίνει κάποια οικονομία στο ύψος της κατασκευής, παρόλο που οι λοξές ωθήσεις δημιουργούν ορισμένα προβλήματα.

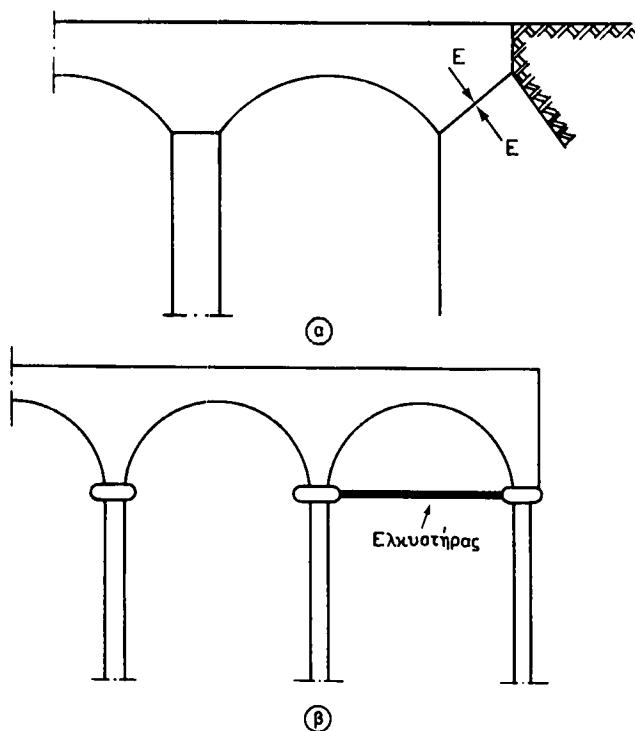
Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι κανένας θόλος ή αψίδα δε φορτίζει τις γενέσεις του με δυνάμεις απόλυτα κατακόρυφες. Πάντοτε υπάρχουν αξιόλογες οριζόντιες συνιστώσες, που τείνουν να απομακρύνουν τα στηρίγματά τους το ένα από το άλλο. Όταν οι αψίδες ή οι θόλοι κατασκευάζονται σε σειρά (σχ. 1.11ιβ), οι οριζόντιες δυνάμεις σε κάθε ενδιάμεσο στήριγμα ισορροπούν μεταξύ τους και η συνισταμένη τους είναι πρακτικά κατακόρυφη. Στις ακραίες όμως στηρίξεις, ή όταν υπάρχει μόνον ένας θόλος ή μια αψίδα, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η κατασκευή μπορεί να παραλάβει την οριζόντια ώθηση, χωρίς να κινδυνεύει να ανατραπεί. Η εξασφάλιση

αυτή επιτυγχάνεται, όταν το ακραίο στήριγμα είναι πολύ ανθεκτικό, όπως π.χ. το ακρόβαθρο μιας θολωτής γέφυρας [σχ. 1.11ιγ(α)], ή όταν το ακραίο στήριγμα συνδεθεί με το γειτονικό του ή και με ένα η περισσότερα από τα επόμενα με μεταλλικό ελκυστήρα [σχ. 1.11ιγ(β)]. Έτσι η οριζόντια ωθηση μοιράζεται και μπορεί ν' αναληφθεί χωρίς κίνδυνο.



Σχ. 1.11ιβ.

Στις ενδιάμεσες στηρίξεις αψίδων σε σειρά οι οριζόντιες ωθήσεις ισορροπούν μεταξύ τους.

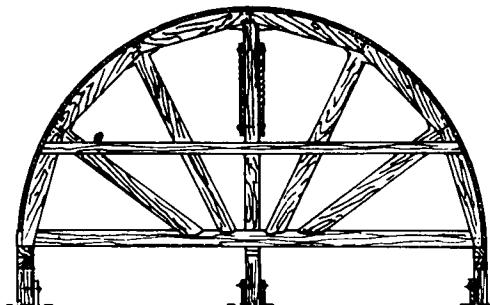


Σχ. 1.11ιγ.

Οι οριζόντιες ωθήσεις στις ακριανές στηρίξεις αψίδων μπορούν να αντιμετωπισθούν:

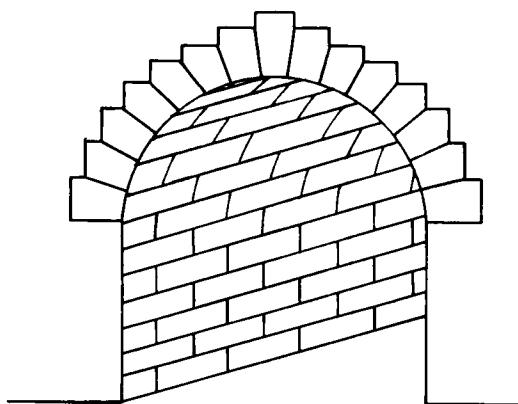
- (α) Με μια ανυποχώρητη στήριξη.
- (β) Με ένα μεταλλικό ελκυστήρα.

Για να κατασκευασθεί ένας θόλος (ή μια αψίδα), κατασκευάζονται πρώτα ως το ύψος των γενέσεων οι κατασκευές, που τον στηρίζουν, π.χ. οι τοίχοι της οικοδομής ή τα βάθρα της θολωτής γέφυρας κ.ο.κ. Στήνεται έπειτα ένα ικρίωμα (σκαλωσιά) και πάνω του στηρίζεται ο αψιδότυπος (καλούπι), που παίρνει το σχήμα, που έχει καθορισθεί για το εσωράχιο (σχ. 1.11 ιδ). Στη συνέχεια κτίζονται οι θολίτες συμμετρικά άπ' τίς γενέσεις πρός τό κλειδί.



Σχ. 1.11ιδ.

Καλούπι (αψιδότυπος) για κυλινδρικό θόλο.



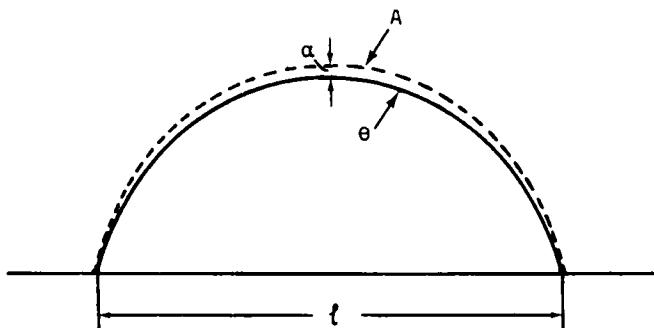
Σχ. 1.11ιε.

Διάταξη των αρμών των θολιτών σε κυλινδρικό θόλο από λαξευτές ή τεχνητές πέτρες.

Στο κτίσιμο των θόλων πρέπει να τηρούνται οι κανόνες δομήσεως των τοίχων με πέτρες λαξευτές ή μισολαξευμένες. Μπορεί να εφαρμοσθεί το ισόδομο ή το ψευδοισόδομο σύστημα και σπανιότερα το ανισόδομο. Το ρόλο των οριζόντιων αρμών (εδράσεως) των τοίχων τον παίζουν στους θόλους οι αρμοί, που ακολουθούν τις γενέτειρες της κυλινδρικής επιφάνειας. Οι αρμοί αυτοί πρέπει να ανήκουν σε επίπεδα περίπου κάθετα με την επιφάνεια του εσωραχίου και να προσπαθούμε να μη διακόπτονται σε όλο το μάκρος του θόλου. Το ρόλο των κατακόρυφων ή λοξών αρμών (ώσεως) των τοίχων τον παίζουν στους θόλους οι αρμοί, που είναι κάθετοι με τις γενέτειρες. Οι αρμοί αυτοί δεν πρέπει να είναι συνεχείς, αλλά αντίθετα να αλλάζουν θέση σε κάθε σειρά θολιτών, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους αντίστοιχους αρμούς των τοίχων (σχ. 1.11 ιε).

Όταν το κτίσιμο προχωρήσει κι απ' τις δύο πλευρές μπαίνουν κι οι τελευταίοι θολίτες στο κλειδί κι έτσι ο θόλος κλείνει. Οι θολίτες αυτοί πρέπει να λαξευτούν με ακρίβεια, ώστε να μπουν στη θέση τους, χωρίς να σφηνωθούν, αλλά και χωρίς να αφήσουν μεγάλα κενά. Οι αρμοί απ' τις δύο μεριές των κλειδιών πρέπει να έχουν το ίδιο πάχος με όλους τους άλλους αρμούς του θόλου και να είναι καλά γεμισμένοι με κονίαμα.

Μόλις πήξει το κονίαμα, μπορούμε να αφαιρέσουμε τον αψιδότυπο. Οι θολίτες τότε θα μετακινηθούν λίγο προς τα κάτω και θα σφηνωθούν. Η μετακίνηση αυτή οφείλεται και στο βάρος τους, αλλά και στη συστολή του κονιάματος. Για να πετύχουμε λοιπόν τελικά το σωστό σχήμα του θόλου, πρέπει ο αψιδότυπος να είναι φτιαγμένος λίγο ψηλότερος, να παρουσιάζει δηλαδή μιάν **υπερύψωση** ίση περίπου με το ένα εκατοστό του ανοίγματος του θόλου (σχ. 1.11 ιστ.).

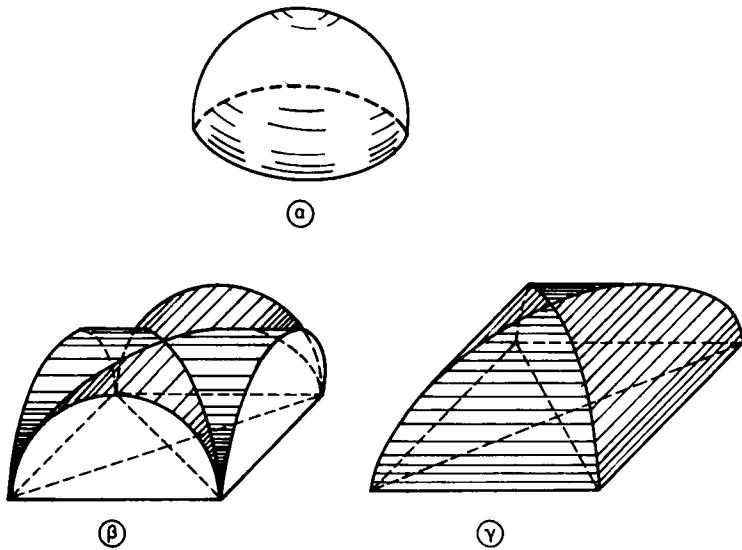


Σχ. 1.11 ιστ.

$$\text{Υπερύψωση αψιδότυπου } \alpha \approx \frac{l}{100}. \quad A = \text{Αψιδότυπος. } \theta = \text{Θεωρητικό σχήμα αψίδας.}$$

Η ανάγκη του αψιδότυπου είναι ένα από τα κύρια μειονεκτήματα για τις κατασκευές θόλων και αψίδων. Σήμερα θα είχαν επικρατήσει γενικά οι τοίχοι από χυτά υλικά, επειδή η κατασκευή τους είναι πιο εύκολη και η συνοχή τους πιο εξασφαλισμένη. Ο μόνος λόγος που δεν έχει συμβεί αυτό, είναι, επειδή χρειάζονται καλούπια (τύποι), ενώ οι λιθοδομές δεν έχουν τέτοια ανάγκη. Εκεί λοιπόν, που λείπει από τις λιθοδομές αυτό το πλεονέκτημα, οι χυτές κατασκευές δεν είναι μόνο πιο εύκολες και πιο ασφαλείς, αλλά και πιο οικονομικές. Γι' αυτό σήμερα οι θόλοι και οι αψίδες, όπου χρειάζονται, κατασκευάζονται συνήθως από σκυρόδεμα απλό ή οπλισμένο.

Οι θόλοι κι οι αψίδες δεν έχουν πάντα την απλή μορφή ενός κυλίνδρου, δηλαδή μιας επιφάνειας, που σχηματίζεται από ευθείες (γενέτειρες) όλες παράλληλες μεταξύ τους. Το εσωράχιο μπορεί να έχει το σχήμα κώνου, σφαίρας κλπ., ή ακόμα να αποτελείται από δύο ή περισσότερα τμήματα τέτοιων επιφανειών. Στη βυζαντινή και στη γοτθική αρχιτεκτονική εφαρμόστηκε μια μεγάλη ποικιλία σχημάτων στην κατασκευή θόλων και αψίδων. Στο σχήμα 1.11 ιζ δίνονται τρία κλασικά παραδείγματα: ο **σφαιρικός τρούλος**, το **σταυροθόλιο** κι ο **μοναστηριακός** θόλος. Στα δύο τελευταία το εσωράχιο αποτελείται από τέσσερα κοινάτια, που ανήκουν σε δύο διαφορετικές κυλινδρικές επιφάνειες.



Σχ. 1.11ιζ.

Κλασικές μορφές θόλων: (α) Σφαιρικός τρούλος. (β) Σταυροθόλιο. (γ) Μοναστηριακός θόλος.

Η **θολοδομία**, που γνώρισε παλιότερα μεγάλη εξάπλωση και ακμή, κατάγεται απ' την Ανατολή. Πρώτα φαίνεται πως την εφάρμοσαν οι λαοί της Μεσοποταμίας κι απ' αυτούς τη γνώρισαν οι Έλληνες, που δεν τη χρησιμοποίησαν πολύ και τη μετάδοσαν στη Ρώμη. Οι Ρωμαίοι βελτίωσαν τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής και την παράδοσαν στο Βυζάντιο, που τη χρησιμοποίησε τόσο στη Θρησκευτική όσο και στην κοσμική αρχιτεκτονική.

Σήμερα η θολοδομία βρίσκεται σε παρακμή, επειδή έχουν αναπτυχθεί νέα υλικά, που επιτρέπουν να κατασκευασθούν με πολύ ευνοϊκότερους όρους οριζόντια δομικά στοιχεία είτε επίπεδα είτε καμπύλα, χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν λίθινες κατασκευές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ

#### 2.1 Γενικά.

Οι τεχνητοί λίθοι (πλίνθοι) κατασκευάζονται από κονιάματα. Έτσι έχομε τούβλα από πηλό, τσιμεντόλιθους, κισσηρόπλινθους κ.ο.κ. ανάλογα με το κονίαμα, που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τους.

Με τεχνητούς λίθους μπορεί να γίνει σχεδόν κάθε κατασκευή, που θα μπορούσε να γίνει με φυσικές πέτρες, δηλαδή τοίχοι απλοί, τοίχοι αντιστηρίξεως θόλοι, αψίδες κλπ. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν στις περιοχές, όπου δεν υπήρχαν φυσικές πέτρες σιγά - σιγά όμως η χρήση τους γενικεύθηκε, γιατί παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις φυσικές πέτρες. Τα κυριότερα απ' αυτά τα πλεονεκτήματα είναι:

α) Κατασκευάζονται στα κατάλληλα γεωμετρικά σχήματα, ώστε να παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα των λαξευτών λίθων, χωρίς όμως να χρειάζεται η δαπανή-ρή επεξεργασία για τη λάξευσή τους.

β) Ως βιομηχανικά, ή τουλάχιστον βιοτεχνικά προϊόντα έχουν ιδιότητες ικανοποιητικά σταθερές και ομοιογενείς.

γ) Κατασκευάζονται σε τυποποιημένα μεγέθη, ώστε γενικά κτίζονται με το ισόδομο σύστημα. Με το σύστημα αυτό απλοποιούνται όλα τα γεωμετρικά προβλήματα σχετικά με την τοποθέτηση και τη σύνδεση των λίθων κατά το κτίσιμο.

δ) Μπορούν να κατασκευασθούν με τις γεωμετρικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες, που ταιριάζουν στο κάθε έργο. Μπορούμε π.χ. να βρούμε τεχνητούς λίθους με αντοχή μεγαλύτερη και απ' την αντοχή των φυσικών ή τεχνητούς λίθους, που να αντέχουν στη φωτιά κ.ο.κ.

ε) Μπορούν να κατασκευασθούν με διάκενα, ώστε να είναι ελαφρότεροι. Έτσι γίνεται πιο εύκολα η μεταφορά και το κτίσιμο, μειώνεται η κατανάλωση της πρώτης ύλης και περιορίζονται τα φορτία της κατασκευής, που προέρχονται από το ίδιο το βάρος της. Αυξάνει ακόμα και η μονωτική τους ικανότητα, ιδίως όταν κατασκευάζονται και από υλικό μονωτικό (π.χ. κισσηρόπλινθοι).

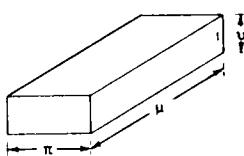
στ) Το σχήμα τους και το μέγεθός τους μας επιτρέπουν να κτίζομε τοίχους με πάχος πολύ μικρότερο απ' το πάχος των τοίχων από φυσικές πέτρες. Έτσι μικρά-νουν το κόστος αλλά και τα φορτία, που προέρχονται από το βάρος της ίδιας της κατασκευής, κυρίως όμως περιορίζεται το χάσιμο πολύτιμου χώρου στις περιοχές, όπου τα οικόπεδα είναι πολύ ακριβά.

#### 2.2 Συμπλέγματα πλίνθων.

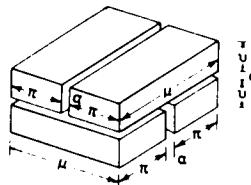
Υπάρχουν πολλά είδη τεχνητών λίθων, όπως οι πλίθρες (ωμόπλινθοι), τα τού-

βλα, οι τσιμεντόλιθοι κλπ. Για όλους χρησιμοποιείται ο γενικός όρος **πλίνθος** και έχουν καθιερωθεί ορισμένοι γενικοί κανόνες σχετικοί με το σχήμα και τις διαστάσεις τους.

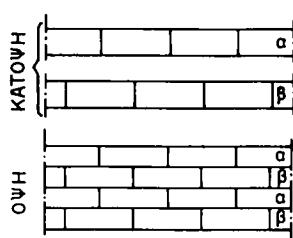
Οι πλίνθοι (σχ. 2.2α) έχουν γενικά το σχήμα ενός ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου, που οι πλευρές του έχουν μήκη  $\mu$  (μάκρος),  $\pi$  (πλάτος) και  $\alpha$  (ύψος). Το  $\mu$  είναι συνήθως μικρότερο ή το πολύ ίσο με το  $\pi$ . Το  $\mu$  είναι ίσο με  $2\pi + a$ , όπου  $a$  είναι το πάχος, που προβλέπεται ότι θα έχουν οι κατακόρυφοι αρμοί (ώσεως) της κατασκευής.



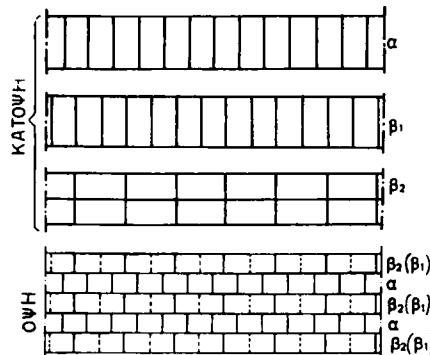
Σχ. 2.2α.  
Τυπική μορφή πλίνθου.



Σχ. 2.2β.  
Βασική μονάδα για τα συμπλέγματα  
των πλίνθων.



Σχ. 2.2γ.  
Δρομική πλινθοδομή.



Σχ. 2.2δ.  
Μπατική πλινθοδομή.

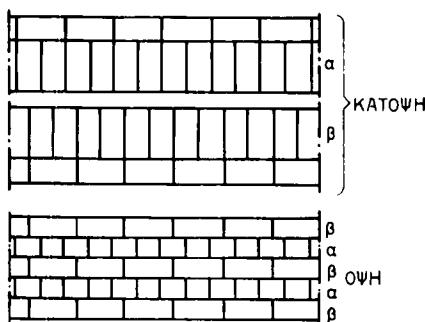
Η σχέση αυτή μας επιτρέπει να βάζομε σε μια κατασκευή τους πλίνθους είτε παράλληλους (δρομικούς) είτε κάθετους (μπατικούς) με το μήκος της και να σχηματίζονται έτσι κανονικά συμπλέγματα (σχ. 2.2β) με τις ορατές επιφάνειες των πλίνθων στα ίδια κατακόρυφα επίπεδα.

Το πάχος  $\Pi$  της κατασκευής πρέπει να είναι πάντοτε ίσο με  $v\cdot\pi + (v-1)a$ , όπου το  $v$  είναι ένας ακέραιος αριθμός. Όταν το  $v = 1$ , τότε γίνεται το  $\Pi = \pi$  κι ο τοίχος λέγεται **δρομικός**, γιατί ο μόνος τρόπος, που μπορούν να τοποθετηθούν οι πλίνθοι, είναι να έχουν το μάκρος τους παράλληλο με το μήκος του τοίχου (σχ. 2.2γ). Βέβαια οι κατακόρυφοι αρμοί δεν πρέπει να είναι συνεχείς κι έτσι ο τοίχος κτίζεται με στρώσεις δύο τύπων  $\alpha$  και  $\beta$  εναλλάξ.

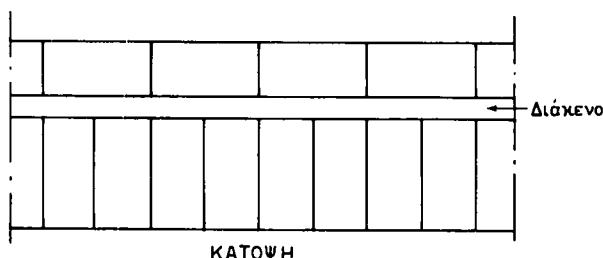
Όταν το  $v = 2$ , τότε γίνεται το  $\Pi = 2\pi + a = \mu$  κι ο τοίχος λέγεται **μπατικός**. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να κτιστούν όλοι οι πλίνθοι με το μήκος τους κάθετο προς το μήκος του τοίχου (μπατικοί). Πάλι οι στρώσεις θα είναι δύο τύπων  $\alpha$  και  $\beta$ , εναλλάξ, ώστε οι κατακόρυφοι αρμοί να μην είναι συνεχείς (σχ. 2.2δ). Συνή-

Θως όμως στις μισές στρώσεις ( $\beta_2$ ) οι πλίνθοι κτίζονται δρομικοί σε δυο παράλληλες σειρές κι έτσι στην πρόσοψη δε φαίνονται οι αρμοί, που είναι σχεδιασμένοι με διακεκομένη γραμμή. Στην περίπτωση αυτή η πρώτη στρώση των πλίνθων, η χαμηλότερη, είναι η δρομική ( $\beta_2$ ).

Όταν το  $v = 3$ , τότε γίνεται το  $\Pi = 3\pi + 2a = \mu + a + \pi$ . Όταν το  $v = 4$ , τότε γίνεται το  $\Pi = 4\pi + 3a = \mu + a + \mu$  κ.ο.κ. Στο σχήμα 2.2ε φαίνονται τα συμπλέγματα των πλίνθων για  $v = 3$ . Ένας τέτοιος τοίχος λέγεται στην κοινή γλώσσα **υπερμπατικός**. Οι κανονισμοί, που ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα, δεν επιτρέπουν την κατασκευή τοίχων, που να φέρουν φορτία, σε κτίρια μέ περισσότερα από ένα πατώματα πάνω από το ισόγειο και το υπόγειο. Έτσι δε χρειάζονται πια τοίχοι με το ν μεγαλύτερο από 3 και δεν κατασκευάζονται τέτοιοι τοίχοι παρά μόνο σε εντελώς εξαιρετικές περιπτώσεις.



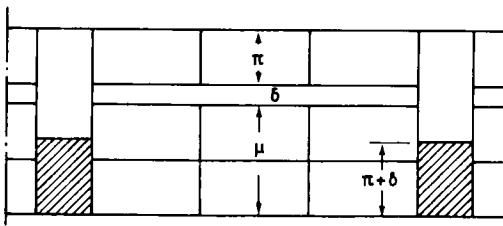
**Σχ. 2.2ε.**  
Πλινθοδομή με πάχος ενάμιση πλίνθου (υπερμπατική).



**Σχ. 2.2στ.**  
Πλινθοδομή ψαθωτή (με διάκενο).

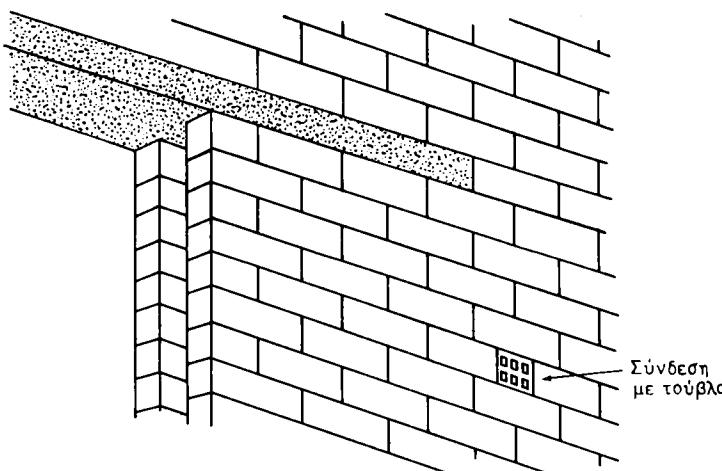
Ορισμένοι τοίχοι από τεχνητούς λίθους δεν κατασκευάζονται συμπαγείς, αλλά με διάκενο, με το σκοπό να αυξάνει η μονωτική τους ικανότητα στη ζέστη και στο κρύο, στην υγρασία και στο θόρυβο. Ένα λεπτό στρώμα αέρα με πάχος 2 ως 10 cm αυξάνει σημαντικά τις ικανότητες αυτές του τοίχου, χωρίς να αυξάνει σχεδόν καθόλου το βάρος του και το κόστος του. Αν μάλιστα τα κενά γεμίσουν με ένα κατάλληλο μονωτικό υλικό, π.χ. υαλοβάμβακα, διογκωμένη πολυυετερίνη, περλίτη κλπ., οι μονωτικές ικανότητες του τοίχου μπορούν να αυξηθούν πάρα πολύ.

Οι τοίχοι με διάκενο, που λέγονται και **ψαθωτοί**, αποτελούνται από δύο παράλληλους τοίχους τον ένα δίπλα στον άλλο. Οι τοίχοι αυτοί μπορεί να είναι δρομικοί ή μπατικοί, συνήθως όμως ο ένας είναι δρομικός κι ο άλλος μπατικός (σχ. 2.2στ). Οι δύο τοίχοι πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους τουλάχιστον σε δύο σημεία για κάθε τετραγωνικό μέτρο, είτε με **μεταλλικά ελάσματα** (τζινέτια), είτε με **πλίνθους ειδικής μορφής**. Οι πλίνθοι αυτοί είναι μακρύτεροι από τους άλλους, έχουν δηλαδή μήκος  $\mu' = \mu + \delta$ , όπου  $\delta$  είναι το πάχος του κενού ανάμεσα στους δύο τοίχους. Στο ελληνικό εμπόριο δεν υπάρχουν τέτοιοι ειδικοί πλίνθοι κι έτσι χρησιμοποιούνται κομμάτια από κοινούς πλίνθους κομμένα σε μάκρος  $\mu' = \pi + \delta$  μικρότερο από το κανονικό μήκος  $\mu$  (σχ. 2.2ζ).



Σχ. 2.2ζ.

Πλίνθοδομή ψαθωτή. Σύνδεση των δύο μελών της με πλίνθους, που έχουν κοπεί έτσι, ώστε να έχουν μήκος  $\pi + \delta < \mu$ .

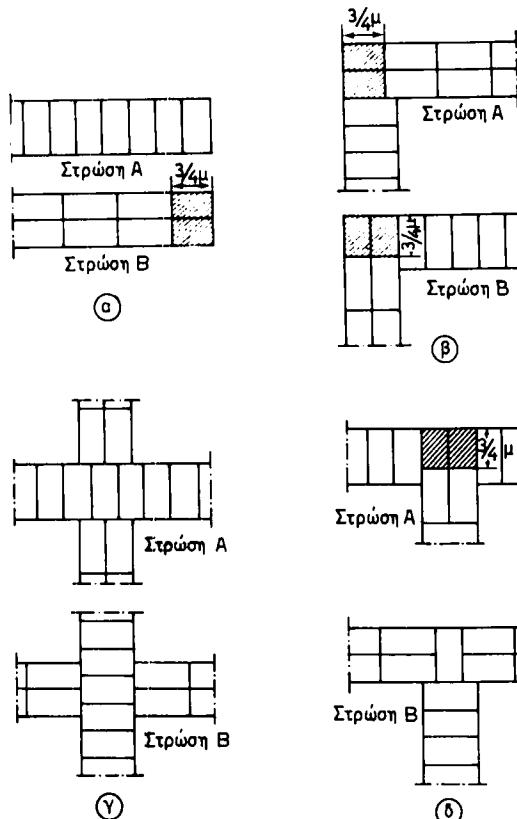


Σχ. 2.2η.

Όταν υπάρχουν συρτά κουφώματα, τα δύο στοιχεία του ψαθωτού τοίχου συνδέονται μόνο με το πρέκι στην περιοχή όπου κινείται το φύλλο.

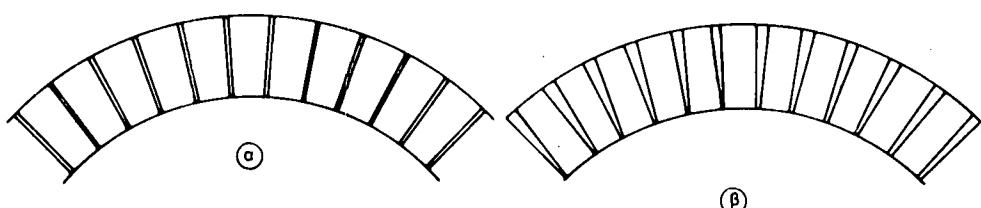
Ψαθωτοί τοίχοι δε κτίζονται μόνο για λόγους μονώσεως, αλλά και για να κρύβονται μέσα στο διάκενό τους τα φύλλα των συρτών κουφωμάτων. Το πλάτος του διάκενου πρέπει να είναι αρκετό, για να κινείται το φύλλο άνετα, χωρίς να γδέρνεται. Βέβαια, συνδέσεις των δύο τοίχων δε μπορούν να υπάρχουν στην περιοχή, όπου κινείται το φύλλο, συνεχίζεται όμως μονοκόμματο πάνω από την περιοχή αυτή το ανώφλι (πρέκι) του κουφώματος (σχ. 2.2η), ώστε να εξασφαλίζεται μια καλή σύνδεση.

Άλλες περιπτώσεις, όπου χρειάζεται να κοπούν μερικοί πλίνθοι σε μικρότερα κομμάτια, συνήθως με μάκρος ίσο με  $3/4$  μ, είναι για να διαμορφωθούν οι άκρες των τοίχων, οι γωνίες τους, τα ταυ, οι διασταυρώσεις, οι λαμπάδες των κουφωμάτων κλπ. Τέτοια παραδείγματα φαίνονται στο σχήμα 2.20. Πρέπει πάντως να τονισθεί ότι τα κομμάτια αυτά δεν πρέπει ποτέ να είναι μικρότερα από μισό πλίνθο.



Σχ. 2.20.

Μόρφωση πλινθοδομής σε ειδικές θέσεις με συνηθισμένους πλίνθους και πλίνθους με μήκος  $3/4$  μ:  
(a) Κεφαλή τοίχου. (β) Γωνιά. (γ) Σταυρός. (δ) Ταυ.



Σχ. 2.21.

Καμπύλες κατασκευές από πλινθοδομή:

(a) Με πλίνθους με ειδική μορφή. (β) Με συνηθισμένους πλίνθους και σφηνοειδείς αρμούς.

Τεχνητοί λίθοι με ειδικές μορφές χρειάζονται και σ' άλλες περιπτώσεις, όπως π.χ. για το κτίσιμο θόλων, αψίδων, καμπύλων τοίχων (καμινάδες) κλπ. [σχ. 2.2i(a)]. Μπορούν όμως και στις κατασκευές αυτές να χρησιμοποιηθούν συνηθισμένοι πλίνθοι και οι αρμοί να μην έχουν παντού το ίδιο πάχος [σχ. 2.2i(β)].

### 2.3 Κατασκευές με πλίθρες (ωμοπλινθοδομές).

Οι **πλίθρες** (ωμόπλινθοι) κατασκευάζονται από πηλό, αφού προστεθούν συνήθως λίγη άμμος και άχυρα. Χρησιμοποιούνται από πολύ παλιά σε περιοχές, όπου δεν υπάρχουν φυσικές πέτρες, όπως είναι π.χ. οι πεδινές περιοχές της Ελλάδας (Θεσσαλία, Ηλεία κλπ.). Όσο όμως περνούν τα χρόνια, τόσο σπανιότερη γίνεται η χρήση τους.

Για να κατασκευασθούν οι πλίθρες, διαλέγεται πρώτα το κατάλληλο έδαφος, όπου πρέπει να επικρατεί η άργιλος, να υπάρχει όμως και κάποιο αξιόλογο ποσοστό πηλού (ιλύος) ή ψιλής άμμου. Το έδαφος αυτό σκάβεται, θρυμματίζεται και ανακατεύεται με νερό, ώστε να γίνει μια εύπλαστη μάζα. Η μάζα αυτή ζυμώνεται με επιμέλεια και, αφού προστεθούν τα άχυρα και η άμμος, αν χρειάζεται, πλάθονται οι πλίθρες με τα χέρια ή χύνονται μέσα σε κατάλληλα καλούπια. Οι πλίθρες στεγνώνουν και σκληραίνουν στο ύπαιθρο. Επειδή, όσο στεγνώνουν, παρουσιάζεται κάποια συστολή του υλικού και υπάρχει κίνδυνος να παρουσιασθούν ρωγμές, είναι προτιμότερο να στεγνώνουν στη σκιά. Έτσι η συστολή γίνεται σιγά-σιγά και ομοιόμορφα και το υλικό προφθαίνει να προσαρμοσθεί στις νέες συνθήκες, χωρίς να ραγίσει. Η άμμος περιορίζει τη συστολή, ενώ τα άχυρα παίζουν το ρόλο κάποιου στοιχειώδους οπλισμού, δίνουν δηλαδή στο υλικό κάποια αντοχή σε εφελκυσμό κι έτσι δεν εμφανίζονται ρωγμές με τη συστολή.

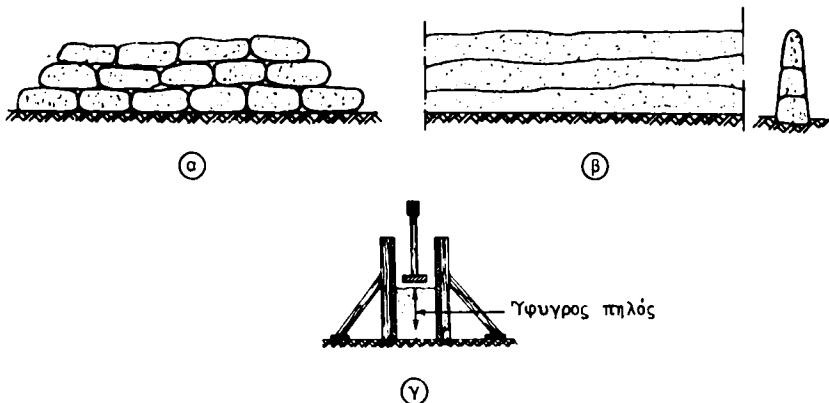
Οι πλίθρες θεωρούνται πρόχειρα και φθηνά υλικά χαμηλής ποιότητας, με μικρή αντοχή και περιορισμένη διάρκεια ζωής. Αυτό είναι σωστό, όταν η κατασκευή τους γίνεται πρόχειρα, όπως συνήθως συμβαίνει στην Ελλάδα. Εντούτοις, όταν η κατασκευή τους γίνεται με επιμέλεια, αποτελούν υλικό άριστο και η απόδειξη είναι, ότι σε πολλά μέρη του κόσμου, αλλά και στην Αθήνα, έχουν διατηρηθεί για χιλιάδες χρόνια, ενώ φυσικές πέτρες, ξύλα και μέταλλα δεν άντεξαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Η αντοχή, που παρουσιάζουν οι πλίθρες τόσο στα φορτία όσο και στο χρόνο, είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο λιγότερο νερό έχει η λάσπη και όσο περισσότερο έχουν κοπανισθεί και συμπιεσθεί, για να πάρουν το τελικό τους σχήμα.

Δεν υπάρχει οργανωμένη βιομηχανία ή έστω βιοτεχνία, που να φτιάχνει πλίθρες. Κατά κανόνα ετοιμάζονται κοντά στο έργο από τους ίδιους τους τεχνίτες, που το κατασκευάζουν και έτσι δεν έχει τυποποιηθεί και το μέγεθός τους. Συνήθως οι διαστάσεις τους είναι μεγαλύτερες από  $12 \times 12 \times 25$  cm και μικρότερες από  $20 \times 20 \times 40$  cm.

Οι πλίθρες μπορούν να κτισθούν χωρίς κονίαμα (γρετίδικες), όταν η κατασκευή είναι πρόχειρη. Ο κανόνας είναι να κτίζονται με κονίαμα. Το μόνο κατάλληλο κονίαμα για τις ωμοπλινθοδομές είναι ο πηλός (λάσπη), δηλαδή ένα μίγμα νερού με χώμα, όπου κυριαρχούν κόκκοι μικρότεροι από 0,05 mm. Τα άλλα κονιάματα δεν παρουσιάζουν ικανοποιητική πρόσφυση με τις πλίθρες, ενώ συγχρόνως είναι πολύ ακριβά σε σύγκριση με την αξία των ωμοπλινθων.

Αν προσθέσουμε λίγο τσιμέντο στη λάσπη, που χρησιμοποιείται τόσο για να κατασκευασθούν όσο και για να κτισθούν οι πλίθρες, η αντοχή μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Η προσθήκη όμως αυτή αποφεύγεται, επειδή ανεβάζει πολύ το κόστος, ενώ οι κατασκευές με πλίθρες εφαρμόζονται ακριβώς εκεί, όπου το κόστος χρειάζεται να είναι εξαιρετικά χαμηλό. Πράγματι μια ωμοπλινθοδομή για τον αγρότη δεν τον επιβαρύνει καθόλου χρηματικά, μια και οι πρώτες ύλες δεν αγοράζονται και η εργασία προσφέρεται από τον ίδιο και τα μέλη της οικογένειάς του, που συνήθως υποαπασχολούνται.

Εκτός από τις συνηθισμένες πλίθρες, ο πηλός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλους τρόπους σε κατασκευές τοίχων. Μπορεί π.χ. οι πλίθρες να πλάθονται δίπλα στο έργο και να τοποθετούνται αμέσως, πριν στεγνώσουν, η μια πάνω στην άλλη, οπότε δε χρειάζεται και κονίαμα, γιατί κολλούν η μια με την άλλη, ώσπου να στεγνώσουν [σχ. 2.3 (α)].



Σχ. 2.3.

Τοίχοι κατασκευασμένοι με ωμό χώμα: (α) Πλίθρες, που κτίζονται νωπές. (β) Διάστρωση της λάσπης υγρής κατά στρώματα. (γ) Συμπιεσμένος πηλός σε καλούπια.

Μπορεί ο πηλός να στρώνεται, όπως είναι υγρός ακόμα, σε συνεχείς στρώσεις. Κάθε στρώση πατά πάνω στην προηγούμενη και είναι λίγο στενότερη, για να υπάρχει καλύτερη ισορροπία. Όταν στεγνώσει ο πηλός, ο τοίχος παρουσιάζεται σα μονολιθικός [σχ. 2.3 (β)].

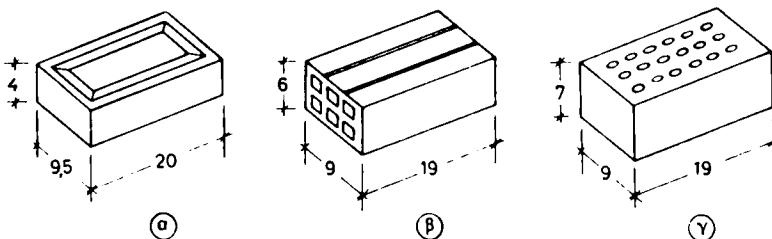
Μια τρίτη λύση είναι να στήνονται προσωρινά καλούπια και μέσα τους να χύνεται και να κοπανίζεται ο πηλός [σχ. 2.3 (γ)]. Ο πηλός αυτός πρέπει να έχει ελάχιστο νερό, ώστε να στεγνώνει καί να σκληραίνει γρήγορα και να μπορούν να βγουν τα καλούπια και να τοποθετηθούν ψηλότερα, για να προχωρήσει το κτίσιμο. Οι τοίχοι αυτοί έχουν σταθερό πάχος, τέλειο σχήμα, ομαλές επιφάνειες και πολύ μεγάλη αντοχή στα φορτία, αλλά και στις δυσμενείς ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Και οι τρεις αυτές μέθοδοι κατασκευής εφαρμόζονται στην Ελλάδα σε πολύ περιορισμένη κλίμακα. Αντίθετα σε πολλές περιοχές της γης και ιδιαίτερα στα ζεστά και ξερά κλίματα, όταν δεν υπάρχουν άφθονες φυσικές πέτρες, οι κατασκευές αυτές αποτελούν το γενικό κανόνα.

## 2.4 Κατασκευές από τούβλα (οπτόπλινθοδομές).

Τα τούβλα (οπτόπλινθοι) κατασκευάζονται κι αυτά από πηλό, αλλά, όταν στεγνώσουν, τοποθετούνται σε ειδικά καμίνια, όπου ψήνονται σε θερμοκρασία  $900^{\circ}$  ως  $1000^{\circ}\text{C}$ . Κατά το ψήσιμο γίνονται ορισμένες χημικές και φυσικοχημικές αντιδράσεις κι' έτσι, όταν βραχούν τα τούβλα, δε μεταβάλλονται πια σε πηλό, δηλαδή σε εύπλαστη μάζα. Ακόμα κι αν θρυμματίσομε και αλέσουμε τα τούβλα, η σκόνη, που θα προκύψει, δεν παρουσιάζει καμιά πλαστικότητα, αλλά έχει τις ιδιότητες της άμμου.

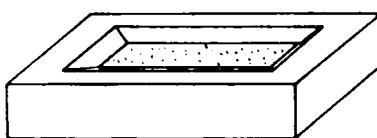
Τα τούβλα είναι προϊόντα βιομηχανικά ή τουλάχιστον βιοτεχνικά κι έτσι μπορούν και πρέπει να είναι τυποποιημένα. Στην Ελλάδα δεν έχουμε πετύχει μια γενική και αυστηρή τυποποίηση, αλλά οι πιο συνηθισμένοι τύποι τούβλων φαίνονται στο σχήμα 2.4a. Σήμερα τα τούβλα κατασκευάζονται με μηχανήματα κι έτσι είναι εξασφαλισμένη η ομοιομορφία τουλάχιστον ως προς τις διαστάσεις.



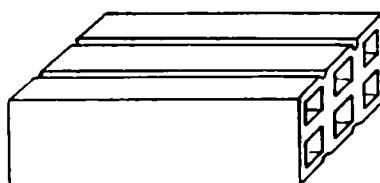
Σχ. 2.4a.

Συνηθισμένες μορφές τούβλων στο ελληνικό εμπόριο:

(a) Γερό (συμπαγές). (b) Με οριζόντιες τρύπες. (c) Με όρθιες τρύπες.



Σχ. 2.4β.  
Τυπικό γερό τούβλο.



Σχ. 2.4γ.  
Τυπικό τρύπιο τούβλο.

Τα τούβλα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τα **γερά** (συμπαγή) και τα **τρύπα** (διάτρητα). Τα γερά τούβλα (σχ. 2.4β) έχουν μικρότερο ύψος, κάτω από 5 cm, για να μπορούν να ψήνονται καλά. Στην πάνω και στην κάτω έδρα τους έχουν δυο κοιλώματα με σχήμα σκάφης ή παρόμοιο. Στο κτίσιμο τα κοιλώματα αυτά γεμίζουν με κονίαμα και χρειάζονται κυρίως:

α) Για να είναι μικρότερο το πάχος του τούβλου, ώστε το ψήσιμο να γίνεται καλύτερα,

β) για να είναι το τούβλο πιο ελαφρό, ώστε να μεταφέρεται και να κτίζεται πιο εύκολα και

γ) για να γίνεται καλύτερη η πρόσφυση του κονιάματος με τα τούβλα.

Τα τρύπια τούβλα (σχ. 2.4γ) έχουν συνήθως κενά παράλληλα με το μήκος

τους. Τα κενά αυτά έχουν διατομή τετράγωνη, ορθογωνική ή στρογγυλή και χωρίζονται με τοιχώματα, που έχουν πάχος περίπου 1 cm. Επειδή οι τρύπες διευκολύνουν το ψήσιμο, τα τούβλα αυτά έχουν μεγαλύτερο ύψος, συνήθως 6 cm ή λίγο περισσότερο. Το κυριότερο πλεονέκτημα των τρύπων τούβλων είναι το μικρό τους βάρος. Έτσι οι μεταφορές και το κτίσιμό τους γίνονται πιο εύκολα, ενώ συγχρόνως γίνεται οικονομία στην πρώτη ύλη και μειώνονται τα φορτία, που οφείλονται στο ίδιο το βάρος της πλινθοδομής.

Μερικές φορές τα κενά είναι κατακόρυφα. Με τα τούβλα αυτά μπορούν να κτισθούν μπατικοί τοίχοι, χωρίς να έχουν το μειονέκτημα να έχουν τρύπες, που να φθάνουν από τη μια όψη τους ως την άλλη.

Οι τοίχοι από τούβλα άλλοτε είναι **φέροντες**, πάνω τους δηλαδή στηρίζονται άλλα δομικά στοιχεία και τους επιβάλλουν φορτία, κι άλλοτε είναι **φερόμενοι**, στηρίζονται δηλαδή πάνω σε άλλα δομικά στοιχεία και δε φορτίζονται, παρά μόνο με το ίδιο τους το βάρος. Στη δεύτερη περίπτωση πρέπει οπωσδήποτε να κτίζονται με τούβλα τρύπια, για να έχουν όσο γίνεται μικρότερο βάρος. Στην πρώτη περίπτωση μπορούν και πάλι να κτισθούν με τρύπια τούβλα, εκτός αν τα φορτία που φέρουν ξεπερνούν την αντοχή των τούβλων αυτών, οπότε επιβάλλεται να κτίζονται με τούβλα γερά. Πολλές φορές σε τοίχους από τούβλα, ιδίως όταν είναι φέροντες, χρειάζεται να κατασκευασθούν διαζώματα (σαινάζ) από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα διαζώματα αυτά είναι παρόμοια με εκείνα, που κατασκευάζονται στις λιθοδομές (σχ. 1.8η).

Οι ελληνικοί κανονισμοί επιτρέπουν να κατασκευάζονται τοίχοι φέροντες μόνο σε οικοδομές, που έχουν το πολύ έναν όροφο πάνω από το ισόγειο και το υπόγειο. Έτσι τα φορτία δεν είναι πολύ μεγάλα και κατά κανόνα οι τοίχοι μπορούν να κτισθούν με τρύπια τούβλα. Γί' αυτό το λόγο σήμερα η παραγωγή και η χρήση γερών τούβλων είναι εξαιρετικά περιορισμένη.

Τα τούβλα κτίζονται πάντοτε με κονίαμα και μάλιστα συνήθως με ασβεστοτιμέντοκονίαμα ή ασβεστοκονίαμα και σπάνια με τσιμέντοκονίαμα. Όταν ο τοίχος είναι φέρων, το κονίαμα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 150 kg τσιμέντου σε κάθε  $m^3$ , ένα μέρος δηλαδή τσιμέντου για κάθε οκτώ περίπου μέρη ασβέστη και άμμου μαζί. Αυτό μπορούμε να το πετύχομε ανακατεύοντας ίσες ποσότητες ενός ασβεστοκονιάματος με αναλογία 1:3 ως 1:4 και ενός τσιμέντοκονιάματος με την ίδια αναλογία.

Για να κατασκευασθεί ένας δρομικός τοίχος με συνηθισμένα τρύπια τούβλα, που έχουν διαστάσεις  $19 \times 9 \times 6$  cm, χρειάζονται 75 τούβλα και  $0,02 m^3$  κονίαμα για κάθε τετραγωνικό μέτρο. Αν ο τοίχος είναι μπατικός, τα τούβλα είναι διπλάσια, δηλαδή 150, το κονίαμα όμως είναι περισσότερο από διπλάσιο και φθάνει τα  $0,055 m^3$  για κάθε τετραγωνικό μέτρο τοίχου.

Όταν τα τούβλα είναι γερά με τις συνηθισμένες διαστάσεις  $20 \times 9,5 \times 4$  cm, για κάθε τετραγωνικό μέτρο δρομικού τοίχου χρειάζονται 100 τούβλα και  $0,032 m^3$  κονιάματος. Για κάθε τετραγωνικό μέτρο μπατικού τοίχου χρειάζονται 200 τούβλα και  $0,085 m^3$  κονιάματος.

Τα τούβλα χρησιμοποιούνται κυρίως σε έργα οικοδομικά για το κτίσιμο τοίχων και λιγότερο για την κατασκευή θόλων και αψίδων. Πολύ σπάνια κατασκευάζονται με τούβλα τοίχοι αντιστρητίξεως, βάθρα γεφυρών, θολωτές γέφυρες, κρηπιδώματα

κλπ., όπως και τοίχοι θεμελίων, υπογείων και βάσεων τουλάχιστον στην Ελλάδα. Για όλες αυτές τις κατασκευές πάντως, είναι σχεδόν απαραίτητο, αν πρέπει να γίνουν με τούβλα, να χρησιμοποιούνται τούβλα γερά.

Εκτός από τα συνηθισμένα τούβλα πρέπει να αναφέρομε και τα πυρότουβλα (τούβλα της φωτιάς, πυρίμαχοι πλίνθοι), που χρησιμοποιούνται για να κτίζονται καμίνια, φούρνοι, τζάκια, καμινάδες κλπ. Επειδή οι περισσότερες φυσικές πέτρες, τα ξύλα, τα συνηθισμένα μέταλλα και το σκυρόδεμα δεν αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες, τα πυρότουβλα είναι το μοναδικό σχεδόν κατάλληλο υλικό για τέτοιου είδους κατασκευές.

Τα πυρότουβλα κατασκευάζονται και ψήνονται, όπως και τα κοινά τούβλα. Η διαφορά είναι ότι για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται χώματα πλούσια σε ένυδρο πυριτικό αργίλιο. Τέτοια κατάλληλα χώματα δεν είναι πολύ συνηθισμένα, γι' αυτό και τα καλά πυρότουβλα παράγονται από λίγες μόνο αναγνωρισμένες βιομηχανίες. Στη χώρα μας τα περισσότερα εισάγονται από το εξωτερικό, αν και υπάρχουν και Ελληνικά.

Τα πυρότουβλα πρέπει να κτίζονται με ειδικά κονιάματα, που να αντέχουν κι αυτά σε υψηλές θερμοκρασίες, γιατί αλλοιώς η κατασκευή γρήγορα θα αρχίσει να καταστρέφεται. Τα κονιάματα αυτά είναι κυρίως μίγματα νερού με πυρόχωμα. Το πυρόχωμα είναι παρόμοιο με την πρώτη ύλη των πυρότουβλων ενισχυμένο με μερικά χημικά προσμίγματα, που βελτιώνουν τις ιδιότητές του και είναι κι αυτό κατά κανόνα βιομηχανικό προϊόν.

Τα πυρότουβλα έχουν πολύ μεγάλη εφαρμογή στη βιομηχανία και χρησιμοποιούνται σε κατασκευές, που παίζουν καίριο ρόλο στη λειτουργία και την παραγωγή των εργοστασίων. Γ' αυτό τα υλικά πρέπει να διαλέγονται με μεγάλη προσοχή και το κτίσιμο να γίνεται με εξαιρετική επιμέλεια και να μη γίνονται παράλογες οικονομίες, που μπορούν να προκαλέσουν δυσανάλογες με το μέγεθός τους ζημιές. Μερικές φορές μάλιστα οι κατασκευές αυτές δεν αρκεί να αντέχουν μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και σε διάφορες χημικές δράσεις, οπότε τα υλικά πρέπει να έχουν και πρόσθετες ιδιότητες, να είναι π.χ. οξύμαχα κ.ο.κ.

## 2.5 Κατασκευές από τσιμεντόλιθους και κισσηρόπλινθους.

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες άρχισε να διαδίδεται στην Ελλάδα η χρήση των **τσιμεντολίθων** για το κτίσιμο τοίχων και να περιορίζεται η χρήση των τούβλων. Αυτό οφείλεται στο ότι παρουσιάζουν σημαντικές ευκολίες τόσο στην παραγωγή τους όσο και στο κτίσιμο σε σύγκριση με τα τούβλα.

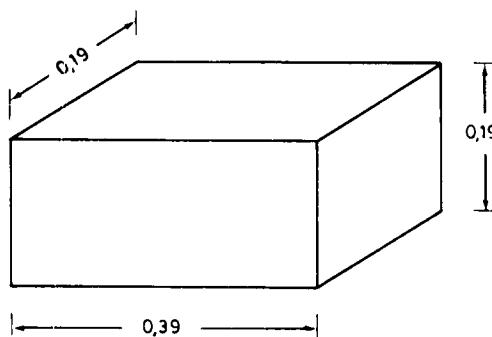
Οι τσιμεντόλιθοι δε χρειάζονται ψήσιμο, επομένως μπορούν να κατασκευασθούν φθηνότερα και γρηγορότερα, χωρίς μεγάλες και δαπανηρές εγκαταστάσεις, ακόμα και στο εργοτάξιο. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται υλικά, που υπάρχουν σε κάθε εργοτάξιο, επομένως δε χρειάζονται ούτε ιδιαίτερες παραγγελίες ούτε ιδιαίτεροι χώροι για την αποθήκευσή τους. Οι διαστάσεις των τσιμεντολίθων μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερες απ' τις διαστάσεις των τούβλων, μια και δεν χρειάζονται ψήσιμο. Έτσι οι τοίχοι κτίζονται πιο γρήγορα και με λιγότερο κονιάμα, ώστε τελικά το κόστος της κατασκευής να είναι πολύ μικρότερο.

Επειδή όμως οι τσιμεντόλιθοι μπορούν εύκολα να κατασκευασθούν, αυτό δημιουργεί τον κίνδυνο να κατασκευάζονται πότε - πότε τελείωση πρόχειρα και χωρίς έλεγχο κι έτσι να είναι πολύ κακής ποιότητας. Γι' αυτό συνήθως οι τσιμεντόλιθοι, σε σύγκριση με τα τούβλα, έχουν μικρότερη αντοχή και μικρότερη μονωτική ικανότητα στην υγρασία, τη θερμότητα και το θόρυβο. 'Όταν όμως κατασκευάζονται με επιμέλεια, τα μειονεκτήματα αυτά περιορίζονται, χωρίς η παραγωγή τους να γίνεται πολύ πιο δαπανηρή. Πρέπει λοιπόν πάντοτε, όταν πρόκειται να προμηθευθούμε τσιμεντόλιθους, να προσέχουμε ιδιαίτερα να είναι καλής ποιότητας, δηλαδή να μη σπάνε εύκολα, να έχουν τέλειες ακμές και γενικά να παρουσιάζουν την όψη υλικού, που κατασκευάζηκε με επιμέλεια.

Οι τσιμεντόλιθοι κατασκευάζονται από ισχνό τσιμεντοκονίαμα, δηλαδή με αναλογία ενός μέρους τσιμέντου προς 4 ως 6 μέρη χοντρής άμμου με καλή κοκκομετρική σύνθεση. Για την άμμο και ιδιαίτερα για την κοκκομετρική σύνθεση είναι γνωστά ορισμένα στοιχεία από το μάθημα των Δομικών Υλικών, αρκετά όμως αναφέρονται και στις παραγράφους 2.2, 3.1 και 3.2 του βιβλίου «Γενικής Δομικής I», όπως και στην παράγραφο 4.3.4 αυτού του βιβλίου.

Το τσιμεντοκονίαμα χύνεται μέσα σε μεταλλικά καλούπια (τύπους), όπου συμπίζεται καλά με κοπάνισμα ή και με δόνηση. 'Όταν αφαιρεθούν τα καλούπια, οι τσιμεντόλιθοι αφήνονται να πήξουν και να σκληρύνουν. Στην περίοδο αυτή, που διαρκεί μια ως τρεις βδομάδες, πρέπει να καταβρέχονται, ώστε να είναι πάντοτε υγροί.

Οι τσιμεντόλιθοι κατασκευάζονται συνήθως διάτρητοι, για να μπορούν να έχουν σχετικά μεγάλες διαστάσεις, χωρίς να γίνεται το βάρος τους υπερβολικό. Συμπαγείς τσιμεντόλιθοι χρησιμοποιούνται κυρίως σαν αγκωνάρια σε λιθοδομές (σχ. 2.5α), ή σε τοίχους θεμελίων, βάσεων και υπογείων χώρων, αν και αυτό δε συνηθίζεται στην Ελλάδα. Στο σχήμα 2.5β δίνονται δύο παραδείγματα τσιμεντολίθων με κενά.



**Σχ. 2.5α.**

Συμπαγής τσιμεντόλιθος, που χρησιμοποιείται κυρίως σαν αγκωνάρι στις λιθοδομές.

Οι συνηθισμένες διαστάσεις των τσιμεντολίθων είναι  $39 \times 19 \times 19$  cm. Με τους τσιμεντόλιθους αυτούς κτίζονται δρομικοί τοίχοι, που έχουν όμως το πάχος των μπατικών τοίχων από τούβλα. Πολύ σπάνια κτίζονται μπατικοί τοίχοι με τσιμεντόλιθους, γιατί το πάχος τους είναι περίπου 40 cm.

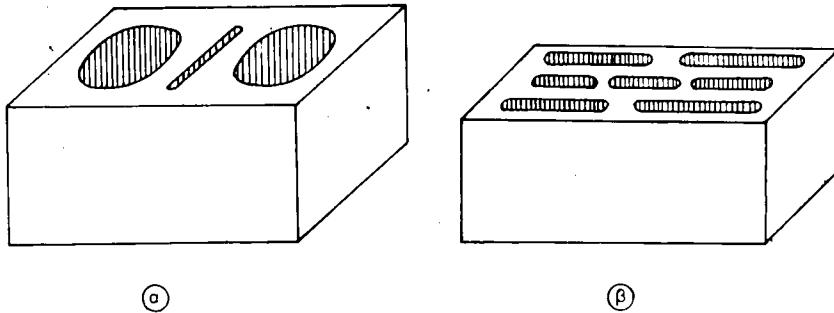
Για τοίχους με πάχος γύρω στα 10 cm πρέπει να αποφεύγονται οι τσιμεντόλι-

θοι. Κυκλοφορούν βέβαια στο εμπόριο για το σκοπό αυτό τσιμεντόλιθοι με διαστάσεις  $39 \times 9 \times 19$  cm ή και ακόμα στενότεροι, αλλά οι τοίχοι αυτοί είναι αρκετά ασταθείς και γίνονται ακόμα πιο επικίνδυνοι, αν πρέπει σ' αυτούς να ανοιχθούν τρύπες, λακκούβες ή αυλάκια, για τις υδραυλικές ή ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Αν τελικά κτισθούν τέτοιοι τοίχοι με τσιμεντόλιθους το κτίσιμο πρέπει να γίνεται με εξαιρετική επιμέλεια και με πολύ ισχυρό κονίαμα.

Οι τσιμεντόλιθοι κτίζονται πάντοτε με κονίαμα και μάλιστα με τσιμεντοκονίαμα, όπου μπορεί να προστεθεί λίγος ασβέστης, ώστε να μη πήζει πολύ γρήγορα και να δουλεύεται έτσι πιο εύκολα.

Για να κτισθεί ένας τοίχος με πάχος 19 cm, χρειάζονται 13 τσιμεντόλιθοι διαστάσεων  $39 \times 19 \times 19$  cm και  $0,026 \text{ m}^3$  κονίαμα για κάθε τετραγωνικό μέτρο. Όταν ο τοίχος έχει πάχος 9 cm, χρειάζονται και πάλι 13 τσιμεντόλιθοι, αλλά με διαστάσεις  $39 \times 9 \times 19$  cm και το μισό κονίαμα, δηλαδή  $0,013 \text{ m}^3$  για κάθε τετραγωνικό μέτρο.

Όταν υπάρχουν κατάλληλες τρύπες στους τσιμεντόλιθους, μπορούν να τοποθετηθούν σ' αυτές κατακόρυφα ράβδοι οπλισμού. Κατά το κτίσιμο οι τρύπες αυτές



Σχ. 2.58.  
Τυπικές μορφές τρύπων τσιμεντολίθων.

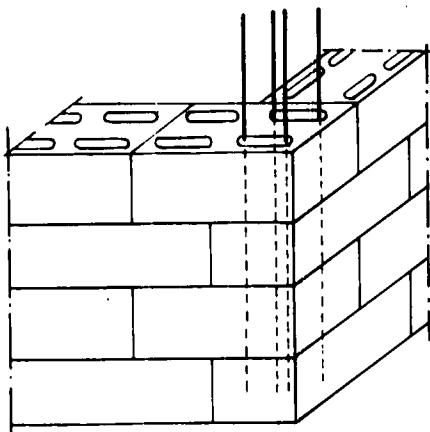
γεμίζονται με επιμέλεια με τσιμεντοκονίαμα, ώστε έτσι σχηματίζεται ένα είδος κολώνας από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αν προβλεφθούν τέτοιες κολώνες σε μερικές καίριες θέσεις, όπως π.χ. στις γωνιές των τοίχων, στους λαμπάδες των κουφωμάτων κλπ. (σχ. 2.5γ), βελτιώνεται πολύ η αντοχή της κατασκευής, ιδιαίτερα για την αντιμετώπιση των σεισμών.

Ράβδοι οπλισμού μπορούν να μπουν και οριζόντιες μέσα σε μερικούς αρμούς που θα πρέπει τότε να έχουν λίγο μεγαλύτερο πάχος και να γεμίσουν με επιμέλεια με κονίαμα καλής ποιότητας. Ένας τέτοιος αρμός μπορεί να παίζει τον ίδιο ρόλο, όπως τα διαζώματα (σαινάζ) από οπλισμένο σκυρόδεμα, που προβλέπονται στις λιθοδομές και τις πλινθοδομές, όταν οι κατασκευές πρέπει να είναι αντισεισμικές. Έτσι γλυτώνομε τα καλούπια, που καθυστερούν τη δουλειά και ανεβάζουν το κόστος της κατασκευής.

Όταν αντί για συνηθισμένη άμμο χρησιμοποιηθεί **ελαφρόπετρα** (κίσσηρις), οι τεχνητοί λίθοι δε λέγονται τσιμεντόλιθοι, αλλά **κισσηρόπλινθοι**. Οι κισσηρόπλινθοι έχουν μικρότερη αντοχή, αλλά είναι εξαιρετικά ελαφροί και έχουν μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα. Είναι κατάλληλοι επομένως για την κατασκευή τοίχων, που δε φέρουν φορτία, αλλά στηρίζονται πάνω σε άλλα δομικά στοιχεία. Αντίθετα οι τσι-

μεντόλιθοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε φέρουσες και σε φερόμενες κατασκευές.

Στις κατασκευές από κιστηρόπλινθους πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα σημεία εκείνα, που προβλέπεται ότι θα βρίσκονται κοντά σε σωλήνες ή άλλες μεταλλικές κατασκευές. Για να μη σκουριάσουν και καταστραφούν τα μεταλλικά αυτά στοιχεία, πρέπει να σκεπάζονται καλά με τσιμεντοκονία και να μην υπάρχει κοντά τους ασβέστης ή γύψος, γιατί τα υλικά αυτά προκαλούν χημικές αντιδράσεις με την ελαφρόπετρα, που είναι πολύ επικίνδυνες για τα μέταλλα.



**Σχ. 2.5γ.**  
Οπλισμένη τσιμεντολιθοδομή.

## 2.6 Χάραξη και μόρφωση τοίχων από τεχνητούς λίθους.

Οι τοίχοι από τεχνητούς λίθους κτίζονται συνήθως πάνω σε ένα έτοιμο δάπεδο από σκυρόδεμα και σπανιότερα πάνω σε ένα τοίχο θεμελίων από φυσικές πέτρες με πάχος πολύ μεγαλύτερο από το πάχος της πλινθοδομής. Πριν αρχίσει το κτίσιμό τους, πρέπει να γίνει η χάραξή τους. Παίρνομε τα στοιχεία από το σχέδιο της κατόψεως του έργου, κάνομε τις αναγκαίες μετρήσεις και υλοποιούμε τη θέση της μιας όψεως κάθε τοίχου με ένα **ράμμα** (σχ. 1.5β). Το ράμμα είναι ένας τεντωμένος σπάγγος, που στηρίζεται στις άκρες του σε δύο πασσαλάκια, συνήθως δύο μεγάλα καρφιά, που καρφώνονται στο δάπεδο ή στο θεμέλιο. Αν η όψη του τοίχου είναι στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, είναι **περασιά** όπως λέγεται, με την επιφάνεια κάποιου άλλου δομικού στοιχείου, π.χ. μιας κολώνας από οπλισμένο σκυρόδεμα, που έχει κατασκευασθεί ήδη, τότε το ράμμα στηρίζεται στο δομικό αυτό στοιχείο.

Όταν μπουν τα ράμματα, γίνει ο έλεγχος και εξασφαλισθεί ότι η χάραξη είναι σωστή, κτίζεται η πρώτη σειρά των πλίνθων με προσοχή, ώστε η μια της πλευρά να αγγίζει παντού το ράμμα. Η πρώτη αυτή σειρά χρησιμεύει στο κτίσιμο για οδηγός και μόλις πήξει το κονίαμά της, το ράμμα μπορεί να ξηλωθεί. Η πρώτη αυτή φάση των εργασιών για το κτίσιμο των τοίχων είναι πολύ σημαντική και πρέπει να εκτελείται με προσοχή από τον καλύτερο και πιο έμπειρο τεχνίτη του συνεργείου.

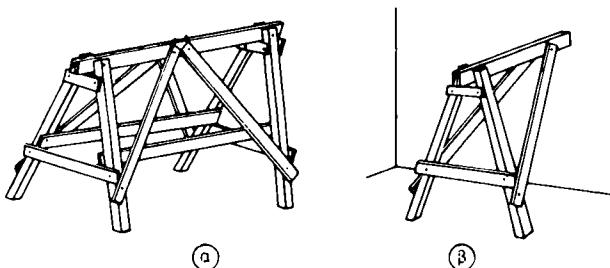
Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα σημεία, όπου δύο τοίχοι σχηματίζουν ορθή γωνία, ώστε πράγματι η γωνία, που σχηματίζουν τα ράμματα, να είναι ορθή.

Αυτό έχει μεγάλη σημασία, γιατί στην αντίθετη περίπτωση θα παρουσιασθούν προβλήματα στις πλακοστρώσεις ή στις σανίδες των δαπέδων, στις ψευδοροφές, στην τοποθέτηση των εντοιχισμένων επίπλων κ.ο.κ.

Από κει και πέρα το κτίσιμο προχωρεί χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες. Για να πετύχομε όψεις του τοίχου επίπεδες και κατακόρυφες, χρησιμοποιούμε το **ζύγι** (νήμα της στάθμης σχ. 1.5γ), που εξασφαλίζει ότι κάθε σημείο της όψεως του τοίχου βρίσκεται στην ίδια κατακόρυφη με κάποιο σημείο της πλευράς της πρώτης σειράς των πλίνθων, που άγγιζε το ράμμα. Επειδή οι πλίνθοι έχουν τυποποιημένο μέγεθος, δε χρειάζεται συνήθως να ελέγχεται κι η άλλη όψη του τοίχου. Για διευκόλυνση της δουλειάς μπορεί να τοποθετηθούν και οριζόντια ράμματα σε κατάλληλα ενδιάμεσα ύψη, που ελέγχονται πάλι με το ζύγι, ώστε να βρίσκονται στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με το αρχικό ράμμα.

Όπου προβλέπονται ανοίγματα στον τοίχο, το κτίσιμο σταματά στο ύψος της ποδιάς. Πάιρνονται πάλι τα απαραίτητα στοιχεία από τα σχέδια, γίνονται οι αναγκαίες μετρήσεις και σημειώνονται οι θέσεις των ανοιγμάτων με ακρίβεια. Έπειτα προχωρά το κτίσιμο του τοίχου και διαμορφώνονται οι λαμπάδες με τα κατάλληλα συμπλέγματα πλίνθων ως το ύψος των ανωφλίων. Διακόπτεται και πάλι το κτίσιμο, τοποθετούνται τα ανώφλια (πρέκια), που είναι συνήθως προκατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, και συμπληρώνεται ο τοίχος.

Οι τοίχοι από τεχνητούς λίθους δεν έχουν συνήθως ύψος μεγαλύτερο από τρία μέτρα κι έτσι δε χρειάζονται σκαλωσιές (ικριώματα) για το κτίσιμό τους. Αρκούν συνήθως δύο στρίποδα (καβαλέτα σχ. 2.6α) με ύψος γύρω στο ένα μέτρο, που πάνω τους στηρίζονται δύο - τρία μαδέρια και μετακινούνται, όπου χρειάζονται. Στα μαδέρια πάνω πατούν οι τεχνίτες και ακουμπούν τους πλίνθους και το δοχείο με το κονίαμα. Επειδή μάλιστα το πάχος των τοίχων είναι μικρό, το κτίσιμο γίνεται συνήθως μόνο από τη μια μεριά. Όταν βέβαια οι τοίχοι είναι πολύ υψηλοί, γίνονται κανονικές σκαλωσιές, όπως και για τις λιθοδομές (παράγραφος 1.5).

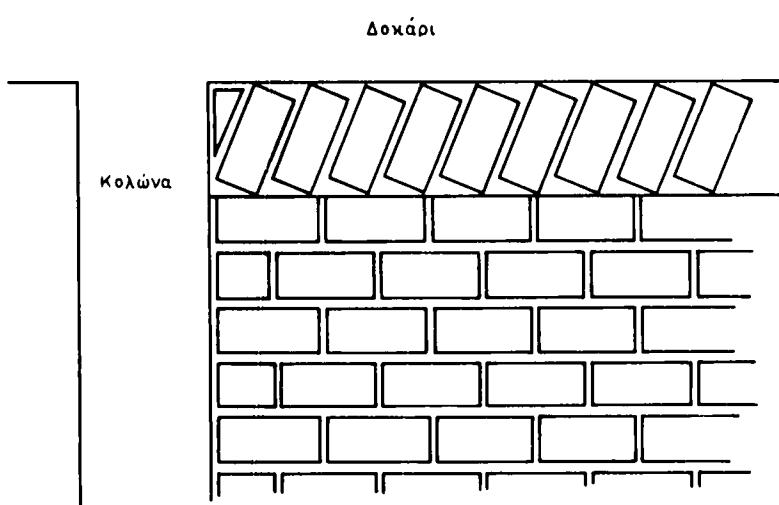


**Σχ. 2.6α.**  
Καβαλέτα: (α) Διπλό. (β) Μονό.

Για το κτίσιμο με τεχνητούς λίθους χρησιμοποιείται συνήθως μόνο το μυστρί (σχ. 1.5α) για την τοποθέτηση του κονιάματος, ενώ οι πλίνθοι τοποθετούνται στη θέση τους με τα χέρια. Για να πάρουν ακριβώς τη σωστή τους θέση, χρειάζονται μερικά κατάλληλα κτυπήματα, όπως και οι φυσικές πέτρες. Τα χτυπήματα αυτά γίνονται συνήθως με τη λαβή του μυστριού ή και με το χέρι, επειδή οι πλίνθοι έχουν

μικρό βάρος και δε χρειάζεται σφυρί.

Οι φερόμενοι τοίχοι κτίζονται, αφού έχει τελειώσει ο σκελετός της οικοδομής. Έτσι από πάνω τους βρίσκεται η πλάκα ή κάποιο δοκάρι της οροφής και υπάρχει έτσι κάποια δυσκολία για το κτίσιμο των τελευταίων 10 ως 20 cm στο υψηλότερο μέρος των τοίχων. Το σωστό είναι να κτίζονται οι τοίχοι ως το ύψος αυτό μόνο και να αφήνονται μερικές μέρες να καθήσουν, να μειωθεί δηλαδή το ύψος τους, τόσο κάτω από την επίδραση του βάρους τους, αλλά και από τη συστολή των κονιαμάτων. Όταν περάσουν λίγες μέρες, η τελευταία ζώνη των τοίχων, που πρέπει να έχει ύψος λίγο μικρότερο από το μάκρος των πλίνθων, κτίζεται με πλίνθους, που τοποθετούνται σχεδόν όρθιοι (σχ. 2.6β), ώστε να συμπληρώνουν ολόκληρο αυτό το ύψος.



**Σχ. 2.6β.**  
Συμπλήρωση πάνω μέρους πλινθοδομής με λοξά τούβλα.

Σε καμιά άλλη περίπτωση οι πλίνθοι δεν επιτρέπεται να τοποθετούνται όρθιοι. Ακόμα και η τοποθέτησή τους έτσι, ώστε το πλάτος τους π να γίνεται ύψος και το ύψος τους υ να γίνεται πλάτος, πρέπει να αποφεύγεται. Τέτοιοι τοίχοι είναι πολύ ασταθείς, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.5 σχετικά με τις τσιμεντολιθοδομές, που έχουν πάχος γύρω στα 10 cm. Μερικές φορές για λόγους οικονομίας χώρου κατασκευάζονται ψαθωτοί τοίχοι από δύο δρομικά τούβλα τοποθετημένα μ' αυτό τον τρόπο τοπικά εκεί, όπου προβλέπονται συρτές πόρτες ή παράθυρα, αλλά και αυτοί πρέπει να αποφεύγονται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΜΕ ΒΛΑΒΕΣ

#### **3.1 Αιτίες που προκαλούν βλάβες στις τοιχοποιίες.**

Οι τοίχοι από φυσικούς η τεχνητούς λίθους παρουσιάζουν πολλές φορές διάφορες βλάβες. Οι βλάβες αυτές μπορεί να είναι:

- α) Ρωγμές με μικρό ή μεγαλύτερο πλάτος.
- β) Καθιζήσεις τοπικές ή γενικές.
- γ) Παραμορφώσεις των επιφανειών τους, δηλαδή τοπικές οριζόντιες μετατοπίσεις.

##### **δ) Τοπικές καταρρεύσεις.**

Οι αιτίες, που μπορούν να προκαλέσουν τις βλάβες αυτές, είναι ποικίλες, που μπορεί να υφίστανται είτε μόνες τους είτε σε συνδυασμό ή μια με την άλλη. Σε παλιές κατασκευές η κυριότερη αιτία είναι το κακό κονίαμα, που παρασκευαζόταν από χώμα και νερό με ή και χωρίς προσθήκη ασβέστη. Με τον καιρό το κονίαμα αυτό τρίβεται και φεύγει από τους αρμούς, οπότε η ευστάθεια της κατασκευής εξαρτάται πια μόνο από την αντοχή των λίθων και την καλή τους δόμηση, όπως σε μια ξερολιθιά. Στις νεώτερες τοιχοποιίες τα κονιάματα είναι συνήθως ισχυρότερα και τέτοια φαινόμενα δεν παρουσιάζονται.

Μια δεύτερη αιτία, που μπορεί να συνυπάρχει με την πρώτη, είναι οι διάφορες βλάβες των οριζόντιων κατασκευών, πατωμάτων και στεγών, που στηρίζονται στους τοίχους και στα παλιά κτίρια είναι συνήθως ξύλινες. Κατ' αρχήν οι κατασκευές αυτές εφαρμόζουν στους τοίχους και οριζόντια φορτία, που μάλιστα δεν είναι σταθερά και έτσι μπορούν να προκαλέσουν βλάβες και μόνο γι' αυτό το λόγο. Κυρίως όμως το κακό οφείλεται στο ότι τα ξύλα σαπίζουν με τον καιρό και οι τοπικές καταρρεύσεις και στη συνέχεια οι επισκευές των πατωμάτων και της στέγης προκαλούν βλάβες και στους τοίχους.

Μια τρίτη αιτία είναι η κακή θεμελίωση, που μπορεί να οδηγήσει σε ανομοιόμορφες υποχωρήσεις του εδάφους. Για να τις παρακολουθήσουν οι τοίχοι, παθαίνουν ρωγμές και σε σοβαρότερες περιπτώσεις τοπικές καθιζήσεις ή παραμορφώσεις. Συγγενής αιτία είναι και η υποσκαφή των θεμελίων, που μπορεί να συμβεί μόνη της κυρίως από τη ροή νερού κοντά στη βάση του τοίχου. Η υποσκαφή όμως μπορεί να οφείλεται και σε ανθρώπινη ενέργεια, όταν π.χ. γίνονται δίπλα στον τοίχο εκσκαφές, για να κατασκευαστεί μια γειτονική οικοδομή ή για να επεκταθεί ή ίδια η οικοδομή, που περιλαμβάνει τον τοίχο.

Η πιο συνηθισμένη όμως αιτία για τις Ελληνικές συνθήκες, που προκαλεί τις βλάβες στις τοιχοποιίες, είναι ο σεισμός, όταν τα κτίρια δεν έχουν μελετηθεί κα-

τάλληλα, ώστε να μπορούν να τον αντιμετωπίσουν. Συγγενής αιτία μπορεί να θεωρηθεί και ο βομβαρδισμός ή γενικότερα οι πολεμικές επιχειρήσεις ή ακόμα και μια τυχαία έκρηξη, αν και ελπίζομε αυτές οι αιτίες να ανήκουν μόνο στο παρελθόν.

Είναι σκόπιμο, όταν αντιμετωπίζομε βλάβες σε τοίχους από λιθοδομή ή πλινθοδομή και σκοπεύομε να προχωρήσουμε στην επισκευή τους, να ερευνουμε και να διαπιστώνομε την αιτία, ώστε εκτός από την επισκευή να φροντίσουμε να πάψει να υπάρχει και η αιτία, που μπορεί να προκαλέσει καινούργιες βλάβες.

Γενικά, όταν παρουσιάζονται βλάβες σ' ένα τοίχο, πρέπει να εξετάσουμε, αν είναι σκόπιμο να τον επισκευάσουμε ή να αποφασίσουμε το γκρέμισμα του κτιρίου. Συνήθως, όταν οι βλάβες περιορίζονται σε ρωγμές, έστω και με μεγάλο πλάτος, οι τοίχοι επισκευάζονται. Στις επόμενες παραγράφους εξετάζεται σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια το πρόβλημα της ρηγματώσεως των τοίχων και ο τρόπος επισκευής τους. Όταν οι βλάβες είναι σημαντικότερες, αποφασίζεται συνήθως η καθαιρεση του κτιρίου ή τουλάχιστον του τοίχου, που έχει πάθει τις βλάβες. Η τελευταία αυτή λύση είναι σχετικά εύκολη – και γι' αυτό εφαρμόζεται γενικά – όταν το κτίριο έχει σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, γιατί μετά την καθαιρεση του τοίχου πληρώσεως μπορεί να χτιστεί ένας νέος τοίχος, όπως ακριβώς χτίστηκε την πρώτη φορά.

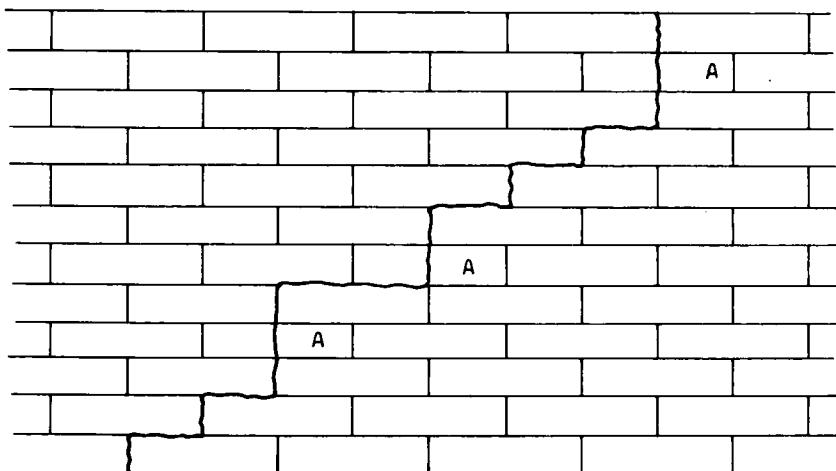
Όταν βέβαια ένα κτίριο έχει μεγάλη ιστορική ή αισθητική αξία, δεν μπορουμε να αποφασίσουμε την καθαιρεσή του, αλλά είναι απαραίτητο να επισκευάσουμε τις βλάβες, όσο σημαντικές και αν είναι. Στην περίπτωση αυτή χρειάζονται ιδιαίτερες γνώσεις και εμπειρία, που ξεπερνάνε τα όρια του βιβλίου αυτού.

### 3.2 Μορφολογία ρηγματώσεως των τοίχων.

Διακρίνομε καταρχήν δυο περιπτώσεις: τους σοβαντισμένους τοίχους και τους ασοβάντιστους. Αν σ' ένα τοίχο σοβαντισμένο παρουσιάζονται ρωγμές, πρέπει πρώτα να αφαιρέσουμε το επίχρισμα στην περιοχή των ρωγμών σε μια λουρίδα πλάτους τουλάχιστον 20 cm, για να διαπιστώσουμε, αν οι ρωγμές περιορίζονται στο επίχρισμα ή ο τοίχος είναι πράγματι ρηγματωμένος. Αν ο τοίχος δεν έχει πάθει τίποτε, χρειάζεται μόνο επισκευή του επιχρίσματος. Στην αντίθετη περίπτωση θα αντιμετωπίσουμε την κατάσταση, όπως και για ένα τοίχο χωρίς επίχρισμα, με τη διαφορά ότι δεν έχομε αισθητικούς περιορισμούς κι έτσι είμαστε ελεύθεροι να χρησιμοποιήσουμε ό,τι υλικό και όποια μέθοδο προτιμούμε, μια και στο τέλος η επισκευή θα κρυφτεί πίσω από το νέο επίχρισμα. Αντίθετα, όταν ο τοίχος δεν είναι σοβαντισμένος, τα πράγματα είναι πολύ πιο δύσκολα, επειδή η κατασκευή πρέπει να γίνει με τέτοια δεξιοτεχνία, ώστε να μη διακρίνεται μετά το τέλειωμά της.

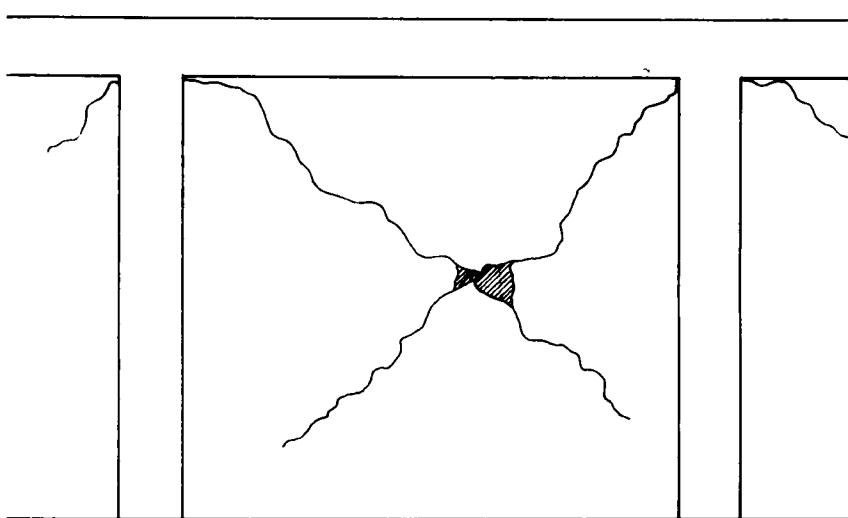
Σε τοίχους από φυσικούς λίθους οι ρηγματώσεις σχεδόν πάντοτε ακολουθούν τους αρμούς, παρατηρείται δηλαδή μια σχετική απομάκρυνση των λίθων μεταξύ τους, που ξεκολλάνε από το κονίαμα αφήνοντας κάποιο κενό κατά μήκος των αρμών. Το φαινόμενο να σπάσει και κάποια πέτρα είναι πολύ σπάνιο. Αντίθετα στις πλινθοδομές, όταν η απομάκρυνση των τεχνητών λίθων υπερβεί κάποιο όριο, παρουσιάζεται θραύση σε πολλούς απ' αυτούς, με αποτέλεσμα οι ρωγμές να είναι πιο ευθυτενείς και να μην ακολουθούν αυστηρά την τεθλασμένη γραμμή των αρμών (σχ. 3.2a).

Οι ρωγμές των τοίχων, που οφείλονται στο σεισμό, έχουν κατά κανόνα μια κλίση γύρω στις 45°. Στις ελαφρές περιπτώσεις εμφανίζονται μόνο κατά τη μια κατεύ-



Σχ. 3.2α.

Ρωγμή σε πλινθοδομή, όπου έχουν ανοίξει οι αρμοί και έχουν σπάσει μερικά τούβλα (Α).



Σχ. 3.2β.

Τοίχος πληρώσεως με ρωγμές στο επίχρισμα χιαστί και αποκόλληση επιχρίσματος στην περιοχή όπου διασταυρώνονται οι ρωγμές.

Θυνση, αλλά στις σοβαρότερες διασταυρώνονται σχηματίζοντας ένα X (σχ. 3.2β). Αντίθετα, οι ρωγμές που οφείλονται σε καθιζήσεις είναι περίπου κατακόρυφες ή οριζόντιες ή ακολουθούν τη μορφή τόξου με τα κοίλα προς τα κάτω. Στην τελευταία περίπτωση ένα κομμάτι του τοίχου, που έχει υποχωρήσει τοπικά, ξεκολλάει από την υπερκείμενη κατασκευή, που μπορεί και στέκεται στη θέση της στηριγμένη σ' ένα είδος αψίδας, που δημιουργήθηκε μόνη της με την αποκόλληση.

Ειδικότερα, στα κτίρια που έχουν σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, πάντοτε

σχεδόν παρουσιάζεται αποκόλληση στις στέψεις των τοίχων πληρώσεως από την πλάκα ή το δοκάρι, που βρίσκεται από πάνω τους. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη συστολή των κονιαμάτων των οριζόντιων αρμών, που συνοδεύει την πήξη τους και επιτείνεται από την επιβολή των φορτίων από το βάρος του ίδιου του τοίχου. Σπανιότερα παρουσιάζεται αποκόλληση και στα κατακόρυφα άκρα του τοίχου πληρώσεως από τις κολώνες, όπου καταλήγει. Οι τελευταίες αυτές κατακόρυφες ρωγμές παρουσιάζονται και σε περιπτώσεις σεισμών, όταν η έντασή τους δεν είναι τόσο μεγάλη, ώστε να προκαλέσει διαγώνιες ρωγμές στον τοίχο.

### 3.3 Επισκευή ρηγματωμένων τοίχων.

Εξετάζομε πρώτα την περίπτωση τοίχων φερόντων, τοίχων δηλαδή που στηρίζουν στέγες ή πατώματα. Αν οι ζημιές είναι σοβαρές, υπάρχει κίνδυνος να γίνουν τοπικές καταρρεύσεις, ιδίως αν οι ζημιές προέρχονται από σεισμό, οπότε υπάρχουν σοβαροί κίνδυνοι να επακολουθήσουν μετασεισμικές δονήσεις. Γι αυτό πριν αρχίσει οποιαδήποτε εργασία επισκευής, πρέπει να υποστυλωθούν όλες οι οριζόντιες κατασκευές με μια προσωρινή ξύλινη ή και μεταλλική κατασκευή, ώστε ο τοίχος, που έχει υποστεί τις βλάβες, να πάψει να φορτίζεται. Η υποστύλωση πρέπει να συνεχίζεται σε όλο το ύψος του κτιρίου από το έδαφος ως τη στέγη, έστω και αν ο τοίχος φαίνεται γερός σε ορισμένους ορόφους. Τα κατακόρυφα στοιχεία της προσωρινής κατασκευής, που στη γλώσσα του εργοταξίου λέγονται **μπουντέλια**, πρέπει σε κάθε όροφο να βρίσκονται ακριβώς επάνω από τα αντίστοιχα του από κάτω ορόφου. Αν οι ζημιές είναι μικρές, η υποστύλωση περιττεύει, αλλά την απόφαση αυτή πρέπει να την πάρει υπεύθυνος διπλωματούχος μηχανικός.

Στη συνέχεια καθαιρούνται, εφόσον υπάρχουν, τα επιχρίσματα, όπου έχουν παρουσιάσει ρηγματώσεις, σε πλάτος 50 ως 60 cm. Αν διαπιστωθεί ότι η λιθοδομή ή η πλινθοδομή δεν έχει πάθει ζημιά, τότε καθαρίζεται με μια σκληρή βούρτσα η επιφάνειά της και ιδιαίτερα οι αρμοί σε βάθος περίπου διπλάσιο από το πλάτος τους και καταβρέχεται με άφθονο νερό. Διαστρώνεται νέο επίχρισμα παρόμοιο με το αρχικό, με τα ίδια δηλαδή υλικά, τον ίδιο αριθμό στρώσεων και την ίδια επεξεργασία της επιφάνειάς του, ώστε να αποκατασταθεί η συνέχειά της. Είναι πάντως σκόπιμο τα κονιάματα να είναι λίγο πλουσιότερα σε τσιμέντο από τα αρχικά.

Αν διαπιστωθεί ότι οι ρωγμές προχωρούν στο σώμα του τοίχου, αλλά ακολουθούν τους αρμούς, χωρίς να έχουν σπάσει τούβλα ή πέτρες και το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 10mm, η επισκευή γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Καθαρίζονται με το μυστρί όσοι αρμοί έχουν ανοίξει με αφαίρεση του κονιάματος σε όλο τους το πλάτος και σε όσο βάθος μπορούμε να φτάσουμε. Η εργασία αυτή πρέπει να γίνει και από τις δύο όψεις του τοίχου, όταν οι ρωγμές καλύπτουν όλο του το πάχος. Τρίβεται έπειτα όλη η περιοχή με μια σκληρή βούρτσα και καταβρέχεται με νερό υπό πίεση, για να πλυθεί καλά, αλλά και για να μην απορροφά το νερό από τα κονιάματα. Γεμίζονται οι αρμοί με τσιμεντοκονίαμα αναλογίας 1:3 ως 1:4, που στρώχνεται μ' ένα μυστερό μυστρί, ώστε να μη μείνουν κενά, γίνεται μύστρισμα και επακολουθεί η επισκευή του επιχρίσματος, εφόσον βέβαια υπάρχει.

Όταν οι ρωγμές είναι πλατύτερες από 10mm, το κονίαμα πρέπει να μπαίνει στους αρμούς με τη μέθοδο των τσιμεντενέσεων, για να καλύψει όλα τα κενά, που έχουν δημιουργηθεί στο εσωτερικό του τοίχου και δεν φαίνονται από την επιφά-

νειά του. Σχετικά με τις τσιμεντενέσεις αρκετά αναφέρονται στην παράγραφο 5.4(γ) του βιβλίου «Γενική Δομική I», αλλά στην περίπτωση των τοίχων βέβαια η κλίμακα είναι πολύ πιο μικρή. Στις ενέσεις αντί για τσιμεντοκονίαμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και εποξειδικές ρητίνες. Αν υπάρχουν σπασμένες πέτρες ή τούβλα, πρέπει να αφαιρούνται πριν από κάθε άλλη εργασία και να ξαναχτίζεται η περιοχή αυτή του τοίχου με νέες πέτρες ή τούβλα με πολλή επιμέλεια και ισχυρό κονίαμα. Αφού γεμίσουν οι αρμοί, γίνεται το μύστρισμα και καρφώνεται στην επιφάνεια του τοίχου ένα ελαφρό μεταλλικό πλέγμα (κοτετσόσυρμα), πριν γίνει η αποκατάσταση του επιχρίσματος. Σημειώνομε ότι το πλέγμα αυτό μπορεί να προβλεφθεί και για περιπτώσεις ελαφρότερων βλαβών, αν και δεν αναφέρθηκε προηγουμένως.

Στην περίπτωση φερόμενων τοίχων, δηλαδή τοίχων που συμπληρώνουν τα κενά ανάμεσα στα στοιχεία του σκελετού, που φέρει τα φορτία του έργου, είναι καταρχήν περιπτή κάθε είδους υποστύλωση εφόσον ο σκελετός δεν έχει πάθει ζημιές. Όταν οι βλάβες είναι μικρές, η επισκευή γίνεται, όπως περιγράφτηκε προηγουμένως. Όταν όμως οι ρωγμές έχουν πάχος πάνω από 10 mm, ή είναι πάρα πολλές και πυκνές, ιδιαίτερα μάλιστα όταν υπάρχουν σπασμένα τούβλα, είναι προτιμότερο αλλά και πιο οικονομικό να γκρεμίζεται όλος ο τοίχος και να ξαναχτίζεται σωστά από την αρχή.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 4.1 Εισαγωγή.

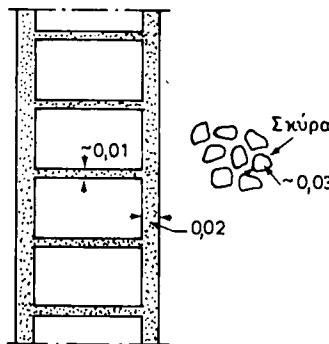
**Σκυροκονιάματα** ή **σκυροδέματα** λέγονται τα μίγματα σκύρων, μικρών δηλαδή κομματιών από πέτρες, που μπορεί να έχουν προέλευση είτε φυσική είτε τεχνητή, με ένα οποιοδήποτε κονίαμα. Τα σκυροδέματα, όπως και τα κονιάματα, στερεοποιούνται με τον καιρό και μετατρέπονται σε τεχνητές πέτρες, που μπορούν να έχουν τις διάφορες ιδιότητές τους, όπως συνοχή, αντοχή, μονωτική ικανότητα, στεγανότητα κλπ. σε βαθμό κατάλληλο για τη χρήση, για την οποία προορίζονται.

Από τον ορισμό αυτό καταλαβαίνουμε πως υπάρχουν τόσα είδη σκυροδεμάτων, όσα και κονιαμάτων. Ένα συνηθισμένο σκυρόδεμα π.χ. είναι το ασφαλτικό σκυρόδεμα, που χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα σαν οδόστρωμα, δηλαδή ένα μίγμα σκύρων με ασφαλτικό κονίαμα. Εντούτοις, όταν λέμε σκυρόδεμα, εννοούμε κατά κανόνα το μίγμα σκύρων με τσιμεντοκονίαμα. Επειδή το τσιμεντοκονίαμα με τη σειρά του είναι ένα μίγμα άμμου, τσιμέντου και νερού (παράγρ. 1.4), το σκυρόδεμα περιέχει σκύρα, άμμο, τσιμέντο και νερό. Όπου λοιπόν αναφέρεται ο όρος σκυρόδεμα, εννοείται πάντοτε το σκυρόδεμα με τσιμεντοκονίαμα, εκτός αν συνοδεύεται από κάποιο επίθετο, που δείχνει ότι πρόκειται για σκυρόδεμα άλλου είδους.

Τα σκυροδέματα παίζουν διαφορετικό ρόλο από τα κονιάματα στην κατασκευή των δομικών έργων. Η κυριότερη διαφορά είναι ότι με τα σκυροδέματα κατασκευάζονται δομικά στοιχεία, που έχουν και τις τρεις διαστάσεις τους (μάκρος, πλάτος, ύψος) αρκετά μεγάλες, ενώ τα κονιάματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δομικών στοιχείων, που έχουν τουλάχιστον τη μια τους διάσταση πολύ μικρή (κάτω από 5 cm). Τέτοια στοιχεία είναι κυρίως οι αρμοί στις κατασκευές από φυσικές ή τεχνητές πέτρες, οι σοβάδες (επιχρύσματα), οι επιστρώσεις δαπέδων και ταρατσών, τα υποστρώματα για πλακοστρώσεις κλπ. Είναι φανερό πως τα σκυροδέματα είναι ακατάλληλα σε αυτές τις περιπτώσεις, μια και τα σκύρα είναι περίπου ίσα ή και μεγαλύτερα από τη μικρή διάσταση (πάχος) αυτών των δομικών στοιχείων (σχ. 4.1).

Αντίθετα τα κονιάματα είναι ακατάλληλα για την κατασκευή δομικών στοιχείων με μεγάλες και τις τρεις διαστάσεις, πρώτα επειδή έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα σκυροδέματα και έπειτα επειδή, όταν πήζουν, παρουσιάζουν έντονη συστολή, που έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζονται σκασίματα (ρωγμές).

Για τους ίδιους λόγους και τα σκύρα των σκυροδεμάτων δεν έχουν σε όλες τις περιπτώσεις το ίδιο μέγεθος. Ανάλογα με τις διαστάσεις του δομικού στοιχείου, που πρόκειται να κατασκευασθεί, χρησιμοποιούνται λεπτά σκύρα (γαρμπίλι), συνη-



Σχ. 4.1.

Τα σκυροδέματα δε μπορούν να χρησιμοποιηθουν όπως τα κονιάματα στο κτίσιμο, το σοβάντισμα κλπ., επειδή τα σκύρα είναι πολύ μεγάλα για τὰ είδη αυτά των κατασκευών.

Θισμένα σκύρα, χοντρά σκύρα (οδοστρωσίας) ή και πέτρες ακόμα, οπότε το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται και σα **λιθόδεμα**.

#### 4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα σκυροδέματα δεν αποτελούν σύγχρονη επινόηση, αλλά αντίθετα χρησιμοποιούνται από πολύ παλιά, όπως φαίνεται από τα ακόλουθα δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα:

1) Οι Ρωμαίοι πριν δυο χιλιάδες χρόνια χρησιμοποίησαν σε μεγάλη κλίμακα για χυτές κατασκευές το **κουρασάνι** (παράγρ. 1.4). Το δομικό αυτό υλικό ήταν πράγματι ένα σκυρόδεμα, μίγμα δηλαδή σκύρων, άμμου, ασβέστη και νερού. Τα σκύρα ήταν κομμάτια από κεραμεικά είδη (τούβλα, κεραμίδια κλπ.) και η άμμος είχε την ίδια προέλευση, αλλά πολύ μικρότερους κόκκους.

2) Στο ελληνικό νησί της Σαντορίνης επί αιώνες χρησιμοποιήθηκε, κυρίως για να κατασκευάζονται οι σκεπές των σπιτιών και οι στέρνες (δεξαμενές νερού), ένα σκυρόδεμα από ελαφρόπετρα (κίσσηρη), θηραϊκή γη (πορσελάνα), ασβέστη και νερό.

Παρόλα αυτά πρέπει να σημειώσουμε πως η χρήση των σκυροδεμάτων αναπτύχθηκε και διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο τα τελευταία εκατό χρόνια. Στο φαινόμενο αυτό βοήθησαν πολύ δύο γεγονότα:

- 1) Η βιομηχανική παραγωγή του τσιμέντου (1824) και
- 2) η επινόηση του οπλισμένου σκυροδέματος (1867).

Σήμερα το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο και τείνει να αντικαταστήσει τα άλλα βασικά δομικά υλικά, δηλαδή τις φυσικές και τις τεχνητές πέτρες, το ξύλο και τα μέταλλα. Έπειτα μάλιστα από την επινόηση και την εφαρμογή του προεντεταμένου σκυροδέματος κατά τις τελευταίες δεκαετίες, διευρύνθηκε ακόμα περισσότερο το πεδίο για την εφαρμογή του σκυροδέματος στα δομικά έργα.

Η νέα αυτή τεχνική επιτρέπει στο σκυρόδεμα να αντικαταστήσει τα μέταλλα στούς φέροντες οργανισμούς και των πιο μεγάλων και σημαντικών έργων.

Εξάλλου η μεγάλη χρήση του σκυροδέματος είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν βιοτεχνίες ή και ολόκληρες βιομηχανίες, που παράγουν έτοιμο για χρήση σκυρόδεμα και το γεγονός αυτό με τη σειρά του προκάλεσε τη μεγαλύτερη χρήση του σκυροδέματος στις κατασκευές.

Σχεδόν όλα τα κύρια στοιχεία ενός δομικού έργου μπορούν να κατασκευασθούν με σκυρόδεμα, όπως π.χ. αβαθείς ή βαθιές θεμελιώσεις, πατώματα, τοίχοι και οροφές οικοδομικών έργων, βάθρα και φορείς σε γέφυρες οδοιστρώματα, κρηπίδες λιμανιών, φράγματα, επενδύσεις σε διώρυγες και τάφρους κ.ο.κ. Τις περισσότερες φορές το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται οπλισμένο, επειδή τα δομικά στοιχεία, που κατασκευάζονται με αυτό πρέπει να έχουν την ικανότητα να παραλαμβάνουν και να μεταβιβάζουν διάφορα φορτία, χωρίς να κινδυνεύουν να σπάσουν. Άλλοτε πάλι χρησιμοποιείται σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό, όταν ενδιαφέρει λιγότερο η αντοχή του και περισσότερο άλλες ιδιότητές του, όπως π.χ. η στεγανότητα, η μονωτική του ικανότητα, η μονολιθικότητά του κλπ.

Σημαντικό ρόλο στη διάδοση του σκυροδέματος και την επικράτηση των κατασκευών από αυτό έπαιξε η οικονομία. Όλες σχεδόν οι κατασκευές, όπου χρησιμοποιείται το σκυρόδεμα, μπορούν να γίνουν και από κάποιο άλλο υλικό: φυσικές ή τεχνητές πέτρες, ξύλο ή μέταλλο. Το σκυρόδεμα όμως έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως ότι:

- 1) Είναι υλικό φθηνό.
- 2) Με μικρή σχετικά δαπάνη σε εργατικά μπορεί να πάρει οποιοδήποτε σχήμα χρειάζεται σε κάθε περίπτωση.
- 3) Μπορεί να παρασκευασθεί στον τόπο, όπου κατασκευάζεται το έργο.
- 4) Μεταφέρεται και διαστρώνεται σχετικά εύκολα.
- 5) Συνδυάζει σε κάποιο βαθμό τις ιδιότητες της πέτρας με τις ιδιότητες του ξύλου και των μετάλλων.
- 6) Οι ιδιότητές του δεν είναι σταθερές, αλλά μπορούν να καθορισθούν κατάλληλα, ώστε να εξυπηρετούν ακριβώς τις συγκεκριμένες ανάγκες σε κάθε περίπτωση (παράγρ. 4.4.2).
- 7) Δε φθείρεται εύκολα ούτε γερνά και δε χρειάζεται συντήρηση κλπ.

Όλα αυτά μεταφράζονται σε οικονομία και αυτό εξηγεί, γιατί σήμερα λέμε ότι ζούμε στον αιώνα του σκυροδέματος, τουλάχιστον για τα δομικά έργα.

Βέβαια το σκυρόδεμα έχει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως π.χ. το μεγάλο του βάρος, την αδυναμία να κατασκευασθούν με αυτό στοιχεία με πολύ μικρές διαστάσεις κλπ., αλλά αυτά είναι ασήμαντα μπροστά στα πλεονεκτήματα.

## 4.3 Υλικά σκυροδεμάτων.

### 4.3.1 Γενικά.

Όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 3.1, το σκυρόδεμα αποτελείται από τα ακόλουθα υλικά:

- 1) Τσιμέντο.
- 2) Νερό.
- 3) Άμμο.

#### 4) Σκύρα.

Τα δύο πρώτα είναι υλικά **ενεργά**, επειδή παίρνουν μέρος στις χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν το πήξιμο και το σκλήρυμα του σκυροδέματος. Τα δύο άλλα είναι υλικά **αδρανή**, γιατί και μετά το πήξιμο του σκυροδέματος διατηρούν όλες τις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες, που είχαν, πριν ανακατευθούν με τα άλλα υλικά.

Εκτός από αυτά τα τέσσερα κύρια υλικά μπορουν να προστεθούν στο σκυρόδεμα και διάφορα άλλα υλικά σε μικρές ποσότητες (προσμίγματα), για να βελτιώσουν ορισμένες ιδιότητές του (παράγρ. 4.3.6).

Όταν το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την κατασκευή οπλισμένων ή και προεντεταμένων δομικών στοιχείων, χρειάζεται και άλλο ένα υλικό: ο χάλυβας (το σίδερο), αλλά αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί σα συστατικό του σκυροδέματος, γιατί δεν ανακατεύεται μαζί του, όπως τα άλλα υλικά, αλλά απλώς εγκιβωτίζεται μέσα στο σκυρόδεμα.

Αν και όλα τα υλικά του σκυροδέματος είναι γνωστά από το μάθημα των «Δομικών Υλικών», νομίζομε πως είναι σκόπιμο να γίνει μια σύντομη ανακεφαλαίωση των σχετικών γνώσεων.

#### 4.3.2 Τσιμέντο.

Το τσιμέντο, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 1.4, είναι μια τεχνητή υδραυλική κονία, που επίσημα ονομάζεται **τεχνητή κονία Portland**. Λέγοντας τσιμέντο εννοούμε και μια ολόκληρη ομάδα από τεχνητές υδραυλικές κονίες, που έχουν περίπου την ίδια σύσταση και τις ίδιες ιδιότητες με την καθαυτό τεχνητή κονία **Portland**.

Όταν ψήθει ένα κατάλληλο μίγμα από αργιλικά και ασβεστολιθικά πετρώματα και το προϊόν αλεσθεί, προκύπτει το τσιμέντο. Το ψήσιμο γίνεται μέσα σε ειδικούς κυλινδρικούς κλίβανους (φούρνους), που έχουν μεγάλο μάκρος, είναι σχεδόν οριζόντιοι και περιστρέφονται αργά (σχ. 4.3a). Η θερμοκρασία διατηρείται στούς  $1400^{\circ}\text{C}$  ως  $1500^{\circ}\text{C}$  και το ψήσιμο σταματά, όταν αρχίζουν να λειώνουν οι κόκκοι, να κολλάνε μεταξύ τους και να σχηματίζουν σβώλους (εκβολάδες), που είναι πιο γνωστοί με τη διεθνή τους ονομασία **Clinker**.

Οι εκβολάδες αυτές αλέθονται τόσο, ώστε τουλάχιστον τα 80% της σκόνης που προκύπτει να περνούν από ένα πολύ ψιλό κόσκινο, που έχει  $70 \times 70 = 4900$  τρύπες σε κάθε τετραγωνικό εκατοστό του μέτρου.

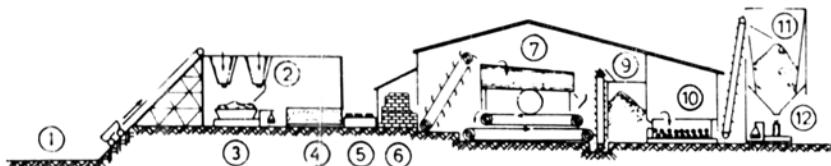
Στο σχήμα 4.3β φαίνεται η διάταξη ενός εργοστασίου για παραγωγή τσιμέντου, ενώ στο σχήμα 4.3γ φαίνεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το κεντρικό τμήμα ενός τέτοιου εργοστασίου.

Η κυριότερη ιδιότητα του τσιμέντου είναι ότι, όταν το ανακατέψομε με νερό, απορροφά σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα μια ποσότητα νερού ίση με το 12 ως 15% του βάρους του. Το νερό αυτό σχηματίζει με ορισμένα από τα συστατικά του τσιμέντου χημικές ενώσεις με κρυσταλλική υφή, που σχηματίζουν μικροσκοπικούς κόκκους με έντονα αγκαθωτή επιφάνεια. Έτσι οι κόκκοι αυτοί μπλέκουν πολύ καλά μεταξύ τους και το μίγμα νερού - τσιμέντου μετατρέπεται σε μια σκληρή και ανθεκτική τεχνητή πέτρα. Όσο γίνονται οι χημικές αυτές αντιδράσεις, ούτε παράγονται αέρια, ούτε απορροφάται κανένα αέριο από την ατμόσφαιρα. Το τσιμέντο



Σχ. 4.3α.

Εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου. Διακρίνονται τρεις περιστροφικοί κύλινδροι.

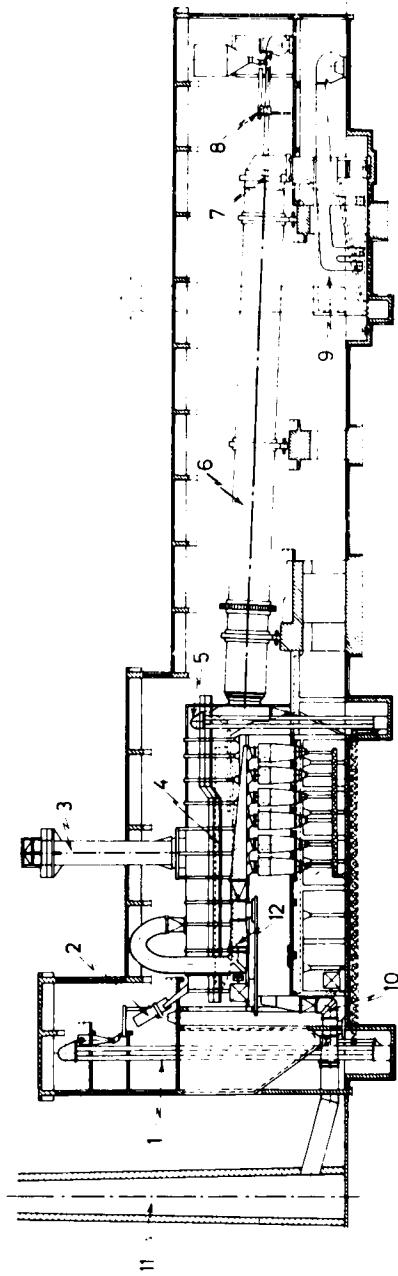


Σχ. 4.3β.

Σχηματική παράσταση εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου: (1) Λατομείο για την εξόρυξη, διαλογή και θρυμματισμό των κατάλληλων πετρωμάτων. (2) Αποθήκευση πετρωμάτων σε σιλό. (3) Ζύγισμα και καθορισμός αναλογιών. (4) Ανάμιξη συστατικών πρώτης ύλης. (5) Κατασκευή πλίνθων. (μπρικεττών). (6) Στέγγινωμα των πλίνθων. (7) Ψήσιμο των πλίνθων στον περιστρεφόμενο κλίβανο ώσπου να λειώσουν. (8) Κρύωμα των σβώλων (Clinker). (9) Αποθήκευση των σβώλων. (10) Λεπτό άλεσμα των σβώλων. (11) Αποθήκευση του τσιμέντου σε σιλό. (12) Γέμισμα σάκκων και ζύγισμα.

λοιπόν πήζει, έστω και αν δεν υπάρχει αέρας, αντίθετα από αυτά που συμβαίνουν με τον ασβέστη (παράγρ. 1.4).

Όταν πήζει το τσιμέντο, οι χημικές αντιδράσεις συνοδεύονται από την παραγωγή μιας σημαντικής ποσότητας θερμότητας. Όταν οι διαστάσεις του στοιχείου που έχει κατασκευασθεί με το σκυρόδεμα είναι μικρές, η θερμότητα αυτή εύκολα διασκορπίζεται στο περιβάλλον, όταν όμως το έργο έχει μεγάλες διαστάσεις, όπως π.χ. ένα φράγμα, μπορεί να παρουσιασθεί σημαντική αύξηση της θέρμοκρασίας και



Σχ. 4.3γ.

Σχηματική παράσταση κλίβανων παρασκευής ταιμέντου: (1) Αναβατόριο πρώτης υλης. (2) Χοάνη γεύματος. (3) Βοηθητική καπνοδόχος. (4) Κινητή σκάρα για τροφοδότη του κλίβανου. (5) Θάλαμος προθερμάνσεως από τα καυσάρια. (6) Περιστρεφόμενος κλίβανος. (7) Ακροφύσια (μπέκ) για την ανάφλεξη των καυσίμων. (8) Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμων. (9) Κύλινδρος για την ψύξη των σβώλων. (10) Απορροφητήρας κρύων αερίων. (11) Καπνοδόχος. (12) Απορροφητήρας.

το φαινόμενο αυτό πρέπει να το έχομε προβλέψει, ώστε να το αντιμετωπίσουμε κατάλληλα.

Όταν πήζει το τσιμέντο, παρατηρείται ακόμα και μια σημαντική μείωση του όγκου του μίγματος, που γίνεται τόσο μεγαλύτερη, όσο περισσότερο είναι το νερό, ενώ μικράίνει, όταν αυξάνει το ποσοστό των αδρανών υλικών. Αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους που κάνουν απαραίτητη την ανάμιξη αδρανών υλικών στα τσιμεντοκονιάματα και τα σκυροδέματα.

Η χημική αντίδραση τσιμέντου - νερού διακρίνεται σε δύο φάσεις, το **πήξιμο** και το **σκλήρυνση**. Όταν συμπληρωθεί το πήξιμο, το μίγμα έχει πια μεταβληθεί σε στερεό σώμα με μικρή όμως αντοχή, που, αν το σπάσουμε, δε μπορεί πια να ξανακολλήσει. Κατά τη δεύτερη φάση το στερεό αυτό σώμα σκληραίνει σιγά - σιγά και η αντοχή του μεγαλώνει. Το πήξιμο διαρκεί μερικά λεπτά ως λίγες ώρες ανάλογα με την ποιότητα του τσιμέντου και τις εξωτερικές συνθήκες. Το σκλήρυμα διαρκεί πάρα πολύ, θεωρητικά δε συμπληρώνεται ποτέ. Πρακτικά πάντως μέσα σε 28 μέρες το στερεό σώμα έχει αποκτήσει σχεδόν ολόκληρη – κάτι ανάμεσα στο 80 και το 90% – την τελική αντοχή του.

Οι ιδιότητες των τσιμέντων διαφέρουν ποσοτικά στις διάφορες ποιότητές τους, που κυκλοφορούν στην αγορά. Το άρθρο 65 του Β.Δ. της 18/2/1954 «Περί κανονισμών διά την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ απλισμένου σκυροδέματος» καθορίζει μέσα σε ποια όρια πρέπει να κυμαίνονται οι διάφορες ιδιότητες του τσιμέντου, για να επιτρέπεται να χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Στα επόμενα άρθρα του ίδιου Διατάγματος περιγράφονται οι τρόποι, που γίνονται οι διάφορες δοκιμασίες, για να μετρηθούν αυτές οι ιδιότητες. Τα άρθρα αυτά στηρίχθηκαν σε αντίστοιχες διατάξεις κυρίως των γερμανικών κανονισμών, που ίσχουαν τότε και που έχουν αλλάξει σε ορισμένες περιπτώσεις σήμερα. Στην Ελλάδα δεν έγινε καμια τροποποίηση του Διατάγματος μέσα στα τριάντα χρόνια, που πέρασαν από τη δημοσίευσή του, κι έτσι νομικά ισχύουν πάντοτε οι παλιοί κανονισμοί. Ελπίζεται ότι πολύ σύντομα θα δημοσιευθούν και θα θεσμοθετηθούν νέοι κανονισμοί, στο μεταξύ όμως οι αρμόδιες Υπηρεσίες δέχονται σιωπηρά την εφαρμογή νεώτερων κανονισμών, ιδιαίτερα των Γερμανικών, αλλά και των Αμερικανικών ή των κοινών Ευρωπαϊκών, που κι αυτοί ακόμα είναι στη φάση της εγκρίσεώς τους από τις αρμόδιες Επιτροπές. Σημειώνομε πως ο Γερμανικός κανονισμός 1045, του οποίου είναι περίπου μετάφραση το Διάταγμα που αναφέραμε, έχει από τότε πολλές φορές αναθεωρηθεί και τώρα ισχύει στη Γερμανία η έκδοσή του του 1978.

Οι δύο ιδιότητες των τσιμέντων, που ενδιαφέρουν πιο πολύ και αποτελούν τα κριτήρια για την κατάταξή τους σε διάφορες κατηγορίες, είναι το πόσο γρήγορα πήζουν και τι αντοχή παρουσιάζουν σε θλίψη. Στη συνέχεια δίνομε μερικά στοιχεία για τις δύο αυτές ιδιότητες:

**1) Ταχύτητα πήξιματος:** Από την άποψη αυτή τα τσιμέντα διακρίνονται σε τρεις τύπους:

α) Τσιμέντα που πήζουν γρήγορα, **ταχείας πήξεως**, δηλαδή μέσα σε διάστημα μικρότερο από μισή ώρα.

β) Συνηθισμένα τσιμέντα, που πήζουν μέσα σε έξη ως οκτώ ώρες και

γ) τσιμέντα, που αργούν να πήξουν, **βραδείας πήξεως**, που πήζουν δηλαδή σε περισσότερες από οκτώ ώρες.

Σε κάθε έργο χρησιμοποιούμε εκείνο τον τύπο τσιμέντου, που ταιριάζει στις απαιτήσεις του και στις συνθήκες κατασκευής του. Τα τσιμέντα, που πήζουν γρήγορα, έχουν μεγαλύτερη αναλογία σε οξείδιο του αργιλίου ( $Al_2O_3$ ) και γι' αυτό ονομάζονται και **αργιλικά**, ενώ αυτά, που αργούν να πήζουν, είναι πιο πλούσια σε οξείδιο του πυριτίου ( $SiO_2$ ). Όταν πήζουν τα αργιλικά τσιμέντα, παρουσιάζεται μεγαλύτερη παραγωγή θερμότητας και μεγαλύτερη συστολή σε σύγκριση με τα άλλα τσιμέντα. Υπάρχει ακόμα και κάποιος κίνδυνος να σκουριάσει ο οπλισμός, όπως φαίνεται ότι έγινε σε μερικές περιπτώσεις, που κατάληξαν σε κατάρρευση ορισμένων έργων. Γι' αυτό οι κανονισμοί επιτρέπουν να χρησιμοποιούνται αργιλικά τσιμέντα μόνο εκεί, που είναι απαραίτητα, επειδή πρέπει το πήξιμο να γίνει όσο μπορεί πιο γρήγορα.

**2) Αντοχή σε Θλίψη:** Όταν το μίγμα τσιμέντου - νερού, ο τσιμεντοπολτός, πήξει και σκληρύνει, μετατρέπεται σε μια τεχνητή πέτρα, που έχει, όπως ακριβώς και οι φυσικές, σημαντική αντοχή σε θλίψη, ενώ η αντοχή της σε εφελκυσμό και διάτηρη είναι πολύ μικρότερη. Κριτήριο λοιπόν για την αντοχή του τσιμέντου είναι η αντοχή της τεχνητής αυτής πέτρας σε θλίψη.

Για να μετρηθεί η αντοχή του τσιμέντου, παρασκευάζεται ένα δοκίμιο σε σχήμα κύβου με ακμές μήκους 7 cm περίπου με ένα μέρος τσιμέντου και τρία μέρη κανονικής άμμου, άμμου δηλαδή με όλους τους κόκκους της ισομεγέθεις. Οι λεπτομέρειες για την κατασκευή του δοκιμίου και τη θραύση του, που γίνεται, όταν αποκτήσει ηλικία 28 Ημερών, περιγράφονται στο γερμανικό κανονισμό DIN 1164 (Δεκέμβριος 1958).

Το Β.Δ. της 18/2/1954 «Περί κανονισμών διά την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ απλισμένου σκυροδέματος» προβλέπει για την Ελλάδα τέσσερις ποιότητες τσιμέντου από την άποψη της αντοχής του σε θλίψη:

α) Το **κοινό τσιμέντο**, που δίνει τσιμεντόλιθο με αντοχή σε θλίψη τουλάχιστον 275 kg/cm<sup>2</sup>.

β) Το **τσιμέντο υψηλής αντοχής**, που δίνει τσιμεντόλιθο με αντοχή σε θλίψη τουλάχιστον 400 kg/cm<sup>2</sup>.

γ) Τα **τσιμέντα υψηλής αντοχής ειδικής παραγγελίας**, που έχουν αντοχές σύμφωνες με τις απαιτήσεις του πελάτη και

δ) Το **τσιμέντο Πόρτλαντ ελληνικού τύπου**, που είναι ένα κοινό τσιμέντο με 10% το πολύ Θηραϊκή γη αλεσμένη μαζί με το τσιμέντο.

Η Θηραϊκή γη είναι ένα υλικό αδρανές και έτσι μειώνει την αντοχή του τσιμέντου και γενικότερα τις ικανότητές του σαν κονίας, έχει όμως και ορισμένα καλά αποτελέσματα:

α) Μεγαλώνει τη στεγανότητα του σκυροδέματος.

β) Επιβραδύνει το πήξιμό του.

γ) Δεσμεύει τον ελεύθερο άσβηστη (CaO), που συνήθως υπάρχει μέσα στο τσιμέντο και μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστα αποτελέσματα στο σκυρόδεμα, επειδή μόλις βραχεί σβήνει και ο όγκος του αυξάνει.

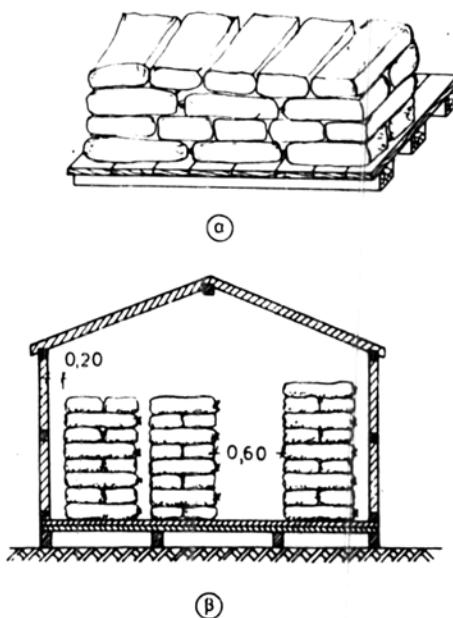
Το τσιμέντο, που κυκλοφορεί στην ελληνική αγορά, είναι κυρίως το τσιμέντο ελληνικού τύπου. Υπάρχουν όμως και ειδικά τσιμέντα κατάλληλα για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τέτοια είναι τα λευκά τσιμέντα (τύπου Lafarge) χρήσιμα κυρίως για σοβάδες και μωσαϊκά και γενικότερα για έργα, όπου για αισθητικούς λόγους δεν είναι επιθυμητό το χρώμα του κοινού τσιμέντου. Άλλος τύπος τσιμέντου είναι το

τσιμέντο για κτίσιμο, που έχει πολύ μικρότερη αντοχή σε θλίψη από το κοινό τσιμέντο.

**Μέτρα προστασίας:** Το τσιμέντο είναι ένα υλικό ενεργό, μόλις δηλαδή έρθει σε επαφή με το νερό, αρχίζουν να γίνονται διάφορες χημικές αντιδράσεις. Πρέπει λοιπόν, ώσπου να χρησιμοποιηθεί, να προστατεύεται από το νερό και την υγρασία, επειδή κινδυνεύει να αρχίσει να πήζει. Οι κανονισμοί ακόμα συνιστούν να προστατεύεται και από την υπερβολική ζέστη και το δυνατό άνεμο.

Όταν το τσιμέντο έχει πήζει, έστω και όχι σε όλη του τη μάζα, είναι άχρηστο και πρέπει να απομακρύνεται από το έργο. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που το τσιμέντο σβωλιάζει με την υγρασία, χωρίς ακόμα να αρχίσει να πήζει. Αν οι σβώλοι τρίβονται εύκολα με τα δάκτυλα και ξαναγίνονται λεπτή σκόνη σαν αλεύρι, το τσιμέντο μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί.

Για να περιορισθεί ο κίνδυνος να πήξει το τσιμέντο, πρέπει να αποθηκεύεται σε χώρο στεγασμένο και πάνω σε μια σκάρα από σανίδια ή καδρόνια, ώστε να αερίζεται από κάτω [σχ. 4.3δ (β)]. Αν η αποθήκευση πρόκειται να διαρκέσει μόνο λίγες μέρες και η εποχή του χρόνου εξασφαλίζει πως δεν πρόκειται να βρέξει, η αποθήκευση μπορεί να γίνει και στο ύπαιθρο, πάντοτε όμως πάνω σε κάποιο σανίδωμα [σχ. 4.3δ (α)].



Σχ. 4.3δ.

Αποθήκευση σάκκων τσιμέντου:  
(α) Στο ύπαιθρο. (β) Σε παράπογμα.



Σχ. 4.3ε.

Αποθήκευση τσιμέντου στο εργοτάξιο μέσα σε μεταλλικό σιλό.

που εξασφαλίζουν αρκετή στεγανότητα, πάντοτε όμως κατά τις μεταφορές και τις φορτοεκφορτώσεις τραυματίζονται και η υγρασία μπορεί να τους περάσει, αν κάπου έχουν σκισθεί. Παλιότερα οι σάκκοι ήταν από γιούτα και μάλιστα επιστρέφονταν και χρησιμοποιούνταν και πάλι, έστω και αν ήταν λίγο φθαρμένοι. Έτσι οι κίνδυνοι ήταν πολύ μεγαλύτεροι.

Σήμερα, στα μεγάλα τουλάχιστον έργα, το τσιμέντο αποθηκεύεται χύμα μέσα σε μεγάλα μεταλλικά δοχεία (silos), που έχουν στο χαμηλότερο σημείο τους μια χοάνη μέστομιο και ειδική δικλείδα, για να αδειάζουν (σχ. 4.3ε). Με τα δοχεία αυτά το τσιμέντο προστατεύεται από το πρόωρο πήξιμο, ενώ συγχρόνως γίνεται και οικονομία, γιατί με τα σακκιά σημαντικό ποσοστό του τσιμέντου χύνεται και πάει χαρένο.

#### 4.3.3 Νερό.

Οποιοδήποτε νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του σκυροδέματος. Εντούτοις διάφορες ξένες ουσίες, που μπορεί να είναι διαλυμένες ή να αιωρούνται μέσα στο νερό, μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές στις διάφορες ιδιότητες του σκυροδέματος, άλλοτε επιθυμητές και άλλοτε όχι. Γι' αυτό είναι πιο σωστό να χρησιμοποιείται νερό καθαρό και, αν θέλομε να πετύχουμε την αλλαγή κάποιας ιδιότητας, να προσθέτουμε στο μίγμα το κατάλληλο υλικό, που το χαρακτηρίζομε τότε σαν πρόσμιγμα. Έτσι καθορίζονται και ελέγχονται από τον κατασκευαστή του έργου τόσο το είδος, όσο και η αναλογία των προσμιγάτων.

'Όταν λέμε νερό **καθαρό**, δεν εννοούμε βέβαια νερό **αποσταγμένο**. Καθαρό χαρακτηρίζεται ένα νερό, όταν δε διακρίνονται ουσίες που να αιωρούνται, όταν δηλαδή είναι εντελώς διαυγές και οι ουσίες, που είναι διαλυμένες σε αυτό, είναι τόσο λίγες, ώστε να μπορούμε να το πιούμε, χωρίς να μας ενοχλεί η γεύση του. Το θαλασσινό νερό, αν και έχει διαλυμένες ουσίες σε ψηλό ποσοστό, δεν προκαλεί αξιόλογες αλλαγές στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Μπορεί λοιπόν να χρησιμοποιείται για λόγους οικονομίας σε έργα, που γίνονται μέσα στη θάλασσα ή κοντά στις ακτές, εκτός αν απαγορεύεται ρητά από τις προδιαγραφές του έργου. Υπάρχει βέβαια ο κίνδυνος τα άλατα να παρουσιασθούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος σα λεκέδες ή επανθίσματα, όταν τελειώσει το έργο. Αν κάτι τέτοιο είναι αισθητικά απαράδεκτο, δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί νερό θαλασσινό.

Επικίνδυνα είναι τα νερά, που περιέχουν διαλυμένα άλατα θειικά, θειώδη ή θειούχα, επειδή αυτά ενώνονται χημικά με το τσιμέντο και τα προϊόντα των σχετικών αντιδράσεων είτε διαλύονται στο νερό είτε έχουν πολύ μικρή αντοχή. Πρέπει να αποφεύγονται ακόμα τα νερά, που περιέχουν σε αρκετές ποσότητες αιωρούμενη άργιλο ή οργανικά υλικά, πράγμα όμως που γίνεται εύκολα αντιληπτό, γιατί είναι θολά. Τα υλικά αυτά περιβάλλουν τους κόκκους των αδρανών υλικών και δεν επιτρέπουν στο τσιμέντο να έρθει σε άμεση επαφή μαζί τους. Το αποτέλεσμα είναι ότι μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος.

Το νερό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, όταν η θερμοκρασία του πλησιάζει το σημείο πήξεως ( $0^{\circ}$  C) ή το σημείο βρασμού ( $100^{\circ}$  C). Αν το νερό είναι υπερβολικά κρύο ή καυτό, πρέπει αντίστοιχα να το ζεσταίνομε ή να το κρυώνομε, πριν το χρησιμοποιήσουμε. Στην πράξη είναι εντελώς απίθανο να χρειασθεί να κρυώσομε το νερό, αλλά το αντίθετο είναι απαραίτητο, όταν η θερμοκρασία του είναι κάτω από

5° C. Κάτι τέτοιο δεν αποκλείεται ακόμα και στο ήπιο ελληνικό κλίμα. Ιδιαίτερα, όταν η θερμοκρασία και της ατμόσφαιρας είναι χαμηλή, ώστε να μη μπορεί να ζεσταθεί το νερό με φυσικό τρόπο, όταν προστεθεί στο μίγμα των άλλων υλικών, για να παρασκευασθεί το σκυρόδεμα, η προθέρμανσή του είναι απαραίτητη.

#### 4.3.4 Άμμος.

Με τον όρο **άμμος**, όταν μιλάμε για σκυροδέματα, χαρακτηρίζεται κάθε υλικό, που αποτελείται από κόκκους με διαστάσεις μικρότερες από 7 mm και μεγαλύτερες από 0,2 mm.

Οι κόκκοι της άμμου προέρχονται κατά κανόνα από τον κατακερματισμό διαφόρων πετρωμάτων, που έχει γίνει είτε με φυσικούς είτε με τεχνητούς τρόπους. Θεωρούμε όμως κατά επέκταση σαν άμμο και κάθε άλλο υλικό, που αποτελείται από κόκκους των ίδιων διαστάσεων και παρουσιάζει παρόμοιες ιδιότητες, έστω και αν έχει διαφορετική προέλευση. Στην κατηγορία αυτών των ειδικών άμμων κατατάσσονται διάφορες σκουριές (υποπροϊόντα μεταλλουργείων), κόκκοι από διογκωμένη άργιλο και άλλα παρόμοια υλικά, που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδεμάτων με ιδιότητες κατάλληλες για ορισμένες ειδικές χρήσεις.

Απ' όλες τις ιδιότητες της άμμου οι ακόλουθες έχουν σημαντική επίδραση στην ποιότητα του σκυροδέματος:

- α) Το **είδος του ορυκτού** ή των ορυκτών, από όπου προέρχονται οι κόκκοι της.
- β) Η **αντοχή** των κόκκων.
- γ) Το **σχήμα** των κόκκων.
- δ) Η **καθαρότητα** της άμμου, δηλαδή το ποσοστό και το είδος των ξένων υλικών, που μπορεί να περιέχει.

ε) Η **κοκκομετρική σύνθεση** της άμμου, δηλαδή το μέγεθος των κόκκων της και ιδιαίτερα το ποσοστό των κόκκων κάθε μεγέθους.

Σχετικά με το είδος των ορυκτών, μπορούμε να δεχθούμε κάθε υλικό, που, όταν σπάει είτε φυσικά είτε με τεχνητό τρόπο, μετατρέπεται σε κόκκους, που έχουν τις διαστάσεις των κόκκων της άμμου. Για τα ορυκτά αυτά είναι ικανοποιητική γενικά και η αντοχή των κόκκων, επειδή τα ορυκτά, που έχουν μικρή αντοχή, θρυμματίζονται συνήθως σε πολύ πιο μικρούς κόκκους. Σπάνια λοιπόν χρειάζεται να εξετασθούν ιδιαίτερα οι δυο πρώτες ιδιότητες, εκτός αν πρόκειται να παρασκευασθεί ένα σκυρόδεμα εξαιρετικά σκληρό με υψηλή αντοχή σε επιφανειακές τριβές. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να διαλέγεται η άμμος από κατάλληλο υλικό με μεγάλη αντοχή και σκληρότητα, π.χ. από χαλαζία, γρανίτη, σμύριδα κλπ.

Σχετικά με το σχήμα των κόκκων η καλύτερη άμμος είναι εκείνη, που οι κόκκοι της παρουσιάζουν γωνιές και έχουν περίπου κυβικό σχήμα. Άμμοι με κόκκους που μοιάζουν με σφαιρίδια, πλακίδια ή βελόνες, πρέπει να αποφεύγονται. Σημειώνομε πάντως ότι τα ορυκτά, που έχουν τάση να σπάνε σε κόκκους στο μέγεθος της άμμου, δίνουν κατά κανόνα και καλό σχήμα κόκκων.

Η προσοχή μας λοιπόν πρέπει να συγκεντρώνεται κυρίως στις δύο τελευταίες ιδιότητες της άμμου, εκτός αν πρόκειται για ειδικές κατασκευές, όπου μπορεί και οι άλλες ιδιότητες να παίζουν κάποιο σημαντικό ρόλο.

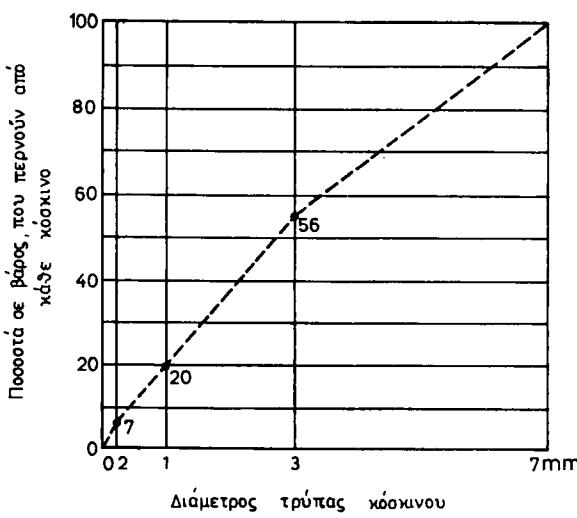
- Η καθαρότητα της άμμου ελέγχεται πρακτικά με δύο συνηθισμένους τρόπους:
- α) Παίρνομε μια μικρή ποσότητα υγρής άμμου και τη συμπιέζομε μέσα στην πα-

λάμη μας. Όταν την πετάξομε, πρέπει η παλάμη μας να είναι τελείως καθαρή, χωρίς ίχνη από χώμα ή λάσπη.

β) Ρίχνομε μια ποσότητα άμμου μέσα σε ένα δοχείο με νερό, κατά προτίμηση με τοιχώματα διαφανή. Ανακατεύομε καλά την άμμο με το νερό και την αφήνομε να κατακάπτει. Πρέπει τότε το νερό να είναι εντελώς διαυγές.

Οι δυο αυτοί τρόποι είναι εντελώς πρόχειροι, εργοταξιακοί και δε χρειάζονται ούτε εξοπλισμό ούτε ιδιαίτερη εμπειρία, είναι όμως ικανοποιητικοί για τις περισσότερες περιπτώσεις. Όταν πρόκειται για πολύ σημαντικό έργο ή για πολύ μεγάλες ποσότητες άμμου, π.χ. για να αποφασίσουμε αν μια περιοχή είναι κατάλληλη για λατομείο, μπορούμε να εφαρμόσουμε και άλλες μεθόδους, ώστε να γίνει ένας αυστηρότερος και επιστημονικότερος εργαστηριακός έλεγχος της άμμου.

Για να βρούμε την κοκκομετρική σύνθεση μιας άμμου, δηλαδή τη διαβάθμιση των κόκκων της κατά μέγεθος, την περνάμε από μια σειρά κοσκίνων, που το καθένα έχει τρύπες μικρότερες από το προηγούμενο. Μετά από κάθε κοσκίνισμα ζυγίζεται η ποσότητα, που περνά από το κόσκινο και υπολογίζεται το ποσοστό, που η ποσότητα αυτή αντιπροσωπεύει σχετικά με το συνολικό βάρος του δείγματος. Τα αποτελέσματα αυτά σημειώνονται σα σημεία πάνω σε ένα διάγραμμα και ενώνονται με μια τεθλασμένη γραμμή. Ο ένας αίσονας του διαγράμματος αναφέρεται στη διάμετρο, που έχουν οι τρύπες των κοσκίνων, επομένως και οι κόκκοι της άμμου, ενώ ο άλλος δίνει τα ποσοστά σε βάρος των κόκκων, που περνάνε από κάθε κόσκινο. Η τεθλασμένη γραμμή στο διάγραμμα αυτό λέγεται **κοκκομετρικό διάγραμμα** της άμμου (σχ. 4.3στ) και δείχνει γραφικά την κοκκομετρική της σύνθεση.



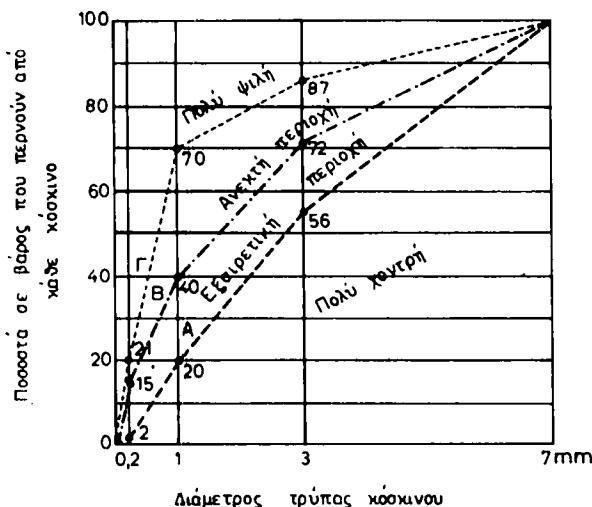
Σχ. 4.3στ.

Διάγραμμα κοκκομετρικής σύνθεσης άμμου.

Οι ελληνικοί κανονισμοί, που στην περίπτωση αυτή αποτελούν μετάφραση των γερμανικών (DIN 1045 Νοέμβριος 1959), δίνουν πάνω στο διάγραμμα αυτό τρεις

τυπικές τέτοιες τεθλασμένες γραμμές, την Α, τη Β και τη Γ (σχ. 4.3ζ). Όταν ένα συγκεκριμένο δείγμα άμμου δώσει για την κοκκομετρική του σύνθεση μια τεθλασμένη γραμμή μέσα στην περιοχή, που ορίζουν οι τεθλασμένες Α και Β, η άμμος θεωρείται πολύ καλή. Αν ένα μέρος ή και ολόκληρη η τεθλασμένη βγαίνει από την περιοχή ΑΒ, χωρίς όμως να βγαίνει και από την περιοχή, που ορίζουν οι τεθλασμένες Α και Γ, η άμμος εξακολουθεί να είναι ανεκτή. Όταν έστω και ένα μικρό μέρος της τεθλασμένης βγαίνει έξω από την περιοχή, που ορίζουν οι τεθλασμένες Α και Γ, η άμμος δεν είναι κατάλληλη από την άποψη της κοκκομετρικής της συνθέσεως τουλάχιστον για την παρασκευή σκυροδέματος.

Μια άλλη ιδιότητα, που πρέπει να ελέγχεται, είναι η ομοιομορφία στην ποιότητα της άμμου. Η άμμος, είτε φυσική είτε τεχνητή, είναι ένα υλικό, που δύσκολα μπορεί να τυποποιηθεί και μάλιστα με τις ελληνικές συνθήκες τέτοια τυποποίηση είναι ανύπαρκτη. Είναι λοιπόν απαραίτητο να παρακολουθούμε την ποιότητα της άμμου συνεχώς, τουλάχιστον μακροσκοπικά, δηλαδή χωρίς ειδικά όργανα. Πέρα από την παρακολούθηση αυτή πρέπει κάθε τόσο να γίνονται και δοκιμές, τόσο για την καθαρότητά της όσο και για την κοκκομετρική της σύνθεση.



Σχ. 4.3ζ.

Περιοχές κοκκομετρικής σύνθεσης για άμμο σκυροδέματων.

Η άμμος είναι το μόνο από τα τέσσερα κύρια υλικά του σκυροδέματος, που μπορεί να λείψει τελείως, χωρίς να πάψει να χαρακτηρίζεται σα σκυρόδεμα το μίγμα των άλλων τριών. Παράγεται τότε ένα **σκυρόδεμα χωρίς λεπτά υλικά** (*no fines concrete*), που γι' αυτό γίνεται λόγος στην παράγραφο 4.4.2(γ).

#### 4.3.5 Σκύρα.

Τα **σκύρα** διαφέρουν από την άμμο μόνο ως προς το μέγεθος των κόκκων τους.

Τα συνηθισμένα σκύρα έχουν κόκκους με διαστάσεις από 7 ως 30 mm. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που χρησιμοποιούνται σκύρα πιο χοντρά με διαστάσεις ως 70 mm, όταν πρόκειται με το σκυρόδεμα να κατασκευασθούν δομικά στοιχεία με μεγάλες διαστάσεις. Όταν μάλιστα τα στοιχεία αυτά είναι πολύ ογκώδη (φράγματα, λιμενικά έργα κλπ.), μαζί με τα σκύρα χρησιμοποιούνται και ολόκληρες πέτρες. Το προϊόν τότε χαρακτηρίζεται σα **λιθόδερα** και όχι σα σκυρόδεμα. Αντίθετα σε πολύ λεπτές κατασκευές και ιδιαίτερα σε προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία, η μέγιστη διάσταση των σκύρων μπορεί να περιορίζεται κάτω από τα 30 mm. Στην κοινή γλώσσα τα ψιλά σκύρα με μέγιστη διάσταση περίπου 15 mm ονομάζονται **γαρυπίλι** και το αντίστοιχο σκυρόδεμα **γαρυπλομπετόν**.

Οι πέντε φυσικές ιδιότητες, που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.3.4, έχουν σημασία όχι μόνο για την άμμο, αλλά και για τα σκύρα. Κατάλληλα πετρώματα για σκύρα είναι σχεδόν όλα τα σκληρά (π.χ. γρανίτης) ή μέτρια (π.χ. ασβεστόλιθος) πετρώματα. Αντίθετα τα μαλακά πετρώματα, όπως οι ψαμμίτες, οι σχιστόλιθοι κλπ., δε δίνουν σκύρα κατάλληλα για σκυρόδεμα, επειδή τα σκύρα πρέπει να έχουν αντοχή σε θλίψη ίση ή περίπου ίση με την αντοχή, που θέλουμε να έχει και το σκυρόδεμα. Υπάρχουν όμως και σκληρά σκύρα, όπως π.χ. τα χαλαζιακά (γυαλί), που πρέπει να αποφεύγονται, επειδή έχουν πολύ λείες επιφάνειες και δεν παρουσιάζουν αρκετή πρόσφυση με τον τσιμεντοπολτό.

Πριν από αρκετά χρόνια δινόταν μεγάλη σημασία στο σχήμα των σκύρων και αποφεύγονταν τα φυσικά χαλίκια, που έχουν γενικά επιφάνειες λείες και στρογγυλεμένες. Για ένα καλό σκυρόδεμα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν σκύρα λατομείου, που παρουσιάζουν επιφάνειες με γωνίες. Τώρα έχει διαπιστωθεί ότι το σχήμα των σκύρων επηρεάζει την ποιότητα του σκυροδέματος πολύ λιγότερο από άλλους παράγοντες και έτσι επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται για λόγους οικονομίας τα φυσικά χαλίκια. Πάντως σκύρα, που περιέχουν υψηλό ποσοστό κόκκων με σχήμα πλακών και ράβδων, πρέπει να αποφεύγονται.

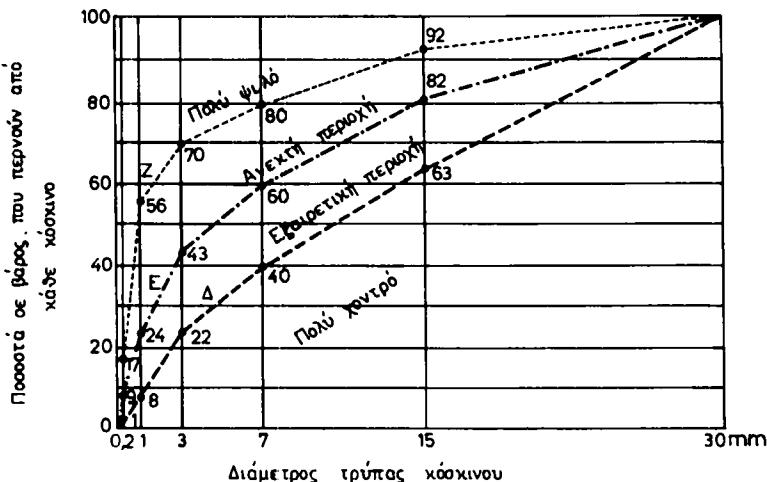
Για να ελέγχουμε αν τα σκύρα είναι καθαρά, αρκεί να τα πλύνομε. Αν το νερό δεν εξακολουθεί να είναι εντελώς διαιυγές μετά το πλύσιμο και αφού αφήσομε να κατακάτσουν οι κόκκοι ψιλής άμμου, που μπορεί να περιέχονται στα σκύρα, τότε τα σκύρα είναι ακατάλληλα. Τα σκύρα αυτά μπορούν και πάλι να χρησιμοποιηθούν, αν υπάρχει τρόπος να πλυθούν πολύ καλά, ώστε να φύγουν τα χώματα ή άλλες ξένες ουσίες, που περιέχουν.

Εδώ σημειώνομε πως οι κανονισμοί επιτρέπουν να υπάρχει μέσα στα σκύρα λίγη άργιλος (χώμα), αλλά όχι περισσότερη από 3% κατά βάρος, ενώ απαγορεύουν εντελώς να υπάρχουν:

- α) Οργανικές χουμώδεις ουσίες.
- β) Κάρβουνα και ιδιαίτερα λιγνίτες.
- γ) Θειικές και θειούχες ενώσεις.
- δ) Κομμάτια από άσβηστο (ψημένο) ασβέστη.

Η κοκκομετρική σύνθεση των σκύρων μόνων τους δεν ενδιαφέρει. Αντίθετα ενδιαφέρει η κοκκομετρική σύνθεση του μίγματος των αδρανών υλικών, δηλαδή των σκύρων με την άμμο, και αυτή είναι που ελέγχεται. Ο έλεγχος γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και για την άμμο και τα αποτελέσματά του σημειώνονται σε ένα παρόμοιο διάγραμμα και δίνουν πάλι μια τεθλασμένη γραμμή, που λέγεται **κοκκομετρικό διάγραμμα των αδρανών**.

Οι ελληνικοί κανονισμοί, που είναι μετάφραση των γερμανικών (DIN 1045, Νοέμβριος 1959), δίνουν πάνω και σε αυτό το διάγραμμα τρεις τυπικές τεθλασμένες Δ, Ε και Ζ (σχ. 4.3η). Το μίγμα σκύρων και άμμου, που εξετάζουμε, θεωρείται



Σχ. 4.3η.

Περιοχές κοκκομετρικής συνθέσεως μίγματος σκύρων και άμμου για σκυρόδεμα.

πολύ καλό, όταν το κοκκομετρικό του διάγραμμα βρίσκεται ολόκληρο στην περιοχή, που ορίζουν οι τεθλασμένες Δ και Ε. Το μίγμα εξακολουθεί να θεωρείται ανεκτό, αν το κοκκομετρικό του διάγραμμα ή έστω ένα κομμάτι του βγαίνει έξω από την περιοχή αυτή, αλλά βρίσκεται ακόμα ολόκληρο μέσα στην περιοχή, που ορίζουν οι τεθλασμένες Δ και Ζ.

Αν αντίθετα το κοκκομετρικό διάγραμμα ενός μίγματος σκύρων και άμμου, ή έστω και ένα κομμάτι του μόνο, βγαίνει έξω από την περιοχή, που ορίζουν οι τεθλασμένες Δ και Ζ, το μίγμα αυτό δεν είναι κατάλληλο για την παρασκευή σκυροδέμαμα άλλη αναλογία άμμου-σκύρων στη σύνθεσή τους να δώσει κοκκομετρικό διάγραμμα ανεκτό ή και πολύ καλό. Γι' αυτό είναι σκόπιμο να γίνονται δύο - τρία μίγματα σκύρων και άμμου με διαφορετικές αναλογίες και να διαλέγεται εκείνο, που δίνει το καλύτερο κοκκομετρικό διάγραμμα.

Όταν πρόκειται να παρασκευασθεί σκυρόδεμα με πολύ υψηλή αντοχή, χρειάζεται το μίγμα των αδρανών να έχει πολύ καλή κοκκομετρική σύνθεση. Για να την πετύχομε, είναι συνήθως απαραίτητο το μίγμα να αποτελείται από τρία υλικά, δηλαδή συνηθισμένα σκύρα (7 - 30 mm), γαρμπίλι (7 - 15 mm) και άμμο. Το γαρμπίλι ανήκει και αυτό στα σκύρα, μόνο που έχει μικρότερους κόκκους, επομένως ισχύουν γι' αυτό όλα, δύσα αναφέρθηκαν για τα συνηθισμένα σκύρα.

Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως και για την άμμο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σα σκύρα κομμάτια από ελαφρόπετρα (κίσσηρη), από διάφορες σκουριές (υποπροϊόντα μεταλλουργείων), από διογκωμένη άργιλο ή άλλα παρόμοια υλικά. Με τον τρόπο αυτό παρασκευάζονται **ειδικά ελαφρά σκυροδέματα** [παράγρ. 4.4.2(γ)].

Σε ορισμένες περιοχές του κόσμου, όπου δεν υπάρχουν φυσικές πέτρες και τα σκύρα θα έπρεπε να επιβαρυνθούν με ασύμφορες δαπάνες μεταφοράς, χρησιμοποιούνται αντί για σκύρα άλλα κατάλληλα υλικά, όπως π.χ. κομμάτια από σπασμένα κεραμίδια και τούβλα.

#### **4.3.6 Προσμίγματα σκυροδεμάτων.**

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ιδιότητες του σκυροδέματος, που προκύπτει με τα υλικά που διαθέτομε, δεν είναι ακριβώς εκείνες, που επιθυμούμε. Μπορούμε τότε να τις αλλάξουμε προσθέτοντας μικρές σχετικά ποσότητες από διάφορα άλλα υλικά, που τα λέμε **προσμίγματα**.

Τα προσμίγματα μπορούν να προστεθούν στο σκυρόδεμα με τρεις τρόπους:

α) Να προστεθούν στο τσιμέντο κατά τη διαδικασία της παραγωγής του, όπως π.χ. συμβαίνει με τη θηραϊκή γη στα τσιμέντα ελληνικού τύπου.

β) Να διαλυθούν μέσα στο νερό, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος, όπως π.χ. συμβαίνει με διάφορα μονωτικά υγρά.

γ) Να προστεθούν όπως έχουν σαν ένα πρόσθετο υλικό, όταν παρασκευάζεται το σκυρόδεμα.

Τα προσμίγματα είναι συνήθως βιομηχανικά ιδιοσκευάσματα, που προστατεύονται από διπλώματα ευρεσιτεχνίας, αν και δεν αποκλείεται να είναι και φυσικά υλικά, όπως π.χ. η σμύριδα (σμυρίγλι). Η ποικιλία τους είναι πολύ μεγάλη και κάθε τόσο παρουσιάζονται στην αγορά καινούργια προϊόντα.

Με τα διάφορα προσμίγματα προσπαθούμε συνήθως να μεταβάλλουμε τις ακόλουθες ιδιότητες των σκυροδεμάτων:

α) **Υδροπερατότητα**, την αντίσταση δηλαδή, που παρουσιάζει το σκυρόδεμα στο νερό ή γενικότερα στην υγρασία, να περνά μέσα από τη μάζα του.

β) **Υδροαπορροφητικότητα**, την τάση δηλαδή, να απορροφά υγρασία από το περιβάλλον και να την κρατά μέσα του.

γ) **Ταχύτητα πηξίματος**, το χρόνο δηλαδή, που χρειάζεται, για να μεταβληθεί σε στερεό σώμα.

δ) **Ταχύτητα σκληρύματος**, το χρόνο δηλαδή, που χρειάζεται, για να αποκτήσει την τελική αντοχή του.

ε) **Πλασποκότητα** κατά τη διάστρωση, την ικανότητα δηλαδή να μεταβάλλεται σε εύπλαστη μάζα με όσο γίνεται μικρότερο ποσοστό νερού.

στ) **Θερμότητα πήξεως**, την ποσότητα δηλαδή της θερμότητας, που παράγεται όσο διαρκεί το πήξιμο του τσιμέντου.

ζ) **Σημείο πήξεως** του νερού, δηλαδή τη θερμοκρασία που παγώνει το νερό, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος.

η) **Συστολή πηξίματος**, το ποσοστό δηλαδή, που μικραίνει ο όγκος του σκυροδέματος, όταν πήζει το τσιμέντο.

θ) **Ποσοστό κενών** και επομένως τη **φαινόμενη πυκνότητα** του σκυροδέματος.

ι) **Επιφανειακή αντοχή** σε φθορά από τριβές.

ια) **Αντοχή** του σκυροδέματος γενικά.

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές περιπτώσεις, που χρειάζεται να διορθώσουμε ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος. Όταν π.χ. κατασκευάζομε μια δεξαμενή, μας ενδιαφέρει να μειώσουμε την υδροπερατότητα και υδροαπορροφητικότητα

των τοιχωμάτων της. Όταν η εργασία γίνεται μέσα σε νερό, που δεν είναι ακίνητο, χρειάζεται να αυξηθεί η ταχύτητα που πήζει το τσιμέντο, για να μειωθεί ο κίνδυνος να ξεπλυθεί το σκυρόδεμα. Όταν χρειάζεται να ξεκαλουπωθεί γρήγορα μια κατασκευή, χρειάζεται να αυξηθεί η ταχύτητα που το τσιμέντο σκληράνει. Όταν χρειάζεται να παρασκευασθεί σκυρόδεμα με πολύ λίγο νερό, με σκοπό να αποκτήσει πολύ μεγάλη αντοχή, χρειάζεται να αυξηθεί η πλαστικότητά του κ.ο.κ.

Εδώ πρέπει να τονίσομε, πως σχεδόν κανένα πρόσμιγμα δεν επηρεάζει μια και μόνη αποκλειστικά ιδιότητα του σκυροδέματος. Όταν π.χ. προσθέσουμε χλωριούχο αμμώνιο στο νερό, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος, κατεβαίνει το σημείο πήξεως του νερού και έτσι μπορούν να συνεχισθούν οι εργασίες, έστω και αν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή. Το χλωριούχο αμμώνιο όμως κατεβάζει και την αντοχή του σκυροδέματος.

Το συμπέρασμα είναι ότι, πριν διαλέξουμε οποιοδήποτε πρόσμιγμα, πρέπει να διαβάζουμε με προσοχή τις προδιαγραφές του παραγωγού και να μαθαίνουμε τις τυχόν παρενέργειες, που μπορεί να προκαλέσει η χρήση του. Πρέπει επίσης να τηρούμε με σχολαστική ακρίβεια τις οδηγίες χρήσεως, όπως τις δίνει ο παραγωγός και κυρίως να αποφεύγουμε τη σύγχυση του τρόπου χρήσεως ενός νέου προϊόντος με τον τρόπο χρήσεως άλλων γνωστών μας προσμιγάτων, που πιστεύουμε ότι είναι παρόμοια με αυτό. Δεν αποκλείεται δύο προσμίγματα, που μας φαίνονται ότι μοιάζουν πολύ και εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό, να χρειάζεται να προστεθούν στο σκυρόδεμα με εντελώς διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικές αναλογίες.

Στο βιβλίο αυτό δεν μπορούμε να πούμε περισσότερα πράγματα για τα προσμίγματα, τη σύνθεσή τους, τις ιδιότητές τους και τον τρόπο χρήσεως, επειδή ο αριθμός και η ποικιλία τους είναι πολύ μεγάλη.

#### 4.3.7 Χάλυβας.

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.3.1, ο χάλυβας δεν είναι συστατικό του σκυροδέματος, χρησιμοποιείται όμως μαζί με το σκυρόδεμα και μαζί δίνει το **οπλισμένο σκυρόδεμα**, που αναφέρεται στην κοινή γλώσσα και με τον αντίστοιχο γαλικό όρο **μπετόν-άρμέ** (Beton-armé).

Ειδικοί χάλυβες χρησιμοποιούνται και για το **προεντεταμένο σκυρόδεμα**. Το υλικό αυτό δεν είναι ένα νέο βελτιωμένο είδος οπλισμένου σκυροδέματος, αλλά ένα διαφορετικό δομικό υλικό, που απλώς έχει αρκετές ομοιότητες με το οπλισμένο σκυρόδεμα.

##### α) Χάλυβες για οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ο **χάλυβας** (ατσάλι) είναι, όπως ξέρουμε από τη Χημεία, ένα κράμα σίδερου (Fe) και άνθρακα (C), όπου μπορεί να συνυπάρχουν σε μικρά ποσοστά και άλλα μέταλλα. Σήμερα σε όλες τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι χαλύβων και ο όρος **σίδερο** αναφέρεται μόνο στο χημικό στοιχείο Fe και όχι στο μέταλλο, που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Παρόλα αυτά στην κοινή γλώσσα ο χάλυβας, που χρησιμοποιείται στο οπλισμένο σκυρόδεμα, λέγεται και **σίδερο**.

Ο χάλυβας παρουσιάζει ικανοποιητική πρόσφυση με το σκυρόδεμα, χρειάζεται δηλαδή πολύ μεγάλη δύναμη, για να ξεκολλήσει μια χαλύβδινη ράβδος από το σκυ-

ρόδεμα, που την περιβάλλει, και να γλιστρήσει μέσα στην υποδοχή της.

Ο χάλυβας δεν παθαίνει καμιά βλάβη από την επαφή του με το σκυρόδεμα, ούτε όταν αυτό είναι ακόμα νωπό, ούτε όσο πήζει, ούτε μετά το πήξιμο. Όχι μόνο δε σκουριάζει μέσα στο σκυρόδεμα, αλλά αντίθετα, όταν το σκυρόδεμα πήζει, απαλλάσσεται από τη σκουριά, που μπορεί να υπάρχει στην επιφάνειά του, επειδή εμφανίζονται αναγωγικά φαινόμενα. (**Αναγωγή**, όπως είναι γνωστό από το μάθημα της Χημείας, λέγεται η αφαίρεση οξυγόνου από μια χημική ένωση, ενώ **οξείδωση** είναι το αντίθετο φαινόμενο). Βέβαια ο χάλυβας με τον καιρό δεν αποκλείεται να σκουριάσει μέσα στο σκυρόδεμα, αν αυτό παρουσιάζει ρωγμές, από όπου μπορεί κάθε τόσο να μπαίνει νερό και να φθάνει ως τον οπλισμό.

Μια τρίτη ιδιότητα του χάλυβα είναι ότι έχει περίπου τον ίδιο συντελεστή διαστολής με το σκυρόδεμα, περίπου ένα εκατοντάκις χιλιοστό ( $10^{-5}$ ) για κάθε βαθμό Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ). Η συνάφεια λοιπόν του χάλυβα με το σκυρόδεμα δεν κινδυνεύει να λυθεί, έστω και αν παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία ενός έργου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι τρεις αυτές ιδιότητες κυρίως επιπρέπουν να υπάρχει οπλισμένο σκυρόδεμα, να χρησιμοποιείται δηλαδή ο χάλυβας σαν οπλισμός του σκυροδέματος.

Ο χάλυβας, που χρησιμοποιείται σαν οπλισμός του σκυροδέματος, έχει τη μορφή ράβδων με κυκλική διατομή. Οι ράβδοι θα μπορούσαν να έχουν και διατομή με άλλο σχήμα, π.χ. τετράγωνο, εξάγωνο, οκτάγωνο, αλλά η κυκλική διατομή έχει γενικά επικρατήσει. Με τον όρο **ράβδοι με κυκλική διατομή** χαρακτηρίζομε και εκείνες, που έχουν πυρήνα με σχήμα κυλίνδρου εκ περιστροφής, αλλά στην επιφάνειά τους έχουν έκτυπες νευρώσεις ή άλλες ανωμαλίες (σχ. 4.3θ). Οι ανωμαλίες αυτές είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με τη διάμετρο του κυλινδρικού πυρήνα της ράβδου.

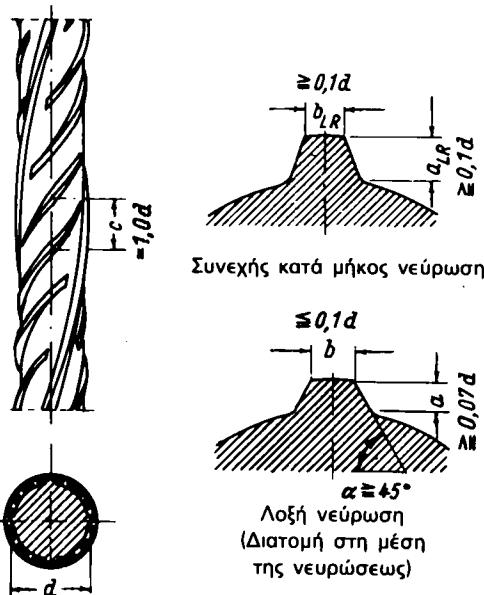
Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφορες κατηγορίες χαλύβων για τον οπλισμό του σκυροδέματος. Οι ελληνικοί κανονισμοί, που είναι μετάφραση των αντίστοιχων γερμανικών, αναγνωρίζουν τέσσερις τέτοιες κατηγορίες (ποιότητες) και τις χαρακτηρίζουν με τους λατινικούς αριθμούς I, II, III και IV.

Ο χάλυβας κατηγορίας I έχει τη χαμηλότερη αντοχή. Οι άλλες κατηγορίες υποδιαιρούνται στις IIa, IIIa, IVa, και στις IIb, IIIb, IVb. Ο δείκτης α σημαίνει ότι έχουν από τη φύση τους αντοχή μεγαλύτερη από την κατηγορία I, την απόκτησαν δηλαδή κατά την επεξεργασία τους, όταν ακόμα είχαν υψηλές θερμοκρασίες (**εν θερμώ**). Ο δείκτης b σημαίνει ότι η αντοχή τους αυξήθηκε, αφού προηγουμένως έγινε η τελική τους έλαση και πήραν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η αύξηση της αντοχής είναι αποτέλεσμα ειδικής επεξεργασίας σε συνηθισμένη θερμοκρασία (**εν ψυχρώ**). Η ειδική επεξεργασία είναι συνήθως ένα στρίψιμο της ράβδου γύρω από τον άξονά της, χωρίς να της επιτρέπεται να μικραίνει το μήκος της.

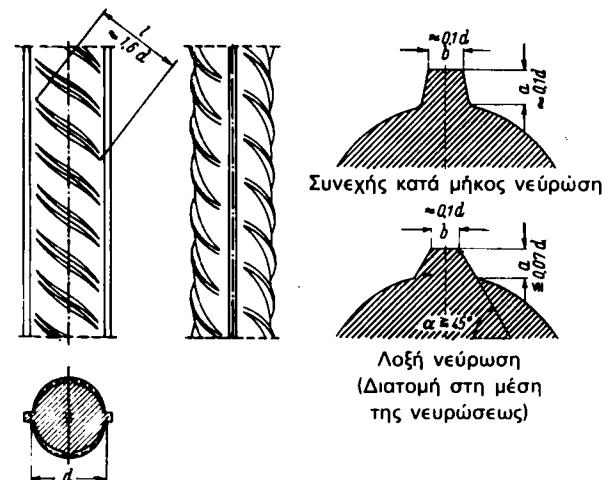
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3.1, η διάκριση κάθε κατηγορίας σε δύο υποκατηγορίες έχει σημασία στον έλεγχο τις ποιότητάς τους. Αντίθετα δεν επηρεάζει καθόλου τις τάσεις, που οι κανονισμοί επιτρέπουν να αναπτύσσονται σε αυτές, όπως θα διδαχθεί στο μάθημα του **Οπλισμένου Σκυροδέματος**.

Για να καταλάβει κανείς τον Πίνακα 4.3.1, χρειάζεται να υπενθυμίσομε μερικά στοιχεία από την **Αντοχή Υλικών**. Αν πάρομε ένα δοκίμιο από χάλυβα με σχήμα κυλίνδρου ή πρίσματος, με εμβαδό διατομής F και μάκρος l αρκετές φορές μεγαλύ-

τερο από τις εγκάρσιες διαστάσεις του και του επιβάλομε μια δύναμη  $P$ , που να το τραβά κατά τον άξονά του, αναπτύσσονται στις διατομές του ομοιόμορφες ε-



Ονομαστική διάμετρος:  
 $d = 12,74 \sqrt{g}$



Ονομαστική διάμετρος:  
 $d = 12,74 \sqrt{g}$

#### Σχ. 4.30.

Χάλυβες οπλισμού με έκτυπες νευρώσεις.  
 Το  $g$  είναι το βάρος της ράβδου σε kg για μήκος ενός μέτρου.

φελκυστικές τάσεις  $\sigma = \frac{P}{F}$  και το δοκίμιο μακραίνει κατά μια μικρή ποσότητα ΔΙ.

Όσο μεγαλώνει η δύναμη P, μεγαλώνει και η επιμήκυνση ΔΙ. Αν βάλομε σε ένα

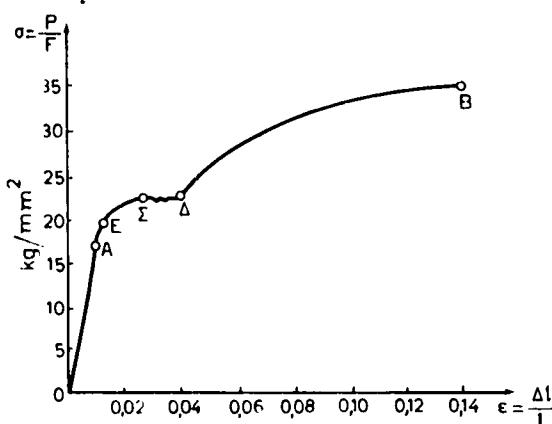
#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.1

Κατηγορία	Ενδείξεις	Διάμετρος (mm)	Ελάχιστο όριο διαρροής (kg/cm <sup>2</sup> )	Αντοχή σε εφελκυσμό (kg/cm <sup>2</sup> )	Ελάχιστη μήκυνση επιμήκους προτύπου δοκιμίου (%)
1	2	3	4	5	6
I	Κοινός χάλυβας I		2200	3400–5000	18
II a	Χάλυβας II (Φυσικώς σκληρός, μέχρι τώρα «χάλυβας υψηλής αντοχής»)	≤ 18	3600	5000–6200	20
		> 18	3400	5000–6400	18
II b	Ειδικός χάλυβας II (κατεργασμένος εν ψυχρώ)	≤ 18	3600	≥ 5000	14
		> 18	3400		
III a	Χάλυβας III (Φυσικώς σκληρός)	≤ 18	4200	≥ 5000	18
		> 18	4000		
III b	Ειδικός χάλυβας III (κατεργασμένος εν ψυχρώ. Μόνο σε ειδική μορφή).	≤ 18	4200	≥ 5000	8
		> 18	4000		
IV a	Χάλυβας IV (Φυσικώς σκληρός)		5000	—	16
IV b	Ειδικός χάλυβας IV (κατεργασμένος εν ψυχρώ δικτυωτός οπλισμός με αμετατόπιστους κόμβους (π.χ. δικτυωτά ελάσματα)).		5000	—	8

διάγραμμα τις τιμές των τάσεων  $\sigma = \frac{P}{F}$  και του ποσοστού επιμηκύνσεως  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$  προκύπτει μια καμπύλη σαν και αυτή, που φαίνεται στο σχήμα 3.3i. Στην καμπύλη αυτή διακρίνομε μερικά χαρακτηριστικά σημεία Α (**όριο αναλογίας**), Ε (**όριο ελαστικότητας**), Σ (**όριο διαρροής**), Δ (**όριο κρατύνσεως**) και Β (**όριο θραύσεως**), όπου το δοκίμιο καταστρέφεται και η καμπύλη τελειώνει.

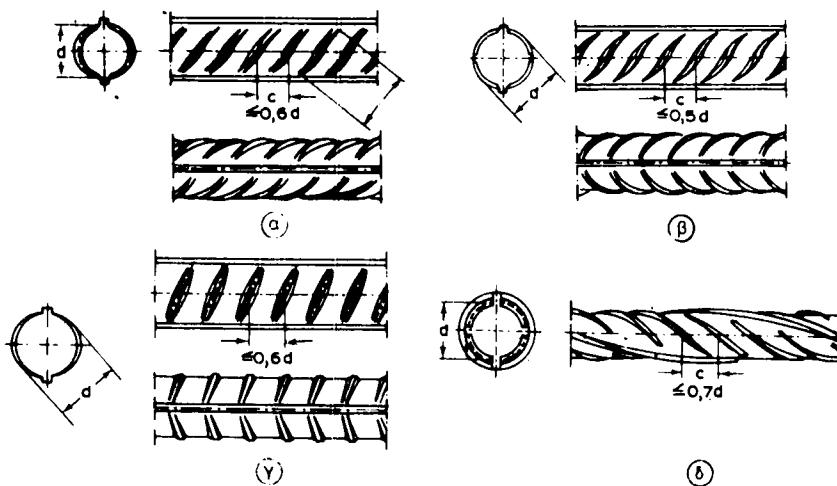
Ο τίτλος της τέταρτης στήλης του Πίνακα 4.3.1 (**ελάχιστο όριο διαρροής**) δείχνει πόση τουλάχιστον πρέπει να είναι η τάση  $\sigma = \frac{P}{F}$ , που αντιστοιχεί στο σημείο Σ του διαγράμματος. Ο τίτλος της επόμενης στήλης (**αντοχή σε εφελκυσμό**) δείχνει μέσα σε ποια περιθώρια ή πόση τουλάχιστον πρέπει να είναι η τάση  $\sigma = \frac{P}{F}$ , που

αντιστοιχεί στο σημείο B. Ο τίτλος της τελευταίας στήλης (**ιελάχιστη επιμήκυνση επιμήκους πρότυπου δοκιμίου**) δείχνει πόσο πρέπει να είναι τουλάχιστο το ποσοστό  $100\epsilon = 100 \frac{\Delta l}{l}$ , που αντιστοιχεί και πάλι στο σημείο B.



Σχ. 4.3i.

Τυπικό διάγραμμα τάσεων-μηκύνσεων κοινού χάλυβα.



Σχ. 4.3ia.

Χάλυβες με υψηλή αντοχή για οπλισμό σκυροδέματος:

(a) Rippenstahl. (b) Hi-Bond-A-Stahl. (c) Diroc-Stahl. (d) Rippen-Torstahl.

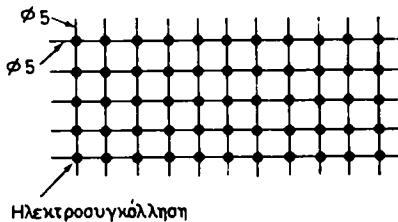
Οι ράβδοι των κατηγοριών II, III και IVa έχουν έκτυπες νευρώσεις ή άλλες ανωμαλίες, για να διακρίνονται από το συνηθισμένο χάλυβα κατηγορίας I και για να αυξάνεται η πρόσφυσή τους με το σκυρόδεμα (σχ. 4.3ia). Σημειώνομε ότι για τους χάλυβες αυτούς επιτρέπονται μεγαλύτερες τάσεις, άρα και μεγαλύτερες παραμορφώσεις, που πρέπει να τις παρακολουθήσει και το σκυρόδεμα. Επομένως υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος να λυθεί η συνάφεια και να ξεκολλήσει η ράβδος από το

σκυρόδεμα, που την περιβάλλει, αν η επιφάνειά της είναι τελείως λεία.

Στην κατηγορία IVb υπάγονται τα **δομικά πλέγματα** (σχ. 4.3ιβ), σκάρες δηλαδή από ράβδους που διασταυρώνονται κάθετα και είναι συγκολλημένες από το εργοστάσιο σε κάθε διασταύρωση. Επειδή οι συγκολλήσεις εξασφαλίζουν τη συνάφεια, οι ράβδοι των πλεγμάτων έχουν απλή κυκλική διατομή χωρίς ανωμαλίες.

Το σχήμα των νευρώσεων επιτρέπει να διακρίνομε και τις υποκατηγορίες από τις αντίστοιχες b [σχ. 4.3ια (δ)], γιατί στις τελευταίες έχει προηγηθεί το στρίψιμο της ράβδου, όπως αναφέραμε προηγουμένως.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως οι ποιότητες I, IIIb και IVb. Παλιότερα στις περισσότερες κατασκευές γινόταν χρήση της κατηγορίας I, ενώ σήμερα η κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται όλο και λιγότερο, επειδή με τις άλλες κατηγορίες οι κατασκευές γίνονται πιο φθηνές κατά κανόνα.



Σχ. 4.3ιβ.

Δομικό πλέγμα (Baustahlgewebe).

Στο εμπόριο κυκλοφορούν ράβδοι οπλισμού, που η διάμετρός τους είναι ένας ζυγός ακέραιος αριθμός σε χιλιοστά του μέτρου. Η μικρότερη διάμετρος είναι 6 mm, ενώ η μεγαλύτερη σπάνια ξεπερνά τα 30 mm. Κυκλοφορούν πάντως και ράβδοι με διάμετρο 5 και 5,5 mm (Fil - Machine). Ειδικότερα για τα δομικά πλέγματα (Baustahlgewebe) οι διάμετροι μπορεί να είναι πολύ μικρότερες.

Ο συμβολισμός της ράβδου γίνεται με το σύμβολο  $\emptyset$ , που έχει δεξιά του έναν αριθμό, που δείχνει τη διάμετρο σε χιλιοστά του μέτρου, π.χ.  $\emptyset 12$ .

Οι αμερικανοί, που δεν έχουν ακόμα υιοθετήσει το μετρικό σύστημα, χρησιμοποιούν ράβδους με διάμετρο ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο του  $1/8$  της ίντσας. Όταν χρησιμοποιούν το σύμβολο  $\emptyset$ , το βάζουν δεξιά από τη διάμετρο, π.χ.  $3/4'' \emptyset$ . Συνήθως χρησιμοποιούν το σύμβολο #, που σημαίνει μέγεθος (νούμερο) και δεξιά του βάζουν έναν ακέραιο αριθμό, που είναι ο αριθμητής του κλάσματος που με παρονομαστή το 8 είναι ίσο με τη διάμετρο της ράβδου σε ίντσες. Ο συμβολισμός π.χ. # 10 δείχνει μια ράβδο με διάμετρο  $10/8$  της ίντσας δηλαδή μια ίντσα και ένα τέταρτο.

### **β) Χάλυβες για προεντεταμένο σκυρόδεμα.**

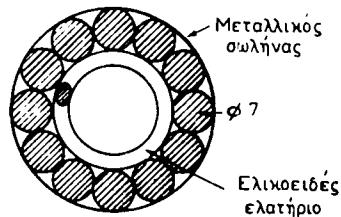
Η ιδέα της προεντάσεως είναι αρκετά παλιά, αλλά οι πρώτες προσπάθειες απέτυχαν, επειδή τότε η βιομηχανία δεν μπορούσε να δώσει χάλυβες με πολύ μεγάλη αντοχή. Οι λόγοι θα εξηγηθούν καλύτερα στις παραγράφους 3.14.1, 3.14.2 και αντοχή. Οι λόγοι θα εξηγηθούν στο μάθημα του **Οπλισμένου Σκυροδέματος**.

Οι χάλυβες, που χρησιμοποιούνται για το οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν είναι κατάλληλοι για το προεντεταμένο. Για το τελευταίο χρειάζονται χάλυβες που έπειτα από ειδική επεξεργασία έχουν αποκτήσει όριο ελαστικότητας τουλάχιστον

10.000 kg/cm<sup>2</sup> και αντοχή σε εφελκυσμό τουλάχιστον 14.000 kg/cm<sup>2</sup>. Όριο ελαστικότητας λέγεται, όπως είπαμε, η τάση  $\sigma = \frac{P}{F}$ , που αντιστοιχεί στο σημείο E του διαγράμματος του σχήματος 4.3ι και αντοχή σε εφελκυσμό εκείνη, που αντιστοιχεί στο σημείο B του ίδιου διαγράμματος. Σε μερικά συστήματα προεντάσεως, όπως π.χ. στο σύστημα Dywidag, οι χάλυβες έχουν λίγο μικρότερες αντοχές, αλλά και πάλι μια σύγκριση με τις αντιστοιχείς αντοχές του Πίνακα 4.4.1 δείχνουν ότι πρόκειται για τελείως άλλο υλικό.

Ο χάλυβας χρησιμοποιείται και δω με τη μορφή ράβδων με κυκλική διατομή και ο συμβολισμός της διαμέτρου τους γίνεται με το ίδιο σύστημα. Επειδή η προένταση και η αγκύρωση των ράβδων είναι πολύ δαπανηρή σε σύγκριση με τις άλλες εργασίες, ο χάλυβας για την κατασκευή στοιχείων από προεντεταμένο σκυρόδεμα δε χρησιμοποιείται κατά κανόνα σε μονές ράβδους. Για τα περισσότερα συστήματα προεντάσεως φθάνει στο εργοτάξιο με τη μορφή πολύκλωνων καλωδίων, επειδή έτσι η προένταση και η αγκύρωση γίνεται σύγχρονα για μια ολόκληρη ομάδα ράβδων.

Η σύνθεση και η μορφή των καλωδίων εξαρτάται αιτό το σύστημα, που εφαρμόζεται για την επιβολή της προεντάσεως. Στο κλασικό σύστημα Freyssinet π.χ. για καλώδια αποτελούνται συνήθως από δώδεκα (σπανιότερα 8,10 ή 18) σύρματα με διάμετρο 5 ή 7 mm. Τα σύρματα αυτά είναι βαλμένα το ένα δίπλα στο άλλο γύρω από ένα κεντρικό ελικοειδές ελατήριο. Το καλώδιο είναι περασμένο μέσα σ' ένα σωλήνα από χαρτί, πλαστικό ή και λεπτό μεταλλικό φύλλο έτσι, ώστε τα σύρματα να μπορούν να κινούνται ελεύθερα, μένοντας όμως πάντα το ένα δίπλα στο άλλο (σχ. 4.3ιγ). Τα σύρματα είναι αλειμένα με μάλθη (Bitumē) ή κάποιο λιπαντικό υλικό, για να μην αναπτύσσονται μεγάλες τριβές, όταν γίνεται η προέντασή τους.



Σχ. 4.3ιγ.

Διατομή καλωδίου για προεντεταμένο σκυρόδεμα με το σύστημα Freyssinet.

Δε θεωρούμε σκόπιμο να περιγράψωμε με περισσότερα στοιχεία τους ειδικούς χάλυβες για το προεντεταμένο σκυρόδεμα, επειδή παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία μορφών και ιδιοτήτων. Η ποικιλία αυτή γίνεται μεγαλύτερη, όσο εξελίσσονται, τελειοποιούνται και πληθαίνουν τα συστήματα προεντάσεως.

Για τους λόγους αυτούς, πριν χρησιμοποιήσουμε κάποιο χάλυβα προεντάσεως πρέπει να μελετάμε με προσοχή τις προδιαγραφές και τις οδηγίες χρήσεως που δί-

νουν οι παραγωγοί ή οι αντιπρόσωποι των διαφόρων συστημάτων προεντάσεως. Έτσι εξασφαλίζομε ότι το υλικό θα χρησιμοποιηθεί με το σωστό τρόπο.

#### **4.4 Παρασκευή και κατεργασία του σκυροδέματος.**

##### **4.4.1 Αναλογίες υλικών.**

Πριν αρχίσει η παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να καθορισθούν οι αναλογίες των υλικών του. Οι αναλογίες αυτές δεν είναι σταθερές, αλλά διαφέρουν από τη μια περίπτωση στην άλλη. Οι αναλογίες εξαρτώνται κυρίως από τις ιδιότητες και ιδιαίτερα την αντοχή, που θέλουμε να έχει το σκυρόδεμα, για να εξυπηρετήσει το συγκεκριμένο έργο, για το οποίο προορίζεται. Κατά δεύτερο λόγο εξαρτώνται και από τις ιδιότητες των συγκεκριμένων υλικών, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και ιδιαίτερα από την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών υλικών.

Συνήθως οι αναλογίες καθορίζονται για ένα κυβικό μέτρο έτοιμο σκυρόδεμα. Ο πιο ακριβής τρόπος, για να καθορισθούν οι αναλογίες, είναι να ορισθεί το βάρος του καθενός, π.χ. 300 kg τσιμέντο, 180 kg νερό, 1150 kg σκύρων και 650 kg άμμου για την παρασκευή ενός κυβικού μέτρου σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή πρέπει υποχρεωτικά να εφαρμόζεται στα εργοστάσια, που παράγουν σκυρόδεμα και το μεταφέρουν έτοιμο για πούλημα στα διάφορα εργοτάξια. Τα υλικά πρέπει να ζυγίζονται με κατάλληλους τρόπους, ώστε οι αποκλίσεις από τις θεωρητικές ποσότητες να μην ξεπερνούν το  $\pm 3\%$ . Τα ίδια ισχύουν και για τα εργοτάξια μεγάλων και σοβαρών έργων, όπου η παραγωγή του σκυροδέματος γίνεται για όλο το έργο από μια μόνιμη εγκατάσταση.

Ένας δεύτερος πιο πρακτικός τρόπος είναι να καθορίζομε τις αναλογίες με τον όγκο, όπως γίνεται και για 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 μένει ακαθόριστη.

Στην πράξη το τσιμέντο πάντοτε μετριέται με το βάρος και τα αδρανή με τον όγκο, όταν το σκυρόδεμα παρασκευάζεται στα συνηθισμένα εργοτάξια. Επειδή μάλιστα το τσιμέντο πουλιέται σε σακκιά βάρους 50 kg, είναι πιο πρακτικό να καθορίζονται οι ποσότητες των άλλων υλικών, που αντιστοιχούν σε κάθε σακκί τσιμέντο και όχι σε κάθε κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέματος. Σε μια περίπτωση π.χ. μπορεί σε ένα σακκί τσιμέντου των 50 kg να αντιστοιχούν 0,14 m<sup>3</sup> σκύρων, 0,07 m<sup>3</sup> άμμου, 0,02 m<sup>3</sup> νερού και κάποια ποσότητα ενός προσμίγματος. Σημειώνομε ότι το σκυρόδεμα στα συνηθισμένα εργοτάξια παρασκευάζεται σε ποσότητες (χαρμάνια), που αντιστοιχούν σε ένα σακκί τσιμέντο και σπανιότερα σε δύο ή τρία.

Στις περιπτώσεις συνηθισμένων έργων, όπου το σκυρόδεμα δε χρειάζεται να έχει εξαιρετικές ιδιότητες, οι αναλογίες των υλικών καθορίζονται από τον κατασκευαστή σύμφωνα με την πείρα του από παρόμοια έργα. Επειδή οι ιδιότητες που πρέπει να έχει αυτό το σκυρόδεμα, εξασφαλίζονται, έστω και αν οι αναλογίες αλλάζουν λίγο, η τήρηση των αναλογιών έχει κυρίως το νόημα να μη γίνονται σπατάλες χωρίς λόγο.

Αντίθετα, όταν απαιτούμε από το σκυρόδεμα να παρουσιάζει ορισμένες εξαιρετικές ιδιότητες, π.χ. πολύ μεγάλη αντοχή, απόλυτη στεγανότητα, πολύ μικρό βάρος κλπ., πρέπει να καθορίζονται οι αναλογίες των υλικών ύστερα από εργαστηριακές

μετρήσεις και δοκιμές και να τηρούνται με ακρίβεια. Σε ενδιάμεσες περιπτώσεις γίνονται μερικές μετρήσεις και δοκιμές στο εργοτάξιο, τόσο για τα αδρανή υλικά όσο και για το έτοιμο σκυρόδεμα, και διαλέγονται οι αναλογίες, που δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η τήρηση της αναλογίας του νερού, που έχει καθορισθεί. Δυστυχώς στην Ελλάδα οι τεχνίτες, οι εργοδηγοί, ακόμα και μερικοί μηχανικοί δεν έχουν καταλάβει πόσο σοβαρός είναι αυτός ο παράγοντας και προσθέτουν νερό, για να γίνεται πιο εύκολα η διάστρωση του σκυροδέματος. Εντούτοις πρέπει να ξέρομε ότι η αναλογία του νερού έχει σχεδόν την ίδια σημασία με την αναλογία του τσιμέντου.

Η τήρηση της σωστής αναλογίας του νερού γίνεται πιο δύσκολη, γιατί, εκτός από το νερό, που προσθέτομε στο μίγμα, υπάρχει και το νερό, που περιέχεται στα αδρανή υλικά με τη μορφή υγρασίας. Η ποσότητα της υγρασίας αυτής πρέπει θεωρητικά να αφαιρείται από την ποσότητα του νερού, που έχει καθορισθεί για την παρασκευή του σκυροδέματος.

Για να μετρήσομε την υγρασία των αδρανών, πρέπει να πάρομε δείγματα από αυτά, να τα ζυγίσουμε με ακρίβεια, να τα βάλομε στον κλίβανο και, όταν στεγνώσουν εντελώς, να τα ξαναζυγίσουμε, για να βρούμε τι βάρος έχασαν. Η εργασία αυτή είναι υποχρεωτικό να γίνεται στα εργοστάσια παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, όπου οι αποθήκες των αδρανών πρέπει να είναι στεγασμένες, ώστε η υγρασία τους να μην αυξάνεται απότομα σε περίπτωση βροχής. Στα συνηθισμένα εργοτάξια δε γίνονται τέτοιες δοκιμές, αλλά πρέπει εμπειρικά να εκτιμάται το ποσοστό της υγρασίας, όταν τουλάχιστον είναι τόση, ώστε να γίνεται αντιληπτή. Σημειώνομε ότι η υγρασία μπορεί να φθάσει στο 20 ως 25% του βάρους της άμμου και στο 3 ως 4% του βάρους των σκύρων. Με άλλα λόγια, όταν τα αδρανή υλικά είναι πολύ βρεγμένα, δε χρειάζεται σχεδόν να προστεθεί νερό αλλά μόνο τσιμέντο, για να παρασκευασθεί το σκυρόδεμα.

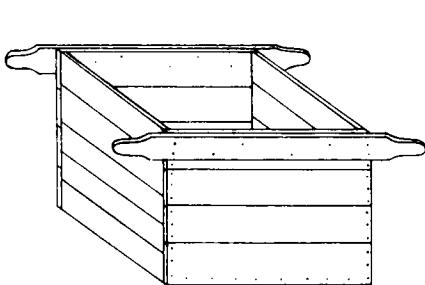
Σημειώνομε ακόμα ότι τα βρεγμένα αδρανή υλικά είναι πιο βαριά από τα στεγνά, ενώ σύγχρονα μεταβάλλεται κάπως και ο όγκος τους. Επομένως μπορούν να γίνουν λάθη και στις ποσότητες των αδρανών, αν δε λάβομε υπόψη αυτές τις διαφορές.

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι τα υλικά του σκυροδέματος πρέπει να ζυγίζονται, όταν η παρασκευή γίνεται στο εργοστάσιο, ή σε ένα μεγάλο εργοτάξιο. Στα συνηθισμένα εργοτάξια το τσιμέντο μετριέται με τα σακκιά, το νερό κανονίζεται συνήθως με το μάπι, ώστε το σκυρόδεμα να έχει την πυκνότητα που επιθυμούμε και απομένει να δούμε πώς μετριούνται τα αδρανή υλικά. Μπορούμε βέβαια να μετρήσομε και το νερό με τους ντενεκέδες, που χωράνε 15 ως 17 kg νερό ο καθένας, αλλά συνήθως το νερό φθάνει στη θέση της παρασκευής του σκυροδέματος με ένα σωλήνα, από όπου τρέχει συνέχεια και δεν μπορεί να μετρηθεί εύκολα.

Ο σωστός τρόπος για το μέτρημα των αδρανών υλικών είναι να κατασκευασθούν επίτηδες για το σκοπό αυτό ξύλινα κιβώτια (σχ. 4 4a). Τα κιβώτια αυτά έχουν κατάλληλες διαστάσεις, ώστε ένα ή δύο από αυτά να έχουν χωρητικότητα ακριβώς ίση με τον όγκο της άμμου και των σκύρων, που χρειάζονται σε κάθε χαρμάνι. Ένα κιβώτιο π.χ. με εσωτερικές διαστάσεις 40 x 40 x 44 cm έχει όγκο περίπου 0,07 m<sup>3</sup>. Επομένως ένα τέτοιο κιβώτιο με άμμο και δύο με σκύρα μπορούν να δώσουν με ένα σακκί τσιμέντο το σκυρόδεμα, που αναφέρεται στην αρχή αυτής

της παραγράφου. Μπορεί βέβαια να χρησιμοποιείται άλλο κιβώτιο για την άμμο και άλλο για τα σκύρα ή να υπάρχει και τρίτο για το γαρμπίλι.

Τα κιβώτια πρέπει να γεμίζονται έτσι, ώστε η πάνω επιφάνεια των υλικών να είναι επίπεδη και **ακριβώς** στο ύψος, που ορίζουν τα χείλια του κιβωτίου. Όταν τά κιβώτια δε γεμίζουν ως επάνω, η αναλογία του τσιμέντου μεγαλώνει και το σκυρόδεμα γίνεται κατά κανόνα καλύτερο, αλλά και ακριβότερο. Έτσι υπάρχει πάντα η τάση τα κιβώτια να παραγεμίζουν, ώστε να γίνεται οικονομία, τότε όμως το σκυρόδεμα είναι πιο φτωχό σε τσιμέντο και έχει μικρότερη αντοχή, μικρότερη στεγανότητα κλπ.



**Σχ. 4.4α.**

Ξύλινο κιβώτιο για τη μέτρηση του όγκου των σκύρων και της άμμου.



**Σχ. 4.4β.**

Καρροτσάκι (μονότροχο) για το μέτρημα και τη μεταφορά της άμμου και των σκύρων, όπως και για μεταφορά σκυροδέματος και άλλων υλικών.

Παλιότερα τα ξύλινα κιβώτια υπήρχαν σε κάθε εργοτάξιο. Σήμερα, που οι ποιότητες των σκυροδεμάτων έχουν βελτιωθεί για πολλούς άλλους λόγους, η μέτρηση των αδρανών στα συνηθισμένα εργοτάξια γίνεται με μικρότερη ακρίβεια. Χρησιμοποιούνται γι' αυτό καρροτσάκια (μονότροχα, σχ. 4.4β), που έχουν περίπου  $0,07 \text{ m}^3$  χωρητικότητα και έχουν το πλεονέκτημα ότι τα σέρνει ένας μόνο εργάτης και όχι δυό, όπως τα κιβώτια. Ο υπεύθυνος του εργοταξίου καθορίζει πόσο πρέπει να γεμίζουν τα καρροτσάκια, για να περιέχουν τον όγκο των αδρανών υλικών, που χρειάζεται σε κάθε χαρμάνι. Είναι φανέρο ότι με τον τρόπο αυτό υπάρχουν πολύ μεγαλύτερες διαφορές από τις θεωρητικές ποσότητες παρά με τα ξύλινα κιβώτια.

Για τις συνηθισμένες περιπτώσεις μπορούμε να έχομε υπόψη μας τις ακόλουθες αναλογίες:

α) Για να παρασκευάσομε σκυρόδεμα για απλές κατασκευές, π.χ. δάπεδα, βάσεις πεδίλων, κράσπεδα, σκαλοπάτια κλπ., που δεν προβλέπεται να οπλισθεί, χρειάζονται για κάθε κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέματος  $200 \text{ kg}$  τσιμέντο, δηλαδή τέσσερα σακκιά,  $0,84 \text{ m}^3$  σκύρα,  $0,56 \text{ m}^3$  άμμος και όσο νερό χρειάζεται, για να ανακατεύεται και να διαστρώνεται εύκολα το σκυρόδεμα.

β) Για να παρασκευάσομε σκυρόδεμα, που προβλέπεται να οπλισθεί και να χρησιμοποιηθεί σε μικρά οικοδομικά έργα με συνηθισμένα φορτία και ανοίγματα  $4,00$  ως  $5,00 \text{ m}$  μέτρων το πολύ, χρειάζονται για κάθε κυβικό μέτρο έτοιμου σκυροδέμα-

τος 300 kg τσιμέντου, δηλαδή έχι σακκιά, 0,80 m<sup>3</sup> σκύρα, 0,53 m<sup>3</sup> άμμος και όσο νερό χρειάζεται, ώστε το μίγμα να είναι **πλαστικό**, όχι όμως **νερουλό λυδαρέδ**. Στην επόμενη παράγραφο εξηγούνται οι δύο αυτοί όροι. Με το σκυρόδεμα αυτό μπορούν να κατασκευασθούν πέδιλα, κολώνες, δοκάρια, πλάκες και τοιχώματα.

γ) Για μεγαλύτερα έργα, π.χ. για οικοδομές με περισσότερα από τρία πατώματα, ή με ανοίγματα πάνω από 4,00 ως 5,00 μέτρα, ή για άλλων ειδών δομικά έργα, οι αναλογίες των υλικών του σκυροδέματος πρέπει να καθορίζονται με περισσότερη προσοχή και κατά κανόνα μετά από δοκιμές στο εργαστήριο ή τουλάχιστον στο εργοτάξιο. Οι ελληνικοί κανονισμοί, που εφαρμόζονται και από τα Γραφεία Πολεοδομίας για την έκδοση άδειας οικοδομής, απαιτούν σε αρκετές περιπτώσεις οι αναλογίες αυτές να καθορίζονται από ένα εργαστήριο αναγνωρισμένο από τις αρμόδιες κρατικές Αρχές.

Από τις αναλογίες, που αναφέραμε, βλέπομε πως ο όγκος του σκυροδέματος είναι πολύ μικρότερος, περίπου τά 3/4, από το άθροισμα των όγκων των αδρανών υλικών. Η απόδοση δηλαδή του σκυροδέματος (παράγρ. 1.4) είναι πολύ μικρότερη από τη μονάδα. Είναι σκόπιμο να γίνεται στο εργοτάξιο μια απλή δοκιμή απόδοσεως, να εξακριβώνεται δηλαδή, πόσος ακριβώς είναι ο όγκος του σκυροδέματος, που προκύπτει από ορισμένες ποσότητες υλικών. Η δοκιμή αυτή μπορεί να γίνει την πρώτη φορά, που θα χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα στο εργοτάξιο, αν σημαδέψωμε τι ακριβώς όγκο έπιασε ένα χαρμάνι ή, καλύτερα, πόσα ακριβώς χαρμάνια χρειάσθηκαν, για να γεμίσουν ένα γνωστό όγκο.

#### **4.4.2 Κατηγορίες και ποιότητες σκυροδέματος.**

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σήμερα πάρα πολύ στην κατασκευή των δομικών έργων. Με το σκυρόδεμα κατασκευάζονται στοιχεία των έργων αυτών, που παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και διαφέρουν πάρα πολύ το ένα απότο άλλο. Για το λόγο αυτό είναι φυσικό να διαφέρουν πάρα πολύ από τη μια περίπτωση στην άλλη και οι ιδιότητες, που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, είτε την ώρα που διαστρώνεται, είτε αφού πήξει και σκληρύνει. Υπάρχουν λοιπόν πολλές κατηγορίες και ποιότητες σκυροδέματος και κάθε φορά χρειάζεται να διαλέγεται η κατάλληλη.

Το σκυρόδεμα διακρίνεται σε κατηγορίες κατά πολλούς τρόπους, ανάλογα με την ιδιότητα, που εξετάζουμε κάθε φορά. Υπάρχουν λοιπόν κατηγορίες σκυροδέματος, πουύ εξαρτώνται:

- α) Από την αντοχή του.
- β) Από τη ρευστότητα την ώρα που διαστρώνεται.
- γ) Από την ταχύτητα που πήζει.
- δ) Από τη φαινόμενη πυκνότητά του κ.ο.κ.

#### **α) Αντοχή του σκυροδέματος.**

Η έννοια της αντοχής ενός υλικού, όπως διδάχθηκε στο ομώνυμο μάθημα, είναι σύνθετη, επειδή εξαρτάται από τη συμπεριφορά του στις περιπτώσεις, που καταπονείται σε θλίψη, εφελκυσμό, διάτμηση, κάμψη, στρέψη κλπ. Επειδή όμως το σκυρόδεμα έχει μικρή αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση, χρησιμοποιείται κυρίως για τις ικανότητές του να αντέχει στη θλίψη. Έτσι, όταν μιλάμε για αντοχή του

σκυροδέματος, χωρίς να δίνομε περισσότερες διευκρινήσεις, εννοούμε πάντα την αντοχή του σε θλίψη. Σημειώνομε ότι η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό και σε διάτμηση είναι περίπου δέκα φορές μικρότερη από την αντοχή του σε θλίψη και γι' αυτό, όταν προβλέπεται ότι θα αναπτυχθούν εφελκυστικές ή διατμητικές τάσεις σε κάποιο σημείο, φροντίζομε να υπάρχει εκεί αρκετός οπλισμός, για να τις παραλάβει και να απαλλάξει το σκυρόδεμα από τη σχετική καταπόνηση.

Η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη καθορίζεται μετά από κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές. Οι ελληνικοί κανονισμοί, που είναι σχεδόν μετάφραση των αντιστοίχων γερμανικών της εποχής που εκδόθηκαν, την ορίζουν ίση με την τάση θλίψεως  $W_{b28}$ , που αναπτύσσεται σε ένα δοκίμιο τη στιγμή που σπάει. Το δοκίμιο πρέπει να έχει σχήμα κύβου με μάκρος ακμής 20 cm και να έχει κατασκευασθεί με το σκυρόδεμα που εξετάζομε πριν από 28 μέρες. Τα άρθρα 75 ως 80 του Β. Διατάγματος της 18.2.54 «Περί κανονισμών διά την μελέτην και εκτέλεσιν οικοδομικών έργων εξ οπλισμένου σκυροδέματος», που όπως αναφέρθηκε ήδη, εξακολουθεί να ισχύει, ωστόσο δημοσιευθεί ο νέος κανονισμός, καθορίζουν τις λεπτομέρειες για την κατασκευή, τη συντήρηση και το σπάσιμο των δοκιμών.

Οι αμερικανικοί κανονισμοί (A.S.T.M.), που εφαρμόζονται πότε-πότε και στην Ελλάδα για ορισμένες κατασκευές, διαφέρουν από τους ελληνικούς στο σχήμα του δοκιμίου. Το δοκίμιο είναι κυλινδρικό με διάμετρο βάσεως 6 ίντσες, δηλαδή 15 cm περίπου, και ύψος 12 ίντσες, δηλαδή 30 cm περίπου. Αν κατασκευάσσομε με το ίδιο σκυρόδεμα δύο δοκίμια, ένα κυλινδρικό και ένα κυβικό και τα σπάσομε, όταν αποκτήσουν ηλικία 28 ημερών, το κυλινδρικό θα σπάσει πρώτο, όταν η θλιπτική τάση του φθάσει περίπου τα 80% της θλιπτικής τάσεως, που θα χρειασθεί, για να σπάσει το κυβικό δοκίμιο.

Οι ελληνικοί κανονισμοί, που εξακολουθούν να ισχύουν νομικά, συμβολίζουν τις κατηγορίες του σκυροδέματος με το κεφαλαίο γράμμα Β από τη λέξη Beton (= σκυρόδεμα) και έναν ακέραιο αριθμό δεξιά του, που δείχνει σε kg/cm<sup>2</sup> την αντοχή σε θλίψη, που πρέπει κατά ελάχιστο να παρουσιάζει το κυβικό δοκίμιο. Οι κατηγορίες, που προβλέπονται, είναι επτά: B80, B120, B160, B225, B300, B450 και B600. Το σκυρόδεμα B80 χρησιμοποιείται μόνο χωρίς οπλισμό, ενώ το B120 μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με οπλισμό είτε χωρίς. Για το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες B120 ως B300 και για το προεντεταμένο οι κατηγορίες από B300 ως B600.

Μια απλή σύγκριση των δύο ακραίων κατηγοριών B80 και B600 δείχνει πόσο μεγάλες διαφορές μπορεί να παρουσιάζει η αντοχή ανάμεσα σε δύο ποιότητες σκυροδέματος. Πολλοί επιστήμονες μελέτησαν το σοβαρό αυτό θέμα και προσπάθησαν να βρουν μαθηματικούς τύπους, που να δίνουν την πιθανή αντοχή του σκυροδέματος, όταν ξέρομε ορισμένα απαραίτητα στοιχεία, όπως π.χ. τις αντοχές την ποιότητα και τις αναλογίες των υλικών, τις συνθήκες που επικρατούν, όσο παρασκευάζεται, διαστρώνεται, πήζει και σκληραίνει το σκυρόδεμα, την ηλικία του, τη θερμοκρασία και υγρασία του περιβάλλοντος κ.ο.κ.

Οι παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος, είναι πάρα πολλοί. Γι' αυτό υπάρχουν και πολλοί μαθηματικοί τύποι για τον υπολογισμό της πιθανής αντοχής του. Κάθε τύπος λαμβάνει υπόψη του μερικούς μόνο από τους παράγοντες αυτούς, εκείνους που θεώρησε πιο σημαντικούς ο ερευνητής, που τον κα-

θιέρωσε. Όλοι οι τύποι πάντως συμφωνούν ότι ο σημαντικότερος παράγων είναι **το ποσοστό των κενών**.

Είναι φυσικό ότι, όσο μικρότερο είναι το ποσοστό των κενών, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή. Αν υποθέσουμε ότι έχομε ένα κυβικό δοκίμιο από σκυρόδεμα χωρίς καθόλου κενά, με αντοχή σε θλίψη  $300 \text{ kg/cm}^2$ , το δοκίμιο αυτό θα σπάσει, όταν πιεσθεί με μια δύναμη  $300 \times 20 \times 20 = 120.000 \text{ kg}$ . Αν τώρα με το ίδιο σκυρόδεμα φτιάξουμε ένα δοκίμιο με 20% κενά, σημαίνει πως το 20% της διατομής του, δηλαδή  $80 \text{ cm}^2$ , αντιστοιχεί σε κενά. Όταν λοιπόν πιεσθεί με μια δύναμη  $300 \times (400 - 80) = 96.000 \text{ kg}$ , θα σπάσει κι η φαινομενική του αντοχή θα είναι  $\frac{96.000}{20 \times 20} = 240 \text{ kg/cm}^2$ , δηλαδή το 80% μόνο της πραγματικής αντοχής. Στην

πραγματικότητα η αντοχή θα είναι ακόμα μικρότερη, επειδή η ύπαρξη των κενών διευκολύνει να αρχίσει το φαινόμενο της θραύσεως.

Το συμπέρασμα είναι ότι, αν θέλουμε να πετύχουμε μεγάλες αντοχές, πρέπει να περιορίσουμε το ποσοστό των κενών. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε:

α) Αν τα αδρανή υλικά έχουν καλύτερη κοκκομετρική σύνθεση, ώστε να αφήνουν ανάμεσά τους όσο γίνεται μικρότερα και λιγότερα κενά.

β) Αν αυξηθεί η ποσότητα του τσιμεντοπολτού, του μίγματος δηλαδή τσιμέντου και νερού, ώστε να μπορέσει να γεμίσει όσο γίνεται περισσότερο τα κενά, που υπάρχουν ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών υλικών. Αυτό βέβαια ισχύει ως κάποιο σημείο, επειδή πέρα από αυτό ο τσιμεντοπολτός περισσεύει και το αποτέλεσμα είναι αρνητικό.

γ) Αν γίνει εντατική συμπίεση του νωπού σκυροδέματος, ώστε να φύγει όλος ο άέρας, που είναι παγιδευμένος μέσα του και τα υλικά να πάρουν τις καταλληλότερες θέσεις, ώστε να αφήσουν τα μικρότερα κενά.

δ) Αν μειωθεί το ποσοστό του νερού τόσο, ώστε, αν είναι δυνατό, να υπάρχει μόνον, όσο είναι απαραίτητο για τις χημικές αντιδράσεις, που γίνονται, για να πήξει το τσιμέντο. Το παραπανήσιο νερό δεν παίρνει μέρος στις αντιδράσεις αυτές, αλλά αργότερα εξασφαλίζεται και αφήνει στη θέση του κενά.

Τα δύο τελευταία σημεία ήταν άλλοτε σχεδόν αδύνατο να ικανοποιηθούν και τα δύο μαζί. Για να μπορεί να γίνει καλύτερη συμπίεση του σκυροδέματος, έπρεπε να αυξηθεί το ποσοστό του νερού, για να γίνει το σκυρόδεμα πιο ευκατέργαστο. Αντίστροφα, όσο λιγόστευε το ποσοστό του νερού, τόσο χειρότερη συμπίεση μπορούσε να εξασφαλίσθει. Σήμερα μπορούν να ικανοποιηθούν σύγχρονα και οι δύο αυτές απαιτήσεις, επειδή υπάρχουν οι δονητές, όπως θα δούμε στην παράγραφο 4.4.4(γ).

Βέβαια, εκτός από το ποσοστό των κενών υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος. Η καθιέρωση των δονητών, η παραγωγή τσιμέντων με υψηλότερη αντοχή, η παραγωγή διαφόρων προσμιγμάτων και κυρίως η γνώση των επιδράσεων κάθε παράγοντα, επιτρέψανε την παρασκευή σκυροδέμάτων με αντοχές τόσο μεγάλες, που άλλοτε θεωρούνταν αδύνατες. Μόνον έτσι έγινε δυνατή και η εφαρμογή με επιτυχία του προεντεταμένου σκυροδέματος.

#### **β) Ρευστότητα νωπού σκυροδέματος.**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, όσο λιγότερο νερό περιέχει το νωπό σκυ-

ρόδεμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που χρειάζεται πολύ μεγάλη αντοχή, ενώ αντίθετα άλλοι λόγοι συνηγορούν να αυξηθεί το ποσοστό του νερού. Όταν το νερό είναι περισσότερο, το νωπό σκυρόδεμα διαστρώνεται πιο εύκολα, περνά ανάμεσα και πίσω από τις ράβδους του οπλισμού και συμπληρώνει όλες τις εσοχές των καλουπιών. Έτσι σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζονται οι ειδικές απαιτήσεις του έργου και να αποφασίζεται αν το σκυρόδεμα θα είναι:

- a) Στεγνό (ύφυγρο).
- β) Πλαστικό ή
- γ) νερουλό (υδαρές).

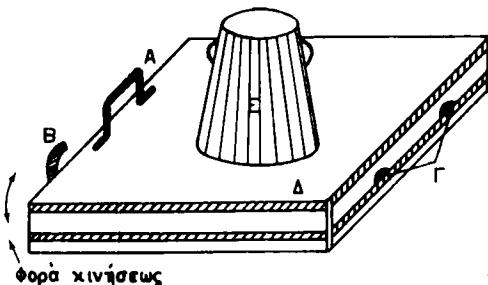
Το **στεγνό** σκυρόδεμα δίνει την εντύπωση ότι είναι ένα σύνολο κόκκων, που απλώς είναι βρεγμένοι και αλειμμένοι με τσιμέντο. Οι κόκκοι δεν έχουν αρκετή συνάφεια μεταξύ τους ώστε να δίνουν την εικόνα ενιαίου υλικού, αλλά διακρίνονται ο ένας από τον άλλο. Εντούτοις, όταν το στεγνό σκυρόδεμα μπει μέσα στο καλούπι και συμπιεσθεί καλά, παίρνει τη μορφή του συμπαγούς σώματος. Όσο μάλιστα συμπιέζεται περισσότερο, αρχίζει και παρουσιάζεται στην επιφάνεια το περίσσευμα του τσιμεντοπολτού, που συμπληρώνει τα κενά και τις ανωμαλίες. Για να πετύχομε μια τέτοια συμπύκνωση σε στεγνό σκυρόδεμα, είναι σχεδόν απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε δονητή και, αντίστροφα, όταν προβλέπεται να συμπυκνωθεί το σκυρόδεμα με δονητή, είναι σωστό να παρασκευάζεται και να διαστρώνεται στεγνό.

Το **πλαστικό** σκυρόδεμα έχει την όψη ενός πηχτού πολτού, που μπορεί να σταθεί σε ένα σωρό με ύψος τουλάχιστον ίσο με το ένα τρίτο της διαμέτρου της βάσεώς του. Όταν το συμπιέσουμε μέσα στην παλάμη μας διατηρεί σχεδόν αμετάβλητο το σχήμα που του δίνομε. Όταν διαστρωθεί μέσα στο καλούπι, γεμίζει εύκολα όλο το χώρο, αρκεί να το κοπανίσουμε λίγο, για να φύγει ο αέρας, που μπορεί να έχει παγιδευθεί. Όταν συμπιέσθει έντονα, ανεβαίνει στην επιφάνειά του το περίσσειο νερό. Γενικά, όταν δεν προβλέπεται δόνηση, το σκυρόδεμα πρέπει να παρασκευάζεται και να διαστρώνεται πλαστικό.

Το **νερουλό** σκυρόδεμα έχει τόσο πολύ νερό, που δεν μπορεί να σταθεί σε σωρό, αλλά απλώνει σε μεγάλη έκταση. Όταν μπει στο καλούπι, το γεμίζει αμέσως, χωρίς σχεδόν κοπάνισμα. Αν το κοπανίσουμε έντονα ή χρησιμοποιήσουμε δονητή, θα διαχωρισθούν τα υλικά του. Τα σκύρα θα κατέβουν στα χαμηλότερα σημεία και στην επιφάνεια θα ανέβει ο τσιμεντοπολτός ή ακόμα και καθαρό νερό. Το σκυρόδεμα αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, γιατί η αντοχή του είναι πολύ χαμηλή. Μόνο σε ειδικές περιπτώσεις για δομικά στοιχεία με μικρή σημασία και ύστερα από έγκριση του υπεύθυνου μηχανικού επιτρέπεται να χρησιμοποιείται νερουλό σκυρόδεμα.

Στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν μόνο αυτοί οι τρεις τύποι σκυροδέματος, επειδή το ποσοστό του νερού μπορεί να πάρει ενδιάμεσες τιμές, ώστε η εμπειρική αυτή κατάταξη να είναι δύσκολη. Προβλέπεται λοιπόν από τους κανονισμούς (Β. Διάταγμα «Περί κανονισμών διά την μελέτην και εκτέλεσιν δομικών έργων εξ απλισμένου σκυροδέματος» άρθρα 84 ως 87) και περιγράφεται με λεπτομέρειες μια δοκιμασία για την κατάταξη των σκυροδεμάτων ανάλογα με τη ρευστότητά

τους. Χρησιμοποιείται ένα δοχείο μεταλλικό με σχήμα κόλουρου κώνου (κουβάς), που γεμίζεται με το σκυρόδεμα και αναποδογυρίζεται πάνω σ' ένα ειδικό κινητό τραπέζι (σχ. 4.4γ). Αφαιρούμε το δοχείο και αφήνομε το πάνω φύλλο του τραπέζιού να πέσει από μικρό ύψος δεκαπέντε φορές. Το νωπό σκυρόδεμα απλώνεται σε μια έκταση μεγαλύτερη από το στόμιο του δοχείου. Η δοκιμή λέγεται **δοκιμασία εξαπλώσεως** και έχει σα σκοπό να βρούμε τη μέση διάμετρο, που παίρνει τελικά το δοκίμιο και που αποτελεί το μέτρο της ρευστότητας του σκυροδέματος.



Σχ. 4.4γ.

Συσκευή για τη μέτρηση της εξαπλώσεως σκυροδέματος: Α = Λαβή για σήκωμα του τραπεζιού. Β = Νύχι, που περιορίζει το σήκωμα. Γ = Αρθρώσεις, που συνδέουν τα δύο φύλλα του τραπεζιού. Δ = Μολυβένια πλάκα με πάχος 2 mm. Ε = Κολουροκωνικό καλούπι (κουβάς).

Μια παρόμοια δοκιμασία, που προβλέπεται στους αγγλοσαξωνικούς κανονισμούς και είναι αρκετά πιο απλή στην εφαρμογή της, είναι η ακόλουθη: Γεμίζεται και πάλι με το νωπό σκυρόδεμα ένα παρόμοιο δοχείο (κουβάς), αναποδογυρίζεται πάνω σε μια καθαρή οριζόντια επιφάνεια και απομακρύνεται. Μετριέται το ύψος του σωρού που δημιουργείται και συγκρίνεται με το συνολικό βάθος του δοχείου. Η διαφορά λέγεται καθίζηση (slump) και πρέπει να είναι τόση, δοσή έχει προκαθορισθεί στις προδιαγραφές του έργου. Αν η καθίζηση είναι μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη πρέπει να μειωθεί η αναλογία του νερού.

Στα σημαντικά έργα πρέπει να καθορίζεται η αντοχή, που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, η αναλογία των υλικών του, αλλά και η μέγιστη επιτρεπόμενη εξάπλωση. Όσο εκτελούνται τα έργα, πρέπει να γίνονται κάθε τόσο δοκιμασίες εξαπλώσεως σε συνδυασμό με τις δοκιμές της αντοχής, τους έλεγχους για την κοκκομετρική σύνθεση των υλικών κλπ.

Η δοκιμασία της εξαπλώσεως, ή και της καθίζησεως, έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει αποτελέσματα αρέσως, πριν χρησιμοποιηθεί καν το σκυρόδεμα. Αντίθετα η δοκιμή αντοχής κύβων γίνεται 28 ή τουλάχιστον εφτά μέρες μετά την παρασκευή του σκυροδέματος. Έτσι μόνο με την πρώτη δοκιμασία μπορούμε να προλάβομε, ώστε να διορθώσομε ή να απορρίψουμε ένα σκυρόδεμα κακής ποιότητας και να αποφύγουμε έτσι την ανάγκη να γκρεμίσουμε μια έτοιμη κατασκευή ή να την ενισχύσουμε χρησιμοποιώντας μέσα συνήθως πολύ δαπανηρά.

### γ) Βαριά και ελαφριά σκυροδέματα.

Τα σκυροδέματα χωρίζονται σε **βαριά** και **ελαφριά**, αν εξετασθεί η φαινόμενη πυκνότητά τους, δηλαδή ο λόγος της μάζας τους προς τον όγκο τους, όταν έχουν πήξει και σκληρύνει.

**Βαριά** είναι τα συνηθισμένα σκυροδέματα, όπου τα αδρανή υλικά προέρχονται από συμπαγή πετρώματα. Η φαινόμενη πυκνότητά τους είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη από  $2 \text{ g/cm}^3$  ή δύο τόννους ανά κυβικό μέτρο. Βέβαια η πυκνότητα αυτή δεν είναι πάντοτε η ίδια, γιατί εξαρτάται από το είδος των αδρανών υλικών, αλλά κυρίως από το ποσοστό των κενών, που περιέχει τελικά το σκυρόδεμα.

Στο οπλισμένο σκυρόδεμα οι κανονισμοί προβλέπουν να λογαριάζεται η πυκνότητά του ίση με  $2,4 \text{ gr/cm}^3$ , όταν γίνονται οι υπολογισμοί για να καθορισθεί ποιες πρέπει να είναι οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων και ποιος ο οπλισμός τους, για να έχουν την απαραίτητη αντοχή. Όπως είναι φανερό, στους υπολογισμούς αυτούς λαμβάνεται υπόψη σαν ένα από τα φορτία και το βάρος του ίδιου του σκυροδέματος. Η σχετικά μεγάλη αυτή πυκνότητα δικαιολογείται από τρεις λόγους:

α) Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται καλή συμπύκνωση και το ποσοστό των κενών είναι μικρό,

β) ο οπλισμός, που έχει πυκνότητα  $7,85 \text{ gr/cm}^3$ , ανεβάζει κάπως τη μέση πυκνότητα του οπλισμένου σκυροδέματος και

γ) για λόγους ασφαλείας είναι προτιμότερο στους υπολογισμούς να λαμβάνεται υπόψη πυκνότητα, επομένως και φορτίο μεγαλύτερο από το πραγματικό.

Παρόλα αυτά οι κανονισμοί απαιτούν να ελέγχεται πειραματικά η φαινόμενη πυκνότητα, όταν πρόκειται να γίνει εξαιρετική σύμπύκνωση με δονητή και να χρησιμοποιηθούν αδρανή από βαριά πετρώματα. Αν από τον έλεγχο αυτό προκύψει πυκνότητα μεγαλύτερη από  $2,4 \text{ gr/cm}^3$ , τότε πρέπει αυτή να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Για τελείως ειδικές χρήσεις, όπως π.χ. όταν χρειάζεται προστασία από ραδιενέργεια, χρησιμοποιούνται ειδικά σκυροδέματα πολύ βαριά.

**Ελαφριά** σκυροδέματα είναι εκείνα, που περιέχουν στη μάζα τους πολύ υψηλό ποσοστό κενών και έχουν φαινόμενη πυκνότητα πολύ μικρότερη από δύο τόννους στο κυβικό μέτρο. Τα κενά αυτά δεν είναι τυχαία και δεν οφείλονται σε κακή συμπύκνωση ή στο μεγάλο ποσοστό νερού, που περιέχεται στο νωπό σκυρόδεμα. Τα κενά περιέχονται μέσα στη μάζα των αδρανών υλικών, που έχουν σκόπιμα τη μορφή σφουγγαριού, ή δημιουργούνται μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος, που περιέχει επίτηδες γι' αυτό το σκοπό κάποιο πρόσμιγμα, που δημιουργεί φυσαλίδες αέρα.

Τα ελαφριά σκυροδέματα έχουν μικρότερη αντοχή από τα βαριά. Έχουν επίσης μικρότερο μέτρο ελαστικότητας Ε, για τις ίδιες δηλαδή καταπονήσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Αν με το σκυρόδεμα προβλέπεται να κατασκευασθούν στοιχεία, που στηρίζουν το έργο, φέροντα δηλαδή, οι δύο αυτές ιδιότητες είναι μειονεκτήματα σοβαρά. Γι' αυτό τα ελαφριά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή δομικών στοιχείων, που στηρίζονται στο σκελετό του έργου. Στις περιπτώσεις αυτές η ελαφρότητά τους είναι μεγάλο πλεονέκτημα. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται κυρίως, επειδή παρουσιάζουν μεγάλη μονωτική ικανότητα στη θερμότητα και το θόρυβο.

Παρόλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελαφριά σκυροδέματα, για να κατασκευασθούν δομικά στοιχεία, που φέρουν και μεταβιβάζουν φορτία. Αρκεί τα αδρανή υλικά, που περιέχουν στη μάζα τους τα κενά, να προέρχονται από ανθεκτικά ορυκτά, ώστε παρόλα τα κενά να έχουν ικανοποιητική αντοχή. Ένα τέτοιο υλικό είναι η **ελαφρόπετρα** (κίσσηρις), που στην Ελλάδα παράγεται στη Σαντορίνη (Κυκλαδες) και στο Γιαλί (Δωδεκάνησος). Η ελαφρόπετρα είναι υλικό ηφαιστειογενές, με όψη σφουγγαριού, που αποτελείται από τραχείτη και άλλα παρόμοια σκληρά ορυκτά και πλέει στο νερό, γιατί η φαινόμενη πυκνότητά της είναι μικρότερη από 1 gr/cm<sup>3</sup>.

Σε πολλά μέρη του κόσμου και ιδιαίτερα στις Ήνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούνται ελαφριά σκυροδέματα για την κατασκευή του φέροντος οργανισμού, του σκελετού δηλαδή δομικών έργων. Αντίθετα στην Ελλάδα βρισκόμαστε ακόμα στο στάδιο του πειραματισμού. Αναφέρομε ότι μια σχετική έρευνα γίνεται στα εργαστήρια του Πανεπι της Θράκης. Σαν αδρανή υλικά χρησιμοποιούνται η ελαφρόπετρα ή άλλα παρόμοια ορυκτά, αλλά κυρίως βιομηχανικά προϊόντα και ιδιαίτερα διάφορες σκουριές, υποπροϊόντα της παραγωγής μετάλλων. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται, όταν διαστρώνεται το ελαφρό σκυρόδεμα, ώστε ο οπλισμός να σκεπάζεται καλά με τον τσιμεντοπολτό, για να μη σκουριάσει, αν ένα μέρος της επιφάνειας του έρχεται σε επαφή με τον αέρα των κενών.

Η εφαρμογή του ελαφρού οπλισμένου σκυροδέματος παρουσιάζει πλεονεκτήματα στις κατασκευές, που έχουν πολύ μεγάλο ύψος. Αν και τα δομικά στοιχεία πρέπει θεωρητικά να έχουν κάπως μεγαλύτερες διαστάσεις, για να αντιμετωπίσουν τη μικρότερη αντοχή και τις μεγαλύτερες παραμορφώσεις του υλικού, το μειονέκτημα αυτό εξουδετερώνεται ή και αντιστρέφεται, όταν σκεφθούμε ότι ένα από τα κυριότερα φορτία είναι το βάρος του ίδιου του σκυροδέματος, που σε αυτήν την περίπτωση είναι πολύ μικρότερο. Το κυριότερο όμως κέρδος παρουσιάζεται στη θεμελίωση, μια και ολόκληρο το έργο γίνεται πολύ πιο ελαφρό.

Στα ελαφριά σκυροδέματα μπορούμε να περιλάβομε και τα **σκυροδέματα χωρίς λεπτά υλικά** (po fines concrete). Τα σκυροδέματα αυτά δεν περιέχουν άμμο, αλλά μόνο σκύρα, τσιμέντο και νερό. Είναι αρκετά ελαφρότερα από τα συνηθισμένα και έχουν καλύτερες μονωτικές ικανότητες. Δεν επιτρέπεται όμως να χρησιμοποιούνται για κατασκευή οπλισμένων δομικών στοιχείων, επειδή ο οπλισμός δεν μπορεί να προστατευθεί καλά και υπάρχει κίνδυνος να σκουριάσει.

#### **4.4.3 Παρασκευή και μεταφορά σκυροδέματος.**

Υπάρχουν σήμερα τέσσερεις τρόποι για την παρασκευή του σκυροδέματος:

α) Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται σε ειδικά για το σκοπό αυτό εργοστάσια και μεταφέρεται εκεί, όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, με ειδικά αυτοκίνητα (**έτοιμο σκυρόδεμα**).

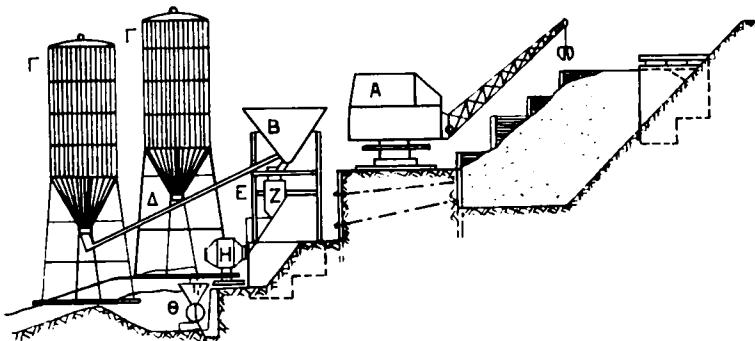
β) Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται μέσα στο εργοτάξιο σε μόνιμη εγκατάσταση παρόμοια με εκείνη των εργοστασίων και μεταφέρεται στη θέση, όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, με ειδικούς γερανούς ή άλλα κατάλληλα μηχανικά μέσα.

γ) Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται κοντά στη θέση, όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, με τη βοήθεια κινητών μηχανημάτων και μεταφέρεται είτε μόνο με τα χέρια μέσα σε δοχεία είτε και σε συνδυασμό με μηχανικά μέσα.

δ) Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται χωρίς μηχανικά μέσα με τη βοήθεια συνηθι-  
σμένων εργαλείων (τσάπες, φτυάρια κλπ.) και μεταφέρεται σε μικρές αποστάσεις  
με τα χέρια μέσα σε δοχεία.

#### **α) Έτοιμο σκυρόδερμα.**

Τα εργοστάσια, που παράγουν έτοιμο σκυρόδεμα (σχ. 4.4δ), συνδυάζονται  
συνήθως με το λατομείο, που παράγει τα αδρανή υλικά. Τα αδρανή υλικά κοσκινί-  
ζονται σε μεγάλα μηχανικά κόσκινα και σχηματίζουν σωρούς χωριστούς ανάλογα  
με το μέγεθος των κόκκων τους. Το τσιμέντο βρίσκεται αποθηκευμένο χύμα μέσα  
σε μεγάλα μεταλλικά δοχεία (σιλό). Καθορίζονται οι αναλογίες των υλικών, που με  
κατάλληλα μηχανήματα ζυγίζονται και εισάγονται στα ειδικά αυτοκίνητα, που μετα-  
φέρουν το έτοιμο σκυρόδεμα.



**Σχ. 4.4δ.**

Σχηματικό διάγραμμα εργοστασίου για παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος: Α = Εκσκαφέας. Β = Σιλό  
για τα αδρανή υλικά. Γ = Σιλό για το τσιμέντο. Δ = Σύστημα για την τροφοδοσία του τσιμέντου.  
Ε = Ζυγαριά για το τσιμέντο. Ζ = Ζυγαριά για τα αδρανή υλικά. Η = Μπετονιέρα (αναμικτήρας).  
Θ = Αντλία για το έτοιμο σκυρόδεμα.

Τα αυτοκίνητα αυτά διαθέτουν ένα μεγάλο μεταλλικό δοχείο, που λέγεται **αναδευτήρας** και περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, που, έχει μια κλίση αρκετά  
έντονη (σχ. 4.4ε). Διαθέτουν ακόμα μια μικρή δεξαμενή νερού, που είναι εφοδια-  
σμένη με μια συσκευή, για να μπορεί να μετριέται με ακρίβεια η ποσότητα, που  
μπαίνει στον αναδευτήρα.

Όταν τα υλικά του σκυροδέματος μπουν μέσα στον αναδευτήρα, αρχίζει η ανά-  
μιξή τους, ενώ το αυτοκίνητο ξεκινά για τον προορισμό του. Το νερό έρχεται σιγά -  
σιγά, ενώ ο αναδευτήρας περιστρέφεται με ταχύτητα 4 ως 12 περιστροφών το λε-  
πτό, ώσπου να συμπληρώσει πενήντα τουλάχιστον περιστροφές. Το σκυρόδεμα  
είναι πια έτοιμο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Συνήθως όμως παραμένει για κά-  
ποιο διάστημα μέσα στον αναδευτήρα, που πρέπει να συνεχίσει να περιστρέφεται  
με τη μισή από την προηγούμενη ταχύτητα, για να μη διαχωρισθούν τα υλικά, ι-  
διαίτερα όσο το αυτοκίνητο τρέχει και υπάρχουν κραδασμοί. Γι' αυτό οι αναδευτή-  
ρες είναι συνήθως δίχρωμοι έτσι, ώστε να γίνεται αμέσως αντιληπτό, αν περιστρέ-  
φονται ή όχι.



Σχ. 4.4ε.

Αυτοκίνητο για μεταφορά έτοιμου σκυροδέματος.

Ο αναδευτήρας έχει κατάλληλη διάταξη, ώστε να μπορεί να αδειάσει εύκολα και εντελώς. Αν η κατασκευή βρίσκεται χαμηλότερα από τον αναδευτήρα, το σκυρόδεμα φθάνει σε αυτήν με τη βαρύτητα. Χρησιμοποιείται συνήθως μια πρόχειρη μεταλλική ή ξύλινη κατασκευή με σχήμα αυλακιού (λούκι), που οδηγεί το σκυρόδεμα από το στόμιο του αναδευτήρα στο σημείο, όπου διαστρώνεται.

Όταν το σκυρόδεμα πρόκειται να διαστρωθεί ψηλότερα από τον αναδευτήρα ή πολύ μακριά από το σημείο, όπου μπορεί να φθάσει το αυτοκίνητο, χρησιμοποιείται κι ένα δεύτερο όχημα. Το όχημα αυτό διαθέτει μια ειδική αντλία σκυροδέματος κι έναν αρθρωτό βραχίονα με μεγάλο μάκρος, από όπου κρέμεται ένας εύκαμπτος σωλήνας. Ο σωλήνας αυτός με τη βοήθεια της αντλίας οδηγεί το σκυρόδεμα από τον αναδευτήρα σε κάθε σημείο, όπου πρέπει να διαστρωθεί το σκυρόδεμα (σχ. 4.4στ.).

Ο οδηγός του αυτοκινήτου, που χειρίζεται και τον αναδευτήρα, πρέπει να υπολογίζει το χρόνο, που χρειάζεται, για να φθάσει στο εργοτάξιο και να αρχίζει να προσθέτει το νερό στα υλικά του σκυροδέματος την κατάλληλη στιγμή, ώστε να μην έχει αρχίσει να πήζει το σκυρόδεμα, όταν γίνεται η διάστρωσή του.

Το σκυρόδεμα μπορεί να παρασκευάζεται και στο εργοστάσιο μέσα σε κατάλληλο μόνιμο αναμικτήρα και να μπαίνει έτοιμο στον αναδευτήρα του αυτοκινήτου. Η μέθοδος αυτή είναι επικίνδυνη, τουλάχιστον για τις μεγάλες πόλεις με κυκλοφοριακά προβλήματα, όπου υπάρχει ο κίνδυνος να μεσολαβεί πολὺς χρόνος από την αναχώρηση του αυτοκινήτου από το εργοστάσιο ως την άφιξή του στο εργοτάξιο.

### **β) Μαζική παραγωγή σκυροδέματος στο εργοτάξιο.**

Στα μεγάλα εργοτάξια γίνεται συνήθως μαζική παραγωγή σκυροδέματος σε κά-

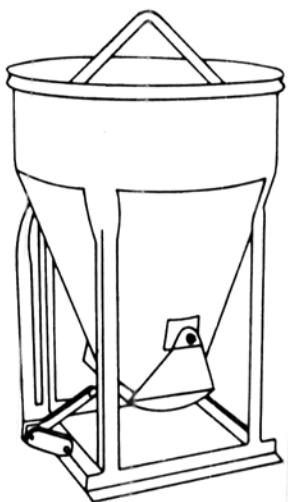


**Σχ. 4.4στ.**

Αυτοκίνητη αντλία για τη μεταφορά του σκυροδέματος από το αυτοκίνητο μεταφοράς στο σημείο, όπου διαστρώνεται.

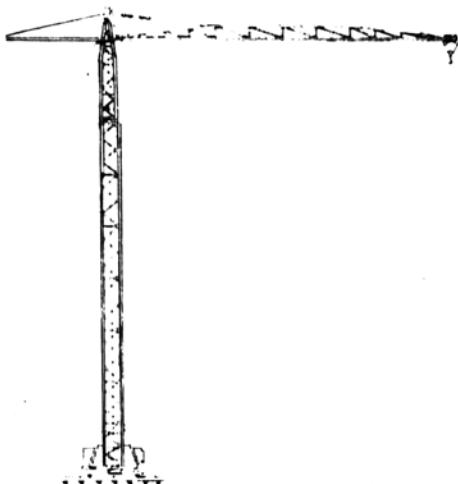
ποιο κεντρικό σημείο τους. Αν το εργοτάξιο είναι πολύ εκτεταμένο, π.χ. ένα υδραγωγείο, η παραγωγή και η μεταφορά του σκυροδέματος γίνεται, όπως ακριβώς και στην προηγούμενη περίπτωση. Όταν αντίθετα τα σημεία, όπου πρόκειται να διαστρωθεί το σκυρόδεμα, απέχουν μόνο μερικές δεκάδες ή το πολύ λίγες εκατοντάδες μέτρων από το σημείο παραγωγής του, τότε δε χρησιμοποιούνται αυτοκίνητα.

Υπάρχουν και σε αυτή την περίπτωση οι σωροί των αδρανών υλικών, που χωρίζονται κατά το μέγεθος των κόκκων τους και τα σιλό με το τσιμέντο, όπως και δεξαμενές νερού. Η παρασκευή του σκυροδέματος γίνεται μέσα σε μεγάλους μόνιμους αναμικτήρες (μπετονιέρες), όπου καταλήγουν με κατάλληλα μηχανικά μέσα τα διάφορα υλικά, αφού ζυγισθούν με ακρίβεια. Το σκυρόδεμα από τον αναμικτήρα αδειάζει σε ειδικά μεταλλικά δοχεία (κάδους), που ο πυθμένας τους μπορεί να ανοίγει μ'ένα κατάλληλο μηχανισμό (σχ. 4.4ζ). Τα δοχεία αυτά μεταφέρονται με ένα γερανό (σχ. 4.4η) ακριβώς πάνω από το σημείο, όπου πρόκειται να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Εκεί ανοίγει ο πυθμένας του δοχείου και το σκυρόδεμα πέφτει από μικρό ύψος ακριβώς στο σημείο, όπου χρειάζεται.



Σχ. 4.4ζ.

Γερανός για μεταφορά σκυροδέματος  
και άλλων δομικών υλικών.



Σχ. 4.4η.

Δοχείο για μεταφορά σκυροδέματος  
με γερανό.



Σχ. 4.4θ.

Μεταφορά σκυροδέματος με μεταφορική ταινία.

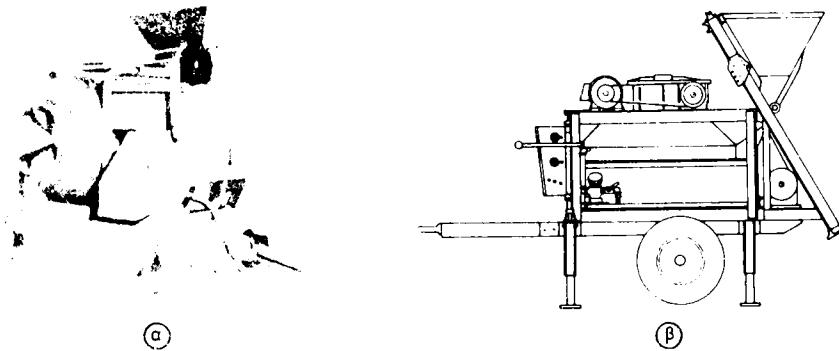
Σε ορισμένες περιπτώσεις η μεταφορά του σκυροδέματος μπορεί να γίνει και με μεταφορική ταινία (σχ. 4.4θ) ή και με άλλα μηχανικά μέσα, που να εξυπηρετούν καλύτερα τις ειδικές ανάγκες του έργου. Τα μέσα αυτά ταιριάζουν ιδιαίτερα, σταν πρόκειται για τη βιομηχανική παραγωγή δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, απλό, όπλισμένο ή προεντεταμένο. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι δοκάρια, πλάκες, τοίχοι κλπ. Η παρασκευή του σκυροδέματος γίνεται σε ένα σημείο του εργοστασίου και η διάστρωσή του σε ένα άλλο, που συνδέεται με το πρώτο με μια μεταφο-

ρική ταινία. Τα καλούπια των δομικών στοιχείων βρίσκονται πάνω σε κινητά τραπέζια και, μόλις τελειώσει η διάστρωση του σκυροδέματος, προωθούνται στους θαλάμους συντηρήσεως, ενώ τη θέση τους παίρνουν τα καλούπια για τα επόμενα στοιχεία. Σπην Ελλάδα δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί αξιόλογα η βιομηχανία αυτού του είδους, αντίθετα όμως σε άλλες χώρες και ιδιαίτερα στην Ανατολική Ευρώπη η προκατασκευή στοιχείων από σκυρόδεμα αποτελεί τον κανόνα για τα περισσότερα είδη δομικών έργων.

### **γ) Παρασκευή σκυροδέματος με μπετονιέρα.**

Στα μικρά εργοτάξια, που βρίσκονται μακριά από εργοστάσια παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, η παρασκευή του γίνεται συνήθως με **αναμικτήρες κοινώς μπετονιέρες**. Οι μπετονιέρες είναι σχετικά μικρά μηχανήματα, που ρυμουλκούνται στο εργοτάξιο με ένα φορτηγό αυτοκίνητο, μόνο όταν χρειάζονται. Δίπλα τους ξεφορτώνονται και τα υλικά του σκυροδέματος, για να μή χρειάζονται πρόσθετες μεταφορές.

Το κύριο στοιχείο της μπετονιέρας είναι ένα περιστρεφόμενο δοχείο (τύμπανο), που έχει στο εσωτερικό του πτερύγια και μέσα του γίνεται η ανάμιξη των υλικών και η παρασκευή του σκυροδέματος. Ο άξονας περιστροφής είναι συνήθως οριζόντιος ή σχεδόν οριζόντιος [σχ. 4.4ι(α)] και η κίνηση γίνεται με ένα βενζινοκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα. Υπάρχουν και μπετονιέρες με κατακόρυφο άξονα περιστροφής [σχ. 4.4ι(β)], αυτές όμως συνήθως χρησιμοποιούνται στις μόνιμες εγκαταστάσεις παραγωγής σκυροδέματος.



Μπετονιέρες (a) Με οριζόντιο άξονα. (β) Με κατακόρυφο άξονα.

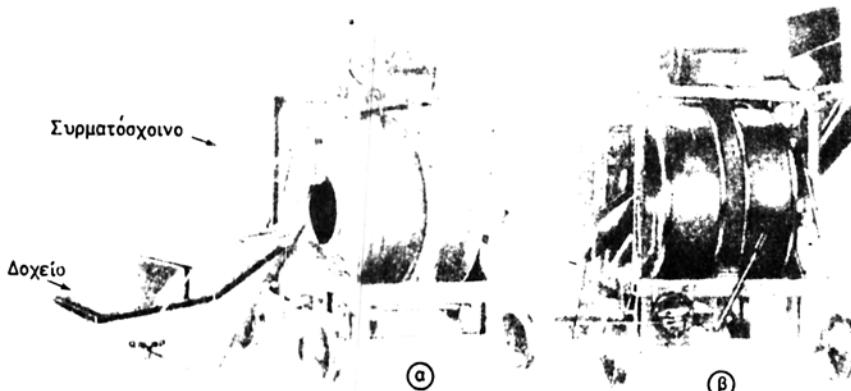
Το τύμπανο της μπετονιέρας γυρίζει σχετικά αργά με 50 περίπου στροφές το λεπτό. Η ανάμιξη των υλικών πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον ένα λεπτό.

Εκτός από το τύμπανο και τον κινητήρα η μπετονιέρα έχει και ένα ανοικτό αρθρωτό δοχείο (σέσουλα). Για να γεμίσει η μπετονιέρα κατεβάζομε το δοχείο αυτό και αδειάζομε μέσα του όσα σακκιά τσιμέντο και όσα αδρανή υλικά χρειάζονται. Τα αδρανή μεταφέρονται με τα ξύλινα κιβώτια, που αναφέραμε στην παράγραφο 4.4.1, ή τις περισσότερες φορές με καρροτσάκια (μονότροχα). Μόλις γεμίσει το

δοχείο, συνδέεται ο κινητήρας με το μηχανισμό του και το δοχείο τραβιέται με ένα συρματόσχοινο στην ανώτερη θέση του, οπότε τα υλικά πέφτουν μέσα στο τύμπανο (σχ. 4.4ια).

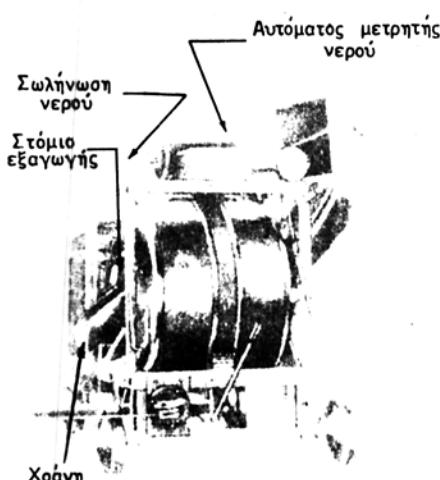
Έπειτα ο κινητήρας συνδέεται με το μηχανισμό του τυμπάνου, που αρχίζει να περιστρέφεται. Την ίδια ώρα αρχίζει να τρέχει μέσα στο τύμπανο νερό από μια μικρή δεξαμενή, που βρίσκεται από πάνω του (σχ. 4.4ιβ). Η δεξαμενή πρέπει να είναι εφοδιασμένη με ρυθμιζόμενο πλωτήρα (φλοτέρ), ώστε το νερό, που φθάνει με ένα σωλήνα στο ψηλότερο σημείο του στομίου του τυμπάνου, να σταματά αυτόματα, όταν περάσει η προκαθορισμένη ποσότητα.

Όταν τελειώσει η ανάμιξη, το σκυρόδεμα αδειάζει, ενώ το τύμπανο ακόμα περιστρέφεται. Για να γίνει αυτό, αρκεί να κατεβάσουμε με ένα κατάλληλο μοχλό προς



Σχ. 4.4ια.

Δοχείο μπετονιέρας για τα στερεά υλικά: (α) Στη θέση όπου γεμίζει. (β) Στη θέση όπου αδειάζει.



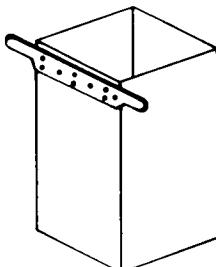
Σχ. 4.4ιβ.

Σύστημα τροφοδοσίας μπετονιέρας με νερό.

τα κάτω ένα εξάρτημα (χοάνη), που βρίσκεται στο άλλο στόμιο του τυμπάνου, απέναντι από εκείνο, από όπου μπαίνουν τα υλικά. Τα εσωτερικά πτερύγια του τυμπάνου έχουν την κατάλληλη διάταξη, ώστε να σπρώχνουν το έτοιμο σκυρόδεμα προς το στόμιο αυτό. Μπορούμε να ανεβοκατεβάζουμε τη χοάνη έτσι, ώστε ή να αδειάσουμε όλη την ποσότητα του σκυροδέματος μαζί ή να την αδειάζουμε λίγη - λίγη, όταν η μεταφορά του γίνεται με μικρά δοχεία.

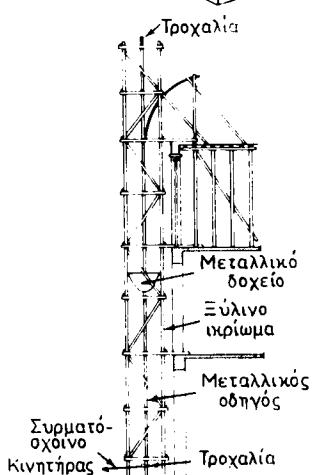
Το έτοιμο πια σκυρόδεμα μεταφέρεται με διάφορους τρόπους. Στην Ελλάδα ένα συνηθισμένο μέσο είναι οι γκαζοντενεκέδες ή απλώς τενεκέδες (λευκοσιδηρά δοχεία πετρελαίου). Από τους τενεκέδες αυτούς αφαιρείται η πάνω έδρα και στην πάνω ακριμή μιας από τις κατακόρυφες έδρες καρφώνεται ένα κομμάτι σανίδας (κλάπα), που προεξέχει από τις δυο μέριές, ώστε να σχηματίζονται δύο χειρολαβές (σχ. 4.4ιγ.).

Οι τενεκέδες μεταφέρονται στον ώμο και χωρούν 1,5 ως 2 εκατοστά του κυβικού μέτρου σκυρόδεμα. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά πρωτόγονη, αλλά και πολύ απλή και οικονομική. Χρησιμοποιείται κυρίως στα μικρά έργα, όπου οι αποστάσεις μεταφοράς είναι μικρές και ιδιαίτερα, όταν χρειάζεται και μια μικρή κατακόρυφη μεταφορά, ένα ως δύο πατώματα το πολύ. Στην περίπτωση αυτή οι εργάτες ανεβοκατεβαίνουν πατώντας σε κεκλιμένα μαδέρια. Είναι σκόπιμο να υπάρχει διαφορετική διαδρομή για τη μετάβαση και διαφορετική για την επιστροφή, ώστε και η δουλειά να γίνεται πιο γρήγορα και οι πιθανότητες ατυχήματος να είναι μικρότερες.



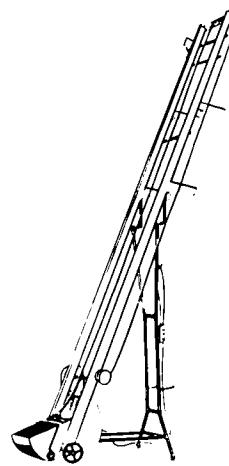
Σχ. 4.4ιγ.

Τενεκές για τη μεταφορά σκυροδέματος.



(a)

Σχ. 4.4ιδ.



(b)

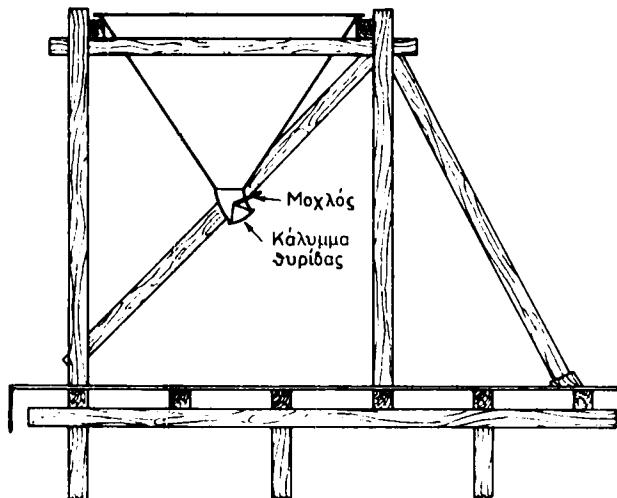
Αναβατόρια για τη μεταφορά σκυροδέματος: (a) Κατακόρυφο. (b) Κεκλιμένο (πύραυλος).

Όταν η απόσταση μεταφοράς είναι αρκετά μεγάλη αλλά σχεδόν οριζόντια, η μεταφορά γίνεται ευκολότερα με τα καρροτσάκια (μονότροχα). Τα καρροτσάκια είναι μικρά μεταλλικά οχήματα (σχ. 4.4β) με μια ρόδα μπροστά και δύο μακριές χειρολαβές προς τα πίσω, ώστε να μπορεί κανείς να τα σπρώξει και να τα κατευθύνει με ευκολία. Πίσω από τη ρόδα έχουν δύο στηρίγματα, ώστε να μπορούν να στέκονται όρθια, όταν τα γεμίζουμε. Για να αδειάσουν αναποδογυρίζονται, πράγμα πολύ εύκολο, ακριβώς επειδή έχουν μόνο μια ρόδα.

Όταν το σκυρόδεμα χρειάζεται να ανέβει περισσότερο από 5 ως 6 μέτρα, χρησιμοποιούνται βαρούλκα. Άλλοτε τα βαρούλκα ήταν χειροκίνητα και ανέβαζαν κάθε φορά ένα γεμάτο τενεκέ ή κουβά με χωρητικότητα το πολύ τριών εκατοστών του κυβικού μέτρου, ενώ σύγχρονα κατέβαζαν έναν άδειο. Σήμερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικροί γερανοί, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται αναβατόρια, δηλαδή μηχανοκίνητα βαρούλκα με ανατρεπόμενους κάδους.

Τα αναβατόρια μπορεί να είναι κατακόρυφα [σχ. 4.4δ(α)], οπότε κινούνται μέσα σε ένα ξύλινο ικρίωμα, που συνδέεται κατάλληλα με το ικρίωμα (σκαλωσά) του έργου και στηρίζει τους κατακόρυφους μεταλλικούς οδηγούς. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται κυρίως κεκλιμένα αναβατόρια (πύραυλοι) [σχ. 4.4δ(β)], που το ύψος τους μπορεί να μεγαλώνει με μια τηλεσκοπική διάταξη και έχουν ρόδες, ώστε να μπορούν να ρυμουλκούνται με ένα φορτηγό.

Ο κάδος του αναβατορίου συμφέρει να έχει την ίδια χωρητικότητα με τη μπετονιέρα, ώστε να αδειάζει σε αυτόν ολόκληρη η ποσότητα σκυροδέματος, που παρασκευάζεται κάθε φορά. Συνήθως η ποσότητα αυτή είναι ίση με το 1/6 του κυβικού μέτρου, αντιστοιχεί δηλαδή σε ένα σακκί τσιμέντο και σπανιότερα ίση με το 1/3 του κυβικού μέτρου. Όταν ο κάδος κινείται, ακολουθεί δύο μεταλλικούς οδηγούς, που πάνω τους κυλούν μικρές ρόδες στερεωμένες στα πλευρά του κάδου.



Σχ. 4.4ε.

Χοάνη για το σκυρόδεμα, που φθάνει σε αυτή με το αναβατόριο.

Στο κατάλληλο ύψος οι οδηγοί σχηματίζουν μια καμπύλη, ώστε ο κάδος γέρνει και αδειάζει μέσα σε μια μεταλλική χοάνη, που βρίσκεται ακριβώς στο σημείο αυτό. Η χοάνη έχει στο χαμηλότερο σημείο μια θυρίδα, που μπορεί να ανοιγοκλείνει με ένα μοχλό (σχ. 4.4ιε). Κάτω ακριβώς από τη θυρίδα βάζομε τους τενεκέδες ή τα μονότροχα, που χρειάζονται για την τελευταία φάση της οριζόντιας μεταφοράς του σκυροδέματος.

Αν πρόκειται να διαστρωθεί σκυρόδεμα και ακριβώς κάτω από τη χοάνη, το τμήμα αυτό διαστρώνεται τελευταίο, ώστε να μην πατιέται το νωπό σκυρόδεμα, ούτε να πέφτουν πάνω του πρόσθετες σκυροδέματος και να ενσωματώνονται με αυτό. Βέβαια υπάρχει ο κίνδυνος να πατηθεί ο οπλισμός και κυρίως να πέσουν μικρές ποσότητες σκυροδέματος και να πήξουν, πριν έρθει η ώρα να διαστρωθεί κανονικά το σκυρόδεμα. Γι' αυτό πρέπει πάντοτε να μπαίνει κάτω από τη χοάνη μια λαμαρίνα. Όταν πρόκειται να διαστρωθεί το σκυρόδεμα στη θέση αυτή, αφαιρείται η λαμαρίνα, καθαρίζονται καλά τα καλούπια από κάθε ξένο υλικό, τακτοποιείται ο οπλισμός στις σωστές του θέσεις και έπειτα αφήνεται να πέσει το σκυρόδεμα από τη θυρίδα και διαστρώνεται με το φτυάρι και το μυστρί, χωρίς να χρησιμοποιούνται μέσα για τη μεταφορά του.

### **δ) Παρασκευή σκυροδέματος χωρίς μηχανικά μέσα.**

Πολλές φορές σε μικρά έργα δεν είναι εύκολο να εξασφαλισθούν μηχανικά μέσα για την παρασκευή σκυροδέματος. Άλλα και σε μεγαλύτερα έργα χρειάζεται πότε - πότε να παρασκευασθεί μια μικρή ποσότητα σκυροδέματος και είναι ασύμφορο να μεταφερθεί στη θέση που χρειάζεται μια μπετονιέρα για την παρασκευή του, ενώ η μικρή ποσότητα δε δικαιολογεί την παραγγελία και μεταφορά έτοιμου σκυροδέματος.

Στις περιπτώσεις αυτές το σκυρόδεμα παρασκευάζεται χωρίς μηχανικά μέσα. Η παρασκευή γίνεται πάνω σε μια καθαρή οριζόντια επιφάνεια κατά προτίμηση ένα δάπεδο από σκυρόδεμα, ένα πλακόστρωτο ή στην ανάγκη μια λαμαρίνα. Αδειάζονται πρώτα τα μισά σκύρα, πάνω σε αυτά η άμμος, έπειτα το τσιμέντο και τέλος τα άλλα μισά σκύρα. Τα αδρανή υλικά μεταφέρονται με τα ξύλινα κιβώτια ή τα καρποτσάκια ή στην ανάγκη και με τους τενεκέδες. Με τη σειρά, που αδειάζονται τα υλικά, πετυχαίνομε μια πρώτη ανάμιξη τους, επειδή το τσιμέντο και η άμμος γεμίζουν κατά ένα ποσοστό τα κενά των σκύρων.

Στη συνέχεια γίνεται μια ανάμιξη των στεγνών υλικών με το φτυάρι. Ο τεχνίτης μεταφέρει με το φτυάρι λίγα - λίγα τα υλικά και σχηματίζει ένα νέο σωρό δίπλα στη θέση του αρχικού. Έπειτα προσθέτει σιγά - σιγά το νερό και συγχρόνως επαναλαμβάνει την ανάμιξη με τον ίδιο τρόπο, ώστε ο σωρός των υλικών να ξανασχηματισθεί στην αρχική του θέση. Ακολουθεί μια τρίτη δμοια ανάμιξη (γύρισμα), οπότε το σκυρόδεμα έχει πια μετατραπεί σε ομοιόμορφη μάζα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Οι τεχνίτες έχουν συνήθως την τάση να αποφεύγουν την ανάμιξη των στεγνών υλικών και να προσθέτουν αμέσως το νερό, μόλις σχηματίσουν το σωρό των υλικών. Σημειώνομε ότι η ανάμιξη των στεγνών υλικών είναι πιο εύκολη και ισοδυναμεί με δύο περίπου αναμίξεις βρεγμένων υλικών, γι' αυτό δεν πρέπει να παραλείπεται.

Όταν το σκυρόδεμα ετοιμασθεί, η μεταφορά του γίνεται με τενεκέδες ή με καρροτσάκια. Αν τυχόν έχει παρασκευασθεί πάνω σε σκληρό χώμα, πρέπει να προσέχομε, ώστε οι τελευταίες ποσότητες να μην περιέχουν λάσπη. Είναι πιο σωστό μια μικρή ποσότητα στο τέλος να πετιέται σαν άχροστη.

#### **4.4.4 Διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος.**

##### **α) Διάστρωση.**

Όταν το σκυρόδεμα μεταφερθεί στην τελική του θέση, διαστρώνεται, ώστε να γεμίσει τελείως το χώρο, που προορίζεται για το σκοπό αυτό. Η διάστρωση πρέπει να γίνεται με προσοχή και σε μικρές ποσότητες, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν παραμένουν κενά. Πρέπει επίσης η διάστρωση να γίνεται σε οριζόντιες στρώσεις.

Αν η κατασκευή έχει μεγάλο ύψος, αν π.χ. είναι μια κολώνα ή ένας τοίχος, οι οριζόντιες στρώσεις δεν πρέπει να ξεπερνούν το πάχος των 30 cm. Ακόμα όμως και σε λεπτές οριζόντιες πλάκες είναι σκόπιμο η διάστρωση να γίνεται σε δύο στρώσεις.

Η πρώτη στρώση του σκυροδέματος εδράζεται πάνω σε μια μόνιμη επιφάνεια, π.χ. το έδαφος, μια λιθοδομή ή ακόμα και ένα σκυρόδεμα, που έχει πήξει ή σε μια προσωρινή επιφάνεια, δηλαδή σε ένα καλούπι (ξυλότυπο). Κάθε μια από τις επόμενες στρώσεις εδράζεται πάνω στην αμέσως προηγούμενη στρώση, που πρέπει να μορφώνεται έτσι, ώστε η επιφάνειά της να είναι όσο γίνεται πιο οριζόντια.

Όταν με το σκυρόδεμα πρόκειται να κατασκευασθούν στοιχεία με μεγάλο ύψος, π.χ. τοίχοι ή κολώνες, που έχουν τουλάχιστον τη μια οριζόντια διάστασή τους μικρή, το σκυρόδεμα δεν πρέπει να πέφτει από ψηλά στην τελική του θέση, γιατί έτσι υπάρχει κίνδυνος να ξεχωρίσουν τα υλικά του. Αν η διάστρωση γίνει έτσι, θα δημιουργηθούν στην κατασκευή οριζόντια περίπου στρώματα, που θα είναι εναλλάξ πλούσια σε αδρανή και πλούσια σε τσιμεντοπολτό. Πρέπει λοιπόν να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα, ώστε το σκυρόδεμα να πέφτει από ύψος μικρότερο από ένα μέτρο ή στην ανάγκη από ενάμισυ.

Οι κατασκευές αυτού του είδους δεν πρέπει να γίνονται πολύ γρήγορα, ώστε να προφθαίνει το σκυρόδεμα να πήξει. Το νωπό σκυρόδεμα έχει σε αρκετό βαθμό τις ιδιότητες των υγρών και έτσι στα τοιχώματα των καλουπιών ενεργούν υδροστατικές πιέσεις σύμφωνα με το νόμο του Pascal. Οι πιέσεις αυτές μπορεί να γίνουν πολύ μεγάλες και να παραμορφώσουν τα καλούπια (φούσκωμα) ή ακόμα και να τα καταστρέψουν. Όταν το ύψος της στήλης του νωπού σκυροδέματος είναι πολύ μεγάλο. Οι πιέσεις αυτές μικραίνουν, όσο το σκυρόδεμα πήξει και αποκτά τις ιδιότητες των στερεών σωμάτων. Γι' αυτό ποτέ δεν πρέπει να διαστρώνεται το σκυρόδεμα σε περισσότερα από δύο μέτρα ύψους την ώρα.

##### **β) Κοπάνισμα.**

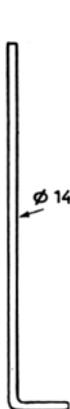
Αφού διαστρωθεί το σκυρόδεμα με τη βοήθεια μυστριού, φτυαριού, ή άλλου παρόμοιου εργαλείου, επακολουθεί το κοπάνισμα. Το κοπάνισμα γίνεται συνήθως με χαλύβδινες βέργες, δηλαδή με ράβδους οπλισμού, που έχουν διάμετρο 12 ή 14 mm. Η μια άκρη αυτών των ράβδων είναι γυρισμένη έτσι, ώστε να σχηματίζει περίπου ορθή γωνία με το κύριο σώμα (σχ. 4:4ιστ). Έτσι η βέργα παρουσιάζει κα-

τά το κοπάνισμα μιαν επιφάνεια κρούσεως πολύ μεγαλύτερη από τη διατομή της.

Οι τεχνίτες εξαναγκάζουν το σκυρόδεμα κτυπώντας το με τις χαλύβδινες βέργες να περάσει ανάμεσα από τις ράβδους του οπλισμού και να συμπληρώσει το χώρο κάτω από αυτές, όπως και κάθε εσοχή των καλουπιών. Σύγχρονα, με τα αλλεπάλληλα κτυπήματα το σκυρόδεμα συμπιέζεται και μικραίνει το ποσοστό των κενών του.

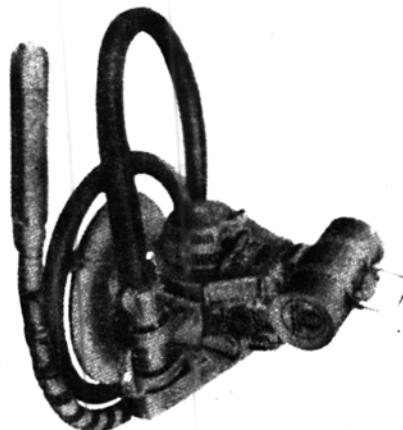
Για το κοπάνισμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σανίδες, με μικρότερη όμως επιτυχία. Το κοπάνισμα πρέπει να συμπληρώνεται μέσα σε πέντε λεπτά της ώρας από τη στιγμή, που θα διαστρωθεί το σκυρόδεμα, για να είναι βέβαιο ότι δεν διαταράζεται το σκυρόδεμα, που έχει ήδη αρχίσει να πήζει.

Σε κατασκευές με μεγάλο ύψος και μικρό πλάτος, δηλαδή σε κολώνες, τοίχους κλπ., είναι πάντοτε πολύ πιο πιθανό να μη συμπληρωθεί τελείως το καλούπι και να παραμείνουν κενά, ιδιαίτερα στο χαμηλότερο μέρος τους. Στις περιπτώσεις αυτές το κοπάνισμα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια. Είναι μάλιστα χρήσιμο να διευκολύνομε τη διείσδυση του σκυροδέματος χτυπώντας τα καλούπια και απόξω με το σκεπάρνι ή το σφυρί. Έτσι μειώνονται οι τριβές και το σκυρόδεμα γλιστρά πιο εύκολα προς τα κάτω.



Σχ. 4.4ιστ.

Σιδερένια βέργα για κοπάνισμα σκυροδέματος.



Σχ. 4.4ιζ.

Δονητής σκυροδέματος.

### γ) Δόνηση.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση να αντικατασταθεί το κοπάνισμα του σκυροδέματος με τη δόνηση, τουλάχιστον για τα πιο σοβαρά έργα. Άλλωστε μόνο με τη δόνηση μπορούμε να πετύχουμε τις μεγάλες αντοχές του σκυροδέματος, που προβλέπονται στις μελέτες τέτοιων έργων.

Η δόνηση γίνεται με ειδικές συσκευές, που ονομάζονται **δονητές**. Οι δονητές διακρίνονται σε τέσσερεις κατηγορίες:

- Δονητές μάζας, που χρησιμοποιούνται και συχνότερα (σχ. 4.4ιζ).
- Δονητές επιφάνειας.

- γ) Δονητές καλουπιών.  
 δ) Δονητές οπλισμού.

Συνήθως η ίδια συσκευή μπορεί να αλλάξει κατηγορία, αν αντικατασταθούν ορισμένα εξαρτήματά της. Οι δονητές όλων των τύπων συνοδεύονται από ένα κινητήρα, συνήθως βενζινοκινητήρα, που μεταδίδει με έναν εύκαμπτο άξονα στον κυρίως δονητή μια παλμική κίνηση με συχνότητα μερικών χιλιάδων κύκλων το λεπτό. Ο χειριστής κρατά το δονητή από τον εύκαμπτο άξονα και τον κατευθύνει, όπου χρειάζεται (σχ. 4.4ιη).



Σχ. 4.4ιη.

Τεχνίτης που χειρίζεται δονητή.

Υπάρχουν και ηλεκτροκίνητοι δονητές, που έχουν τον κινητήρα στο εσωτερικό τους. Ο χειριστής τους κρατά από ένα χοντρό εύκαμπτο καλώδιο, που φέρνει την ηλεκτρική ενέργεια στον κινητήρα τους.

Οι **δονητές μάζας** αποτελούνται από ένα κυλινδρικό στέλεχος με διάμετρο λίγων εκατοστών του μέτρου και μάκρος λίγων δεκάτων του μέτρου. Το στέλεχος χώνεται σιγά - σιγά στο φρέσκο σκυρόδεμα, χωρίς να ακουμπά στα καλούπια, στον οπλισμό ή στη στρώση του σκυροδέματος, που βρίσκεται από κάτω και έχει αρχίσει να πήζει. Μόλις φθάσει στο βάθος που χρειάζεται, το στέλεχος τραβιέται πάλι έξω με τον ίδιο ρυθμό και χώνεται πάλι σε μια γειτονική θέση κ.ο.κ. Όταν τραβιέται το στέλεχος, πρέπει η τρύπα που αφήνει να κλείνει μόνη της. Αν η τρύπα δεν κλείνει αρμέσως, σημαίνει πως ο δονητής έμεινε περισσότερο από όσο έπρεπε μέσα στο σκυρόδεμα, επομένως πρέπει οι χειρισμοί να γίνονται πιο γρήγορα. Στις περιπτώσεις, που οι ράβδοι του οπλισμού είναι πολύ πυκνές, χρησιμοποιούνται δονητές με στέλεχος όχι κυλινδρικό, αλλά με στενόμακρη διατομή (πλακέ).

Οι **δονητές επιφάνειας** καταλήγουν σε ένα πλατύ εργαλείο, που εφάπτεται με την επιφάνεια του σκυροδέματος και της μεταδίδει την παλμική κίνηση, χωρίς να μπαίνει μέσα στη μάζα του.

Οι **δονητές καλουπιών** μοιάζουν με τους προηγούμενους και εφαρμόζονται στην εξωτερική επιφάνεια των καλουπιών, χωρίς να έρχονται καθόλου σε επαφή με το σκυρόδεμα. Χρησιμοποιούνται κυρίως, όταν κατασκευάζονται κολώνες ή τοίχοι από σκυρόδεμα.

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

Οι δονητές καλουπιών και οπλισμού χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπώσεις με την έγκριση του υπεύθυνου μηχανικού και με εξαιρετική προσοχή. Κατά τη χρήση τους πρέπει να πάρνομε όλα τα κατάλληλα μέτρα, ώστε η δόνηση να μη μεταδοθεί και στο σκυρόδεμα, που έχει αρχίσει να πήζει, επειδή τότε υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί οριστικά η συνοχή του.

Η δόνηση δίνει πολύ καλή ποιότητα σκυροδέματος, αλλά μόνο αν υπάρχουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) Τα καλούπια πρέπει να είναι έτσι κατασκευασμένα, ώστε να μην αφήνουν κενά ή χάσματα. Αν αυτό δε συμβαίνει, τα λεπτότερα υλικά του σκυροδέματος περνούν με τη δόνηση μέσα από τις τρύπες και χάνονται, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να γίνεται χειρότερο απ' ό,τι θα γινόταν χωρίς τη δόνηση.

β) Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι **στεγνό** ή τουλάχιστον σε μια κατάσταση ανάμεσα στο **στεγνό** και το **πλαστικό**. Στην αντίθετη περίπτωση τα υλικά του διαχωρίζονται με τη δόνηση, τα σκύρα δηλαδή κατεβαίνουν στα χαμηλότερα μέρη, ενώ στην επιφάνεια ανεβαίνει ο τσιμεντοπολτός, με αποτέλεσμα η δόνηση αντί για καλό να κάνει κακό. Γενικά πάντως, όσο περισσότερο νερό περιέχει το φρέσκο σκυρόδεμα, τόσο η δόνηση πρέπει να κρατά λιγότερη ώρα.

Πρέπει να τονισθεί ότι, ενώ η δόνηση βελτιώνει την ποιότητα του σκυροδέματος, μπορεί να φέρει και το αντίθετο αποτέλεσμα, όταν γίνεται σε υπερβολικό βαθμό, γιατί τότε αρχίζει ο διαχωρισμός των υλικών του σκυροδέματος. Ο έμπειρος τεχνίτης αντιλαμβάνεται, πότε η δόνηση πρέπει να σταματήσει, αλλά και ο υπεύθυνος μηχανικός πρέπει κάθε φορά να δίνει σαφείς οδηγίες για το ρυθμό και τη διάρκεια της δονήσεως.

### **δ) Μόρφωση επιφανειών σκυροδέματος.**

Οι επιφάνειες μιας κατασκευής από σκυρόδεμα, που παραμένουν ορατές, ανήκουν σε δύο κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιφάνειες, που βρίσκονται σε επαφή με τα καλούπια, όταν το σκυρόδεμα διαστρώνεται. Η δεύτερη περιλαμβάνει, όσες είναι ελεύθερες και ορατές ακόμα και την ώρα, που διαστρώνεται το σκυρόδεμα.

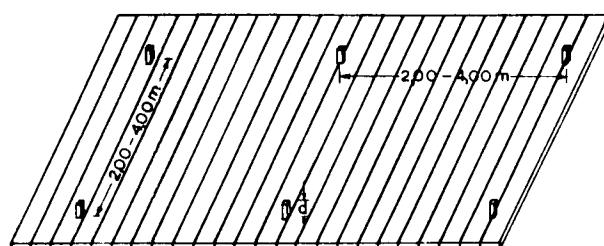
Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται πάντοτε οι κάτω και οι πλαϊνές επιφάνειες κάθε κατασκευής, εφόσον βέβαια είναι ελεύθερες και φαίνονται. Σπανιότερα περιλαμβάνονται και οι πάνω επιφάνειες, αν παρουσιάζουν έντονη κλίση και έτσι χρειάζεται να γίνουν καλούπια και γι' αυτές. Οι επιφάνειες αυτές μορφώνονται αυτόματα, όταν διαστρώνεται το σκυρόδεμα και η ποιότητα και η εμφάνισή τους εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα και το είδος των καλουπιών και σε μικρότερο βαθμό από τη σύνθεση του σκυροδέματος.

Κατά κανόνα οι ορατές επιφάνειες του σκυροδέματος σοβαντίζονται ή καλύ-

πονται με κάποιο τρόπο καί γι' αυτό δεν ενοχλεί, αν παρουσιάζουν και μικρές ανωμαλίες. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που οι επιφάνειες αυτές μένουν ακάλυπτες. Πρέπει τότε η μόρφωση των καλουπιών να γίνεται με ιδιαίτερη επιμέλεια, ώστε οι επιφάνειες να έχουν την εμφάνιση, που επιθυμούμε. Κάθε φορά ο αρχιτέκτονας του έργου πρέπει να υποδεικνύει την κατάλληλη μέθοδο, για να πετυχαίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πολλές φορές επιθυμούμε να φαίνονται τα ίχνη της ξυλείας και τοτε απλώς χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη διάταξη των αρμών των σανίδων και ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση και στήριξή τους, ώστε να μη φύγουν από τη θέση τους. Άλλοτε θέλομε οι σανίδες να έχουν ορισμένες διαστάσεις, ώστε οι αρμοί τους να δημιουργούν προκαθορισμένα σχήματα, ενώ άλλοτε μπορεί να θέλομε η ξυλεία να είναι πλανισμένη. Μπορεί τέλος να προβλέπονται καλούπια από κόντρα πλακέ, από φύλλα συνθετικής ξυλείας ή από λαμαρίνες, ώστε οι επιφάνειες να είναι τελείως λείες, χωρίς αρμούς ή με πολύ αραιούς αρμούς.

Όταν οι επιφάνειες του σκυροδέματος δεν πρόκειται να καλυφθούν, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, ώστε να μη μένουν κενά, που δίνουν στις επιφάνειες την όψη σφουγγαριού. Βέβαια, η προσπάθεια αυτή πρέπει πάντοτε να γίνεται, αλλά, αν τελικά παρουσιασθούν ελαττώματα στην επιφάνεια μετά το ξεκαλούπωμα, μπορούμε να τα διορθώσουμε συμπληρώνοντας τα κενά με ισχυρό τσιμεντοκονίαμα. Μια τέτοια επισκευή (μερεμέτι) αφήνει πάντοτε ίχνη και είναι εντελώς απαράδεκτη για μια επιφάνεια σκυροδέματος, που δεν πρόκειται να καλυφθεί με κάποιο τρόπο. Τέλος στην περίπτωση τέτοιων επιφανειών πρέπει να χρησιμοποιείται ξυλεία καινούργια, ώστε οι άκρες από τις σανίδες να εφάπτονται καλά και να μην αφήνουν κενά, που συνήθως κλείνονται με κομμάτια από λαμαρίνες, χαρτόνια κλπ. Μια τέτοια λύση θα άφηνε αντιαισθητικά ίχνη, που είναι εντελώς απαράδεκτα για μια ορατή επιφάνεια σκυροδέματος. Κατά κανόνα τα καλούπια στην περίπτωση αυτή αλείβονται με κάποιο λάδι ή παρόδιο υλικό, για να μην κολλά πάνω τους το σκυρόδεμα και σπάνε μικρά κομμάτια από αυτό, την ώρα που ξεκαλουπώνεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο αρχιτέκτονας του έργου προτιμά μιαν επιφάνεια αδρότερη, όπου να διακρίνονται τα σκύρα και γενικότερα ο εσωτερικός ιστός του σκυροδέματος. Αυτό είναι δυνατό να το πετύχουμε αλείφοντας τα καλούπια μ' ένα κατάλληλο υγρό, που εμποδίζει τοπικά το πήξιμο του τσιμέντου. Μετά το ξεκαλούπωμα η επιφάνεια τρίβεται με μια σκληρή βούρτσα και η σκόνη, στην οποία έχει μετατραπεί ο τσιμέντοπολτός της επιφάνειας, απομακρύνεται και εμφανίζονται γυμνά τα σκύρα.



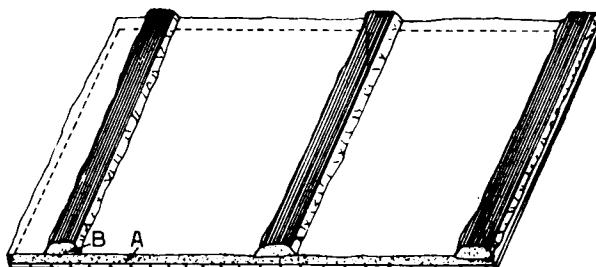
Σχ. 4.41θ.

Ξύλινα τακάκια, που καρφώνονται στο καλούπι, για να δείχνουν την επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος.

Στη δεύτερη κατηγορία ορατών επιφανειών σκυροδέματος περιλαμβάνονται μόνο οι πάνω επιφάνειες των κατασκευών, που είναι οριζόντιες ή παρουσιάζουν μικρή κλίση. Οι επιφάνειες αυτές μορφώνονται από τον τεχνίτη, όσο το σκυρόδεμα διαστρώνεται και είναι ακόμα φρέσκο.

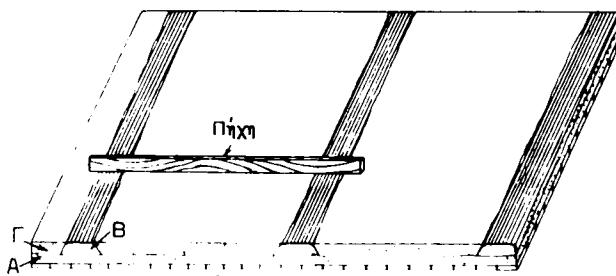
Για το σκοπό αυτό, πριν γίνει η διάστρωση του σκυροδέματος, καρφώνονται σε κατάλληλα σημεία πάνω στα καλούπια μικρά κομμάτια ξύλου (τακάκια) έτσι, ώστε οι κορυφές τους να ορίζουν την ελεύθερη επιφάνεια της κατασκευής. Τα τακάκια καρφώνονται συνήθως στις κορυφές ορθογωνίων παραλληλογράμμων με πλευρές μήκους 2 ως 4 μέτρων (σχ. 4.4θ).

Αφού καρφωθούν τα τακάκια, αρχίζει η διάστρωση του σκυροδέματος κατά στρώσεις. Η τελευταία στρώση δε διαστρώνεται όλη μαζί, αλλά πρώτα σχηματίζονται λουρίδες, που ακολουθούν τις ευθυγραμμίες, που ορίζουν τα τακάκια (σχ. 4.4κ). Οι λουρίδες αυτές λέγονται **οδηγοί** και η επιφάνεια τους μορφώνεται με μια πήχη μήκους 4 μ περίπου, που ο τεχνίτης (πηχαδώρος) σέρνει παλινδρομικά δεξιά και αριστερά έτσι, ώστε πάντοτε να ακουμπά στις κορυφές των τάκων. Συγχρόνως με την ίδια πήχη κτυπά την επιφάνεια του σκυροδέματος ρυθμικά, ώστε να κοπανισθεί και να συμπυκνωθεί το σκυρόδεμα, να ανέβει στην επιφάνεια ο τσιμεντοπολτός και να πάψει η επιφάνεια να παρουσιάζει ανωμαλίες. Η πήχη είναι μια σανίδα, που έχουν πλανισθεί οι στενές της έδρες (σόκορα), ώστε να είναι αυτηρά ευθύγραμμες.



Σχ. 4.4κ.

Διάστρωση πρώτης στρώσεως (Α) και κατασκευή οδηγών (Β) από σκυρόδεμα, για να καθορισθεί η επάνω επιφάνεια της κατασκευής από σκυρόδεμα.



Σχ. 4.4κα.

Μόρφωση της επάνω επιφάνειας του σκυροδέματος με τη βοήθεια των οδηγών και μιας ξύλινης πήχης.

Πριν συμπληρωθεί τελείως η κατασκευή των οδηγών ξεκαρφώνονται τα τακάκια και γεμίζονται τα κενά με σκυρόδεμα. Έπειτα διαστρώνεται το σκυρόδεμα στις

περιοχές, που βρίσκονται ανάμεσα από τους οδηγούς (σχ. 4.4κα). Κατά τη φάση αυτή ο τεχνίτης εξακολουθεί να χρησιμοποιεί την πήχη κάνοντας τις ίδιες κινήσεις άλλοτε παλινδρομικές και άλλοτε κρουστικές, η πήχη όμως είναι τώρα κάθετη προς τους οδηγούς. Όταν κινείται παλινδρομικά ακούμπα συνεχώς στην επιφάνεια των οδηγών.

Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν επιφάνειες αρκετά ομαλές. Διακρίνονται βέβαια τα ίχνη από την πήχη, που μοιάζουν με πυκνά παράλληλα κύματα, αλλά με ύψος μόνο μερικά χιλιοστά του μέτρου. Συνήθως μια τέτοια επιφάνεια θεωρείται ικανοποιητική, αν όμως θέλομε μια επιφάνεια πιο ομαλή, μπορούμε να την αποκτήσουμε με τον ακόλουθο τρόπο: Όσο ακόμα το σκυρόδεμα είναι φρέσκο και δεν έχει αρχίσει να πήζει, ο τεχνίτης μπορεί να ισοπεδώσει την επιφάνεια με το μυστρί, πατώντας το με δύναμη. Αν μάλιστα θέλομε να έχομε μιαν ακόμα ομαλότερη επιφάνεια, μπορούμε να προσθέσουμε λίγο στεγνό τσιμέντο (*επίπαση* με τσιμέντο), όσο η επιφάνεια στρώνεται με το μυστρί.

#### **4.4.5 Επίδραση των καιρικών συνθηκών.**

Το σκυρόδεμα δεν επιτρέπεται να διαστρώνεται με οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Δεν επιτρέπεται π.χ. να διαστρώνεται σκυρόδεμα στο ύπαιθρο κάτω από ραγδαία βροχή, επειδή υπάρχει κίνδυνος να ξεπλυθεί το τσιμέντο. Η απαγόρευση αυτή βέβαια έχει μικρή πρακτική αξία, γιατί έτσι κι αλλοιώς, όταν υπάρχουν τέτοιες συνθήκες, η εργασία διακόπτεται κυρίως για την προστασία του προσωπικού.

Απαγορεύεται επίσης να διαστρώνεται σκυρόδεμα σε περίοδο μεγάλου καύσωνα, ή όταν φυσά σφοδρός άνεμος και ιδιαίτερα, όταν είναι ξερός και ζεστός, γιατί με τις συνθήκες αυτές εξατμίζεται γρήγορα το νερό και δεν μπορούν να γίνουν οι χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν την πήξη του τσιμέντου. Αν οι συνθήκες αυτές δημιουργηθούν, αφού έχει αρχίσει η διάστρωση, πρέπει να καταβρέχομε συνέχεια το σκυρόδεμα. Όταν τελειώσει η διάστρωση, πρέπει να το σκεπάσουμε με τουσιβάλια, λινάτσες ή παρόμοια υλικά και να τα διατηρούμε υγρά επι δυο - τρία εικοσιτετράωρα, ώσπου να συμπληρωθεί το πήξιμο και να προχωρήσει αρκετά το σκλήρυμα του σκυροδέματος. Η προστασία είναι καλύτερη, αν κατακλύσουμε ολόκληρη την επιφάνεια με νερό, που να έχει βάθος λίγα εκατοστά του μέτρου και να ανανεώνεται, πριν εξατμισθεί. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται το πήξιμο και το σκλήρυμα του σκυροδέματος και μάλιστα κάτω από ευνοϊκές συνθήκες.

Ο σοβαρότερος εχθρός για το φρέσκο σκυρόδεμα είναι η παγωνιά. Όταν παγώσει το νερό, που βρίσκεται μέσα στο σκυρόδεμα, που μόλις έχει αρχίσει να πήζει, διαστέλλεται απότομα και καταστρέφει τη συνοχή των άλλων υλικών. Συγχρόνως διακόπτονται οι χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν το πήξιμο του τσιμέντου, γιατί αυτές προϋποθέτουν ότι υπάρχει νερό σε υγρή κατάσταση. Τα φαινόμενα αυτά παρατηρούνται, όταν η θερμοκρασία κατέβει λίγους βαθμούς κάτω από το 0° C. Άλλα και σε θερμοκρασίες λίγο πάνω από το μηδέν οι αντιδράσεις της πήξεως επιβραδύνονται σημαντικά.

Για τους λόγους αυτούς οι κανονισμοί συμβουλεύουν να μην παρασκευάζεται και διαστρώνεται σκυρόδεμα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι κάτω από τους +5° C. Ορίζουν ακόμα ότι και τα υλικά, που χρησιμοποιούνται για την

παρασκευή του σκυροδέματος, δηλαδή αδρανή, τσιμέντο και νερό, πρέπει να έχουν θερμοκρασία πάνω από τους  $+5^{\circ}\text{C}$ .

Συνήθως στην Ελλάδα είναι εύκολο να τηρηθούν αυτοί οι όροι, επειδή το κλίμα είναι γενικά ήπιο. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που χρειάζεται να διαστρωθεί σκυρόδεμα με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Αν η θερμοκρασία κυμαίνεται ανάμεσα στους  $-3^{\circ}\text{C}$  και τους  $+5^{\circ}\text{C}$ , αρκεί να ζεστάνομε λίγο τα αδρανή υλικά και το νερό, πριν τα ανακατέψουμε με το τσιμέντο. Πρέπει όμως και η κατασκευή μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος να διατηρείται σε θερμοκρασία τουλάχιστον  $+5^{\circ}\text{C}$ . Αυτό δεν είναι δύσκολο, αν σκεπάσουμε καλά το σκυρόδεμα με κάποιο υλικό δυσθερμαγγό, π.χ. τσουβάλια, άμμο, άχυρα, επειδή, όσο πήζει το τσιμέντο, παράγεται αρκετή θερμόπτητα, που δεν αφήνει το σκυρόδεμα να κρυώσει. Αν η προστασία αυτή δεν κρίνεται ικανοποιητική, μπορούμε να ανάψουμε και φωτιές σε κατάληλα σημεία.

Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη και απ' τους  $-3^{\circ}\text{C}$ , οι εργασίες πρέπει να διακοπούν, εκτός αν πάρομε ιδιαίτερα μέτρα προστασίας. Ο χώρος του εργοτάξιου πρέπει να περιφραχθεί και να στεγασθεί τελείως και να ζεσταίνεται εντατικά και κατά προτίμηση με ατμό, ώστε να μη μικραίνει και η σχετική υγρασία. Εννοείται ότι και πάλι τα υλικά πρέπει να προθερμαίνονται και η κατασκευή να διατηρείται συνεχώς σε θερμοκρασία πάνω από τους  $+5^{\circ}\text{C}$ . Με τις συνθήκες αυτές οι εργασίες γίνονται πολύ δαπανηρές. Μόνο λοιπόν σε εντελώς εξαιρετικές περιπτώσεις δικαιολογείται να συνεχίζονται οι εργασίες σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες, τουλάχιστον για το ελληνικό κλίμα.

Το φρέσκο σκυρόδεμα μπορεί να προστατευθεί από την παγωνιά και αν προσθέσουμε στη μάζα του κάποιο κατάλληλο πρόσμιγμα, π.χ. χλωριούχο αμμώνιο. Η μέθοδος αυτή όμως δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, αν δεν υπάρχει ιδιαίτερος λόγος, επειδή τα προσμίγματα αυτά μειώνουν την αντοχή του σκυροδέματος.

Αν παρόλα τα μέτρα προστασίας, η θερμοκρασία του σκυροδέματος κατεβεί πολύ χαμηλά, πριν αυτό πήξει, η συνοχή του καταστρέφεται και το πήξιμό του δε γίνεται σωστά. Αυτό μπορεί να συμβεί ακόμα και στις πιο ζεστές περιοχές της Ελλάδας, όπου συχνά σε μια νύχτα η θερμοκρασία πέφτει απότομα κατά δέκα ή και περισσότερους βαθμούς Κελσίου. Αν συμβεί κάτι τέτοιο, όλος ο όγκος του σκυροδέματος, που υποπτεύδημαστε πως δεν έπηξε καλά ή ότι έπαθε κάποια ζημιά, πρέπει να γκρεμίζεται αμέσως. Καμιά εργασία δεν επιτρέπεται να συνεχισθεί, πριν συμπληρωθεί η καθαίρεση του σκυροδέματος και απομακρυνθούν τα προϊόντα της.

Αντίστοιχα αντιμετωπίζεται και η περίπτωση ζημιάς σε φρέσκο σκυρόδεμα από σεισμό. Αν σημειωθεί κάποιος ισχυρός σεισμός, πριν περάσουν 48 ώρες από τη διάστρωση του σκυροδέματος, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να έχουν προκληθεί ανεπανόρθωτες ζημιές. Οι εργασίες θα πρέπει να σταματήσουν για λίγες μέρες, ώστε να περάσει και η επικίνδυνη περίοδος των μετασεισμικών δονήσεων, και στη συνέχεια να ελεγχθεί με κάποιο τρόπο η αντοχή του σκυροδέματος. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι να γίνει ένας τέτοιος έλεγχος επί τόπου, αλλά η ακρίβειά τους είναι περιορισμένη. Αν δώσουν ύποπτα αποτελέσματα, πρέπει να γίνει κανονική δοκιμή σε θλίψη στο εργαστήριο. Για τη δοκιμή αυτή χρησιμοποιούνται δοκίμια (καρόττα), που τα παίρνουμε από την κατασκευή με ειδικά για το σκοπό αυτό τρυπάνια. Αν αποδειχθεί ότι το σκυρόδεμα δεν έχει την αντοχή, που προβλέπει η μελέτη του έρ-

γου, πρέπει να καθαιρείται σε όλη την έκταση, που έχει επηρεασθεί από το σεισμό.

#### **4.4.6 Συντήρηση και προστασία του σκυροδέματος.**

##### **α) Συντήρηση.**

Όταν διαστρωθεί το σκυρόδεμα και μορφωθούν οι επιφάνειές του, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η δουλειά τέλειωσε. Δεν επιτρέπεται να αφήσουμε το σκυρόδεμα να πίξει και να σκληρύνει χωρίς φροντίδα. Οι φροντίδες, που έχουν σκοπό να εξασφαλίσουν το σωστό πήξιμο και σκλήρυμα, αποδίδονται με τον όρο **συντήρηση του σκυροδέματος** και περιλαμβάνουν κυρίως την προσπάθεια να διατηρηθεί το σκυρόδεμα υγρό. Η υγρασία αυτή είναι απαραίτητη, για να γίνονται ομαλά οι χημικές αντιδράσεις, που προκαλούν το πήξιμο και το σκλήρυμα του σκυροδέματος.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις φθάνει για τη συντήρηση του σκυροδέματος να το καταβρέχουμε με επιμέλεια κάθε μέρα και επί δυο - τρεις μέρες μετά τη διάστρωσή του. Αν ο καιρός είναι ζεστός και ξερός, το κατάβρεγμα πρέπει να γίνεται πιο συχνά και με περισσότερη ποσότητα νερού κάθε φορά. Όταν το σκυρόδεμα πρέπει να αποκτήσει εξαιρετικά ψηλή αντοχή, η συντήρηση πρέπει να γίνεται με μεγαλύτερη επιμέλεια. Τέλος, η συντήρηση πρέπει να γίνεται με ακόμα μεγαλύτερη επιμέλεια και σχολαστικότητα, όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που απαιτούν να μην παρουσιασθούν ρωγμές στο σκυρόδεμα, όταν π.χ. το έργο είναι μια δεξαμενή, ένας σωλήνας κ.ο.κ.

Στα εργοστάσια, που κατασκευάζονται προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, εφαρμόζεται συνήθως μια άλλη μέθοδος για τη συντήρησή τους. Τα δομικά στοιχεία, μόλις διαστρωθεί το σκυρόδεμα, οδηγούνται σε ειδικούς θαλάμους συντηρήσεως, όπου θερμαίνονται με ατμό, και παραμένουν εκεί για λίγες μέρες. Η ψηλή θερμοκρασία επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις που προκαλούν το πήξιμο και το σκλήρυμα του τσιμέντου, ενώ η ψηλή υγρασία εξασφαλίζει τις ποσότητες του νερού, που είναι απαραίτητες, για να γίνουν οι χημικές αυτές αντιδράσεις.

##### **β) Προστασία.**

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα χρειάζονται μερικές φορές μια ειδική προστασία από κάποιον εξωτερικό παράγοντα, π.χ. από την υγρασία, την επιφανειακή τριβή, τις ψηλές θερμοκρασίες, διάφορες δραστικές χημικές ουσίες κ.ο.κ. Κατά κανόνα το σκυρόδεμα στις περιπτώσεις αυτές προστατεύεται με κάποια κατάλληλη επικάλυψη, που μπορεί να είναι ένα επίχρισμα, μια πλακόστρωση, ή ακόμα και μια απλή επάλειψη με ένα χρώμα, ένα ασφαλτικό υλικό ή γενικότερα μια κατάλληλη χημική σύνθεση.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που και το ίδιο το σκυρόδεμα πρέπει να αντέχει στους δυσμενείς αυτούς παράγοντες. Μπορεί δηλαδή να χρειάζεται να είναι στεγανό, να αντέχει στις επιφανειακές τριβές ή στη δράση χημικών ουσιών κ.ο.κ. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις το πρώτο, που πρέπει να εξασφαλίζομε, είναι η καλή ποιότητα του σκυροδέματος. Ένα καλό σκυρόδεμα, που να έχει δηλαδή αδρανή υ-

λικά με σωστή κοκκομετρική σύνθεση και μικρό λόγο νερού προς τσιμέντο και να έχει διαστρωθεί, συμπυκνωθεί και συντρηθεί σωστά, αντέχει πολύ καλύτερα από ένα σκυρόδεμα, που έχει γίνει με λιγότερη προσοχή και επιμέλεια, σε οποιονδήποτε δυσμενή εξωτερικό παράγοντα.

Βέβαια, εκτός από την καλή ποιότητα, χρειάζεται πολλές φορές να προσθέσουμε στο σκυρόδεμα και κάποιο πρόσμιγμα, για να αυξήσουμε την ικανότητά του να αντιμετωπίσει τη συγκεκριμένη καταπόνηση, που προβλέπεται ότι θα υφίσταται κατά τη λειτουργία του έργου. Για να κάνουμε π.χ. το σκυρόδεμα πιο στεγανό, μπορούμε να προσθέσουμε κάποιο από τα πολλά στεγανωτικά μάζας, που κυκλοφορούν στην αγορά. Για να πετύχομε ένα σκυρόδεμα, που να αντέχει στις επιφανειακές τριβές, μπορούμε στην τελευταία στρώση να αντικαταστήσουμε ένα ποσοστό της άμμου με κόκκους από **σμύριδα** (σμυρίγλι) ή κάποιο άλλο **αντιτριβικό** (abrasive) υλικό. Αν χρειάζεται το σκυρόδεμα να αντέχει στα οξέα, αν πρόκειται π.χ. να κατασκευάσουμε με αυτό σωλήνες αποχετεύσεως για ακάθαρτα νερά, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ειδικό οξύμαχο τσιμέντο (sulfate resisting).

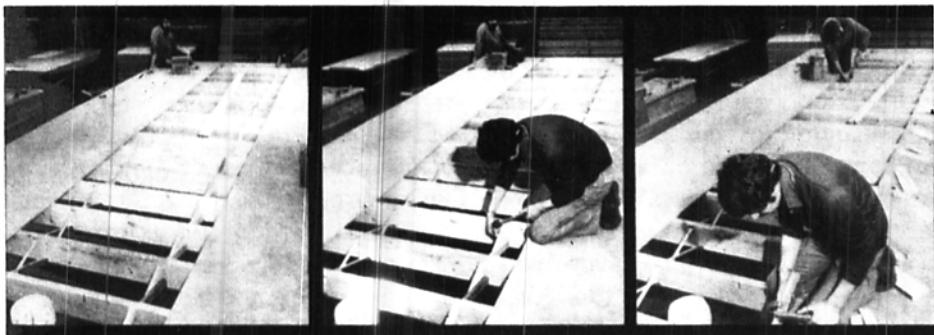
Η σύνθεση ενός σκυροδέματος, που να μπορεί να αντιμετωπίσει ασυνήθιστες συνθήκες, είναι ένα πρόβλημα πολύ λεπτό. Στις περιπτώσεις αυτές η σύνθεση του σκυροδέματος πρέπει να καθορίζεται στο εργαστήριο μετά από κατάλληλες δοκιμές και μετρήσεις. Αν τελικά στη σύνθεση προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν βιομηχανικά προσμίγματα, η χρήση τους πρέπει να γίνεται με σχολαστικότητα σύμφωνα με τις οδηγίες του παραγωγού (παράγρ. 4.3.6).

## 4.5 Σκαλωσιές και καλούπια για το σκυρόδεμα.

### 4.5.1 Γενικά.

Για να δώσουμε στο φρέσκο σκυρόδεμα τις μορφές που επιθυμούμε, χρειάζεται να το διαστρώσουμε μέσα σε **καλούπια (τύπους)**. Γενικά τα καλούπια αυτά ξηλώνονται, όταν πήξει το σκυρόδεμα, χωρίς όμως να αποκλείεται και το αντίθετο σε μερικές ειδικές περιπτώσεις, που είτε είναι αδύνατο είτε πολύ δαπανηρό να αφαιρεθούν. Είναι σπάνιες οι περιπτώσεις, που μια κατασκευή από σκυρόδεμα μπορεί να γίνει χωρίς καλούπια, όπως π.χ. ένα δάπεδο κλειστού χώρου, που πατά κατευθείαν στο έδαφος.

Τα καλούπια κατασκευάζονται συνήθως από ξύλο και γι' αυτό λέγονται γενικά **ξυλότυποι**. Το ξύλο χρησιμοποιείται με τη μορφή καδρονιών και σανίδων, δεν αποκλείεται όμως να έχει και τη μορφή πλακών, που παράγονται βιομηχανικά ειδικά για το σκοπό αυτό (σχ. 4.5α). Οι πλάκες αυτές είτε είναι από φυσική αντικολλητή ξυλεία (κόντρα πλακέ), ή από τεχνητή ξυλεία (μοριοσανίδες και παρόμοια). Για τα καλούπια του σκυροδέματος δεν αποκλείονται και άλλα υλικά και κυρίως ο χάλυβας, αλλά και διάφορες σκληρές πλαστικές ύλες (πολυουραιθάνη και παρόμοια σχ. 4.5β). Τα τελευταία χρόνια επεκτείνεται όλο και περισσότερο η χρήση τέτοιων καλουπιών, ιδιαίτερα όταν οι κατασκευές είναι τυποποιημένες. Εξασφαλίζεται έτσι ότι τα καλούπια θα χρησιμοποιηθούν πολλές φορές, ώστε να αποσβεσθεί γρήγορα η πρόσθετη δαπάνη, που χρειάζεται για την αγορά ή την κατασκευή τους. Ιδιαίτερα στα εργοστάσια, που παράγουν βιομηχανικά προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, τα καλούπια είναι συνήθως χαλύβδινα (από λαμαρίνες).



**Σχ. 4.5α.**

Πέτσωμα πλάκας με φύλλα από συνθετική ξυλεία μεγάλων οιαστάσεων.

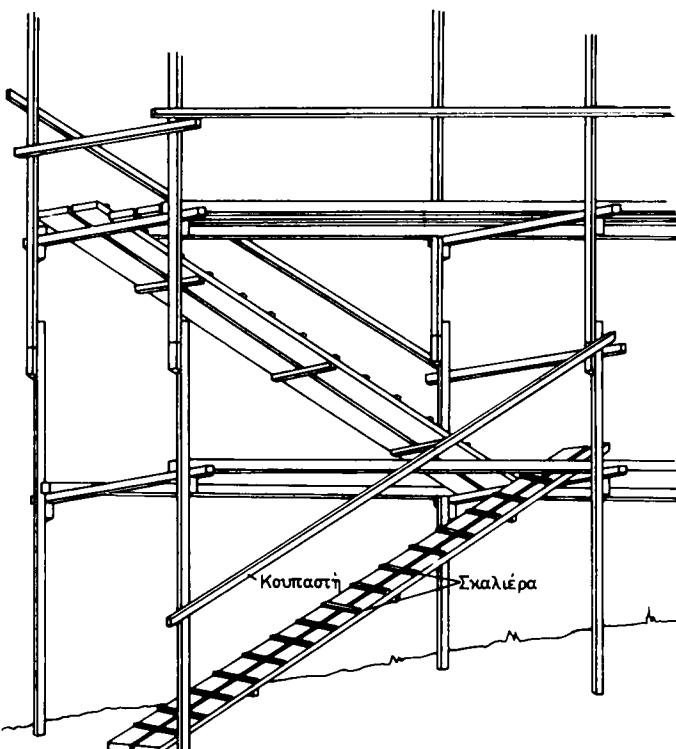


**Σχ. 4.5β.**

Καλούπι πλάκας με διασταυρούμενες νευρώσεις φτιαγμένο με πλαστικά στοιχεία.

Τα καλούπια σπάνια στήνονται κατευθείαν στο έδαφος ή στηρίζονται σε μόνιμες κατασκευές. Χρειάζεται συνήθως μια προσωρινή ενδιάμεση κατασκευή, για να μπορέσουν να σταθούν με ασφάλεια στη σωστή τους θέση. Οι προσωρινές αυτές κατασκευές λέγονται **σκαλωσίες** (ικριώματα) και κατασκευάζονται και αυτές συνήθως από ξύλο. Εντούτοις τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται σκαλωσίες από χάλυβα και μάλιστα με τη μορφή σωλήνων (σχ. 1.5ια). Τα σωληνωτά ικριώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, χωρίς να χρειάζεται καμιά τυποποίηση της κατασκευής, γι' αυτό έχουν επιβληθεί περισσότερο από τα μεταλλικά καλούπια.

Οι σκαλωσίες δε στηρίζουν μόνο τα καλούπια, αλλά και διάφορες άλλες βοηθητικές κατασκευές, που είναι απαραίτητες για την κατασκευή του έργου. Οι κατασκευές αυτές είναι κυρίως σκάλες ή καλύτερα κεκλιμένα επίπεδα από μαδέρια (σκαλιέρες, σχ. 4.5γ), για να ανεβοκατεβαίνει το προσωπικό, προστατευτικά κιγκλιδώματα, ικριώματα για το αναβατόριο (σχ. 4.5δ) κλπ.



**Σχ. 4.5γ.**

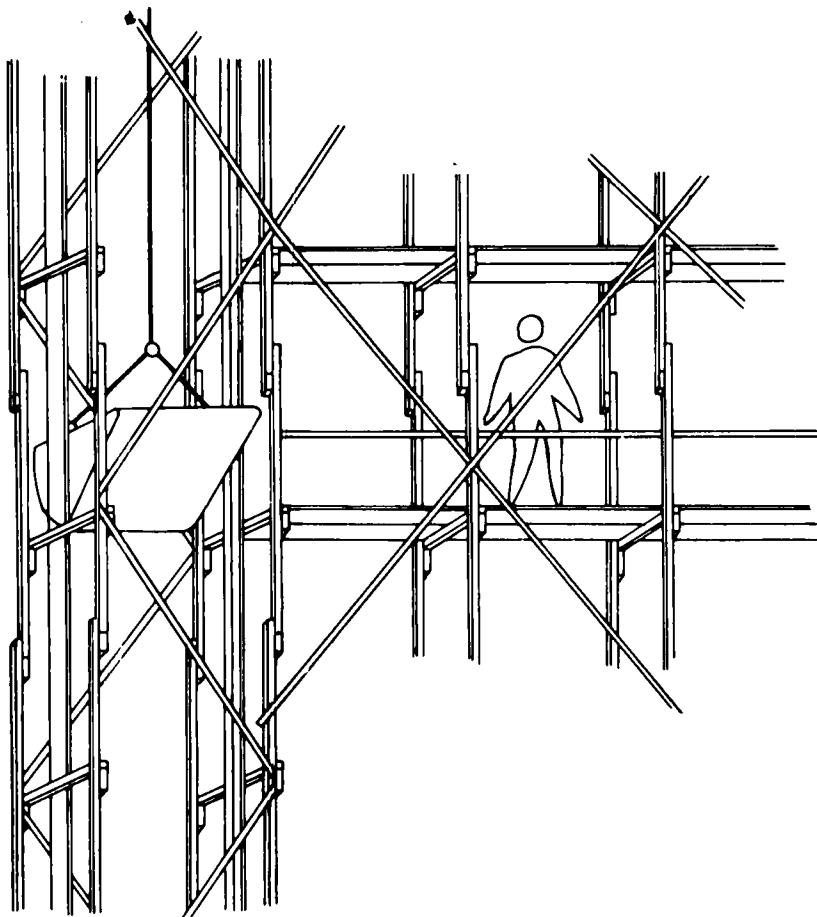
Διαμόρφωση κεκλιμένου επιπέδου για την κίνηση του προσωπικού.

#### 4.5.2 Σκαλωσίες.

Οι σκαλωσίες πρέπει να πατάνε πάνω σε σταθερό δάπεδο. Μόνο τότε είναι βέ-

βαίο πως το βάρος του νωπού σκυροδέματος και τα άλλα φορτία, που πρόκειται να σηκώσουν, δε θα προκαλέσουν επικίνδυνες ή έστω ενοχλητικές καθιζήσεις. Στις πολυόροφες κατασκευές οι σκαλωσιές πατάνε στην πλάκα του από κάτω ορόφου, επομένως το πρόβλημα περιορίζεται μόνο στη χαμηλότερη πλάκα. Οι σκαλωσιές στην περίπτωση αυτή πατάνε στον πάτο των γενικών εκσκαφών, όπου συνήθως έχομε φθάσει σε πολύ σκληρό έδαφος. Αν όμως το έδαφος δεν είναι τόσο γερό ή έχουν πέσει πάνω του προϊόντα από άλλες εκσκαφές, χρειάζεται να ληφθούν ιδιαίτερα μέτρα.

Τα κύρια στοιχεία κάθε σκαλωσιάς είναι οι κατακόρυφες κολώνες (στύλοι).

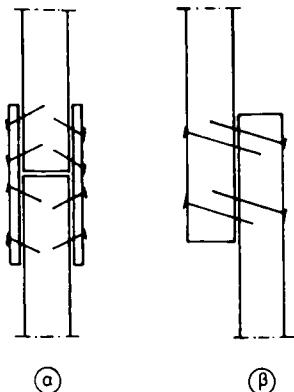


**Σχ. 4.56.**

Διαμόρφωση σκαλωσιάς για το αναβατόριο.

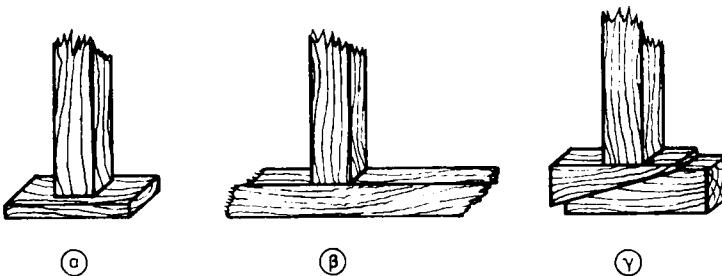
Στις ξύλινες σκαλωσιές οι κολώνες αυτές έχουν συνήθως θεωρητική διατομή  $10 \times 10$  cm και λέγονται **(ε)λατάκια**, επειδή προέρχονται από πελεκητή ξυλεία ελάτων.

Τα λατάκια πρέπει να είναι μονοκόμματα σε όλο τους το ύψος. Όταν οι σκαλωσιές έχουν μεγάλο ύψος, μια τέτοια λύση ανεβάζει αρκετά το κόστος. Οι κανονισμοί λοιπόν επιτρέπουν να ματίζονται τα μισά το πολύ λατάκια, όταν στηρίζουν καλούπια για πλάκες και μόνο το 1/4, όταν στηρίζουν καλούπια για δοκάρια. Και σε αυτή όμως την περίπτωση κάθε λατάκι δεν πρέπει να έχει πάνω από ένα μάτισμα. Τα ματίσματα αυτά πρέπει να γίνονται με τη βρόθεια δύο μικρών ξύλων (κλάπες), που καρφώνονται αριστερά και δεξιά, ώστε τα δύο κομμάτια της κολώνας να είναι το ένα ακριβώς πάνω από το άλλο [σχ. 4.5ε(α)]. Η σύνδεση, που φαίνεται στο σχήμα 4.5ε(β), απαγορεύεται αυστηρά.



Σχ. 4.5ε.

Κατακόρυφη επέκταση στύλου σκαλωσιάς  
(α) Σωστή. (β) Λάθος.



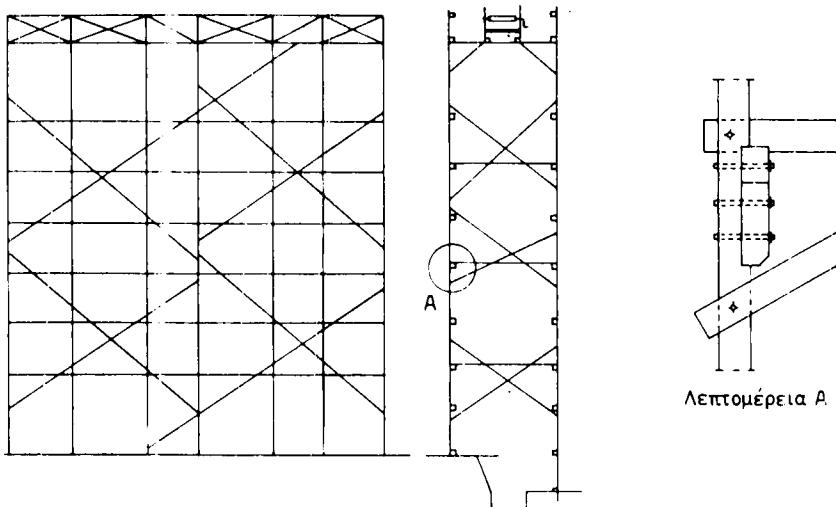
Σχ. 4.5στ.

Στήριξη στύλου ξύλινης σκαλωσιάς στο δάπεδο:  
(α) Πάνω σε κλάπα. (β) Σε στρωτήρα. (γ) Σε ζευγάρι από σφήνες.

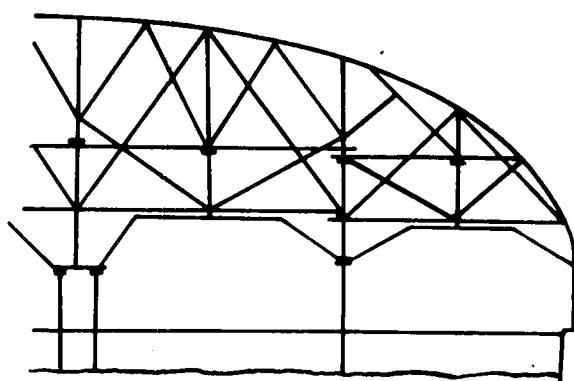
Τα λατάκια σπάνια πατάνε κατευθείαν στο δάπεδο. Συνήθως πατάνε πάνω σε μικρά κομμάτια ξύλου (κλάπες), που στερεώνονται οριζόντια πάνω στο δάπεδο και καρφώνονται σε αυτό, αν είναι δυνατό [σχ. 4.5στ(α)]. Όταν το δάπεδο δεν είναι πολύ σκληρό, είναι προτιμότερο να πατάνε τα λατάκια πάνω σε οριζόντια ξύλα με μεγάλο μάκρος, που λέγονται **στρωτήρες** και στον καθένα πατάνε πολλά λατάκια [σχ. 4.5στ(β)]. Μερικές φορές χρειάζεται να γίνεται το ξεκαλούπωμα, χωρίς να ξηλώνεται όλη η σκαλωσιά. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει, όταν όλη η κατασκευή μπορεί να χαμηλώσει λίγο. Για το σκοπό αυτό κάτω από τα λατάκια μπαίνουν ζευγάρια

από ξύλινες σφήνες [σχ.4.5στ(γ)]. Με κατάλληλα οριζόντια κτυπήματα των σφηνών ολόκληρη η σκαλωσιά μπορεί να ψηλώσει ή να χαμηλώσει κατά μερικά εκατοστά του μέτρου.

Σε πολλά έργα οι κατασκευές, που πρόκειται να γίνουν με σκυρόδεμα, βρίσκονται σε τέτοιο ύψος από το έδαφος ή τις προηγούμενες μόνιμες κατασκευές, που οι σκαλωσιές χρειάζεται να έχουν ύψος πολλών μέτρων. Επειδή βέβαια δεν μπορούν οι στύλοι μιας τέτοιας σκαλωσιάς να είναι μονοκόμματοι, οι σκαλωσιές γίνονται πολυδρόφες (σχ. 4.5ζ). Οι σκαλωσιές αυτές στο ύψος κάθε ορόφου τους έχουν ένα οριζόντιο πλέγμα από **καδρόνια**, που τοποθετούνται σε δύο διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους, ενώ οι στύλοι σε κάθε ορόφο είναι μονοκόμματοι και συνδέονται



**Σχ. 4.5ζ.**  
Σχηματική διάταξη υψηλής ξύλινης σκαλωσιάς.

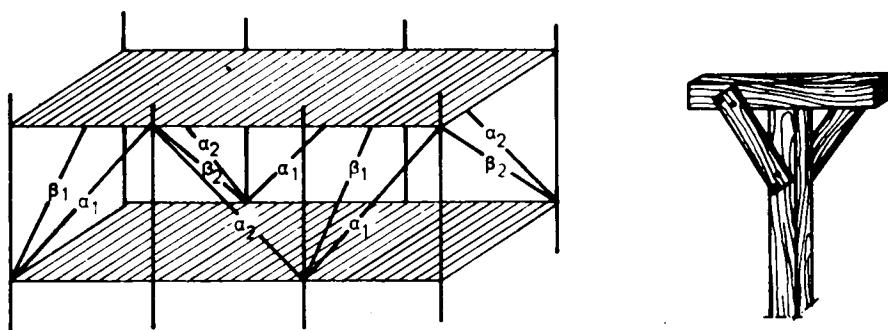


Ξύλινη σκαλωσιά που τα κατακόρυφα στοιχεία της περιορίζονται όσο προχωρούμε προς τα κάτω.

τόσο με τα οριζόντια δοκάρια, όσο και με λοξούς συνδέσμους. Έτσι δημιουργείται μια στερεή τριδιάστατη ξύλινη κατασκευή.

Σε έργα πιο σοβαρά και ιδιαίτερα, όταν το έδαφος ειναι ανώμαλο, όπως π.χ. στην περίπτωση των γεφυρών, οι σκαλωσιές διαμορφώνονται έτσι, ώστε προς τα κάτω να περιορίζεται ο αριθμός των στύλων και των άλλων στοιχείων τους (σχ. 4.5η). Τέτοιου είδους σκαλωσιές πρέπει να κατασκευάζονται μετά από ειδική μελέτη και σύμφωνα με σχέδια, όπως ακριβώς γίνεται για τις μόνιμες ξύλινες ή μεταλλικές κατασκευές.

Οι σκαλωσιές έχουν σαν κύριο σκοπό να σηκώσουν το βάρος του νωπού σκυροδέματος, του προσωπικού, που δουλεύει στο έργο κλπ. Όλες αυτές οι δυνάμεις είναι κατακόρυφες. Υπάρχουν όμως και οριζόντιες δυνάμεις, όπως π.χ. η πίεση του ανέμου, οι κραδασμοί των διαφόρων μηχανημάτων κλπ. Είναι λοιπόν απαραίτητο να υπάρχουν και λοξά στοιχεία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα στοιχεία αυτά λέγονται **αντιανέμια** και είναι συνήθως σανίδες πλάτους 10 ως 15 cm και πάχους 2,5 cm, που τοποθετούνται όρθιες, δηλαδή με οριζόντιο το πάχος τους. Τα αντιανέμια αποτελούν τέσσερεις ομάδες (σχ. 4.5θ). Οι δύο απ' αυτές ( $\alpha_1$  και  $\alpha_2$ ) βρίσκονται σε κατακόρυφα επίπεδα παράλληλα με τη μια κύρια διεύθυνση του έργου κι οι άλλες δύο ( $\beta_1$  και  $\beta_2$ ) σε κατακόρυφα επίπεδα κάθετα με τα προηγούμενα. Οι δύο ομάδες της ίδιας κατηγορίας διαφέρουν, επειδή γέρνουν αντίρροπα ως προς την κατακόρυφη. Τα αντιανέμια είναι απαραίτητα σε κάθε σκαλωσιά, όσο απλή και αν είναι.



Σχ. 4.5θ.

Διάταξη αντιανεμίων συνδέσμων  $\alpha_1$ - $\alpha_2$  και  $\beta_1$ - $\beta_2$   
σε ξύλινη σκαλωσιά.

Σχ. 4.5ι.

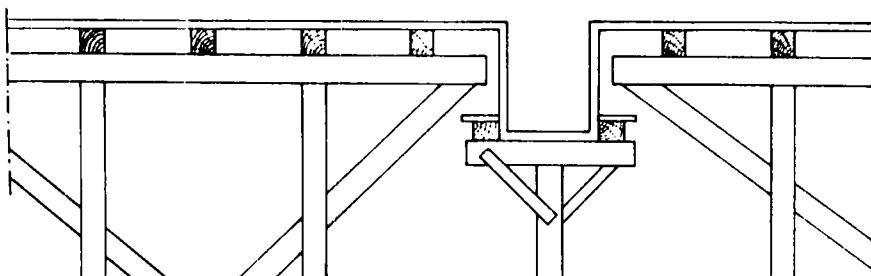
Στύλος (λατάκι) σκαλωσιάς για  
στήριξη καλουπιού δοκαριού.

Όταν σε μια κατασκευή από σκυρόδεμα προβλέπονται πλάκες και δοκάρια, που κρέμονται κάτω από τον πάτο της πλάκας, οι σκαλωσιές κάτω από τα δοκάρια έχουν κοντύτερα λατάκια. Τα λατάκια αυτά έχουν από πάνω τους ένα οριζόντιο κομμάτι από καδρόνι με μάκρος, όσο περίπου είναι το πλάτος του δοκαριού, που μπαίνει κάθετα με τον άξονα του δοκαριού. Το οριζόντιο ξύλο στερεώνεται με δύο λοξές αντηρίδες που το συνδέουν με το λατάκι (σχ. 4.5ι). Για τις αντηρίδες χρησιμοποιούνται συνήθως κομμάτια από σανίδες (κλάπες).

Τα υπόλοιπα λατάκια είναι ψηλότερα και τα κεφάλια τους συνδέονται με οριζόν-

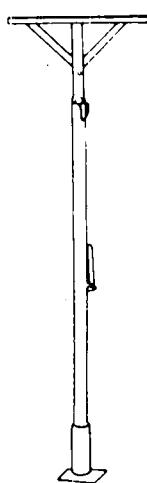
τια ξύλινα καδρόνια με θεωρητική διατομή  $8 \times 8$  cm. Τα καδρόνια τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους και σε δυο στρώσεις. Τα καδρόνια της μιας στρώσεως είναι κάθετα με τα καδρόνια της άλλης, ώστε σχηματίζεται μια οριζόντια σκάρα, που διακόπτεται στη θέση των δοκαριών (σχ. 4.5ια), αν βέβαια υπάρχουν δοκάρια στην κατασκευή.

Οι ξύλινες σκαλωσιές, όπως και οι ξυλότυποι, συνδέονται γενικά με καρφιά (πρόκες). Η σύνδεση πρέπει να είναι ασφαλής και στερεή, ώστε να μη μπορούν τα ξύλα να μετακινθούν το ένα σχετικά με το άλλο. Η σύνδεση όμως δεν πρέπει συγχρόνως να εμποδίζει ή να δυσκολεύει το ξήλωμά τους, που πρέπει να μπορεί



Σχ. 4.5ια.

Τομή καλουπιού πλακών και δοκαριού. Η σκάρα των καδρονιών διακόπτεται στη θέση του δοκαριού.



Σχ. 4.5ιβ.

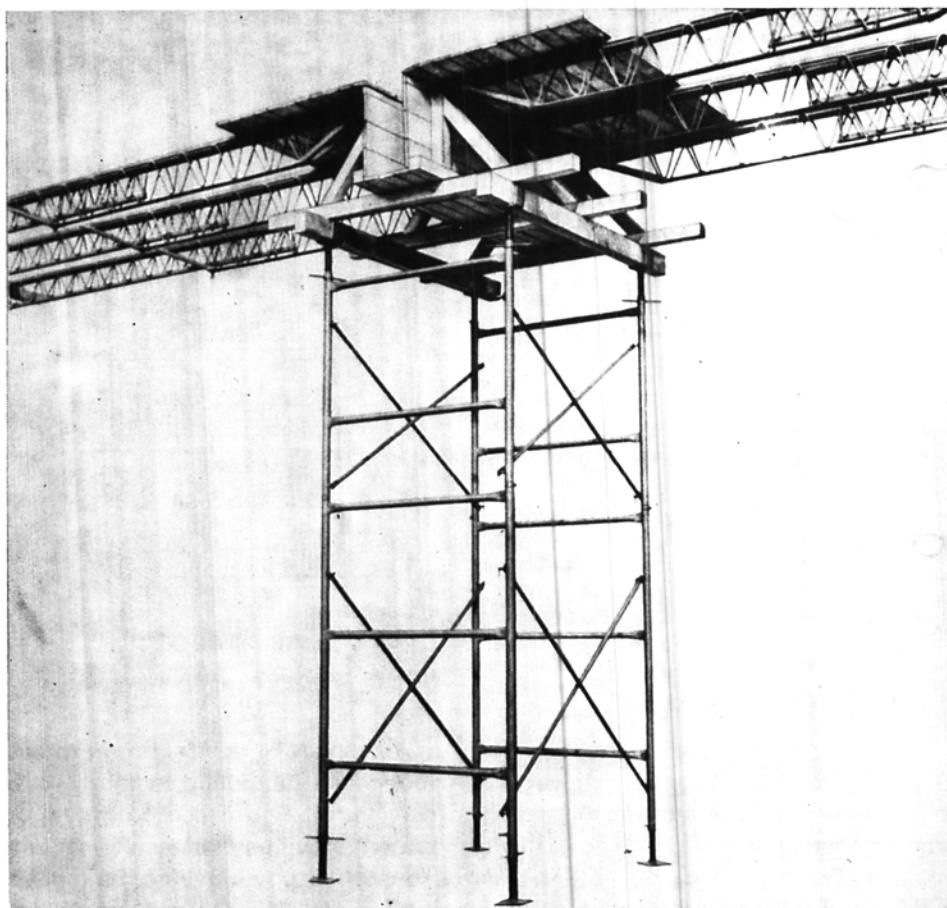
Στύλος (λατάκι) μεταλλικής σκαλωσιάς για καλούπια.

να γίνει εύκολα και χωρίς έντονα κτυπήματα και κραδασμούς. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορούν να προβλεφθούν και σφήνες είτε στο χαμηλότερο μέρος, όπως αναφέρθηκε ήδη, είτε και ψηλότερα, ώστε οι σκαλωσιές να μπορούν να ξηλωθούν ευκολότερα.

Οι μεταλλικές σωληνωτές σκαλωσιές έχουν την ίδια γενική διάταξη με τις ξύλινες. Τα στοιχεία τους είναι τυποποιημένα και συνδέονται μεταξύ τους με ειδικούς

μεταλλικούς συνδέσμους. Μερικές φορές μεταλλικοί είναι μόνο οι στύλοι (σχ. 4.5ιβ), που το ύψος τους μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες του έργου. Άλλοτε οι στύλοι είναι συνδυασμένοι ανά τέσσερεις σε πύργους (σχ. 4.5ιγ), ώστε να περιβάλλουν τα καλούπια των στύλων από σκυρόδεμα. Σπανιότερα ολόκληρη η σκαλωσιά είναι μεταλλική, ενώ συνήθως τα οριζόντια στοιχεία της είναι ξύλινα. Οι μεταλλικές κατασκευές μπορούν να συνδυασθούν με καλούπια είτε ξύλινα είτε μεταλλικά.

Μερικές μεταλλικές σκαλωσιές είναι ιδιαίτερα τελειοποιημένες, ώστε να μπορούν να στήνονται και να ξηλώνονται πολύ εύκολα. Οι προμηθευτές τους δίνουν προδιαγραφές και οδηγίες για τη χρήση τους και ιδιαίτερα για το στήσιμο τους και τους συνδέσμους τους. Οι οδηγίες αυτές πρέπει να τηρούνται με σχολαστικότητα, ώστε η κατασκευή να είναι στερεή και ασφαλής.



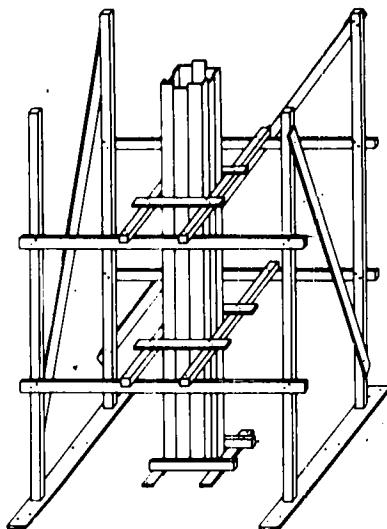
**Σχ. 4.5ιγ.**

Σύνθετο στοιχείο μεταλλικής σκαλωσιας κατάλληλο για σκαλωσιά κολώνας.

### 4.5.3 Καλούπια.

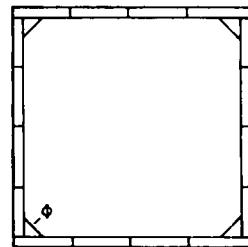
#### α) Καλούπα για κολώνες και τοίχους.

Τα καλούπια για κολώνες και τοίχους στηρίζονται κατευθείαν στο δάπεδο, αλλά κατά κανόνα χρειάζεται και κάποια σκαλωσιά, για να τα στηρίξει και να τα εμποδίσει να φύγουν από τη θέση τους και να παραμορφωθούν. Συνήθως γύρω από κάθε κολώνα στήνονται τέσσερα λατάκια, που συνδέονται μεταξύ τους με οριζόντια και λοξά ξύλα, ώστε να σχηματίζουν ένα στερεό δικτύωμα στο χώρο. Τέτοια δικτυώματα μεταλλικά κυκλοφορούν, όπως αναφέρθηκε, συναρμολογημένα στην αγορά. Πάνω στο δικτύωμα στηρίζεται με τη βοήθεια οριζόντιων καδρονιών το καλούπι της κολώνας (σχ. 4.5ιδ). Η σκαλωσιά κάθε κολώνας συνδέεται με τα υπόλοιπα στοιχεία της σκαλωσιάς και με μόνιμες κατασκευές, ώστε να μη μπορεί να φύγει από τη θέση της. Παρόμοιες λύσεις εφαρμόζονται και για τους τοίχους.



Σχ. 4.5ιδ.

Σκαλωσιά και καλούπι κολώνας.



Σχ. 4.5ιε.

Καλούπι κολώνας με φαλτσογωνιές Φ.

Στη συνηθισμένη περίπτωση των ξύλινων καλουπιών οι σανίδες, το **πέτσωμα**, μπαίνουν κατακόρυφες στις κολώνες, ενώ στους τοίχους μπορούν να μπουν και οριζόντιες, αν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος γι' αυτό. Σωστότερο θα ήταν η μια από τις κατακόρυφες έδρες της κολώνας ή του τοίχου να μην καλουπώνεται ολόκληρη από την αρχή, αλλά λίγο - λίγο, ώστε το σκυρόδεμα να μην πέφτει από μεγάλος ύψος. Μια τέτοια λύση εφαρμόζεται εύκολα στους τοίχους, αν οι σανίδες είναι οριζόντιες, αλλά για τις κολώνες θα είχε σαν αποτέλεσμα μεγάλη φθορά ξυλείας. Γι' αυτό, μόνον όταν οι κολώνες είναι πολύ ψηλές, η μια τους έδρα κλείνεται τελευταία και κατά φάσεις, όσο προχωρεί η διάστρωση του σκυροδέματος με όρ-

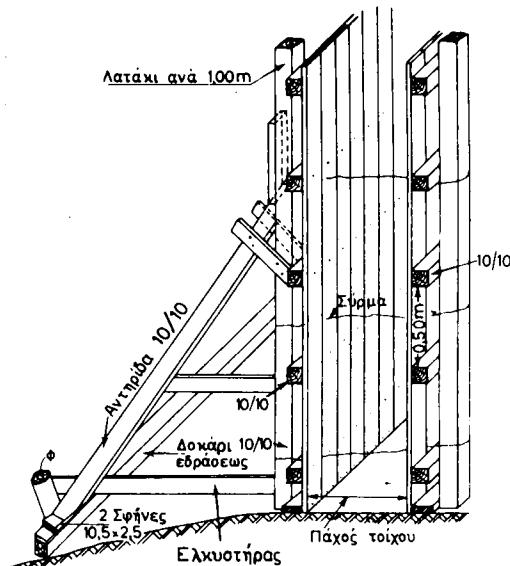
θιες σανίδες, αλλά με περιορισμένο μήκος, δυο μέτρων περίπου.

Στις ακμές, που σχηματίζει το πέτσωμα των κολωνών και των τοίχων, πρέπει να καρφώνονται πήχες, που η διατομή τους να έχει το σχήμα ορθογώνιου ισοσκελούς τριγώνου με κάθετες πλευρές 2 ως 3 cm (**φαλτσογωνίες**). Έτσι στο σκυρόδεμα δε σχηματίζονται ορθές δίεδρες γωνίες, αλλά αμβλείς, και στο ξεκαλούπωμα δεν παρουσιάζονται φθορές και ξεκολλήματα του σκυροδέματος στις ακμές (σχ. 4.5ie).

Στα υποστυλώματα οι κατακόρυφες σανίδες συνδέονται μεταξύ τους με οριζόντια κομμάτια από σανίδες (κλάπες) ή από καδρόνια (σχ. 4.5id). Τα ξύλα αυτά σχηματίζουν οριζόντια πλάσια, που δεν πρέπει να απέχουν πάνω από ένα μέτρο το ένα από τ' άλλο και εξασφαλίζουν ότι δε θα παραμορφωθεί το καλούπι, φουσκώνοντας από την πίεση του νωπού σκυροδέματος. Μερικά από τα οριζόντια αυτά ξύλα έχουν μεγαλύτερο μήκος, για να συνδέουν τα καλούπια με τη σκαλωσιά.

Στα καλούπια των τοίχων οι όρθιες σανίδες συνδέονται με καδρόνια οριζόντια κάθε μισό μέτρο περίπου. Αυτά πάλι στηρίζονται σε κατακόρυφα λατάκια, που απέχουν περίπου ένα μέτρο το ένα από το άλλο. Τα λατάκια στηρίζονται με οριζόντια ξύλα με τα άλλα στοιχεία της σκαλωσιάς. Αν ο τοίχος είναι απομονωμένος και δεν υπάρχει γενικότερη σκαλωσιά, τα λατάκια στηρίζονται στο δάπεδο με τη βοήθεια αντηρίδων και οριζοντίων ελκυστήρων (σχ. 4.5ist).

Τα δύο πετσώματα των τοίχων συνδέονται και μεταξύ τους με σύρμα, για να μη μπορούν να απομακρυνθούν το ένα από το άλλο, όταν ενεργήσει πάνω τους η πίεση του νωπού σκυροδέματος. Τα σύρματα αυτά μένουν τελικά μέσα στο σκυρόδεμα, πρέπει όμως οι άκρες τους που περισσεύουν να κόβονται, γιατί σκουριάζουν και η σκουριά προχωρεί στο εσωτερικό και μπορεί να προκαλέσει αποκολλήσεις στο σκυρόδεμα.

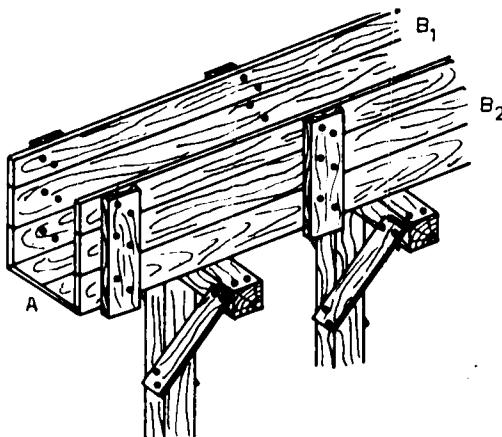


Σχ . 4.5ιστ.

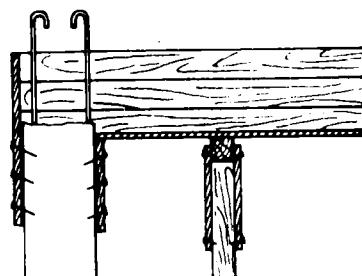
Καλούπι για τοίχωμα.

### β) Καλούπτα δοκαριών.

Τα καλούπτα των δοκαριών αποτελούνται συνήθως από ένα οριζόντιο στοιχείο Α (πάτος) και δύο κατακόρυφα Β<sub>1</sub> και Β<sub>2</sub> (πλαινά). Ο πάτος καρφώνεται κατευθείαν πάνω στα οριζόντια ξύλα, που έχουν στα κεφάλια τους οι στύλοι της σκαλωσιας (σχ. 4.5ιζ). Ειδικότερα οι άκρες του πάτου, που αντιστοιχούν σε παρειές κολωνών ή τοίχων, που έχουν ήδη κατασκευασθεί, στηρίζονται σε κομμάτια σανίδων (κλάπες), που καρφώνονται στα στοιχεία αυτά, όταν ακόμα το σκυρόδεμα δεν έχει σκληρύνει πολύ (σχ. 4.5ιη):

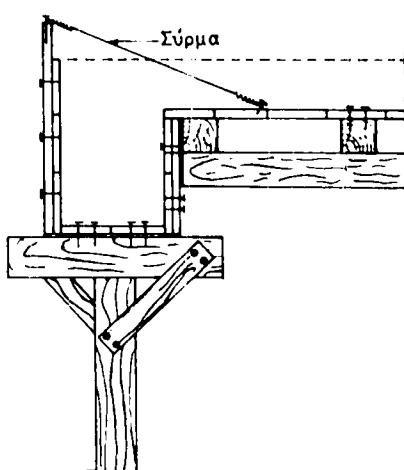


Σχ. 4.5ιζ.,  
Καλούπι για δοκάρι.



Σχ. 4.5ιη.

Το καλούπι του δοκαριού στηρίζεται και σε κλάπες, που καρφώνονται στο φρέσκο σκυρόδεμα της κολώνας.



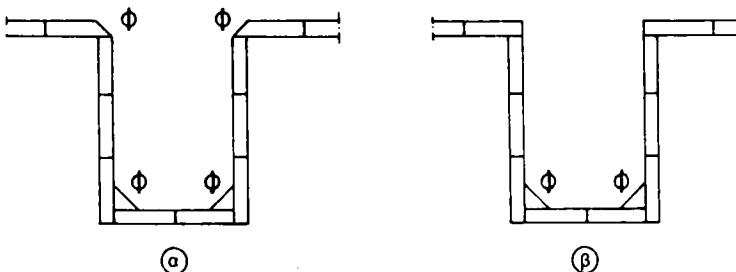
Σχ. 4.5ιθ.  
Τα ακριανά πλαινά των καλουπιών των δοκαριών στερεώνονται και με σύρμα.

Ο πάτος, όπως και τα πλαινά των καλουπιών των δοκαριών σχηματίζονται με σανίδες παράλληλες με τον άξονα του δοκαριού. Οι σανίδες των πλαινών συνδέονται μεταξύ τους με κατακόρυφα κομμάτια από σανίδες (κλάπες) σε αποστάσεις μησού ως ενός μέτρου και ολόκληρο το πλαινό καρφώνεται στον πάτο του καλου-

πιού. Τα πλαιϊνά στερεώνονται στη θέση τους με δύο οριζόντιες σανίδες, που καρφώνονται πάνω στις κατακόρυφες κλάπες. Η μια σανίδα είναι στο ψηλότερο μέρος τους και συνδέεται με τα καδρόνια, που κρατούν τα καλούπια των πλακών, ενώ η άλλη βρίσκεται στο χαμηλότερο μέρος τους και καρφώνεται στα οριζόντια ξύλα των λατακιών.

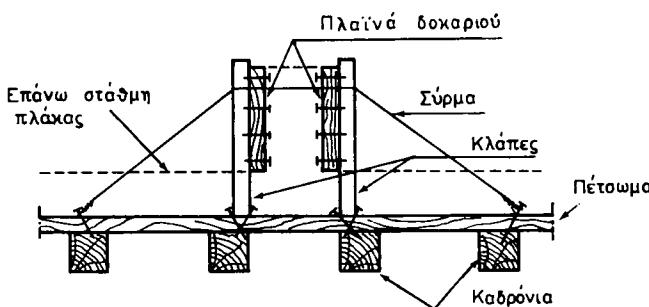
Όταν υπάρχουν περιμετρικά δοκάρια, που δεν έχουν πλάκα από τη μια τους μεριά, τα δύο πλαιϊνά συνδέονται και με σύρμα, που μένει τελικά μέσα στο σκυρόδεμα και τα εμποδίζει να απομακρυνθούν με την πίεση του νωπού σκυροδέματος (σχ. 4.5ιθ).

Στις δίεδρες γωνίες, που σχηματίζουν τα πλαιϊνά με τον πάτο, πρέπει να μπαίνουν φαλτσογωνιές, όπως ακριβώς και στις γωνίες των κολωνών. Θα έπρεπε και στο πάνω μέρος των πλαιϊνών οι γωνιές να μην είναι ορθές [σχ. 4.5κ(α)], αλλά αυτό προκαλεί μεγάλη φθορά ξυλείας και έτσι συνήθως δίνεται η λύση του σχήματος 4.5κ (β). Τα καλούπια των πλαισίων, των τόξων και γενικά των στοιχείων, που έχουν μορφή παρόμοια με τα δοκάρια, κατασκευάζονται με τον ίδιο περίπου τρόπο, όπως και τα καλούπια των δοκαριών.



Σχ. 4.5κ.

Φαλτσογωνιές Φ δοκαριών: (α) Ιδανική λύση. (β) Συνηθισμένη λύση.



Σχ. 4.5κα.

Καλούπι για ανεστραμμένο δοκάρι.

Όταν τα δοκάρια είναι ανεστραμμένα, όταν δηλαδή οι νευρώσεις τους εξέχουν πάνω από την πλάκα, υπάρχουν δυο λύσεις: ή στρώνεται πρώτα η πλάκα και ύστερα καλουπώνονται τα δοκάρια σαν να ήταν χαμηλοί τοίχοι, ή καλουπώνονται τα δοκάρια από την αρχή και το σκυρόδεμα διαστρώνεται χωρίς διακοπή.

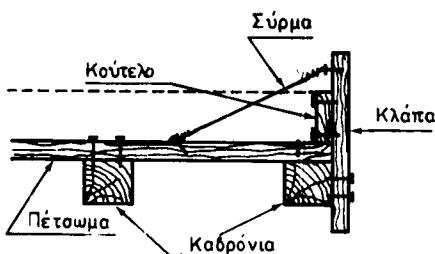
Στη δεύτερη περίπτωση δεν μπορούμε να αποφύγομε ορισμένα στοιχεία του

καλουπιού να σκεπασθούν με το σκυρόδεμα (σχ. 4.5κα). Έτσι, όταν τελειώσει η διάστρωση του σκυροδέματος και αφαιρεθούν τα καλούπια, μένουν τρύπες. Οι τρύπες αυτές πρέπει να κλείνονται με μεγάλη επιμέλεια με τσιμεντοκονίαμα, πάντοτε όμως αποτελούν ασθενή σημεία της κατασκευής, ιδιαίτερα από την άποψη της στεγανότητας. Το συμπέρασμα είναι ότι στις στέγες και στις ταράτσες ή πρέπει να αποφεύγονται τα ανεστραμμένα δοκάρια ή να διαστρώνονται σε δύο φάσεις.

### γ) Καλούπια για πλάκες

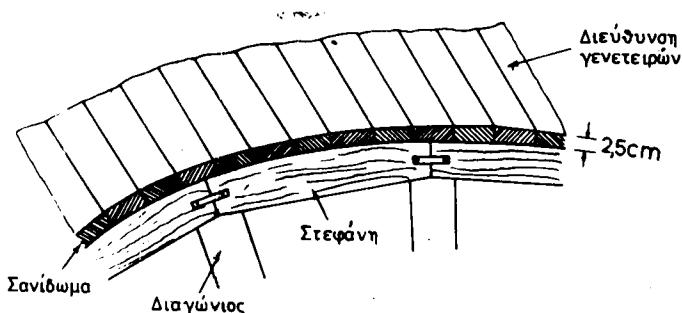
Τα καλούπια πλακών αποτελούνται από ένα απλό σανίδωμα (πέτσωμα), που καρφώνεται κατευθείαν στη σκάρα των καδρονιών, που βρίσκεται στο πάνω μέρος της σκαλωσιάς. Οι σανίδες καρφώνονται κάθετα με τα καδρόνια της πάνω στρώσεως της σκάρας. Αντί για σανίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και έτοιμες πλάκες από κόντρα πλακέ ή συνθετική ξυλεία (μπετοφόρμ), ώστε η δουλειά να γίνεται πιο εύκολα (σχ. 4.5α).

Στην περίμετρο των πλακών μπαίνουν και όρθιες σανίδες (κούτελα). Οι σανίδες αυτές στηρίζονται εξωτερικά με κλάπες που καρφώνονται στα περιμετρικά καδρόνια της σκάρας της σκαλωσιάς. Εσωτερικά συνδέονται με το πέτσωμα της πλάκας με σύρματα (σχ. 4.5κβ), που μένουν τελικά μέσα στο σκυρόδεμα.



Σχ. 4.5κβ.

Τα εξωτερικά κούτελα στα καλούπια των πλακών στερεώνονται και με σύρμα.



Σχ. 4.5κγ.

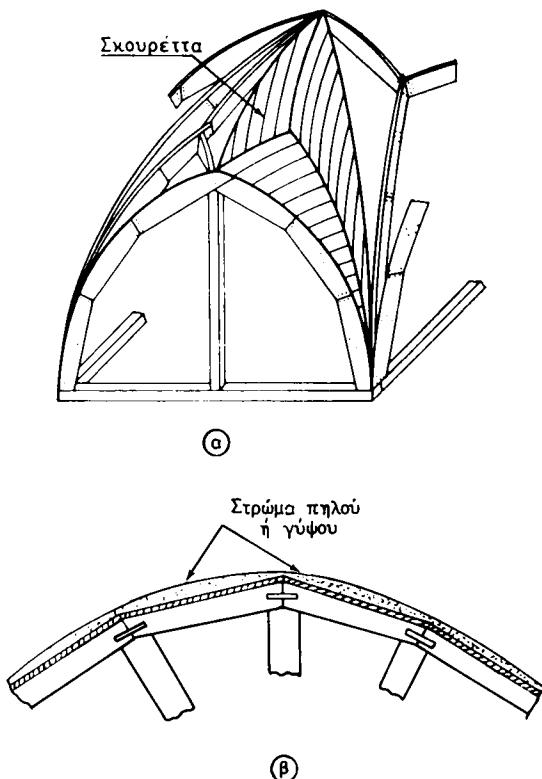
Καλούπι για κυλινδρικό κέλυφος.

Περίπου με τον ίδιο τρόπο κατασκευάζονται και τα καλούπια των θόλων, των κελυφών κλπ. Όταν οι επιφάνειες των στοιχείων αυτών είναι ευθειογενείς (κύλινδροι, κώνοι, υπερβολικά παραβολοειδή, μονόχωνα υπερβολοειδή κλπ.), οι σανίδες

ακολουθούν πάντα τη διεύθυνση των γενέτειρών (σχ. 4.5κγ). Βέβαια κάτω από το πέτσωμα δε μπορούν να υπάρχουν απλά καδρόνια, αλλά γίνονται ειδικές κατασκευές (στεφάνες, ζευκτά), που στο πάνω τους μέρος διαμορφώνονται στο επιθυμητό σχήμα.

Όταν η επιφάνεια δεν είναι ευθειογενής, όπως π.χ. σε ένα σφαιρικό τρούλλο, το πέτσωμα δε γίνεται με σανίδες, αλλά με **σκουρέττα** (πέταυρα), ξύλα δηλαδή που έχουν πάχος 1,5 και όχι 2,5 cm [σχ. 4.5κδ(α)]. Τα σκουρέττα είναι εύκαμπτα και έτσι παίρνουν εύκολα την καμπύλη μορφή της επιφάνειας. Εννοείται ότι τα καδρόνια ή γενικότερα τα στηρίγματα στην περίπτωση αυτή πρέπει να είναι πολύ πιο πυκνά, πρώτα επειδή τα σκουρέττα έχουν μικρότερη αντοχή και δεύτερο, για να μορφώνεται το σχήμα της κατασκευής με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Για το καλούπωμα τέτοιων καμπύλων κατασκευών μπορεί να εφαρμοσθεί και μια άλλη μέθοδος. Τα καλούπια κατασκευάζονται με κανονικές σανίδες, αλλά σχηματίζουν μια τεθλασμένη επιφάνεια, που μοιάζει με την καμπύλη επιφάνεια της κατασκευής. Μπορεί τότε το σκυρόδεμα να διαστρωθεί πάνω στην τεθλασμένη αυτή επιφάνεια και έπειτα να σοβαντισθεί, ώστε ν' αποκτήσει την τελική καμπύλη επιφάνεια. Μπορεί όμως ακόμη να σχηματισθεί ένα καμπύλο καλούπι, αν πάνω στον ξυλότυπο προστεθεί ένα στρώμα από πηλό ή γύψο [σχ. 4.5κδ(β)].



Σχ. 4.5κδ.

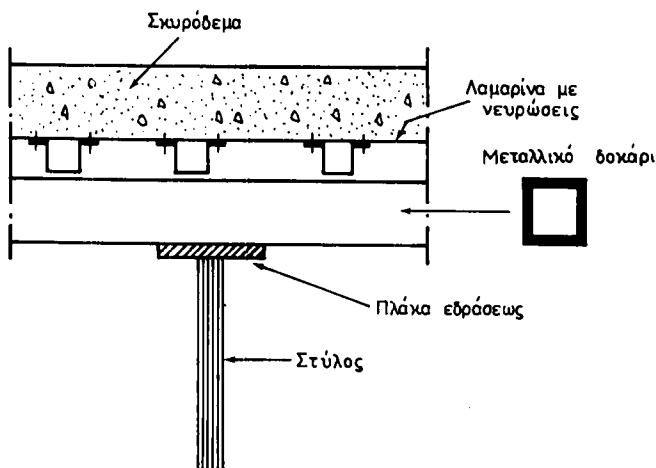
Καλούπια για κελύφη με διπλή καμπυλότητα:

(α) Με εύκαμπτα σκουρέττα. (β) Με κοινές τάβλες και στρώμα πηλού ή γύψου.

Όσα είπαμε ως εδώ, αναφέρονται κυρίως στους ξυλότυπους, δηλαδή στα ξύλινα καλούπια. Όταν χρησιμοποιούνται άλλα υλικά, εφαρμόζονται σε γενικές γραμμές οι ίδιες αρχές. Ειδικότερα για τα πλαστικά (σχ. 4.5β) και τα μεταλλικά καλούπια (σχ. 4.5κε), που συνήθως είναι τυποποιημένα βιομηχανικά προϊόντα πρέπει να εφαρμόζονται οι προδιαγραφές του κατασκευαστή.

#### 4.5.4 Ξεκαλούπωμα.

Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 4.3.2, το τσιμέντο, επομένως και το σκυρόδεμα, πήζει μέσα σε λίγες ώρες. Αν λοιπόν αφαιρεθούν τα καλούπια, ακόμα και την ίδια μέρα μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος, δεν υπάρχει κίνδυνος να χάσει το σκυρόδεμα το σχήμα, που έχει αποκτήσει. Το πρόωρο ξεκαλούπωμα, όμως απαγορεύεται, γιατί είναι πολύ επικίνδυνο. Αυτό εξηγείται, αν θυμηθούμε πως το σκυρόδεμα μπορεί να πήζει γρήγορα, αργεί όμως να σκληρύνει και να αποκτήσει την αντοχή του.



Όταν ξεκαλουπωθεί μια κατασκευή από σκυρόδεμα, τα στοιχεία της αναγκάζονται να σηκώσουν το ίδιο της το βάρος, που σε ορισμένες τουλάχιστον θέσεις μπορεί να προκαλεί αξιόλογες επιβαρύνσεις. Επειδή μάλιστα το σκυρόδεμα είναι ένα βαρύ υλικό, το βάρος της κατασκευής αποτελεί συνήθως ένα σημαντικό ποσοστό, κατά κανόνα πάνω από το 50%, από το σύνολο των φορτίων λειτουργίας της. Η κατάσταση μπορεί να είναι ακόμα χειρότερη στις πολυύροφες κατασκευές. Στην περίπτωση αυτή, όταν διαστρώνεται το σκυρόδεμα ενός ορόφου, ολόκληρο το βάρος του φορτίζει προσωρινά τον από κάτω όροφο, όπου πατάνε τα κατακόρυφα στοιχεία της σκαλωσιάς. Δεν αποκλείεται τότε η φόρτιση του ορόφου αυτού να είναι δυσμενέστερη ακόμα και από εκείνη, που έχει προβλεφθεί στη μελέτη με το σύνολο των φορτίων λειτουργίας του έργου, μια και στα συνηθισμένα οικοδομικά έργα τα φορτία αυτά δεν είναι πολύ μεγάλα.

Από όσα αναφέραμε, εξηγείται γιατί πρέπει να ξεκαλούπωνται οι κατασκευές από σκυρόδεμα μόνον, όταν έχουν αποκτήσει την απαραίτητη αντοχή, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προσωρινές αυτές επιβαρύνσεις. Με ένα πρόωρο ξεκαλούπωμα, έστω και αν δεν καταρρεύσει η κατασκευή, είναι βέβαιο ότι θα πάθει μόνιμες ζημιές, που μπορεί να είναι ρήγματα ή υπερβολικές, απαράδεκτες παραμορφώσεις.

Σε όλες πάντως τις περιπτώσεις το ξεκαλούπωμα είναι μια σοβαρή δουλειά, που πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή. Αν παρατηρήσομε ότι υπάρχουν ρήγματα ή ακούγονται τριξίματα ή άλλοι ύποπτοι θόρυβοι, πρέπει αμέσως να σταματάμε το ξεκαλούπωμα. Πρέπει τότε να γίνει ένας προσεκτικός έλεγχος των υπολογισμών και των σχεδίων, όπως και έλεγχος, αν τα σχέδια εφαρμόσθηκαν σωστά. Αν ο έλεγχος δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αφήνομε να περάσουν περίπου δέκα μέρες και συνεχίζομε το ξεκαλούπωμα με προσοχή, φροντίζοντας ιδιαίτερα να μην υπάρχουν άνθρωποι κάτω από την κατασκευή.

Οι κανονισμοί προβλέπουν για κάθε περίπτωση τις ελάχιστες προθεσμίες για το ξεκαλούπωμα. Παρόλα αυτά συχνά το ξεκαλούπωμα γίνεται πριν από τις προθεσμίες αυτές, για να γίνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ξυλείας ή γενικότερα του υλικού της σκαλωσιάς και των καλουπιών. Η τακτική αυτή είναι επικίνδυνη, αλλά και παράνομη, γι' αυτό τα υπεύθυνα όργανα σε κάθε εργοτάξιο πρέπει να την απαγορεύουν αυστηρά.

Στον Πίνακα 4.5.4 αναγράφονται οι προθεσμίες των κανονισμών σε μέρες, εφόσον επικρατούν συνηθισμένες συνθήκες. Αν οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές, οι προθεσμίες αυτές πρέπει να παρατείνονται λίγο, επειδή οι χημικές αντιδράσεις γίνονται πιο αργά. Επίσης πρέπει να παρατείνονται, αν η κατασκευή είναι επικίνδυνη, π.χ. για μεγάλους προβόλους, για μεγάλα κελύφη, για στοιχεία πολύ λεπτά Κ.Ο.Κ.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5.4

*Προθεσμίες για ξεκαλούπωμα σε μέρες*

a/a	Στοιχείο κατασκευής	Κοινό τοπιέντο	Ταιμέντο με ψηλή αντοχή
1	Κατακόρυφα στοιχεία καλουπιών	3	2
2	Καλούπια για πλάκες με άνοιγμα μικρότερο από 6,50 m	8	5
3	Πάτοι δοκαριών και καλούπια για πλάκες με άνοιγμα πάνω από 6,50 m	21	10
4	Κολώνες ασφάλειας για δοκάρια και πλάκες	35	18

**Κολώνες ασφάλειας** ονομάζονται τα κατακόρυφα στοιχεία της σκαλωσιάς, που πρέπει να μένουν μετά το ξεκαλούπωμα, για να μικραίνουν προσωρινά τα ανοίγμα-

τα των πλακών και των δοκαριών. Για τις πλάκες χρειάζεται μια σειρά από κολώνες ασφάλειας σε αποστάσεις 5,00 m η μια από την άλλη στη μέση του ανοίγματός τους και μόνο αν αυτό ξεπερνά τα 4,00 m. Στα δοκάρια αρκεί μια κολώνα ασφάλειας στη μέση, αν το άνοιγμα είναι το πολύ 6,00 m και δύο κολώνες στα τρίτα του ανοίγματος, αν αυτό είναι μεγαλύτερο. Στις πολυόροφες κατασκευές πρέπει να προσέχομε, ώστε οι κολώνες ασφάλειας κάθε ορόφου να βρίσκονται ακριβώς πάνω από τις κολώνες ασφάλειας του από κάτω ορόφου.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.5.4, το ξεκαλούπωμα γίνεται κατά φάσεις, που συνήθως είναι τρεις ή τέσσερεις, μια και όλες σχεδόν οι κατασκευές έχουν κατακόρυφες έδρες, πλάκες και δοκάρια. Πρέπει λοιπόν, όταν στήνονται οι σκαλωσιές και τα καλούπια, οι συνδέσεις να γίνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να γίνει το ξεκαλούπωμα με τη σειρά ακριβώς, που προβλέπουν οι κανονισμοί.

## 4.6 Οπλισμός σκυροδέματος.

### 4.6.1 Γενικά.

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.3.7, ο οπλισμός του σκυροδέματος αποτελείται από χαλύβδινες βέργες με κυκλική διάτομη και κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την ποιότητα του χάλυβα. Ακριβώς επειδή υπάρχουν πολλές κατηγορίες, πρέπει πάντοτε στα σχέδια να αναγράφεται σε εμφανές σημείο η κατηγορία, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση.

Πριν αρχίσει η δουλειά, πρέπει να γίνει η παραγγελία και η παραλαβή των υλικών. Ειδικά για τον οπλισμό η παραγγελία πρέπει να είναι λεπτομερής και να αναφέρει τι ποσότητα χρειάζεται, όχι μόνο από κάθε κατηγορία, αλλά και από κάθε διάμετρο. Χρειάζεται λοιπόν να γίνει μια προμέτρηση του οπλισμού βασισμένη στα στοιχεία, που δίνουν τα σχέδια.

Οι ράβδοι του οπλισμού από χάλυβα κατηγορίας I κυκλοφορούν στο εμπόριο σε κουλούρες με διάμετρο 70 ως 80 cm και βάρος 150 ως 180 kg. Επομένως το μάκρος των ράβδων είναι τόσο μικρότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος. Όταν η διάμετρος ξεπερνά τα 16 ή 18 mm, δε συνηθίζεται η συσκευασία σε κουλούρες, αλλά τελευταία έχει περιορισθεί η χρησιμοποίηση οπλισμού κατηγορίας I με μεγάλες διαμέτρους.

Αντίθετα έχει γίνει συχνότερη η χρησιμοποίηση οπλισμού με ψηλότερη αντοχή και ιδιαίτερα των κατηγοριών IIIb και IVb. Ο οπλισμός κατηγορίας IIIb κυκλοφορεί συνήθως στο εμπόριο σε ευθύγραμμες βέργες με μήκος το πολύ 14 m. Ο οπλισμός κατηγορίας IVb κυκλοφορεί, όπως ήδη έχομε πει, με τη μορφή **δομικών πλεγμάτων** (σχ. 4.3ιβ), δηλαδή σε σκάρες, που αποτελούνται από δύο παράλληλες δέσμες ράβδων, κάθετες μεταξύ τους, που είναι ηλεκτροσυγκολλημένες σε όλες τους τις διασταύρωσεις. Οι ράβδοι αυτές έχουν διαμέτρους μικρότερες συνήθως από 8 mm.

Γενικά η μεταφορά και η αποθήκευση του οπλισμού δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα. Βέβαια, αν προβλέπεται ότι ο οπλισμός θα χρησιμοποιηθεί μετά από μήνες, είναι σκόπιμο να αποθηκεύεται σε στεγασμένο χώρο και να προστατεύεται από την υπερβολική υγρασία, για να μη σκουριάσει. Αν πάντως υπάρχει λίγη σκουριά στην επιφάνεια και δεν προχωρεί σε βάθος, δε βλάπτει, αρκεί να μη

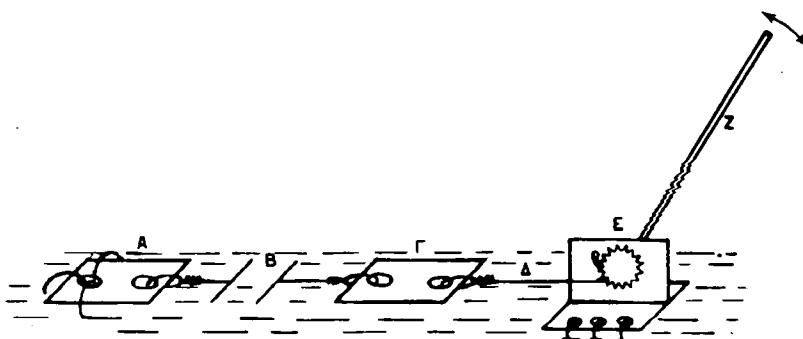
σχηματίζει φλούδες και λέπια, που ξεκολλούν εύκολα από το σώμα της βέργας. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να αφαιρέται η σκουριά είτε με το σφυρί είτε με το γυαλόχαρτο.

#### 4.6.2 Κατεργασία οπλισμού.

##### α) Ευθυγράμμιση.

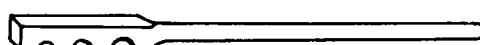
Μόλις φθάσει ο οπλισμός στο εργοτάξιο, πρέπει να ευθυγραμμισθεί, εκτός βέβαια αν είναι ήδη ευθύγραμμος. Η εργασία αυτή αναφέρεται κυρίως στον οπλισμό κατηγορίας I και μάλιστα για τις μικρές διαμέτρους.

Ο οπλισμός κόβεται σε κομμάτια, όσο γίνεται μακρύτερα, αρκεί να υπάρχει τόπος να τα τεντώσουμε. Συνήθως το μάκρος είναι 30 ως 50 m. Οι δυο άκρες κάθε κομματιού (B) δένονται σε δύο χαλύβδινες πλάκες, που έχουν τις κατάλληλες τρύπες (σχ. 4.6a). Η πλάκα (A) είναι σταθερά καρφωμένη στο έδαφος, ενώ η άλλη (Γ) είναι δεμένη στην άκρη ενός συρματόσχοινου (Δ), που τυλίγεται στο τύμπανο ενός βαρούλκου (Ε) με τη βοήθεια ενός μοχλού (Ζ) και μιας καστάνιας (σύστημα, που δεν επιτρέπει σε έναν άξονα να περιστραφεί παρά μόνο κατά τη μία φορά). Όσο το συρματόσχοινο τυλίγεται, τόσο ο οπλισμός τεντώνεται και ισιώνει.



Σχ. 4.6α.

Διάταξη για την ευθυγράμμιση του οπλισμού: A = Μεταλλική πλάκα αγκυρωμένη στο έδαφος. B = Ράβδος για ευθυγράμμιση. Γ = Κινητή μεταλλική πλάκα. Δ = Συρματόσχοινο. Ε = Βαρούλκο για το τύλιγμα του συρματόσχοινου με οδοντωτό τραχό (γρανάζι) και καστάνια. Ζ = Μοχλός για το χειρισμό με παλινδρομικές κινήσεις.



Σχ. 4.6β.

Κλειδί για τη μόρφωση των ράβδων του οπλισμού.

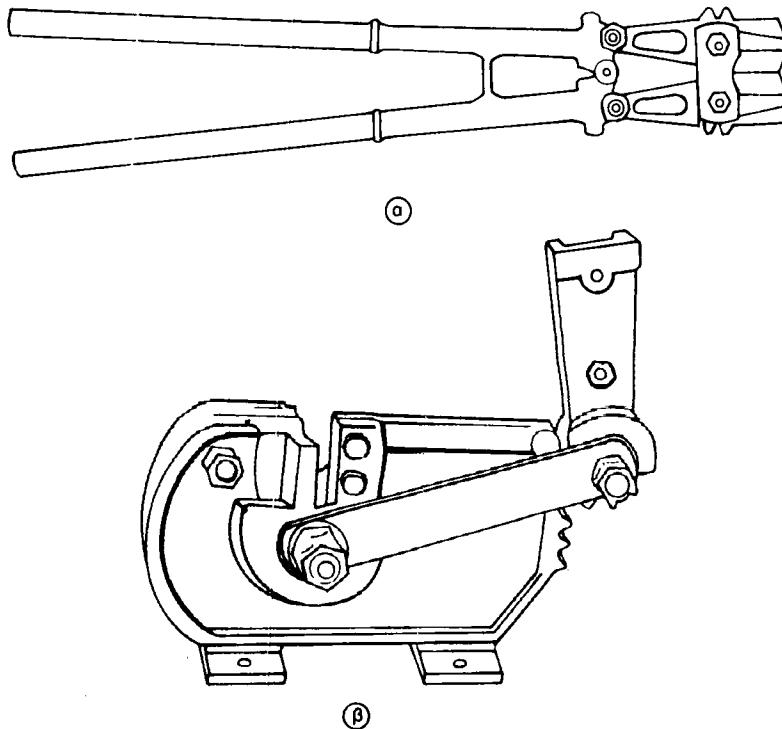
Το τέντωμα του οπλισμού προκαλεί τάσεις εφελκυστικές, που, όταν ξεπεράσουν ορισμένα όρια, προκαλούν μόνιμες παραμορφώσεις και έτσι, όταν οι βέργες μείνουν ελεύθερες, δεν ξαναπαίρνουν το αρχικό τους σχήμα. Πρέπει πάντως το

τέντωμα να γίνεται σιγά - σιγά και να σταματά, όταν ο οπλισμός ευθυγραμμισθεί, ώστε να μη προκαλείται και μόνιμη επιμήκυνση των ράβδων. Αυτό βέβαια είναι αδύνατό να το πετύχομε ακριβώς, αλλά μια μικρή μόνιμη επιμήκυνση δε μειώνει την αντοχή του οπλισμού και έτσι δεν είναι επικίνδυνη.

Όταν η διάμετρος είναι πολύ μικρή, μπορούν να τεντώνονται πολλές βέργες μαζί. Αντίθετα, όταν είναι πολύ μεγάλη, οι δυνάμεις, που χρειάζονται για την ευθυγράμμιση, είναι τόσο μεγάλες, που δεν μπορεί να εφαρμοσθεί αυτή η μέθοδος. Αν πάντως μια ράβδος οπλισμού με μεγάλη διάμετρο δεν είναι εντελώς ευθυγραμμη, μπορεί να διορθωθεί τοπικά με το μοχλό (κλειδί), που χρησιμοποιείται για τη μόρφωση του οπλισμού (σχ. 4.6β).

### **β) Κόψιμο του οπλισμού.**

Αφού ο οπλισμός ευθυγραμμισθεί, κόβεται σε κομμάτια με μάκρος, όσο χρειάζεται σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Το κόψιμο γίνεται με ειδικά ψαλίδα (σχ. 4.6γ), εκτός αν η διάμετρος είναι εξαιρετικά μεγάλη, οπότε χρησιμοποιείται βαρειά και κοπίδι.



**Σχ. 4.6γ.**

Ψαλίδια για το κόψιμο ράβδων οπλισμού: (α) Για μικρές διαμέτρους. (β) Για μεγάλες διαμέτρους.

Τα σημεία, όπου πρέπει να κοπεί κάθε ράβδος, σημειώνεται με κιμωλία (τεμπεσίρι). Η δουλειά αυτή δεν παρουσιάζει καμιά δυσκολία, αν οι βέργες του οπλισμού

έχουν μεγάλο μάκρος. Αντίθετα, όταν οι βέργες είναι κοντές, η δουλειά αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να γίνεται από τον πιο έμπειρο και έξυπνο τεχνίτη, ώστε να περισσεύουν όσο γίνεται λιγότερα και μικρότερα άχρηστα κομμάτια (ρετάλια). Αν μάλιστα σκεφθούμε ότι ο οπλισμός είναι από τα ακριβότερα δομικά υλικά, βλέπομε πόση σημασία έχει, να αποφεύγεται κάθε περιπτή σπατάλη.

### *γ) Κατάλογοι οπλισμού.*

Το κόφιμο κι η μόρφωση του οπλισμού βασίζονται στους **καταλόγους οπλισμού**, που πρέπει να συντάσσονται σύμφωνα με τη στατική μελέτη και τα κατασκευαστικά σχέδια. Οι κατάλογοι αυτοί πρέπει να έχουν τουλάχιστον τις ακόλουθες στήλες:

α) Αύξων αριθμός της ράβδου ή της ομάδας των ράβδων, όταν υπάρχουν πολλές ράβδοι με το ίδιο ακριβώς σχήμα.

β) Σκαρίφημα (σκίτσο) της ράβδου.

γ) Διάμετρος (Ø).

δ) Πλήθος όμοιων ράβδων.

ε) Μάκρος κάθε ράβδου.

στ) Συνολικό μάκρος για ολόκληρη την ομάδα των ράβδων.

Η τελευταία στήλη είναι σκόπιμο να διαιρείται σε υποστήλες, μια για κάθε διάμετρο, ώστε να μπορούν να προστεθούν οι ποσότητες του οπλισμού για κάθε διάμετρο χωριστά (σχ. 4.6δ).

Στο σκίτσο της ράβδου πρέπει να αναγράφονται όλα τα μερικά μήκη, ώστε να μπορεί ο τεχνίτης να τη μορφώσει. Το άθροισμα των μερικών μηκών δίνει το συνολικό μάκρος της ράβδου, που αναγράφεται στην κατάλληλη στήλη του καταλόγου.

Γενικά οι ράβδοι είναι ευθύγραμμες ή τεθλασμένες (σχ. 4.6ε) και πολύ σπάνια καμπύλες. Οι ελληνικοί, όπως και οι γερμανικοί κανονισμοί, απαιτούν να καταλήγουν πάντοτε στις δύο τους άκρες σε άγκιστρα, όταν ο οπλισμός είναι κατηγορίας I. Οι αμερικανικοί, γαλλικοί και αγγλικοί κανονισμοί επιβάλλουν τα άγκιστρα σε λίγες μόνο περιπτώσεις.

Απ' τις μορφές των τεθλασμένων ράβδων πιο συνηθισμένες είναι η β του σχήματος 4.6ε, που χρησιμοποιείται σε πλάκες και σε δοκάρια, η γ του ίδιου σχήματος, που χρησιμοποιείται σε κολώνες και η δ, που χρησιμοποιείται σε κολώνες και δοκάρια.

Οι κατάλογοι οπλισμού χρησιμεύουν ακόμα και σα βάση για τις προμετρήσεις και τις επιμετρήσεις του οπλισμού. **Προμέτρηση** λέγεται η εκτίμηση της ποσότητας ενός υλικού ή γενικότερα μιας συγκεκριμένης εργασίας, που πρόκειται να εκτελεστεί, για να κατασκευαστεί το έργο. **Επιμέτρηση** λέγεται η μέτρηση με ακρίβεια της ίδιας ποσότητας, όπως πραγματικά εκτελέσθηκε κατά την κατασκευή του έργου.

Όταν συντάσσονται οι κατάλογοι οπλισμού, τα μήκη ορισμένων τμημάτων των ράβδων πρέπει να καθορίζονται έτσι, ώστε να ικανοποιούν μερικές διατάξεις των κανονισμών. Οι κυριότερες από αυτές αναφέρονται στην επικάλυψη του οπλισμού, στις αποστάσεις των ράβδων μεταξύ τους και στη μορφή των αγκίστρων.

Επικάλυψη οπλισμού ονομάζεται η απόσταση α, που μεσολαβεί από την ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος ως το πλησιέστερο σημείο οποιασδήποτε ρά-

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Σελ. 10

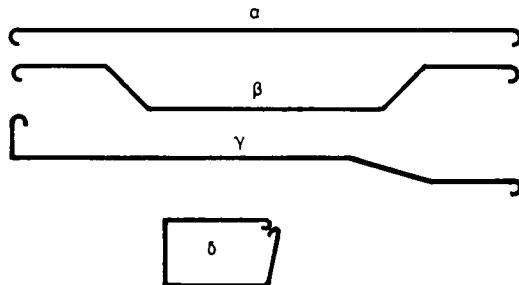
ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΥ Σιδηροποσ αριθμ. 10-ορίσου

Α/ Α'	Σχηματα και παρατηρήσεις	Φ	Ομοια τεμαχια	Μήκος τεμαχιου	Ο ΛΙΚΑ ΜΗΚΗ						
					#6	#8	#10	#12	#14	#16	#18
<u>Πλάκες</u>											
1		10	22	5.47					120.34		
2		10	21	4.20					88.20		
3		8	9	5.96				53.64			
4		9	9	5.74				51.66			
<u>Διανομές</u>											
5	<u>3.80</u>	6	4	3.80	15.20						
6	<u>5.50</u>	6	4	5.50	22.00						
<u>Δονοί</u> <u>Δ1-Δ2 και Δ3-Δ4 (τεμ 4)</u>											
7		8	4x2	4.14			33.12				
8		10	4x1	5.96			21.84				
9		10	4x1	5.46			21.84				
10		10	4x2	4.30			34.40				
11		10	2x2	2.00			8.00				
12		6	4x19	1.00	76.00						
<u>Υποστυλώματα Η1, Η2, Η3, Η4 (τεμ 4)</u>											
13		20	4	4.43						17.72	
14		20	4	4.45						17.80	
15		20	4	4.50						18.00	
16		20	4	4.47						17.88	
17		6	4x18	1.80	86.40						71.40
Σύνολο μέτρα μήκους				199.60	138.42	294.62					

Σχ. 4.86.

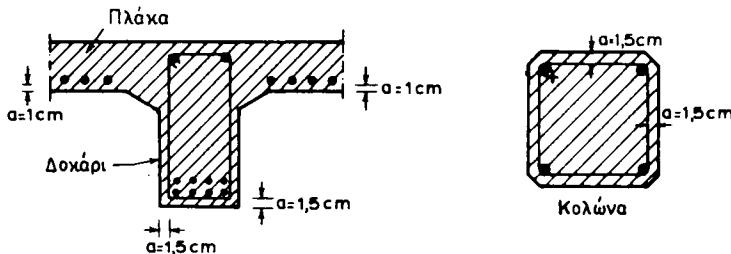
Παράδειγμα από σελίδα καταλόγου οπλισμού.

βδου του οπλισμού. Το αυτό είναι ίσο με 1 cm για τις πλάκες και με 1,5 cm για τις υπόλοιπες κατασκευές από σκυρόδεμα (σχ. 4.6στ). Αυτά ισχύουν για κλειστούς χώρους. Στο ύπαιθρο οι τιμές του αυξάνονται κατά 0,5 cm. Αν τέλος το στοιχείο της κατασκευής βρίσκεται μέσα στο νερό ή στο έδαφος, τότε το α δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 4 ως 5 cm.



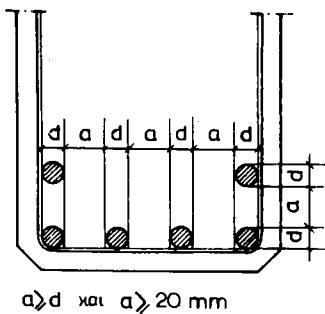
Σχ. 4.6ε.

Συνηθισμένες μορφές ράβδων οπλισμού.



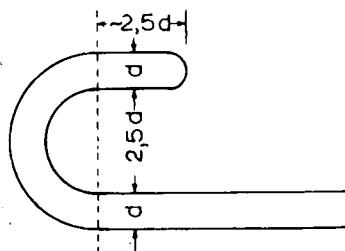
Σχ. 4.6στ.

Πάχος επικαλύψεως οπλισμού σκυροδέματος: (α) Σε πλάκες και δοκάρια. (β) Σε κολώνες.



Σχ. 4.6ζ.

Ελάχιστες αποστάσεις ανάμεσα σε ράβδους οπλισμού.



Σχ. 4.6η.

Διαστάσεις για τα άγκιστρα των ράβδων οπλισμού.

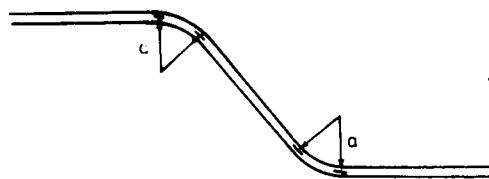
Η ελεύθερη απόσταση ανάμεσα σε δυο γειτονικές παράλληλες ράβδους πρέπει να είναι τουλάχιστον (ίση με τη διάμετρο της μεγαλύτερης από αυτές και πάντως όχι μικρότερη από 2 cm. Με τούς περιορισμούς αυτούς πρέπει να εξετάζομε κάθε φορά, αν χωρούν όλες οι ράβδοι του οπλισμού σε μια στρώση η μια δίπλα στην άλλη, ή αν πρέπει να μπουν σε δυο ή περισσότερες στρώσεις (σχ. 4.6ζ).

Τα άγκιστρα στις άκρες των ράβδων αποτελούνται από ένα ημικύκλιο (σχ. 4.6η) με εσωτερική διάμετρο 2,5 d και ένα ευθύγραμμο τμήμα με μήκος άλλα 2,5 d πε-

ρίου, όπου  $d$  είναι η διάμετρος της ράβδου. Έτσι το συνολικό μάκρος ενός αγκίστρου είναι περίπου:

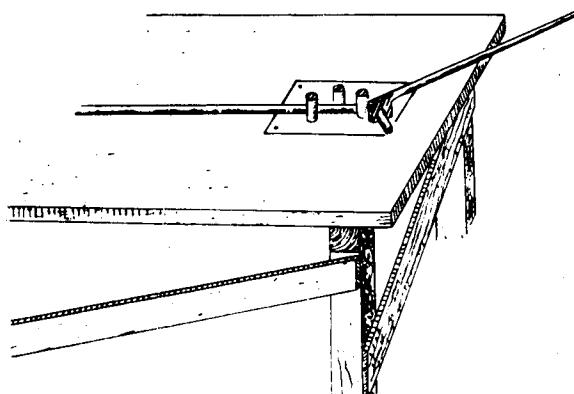
$$l = \frac{\pi}{2} (2,5 + 1,0) d + 2,5 d \simeq 5,5 d + 2,5 d = 8 d$$

Στις Θέσεις, όπου κάμπτεται ο οπλισμός, δεν πρέπει να σχηματίζονται γωνιές, δύπιας παρουσιάζονται στους καταλόγους του οπλισμού. Στα σημεία αυτά η ράβδος ακολουθεί μια καμπύλη με εσωτερική ακτίνα 10 d και σε ορισμένες δυσμενείς περιπτώσεις 15 d (σχ. 4.6θ). Ιδιαίτερα για τις κατηγορίες οπλισμού II, III και IV οι προμηθευτές μπορούν να προδιαγράφουν και ακόμα μεγαλύτερες ακτίνες, επειδή το υλικό είναι πολύ σκληρό και μπορεί να ραγίσει, αν το αναδιπλώσουμε πιο έντονα, από όσο αντέχει.



Σχ. 4.6θ.

Στις γωνιες του οπλισμού η ακτίνα α πρέπει να είναι ίση με 10 ως 15 d.



Σχ. 4.6ι.

Πάγκος για τη μόρφωση των ράβδων του οπλισμού.

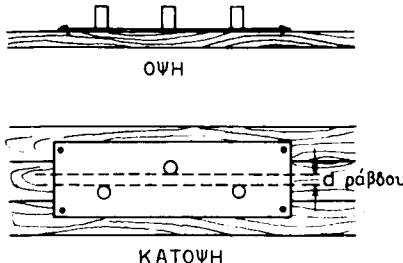
### **δ) Μόρφωση του οπλισμού.**

Ο οπλισμός μορφώνεται, αφού κοπεί σε κομμάτια, για να πάρει το σχήμα, που προβλέπεται στα σχέδια και στον κατάλογο. Η μόρφωση γίνεται πάνω σε ένα ξύλινο πάγκο (σχ. 4.6ι), που στήνεται στο εργοτάξιο ειδικά για το σκοπό αυτό. Ο πάγκος είναι 4 ως 5 μέτρα μακρύς, ώστε οι βέργες του οπλισμού να χωρούν σχεδόν ολόκληρες πάνω σε αυτόν. Στην άκρη του τραπεζιού καρφώνεται μια χαλύβδι-

νη πλάκα, που έχει κολλημένους πάνω της δυό ή τρεις όρθιους κοντούς κυλίνδρους από χάλυβα. Όταν οι κύλινδροι είναι τρεις (σχ. 4.6α), σχηματίζουν μιαν αμβλεία γωνία, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί η ράβδος του οπλισμού ανάμεσά τους, δηλαδή με τους δύο από τη μια της μεριά και το μεσαίο από την άλλη. Συνήθως υπάρχουν δυο - τρεις τέτοιες πλάκες στο εργοτάξιο για τις διάφορες διαμέτρους του οπλισμού με κατάλληλες αποστάσεις ανάμεσα στους κυλίνδρους.

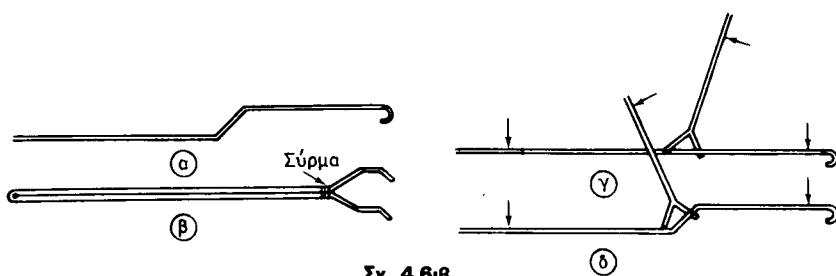
Η μόρφωση του οπλισμού γίνεται με τη βοήθεια ενός μοχλου (σχ. 4.6β), που συλλαμβάνει τη ράβδο και τη στρίβει γύρω από έναν από τους κύλινδρους της πλάκας, που χρησιμεύει σαν υπομόχλιο (σχ. 4.6ι). Συνήθως οι μοχλοί έχουν στην κεφαλή τους δυό - τρεις εγκοπές με διαφορετικό άνοιγμα, ώστε να μπορούν οι ίδιοι να χρησιμοποιούνται για διάφορες διαμέτρους ράβδων. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται τόσο για την τελική μόρφωση του οπλισμού όσο και για την ευθυγράμμισή του, όπου παρουσιάζονται μικροανωμαλίες.

Όταν ο οπλισμός έχει μικρές διαμέτρους, μπορεί να μορφωθεί και αφού πρώτα τοποθετηθεί στην τελική του θέση. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως για τις πλάκες, που οπλίζονται κατά κανόνα με ράβδους  $\varnothing 8$  ως  $\varnothing 12$ . Ένα μέρος από τις ράβδους αυτές πρέπει να πάρει το σχήμα, που φαίνεται στο σχήμα 4.6ιβ(α), με δύο γειτονικές αμβλείες γωνίες. Για να μορφωθεί αυτό το σχήμα, χρησιμοποιείται ένας ειδικός μοχλός (κλειδί, διχάλα), που μπορεί να κατασκευασθεί από μια βέργα οπλισμού με κάπως μεγαλύτερη διάμετρο [σχ. 4.6ιβ(β)]. Η βέργα αυτή διπλώνεται στα δυο και οι δυο της άκρες κάμπτονται, ώστε να σχηματίσουν μια διχάλα. Οι κεφαλές της διχάλας κάμπτονται και πάλι, ώστε να είναι κάθετες με το επίπεδο της διχάλας. Στη βάση της διχάλας τα δυο σκέλη δένονται καλά με ατσαλόσυρμα, για να μην ανοίγουν.



Σχ. 4.6ια.

Σταθερό εργαλείο για τη μόρφωση των ράβδων του οπλισμού.



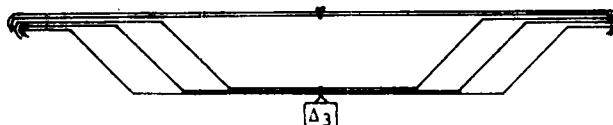
Σχ. 4.6ιβ.

Μόρφωση επί τόπου ράβδων οπλισμού με μικρή διάμετρο: (α) Επιθυμητή μορφή ράβδου. (β) Κλειδί. (γ) Τοποθέτηση κλειδιού. (δ) Μόρφωση ράβδου.

Ο τεχνίτης τοποθετεί το μοχλό σχεδόν όρθιο έτσι, ώστε η μια κεφαλή της διχάλας να βρίσκεται κάτω και η άλλη πάνω από τη βέργα, που πρόκειται να μορφωθεί [σχ. 4.6ιβ(γ)]. Έπειτα πατά ελαφρά με τα δύο του πόδια τη βέργα δεξιά και αριστερά από την περιοχή των γωνιών και στρίβει το μοχλό, ώσπου να πάρει το επιθυμητό σχήμα [σχ. 4.6ιβ(δ)]. Συνήθως στο εργοτάξιο υπάρχουν δύο - τρεις τέτοιοι μοχλοί με διαφορετικά ανοίγματα διχάλας.

Όταν οι ράβδοι του οπλισμού μορφωθούν, δένονται με ατσαλόσυρμα σε δέματα, που το καθένα αντιστοιχεί σε ένα στοιχείο της κατασκευής. Είναι μάλιστα σκόπιμο να δένεται σε κάθε δέμα και μια μικρή πινακίδα από ξύλο, χαρτόνι ή λαμαρίνα, και πάνω της να γράφονται τα χαρακτηριστικά του στοιχείου, για το οποίο προορίζεται ο οπλισμός (σχ. 4.6ιγ).

Τελευταία στην Ελλάδα έχουν αναπτυχθεί μικρές βιοτεχνίες, που μορφώνουν τον οπλισμό σύμφωνα με τα σχέδια και τον στέλνουν έτοιμο σε δέματα στα εργοτάξια. Οι βιοτεχνίες αυτές χρησιμοποιούν κάπως πιο εξελιγμένα εργαλεία και μεθόδους.



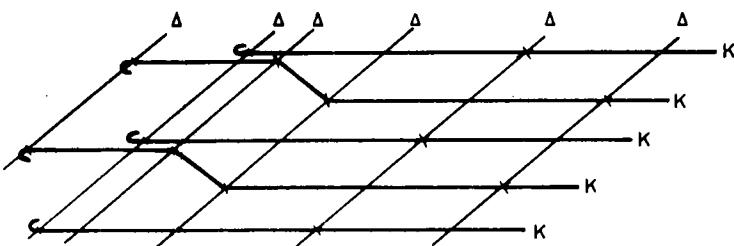
Σχ. 4.6ιγ.

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

#### 4.6.3 Τοποθέτηση και στερέωση οπλισμού.

##### a) Γενικά.

Όταν τελειώσει η κατασκευή των καλουπιών και η κατεργασία του οπλισμού, αρχίζει η τοποθέτησή του στην οριστική του θέση. Η τοποθέτηση γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες, που φαίνονται στα σχέδια κατασκευής και διευκολύνεται, αν υπάρχουν και πλήρεις κατάλογοι οπλισμού.

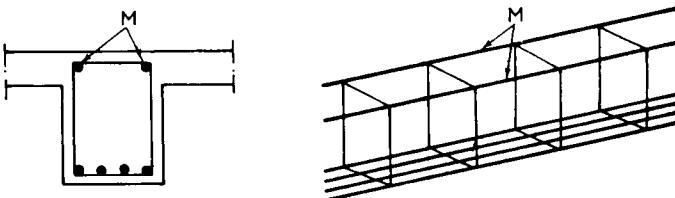


Σχ. 4.6ιδ.

Οπλισμός πλάκας: K = Κύριος. Δ = Διανομής (δευτερεύων).

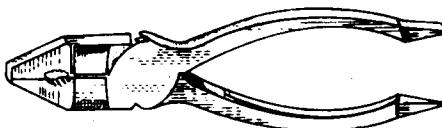
Ο οπλισμός διακρίνεται σε **κύριο** οπλισμό αντοχής και σε **δευτερεύοντα**. Σε μια πλάκα π.χ. (σχ. 4.6ιδ) ο κύριος οπλισμός ακολουθεί τη μια διεύθυνση, ενώ ο δευτερεύων ακολουθεί την κάθετη προς την πρώτη. Ο δευτερεύων οπλισμός είναι και αυτός απαραίτητος για την αντοχή του έργου και προβλέπεται από τους κανονισμούς. Πρέπει λοιπόν να μπαίνει πάντοτε, όσος και όπως προβλέπεται στα σχέδια και να του δίνεται η ίδια σημασία και προσοχή, όπως και για τον κύριο οπλισμό αντοχής.

Ο δευτερεύων οπλισμός χρησιμεύει και για έναν ακόμα σκοπό. Συνδέει μεταξύ τους όλες τις ράβδους του οπλισμού, ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο τριδιάστατο πλέγμα, που μπορεί να ισορροπεί και να στέκεται στή σωστή του θέση, ώσπου να εγκιβωτισθεί μέσα στο σκυρόδεμα (σχ. 4.6ιε). Γι' αυτό ονομάζεται και **οπλισμός συναρμολογήσεως** (Montage). Ειδικότερα στις πλάκες ονομάζεται και **οπλισμός διανομής**.



Σχ. 4.6ιε.

Οπλισμός δοκαριού: M = Οπλισμός συναρμολογήσεως (montage).



Σχ. 4.6ιστ.

Πένσα (λαβίδα) για το δέσιμο και το κόψιμο των συρμάτων που στερεώνουν τον οπλισμό στη θέση του.

Όπου διασταυρώνονται ράβδοι οπλισμού, κατά κανόνα ράβδοι του κύριου με ράβδους του δευτερεύοντα, δένονται μεταξύ τους με σύρμα. Συνήθως χρησιμοποιείται μαλακό ατσαλόσυρμα No 5. Ο τεχνίτης χρησιμοποιεί μια **πένσα** (λαβίδα, σχ. 4.6ιστ), για να κόβει το σύρμα και να το δένει πιάνοντας τις δύο άκρες κάθε κομματιού και στρίβοντάς τις πολλές φορές τη μια γύρω από την άλλη. Δεν είναι απαραίτητο να γίνεται το δέσιμο σε όλες τις διασταυρώσεις. Πρέπει πάντως να φροντίζομε να μην υπάρχει καμιά ράβδος, που να μην είναι δεμένη με κάποια άλλη, τουλάχιστον κάθε 60 ως 80 cm. Ειδικά, όσες ράβδοι προβλέπεται ότι θα θλίβονται και όχι ότι θα εφελκύονται, όπως π.χ. στις κολώνες, πρέπει να δένονται σε όλες τις διασταυρώσεις τους.

Σε πολύ σοβαρά έργα μπορεί να προβλέπεται στις διασταυρώσεις ηλεκτροσυγκόλληση των ράβδων αντί για απλό δέσιμο. Πρέπει να έχομε υπόψη μας, πως απαγορεύεται η ηλεκτροσυγκόλληση στους χάλυβες των κατηγοριών IIb και IIIb. Αν-

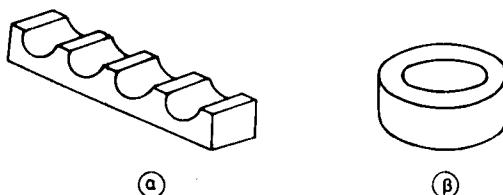
τίθεται οι χάλυβες της κατηγορίας IVb είναι πάντοτε ηλεκτροσυγκολλημένοι, αλλά η συγκόλληση γίνεται στο εργοστάσιο και στο εμπόριο κυκλοφορούν με τη μορφή έτοιμων πλεγμάτων, που είναι, όπως είπαμε, γνωστά σα **δομικά πλέγματα**. Στα πλέγματα αυτά δεν επιτρέπεται καμιά κατεργασία, εκτός από το κόψιμο τους, ώστε να αποκτήσουν τις κατάλληλες διαστάσεις, όπως προβλέπονται στα σχέδια.

Όταν ο οπλισμός μπει στη θέση του και δεθεί, ακουμπά πάνω στα καλούπια. Οι κανονισμοί όμως απαιτούν να υπάρχει μια επικάλυψη του οπλισμού, να απέχει δηλαδή κάθε στοιχείο του από την κάτω ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος.

Μια απλή και πρωτόγονη μέθοδος, για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, είναι να ανασηκώνεται με τα χέρια λίγο ο οπλισμός, μόλις αρχίσει η διάστρωση του σκυροδέματος, ώστε το σκυρόδεμα να περάσει από κάτω του και να τον επικαλύψει. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ακόμα γενικά στην Ελλάδα. Έτσι η επικάλυψη αλλού είναι μικρότερη και αλλού μεγαλύτερη από αυτή, που προβλέπουν οι κανονισμοί. Πολύ συχνά μετά το ξεκαλούπωμα ο οπλισμός φαίνεται γυμνός στην επιφάνεια σε πολλά σημεία, ιδιαίτερα στους πάτους των δοκαριών και στην κάτω επιφάνεια των πλακών.

Αντίθετα ο πάνω οπλισμός των πλακών πατιέται και έχει πολύ μεγαλύτερη επικάλυψη από την κανονική, με αποτέλεσμα να μην εξυπηρετεί σε αρκετό βαθμό το σκοπό του, μια και οι υπολογισμοί γίνονται με την παραδοχή, ότι θα τοποθετηθεί στη σωστή του θέση. Αυτό κυρίως συμβαίνει, γιατί ο οπλισμός πατιέται, όσο στρώνεται το σκυρόδεμα, επειδή πατούν πάνω του οι τεχνίτες και πολλές φορές κυκλοφορούν και καρροτσάκια. Γ' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει πάντοτε ένας σιδεράς κατά τη διάστρωση του σκυροδέματος, ώστε να διορθώνει όλες τις βλάβες ή παραμορφώσεις, που μπορεί να πάθει ο οπλισμός.

Η σωστή μέθοδος, για να διατηρείται ο οπλισμός στη σωστή του θέση και να εξασφαλίζεται η σωστή επικάλυψη, είναι να χρησιμοποιηθούν ειδικά στηρίγματα από τσιμεντοκονία. Τα στηρίγματα αυτά μπορούν να έχουν υποδοχές, όταν ο οπλισμός αποτελείται από γειτονικές παράλληλες βέργες, ή να έχουν τη μορφή δακτυλιδίου, όταν η μια ράβδος απέχει αρκετά από τις γειτονικές της (σχ. 4.6ιζ). Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν στο εμπόριο τέτοια στηρίγματα, ενώ σε άλλες πιο προηγμένες τεχνικές χώρες υπάρχουν, γι' αυτό και δε χρησιμοποιούνται.



Σχ. 4.6ιζ.

Στηρίγματα οπλισμού από τσιμεντοκονία: (α) Για δοκάρι. (β) Για κολώνα.

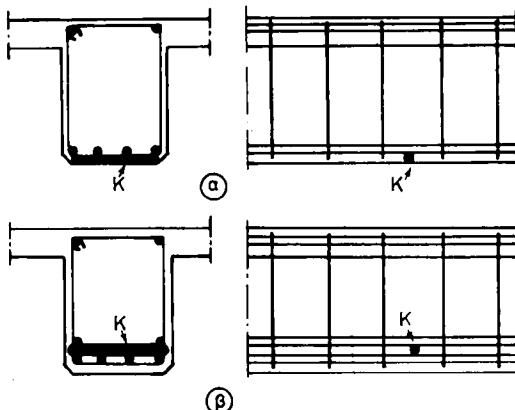
Μια μέση λύση είναι να μπαίνουν κάτω από τον οπλισμό κομμάτια από τούβλα, κεραμίδια ή πλακάκια, που να έχουν το κατάλληλο πάχος, Πρέπει να φροντίζομε να

έχουν τέτοιο σχήμα, ώστε ο οπλισμός να ακουμπά και να συγκρατείται καλά πάνω τους, χωρίς να κινδυνεύει να γλιστρίσει και να πέσει πάλι πάνω στο καλούπι.

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό και μικρά κομμάτια ράβδων οπλισμού (καβίλιες), που πάντοτε περισσεύουν στο εργοτάξιο. Η μέθοδος αυτή είναι κακή, γιατί οι καβίλιες μένουν τελικά εκτεθειμένες στην επιφάνεια. Αν σκουριάσουν οι καβίλιες, η οξείδωση θα προχωρήσει και στον οπλισμό, που εφάπτεται με αυτές, δηλαδή τελικά δεν υπάρχει η επικάλυψη, που απαιτούν οι κανονισμοί [σχ. 4.6ιη(α)].

Αντίθετα, όταν ο οπλισμός μπαίνει σε δυο στρώσεις, είναι απαραίτητο να μπαίνουν ανάμεσά τους καβίλιες με την κατάλληλη διάμετρο για να εξασφαλίζουν την απόσταση, που προβλέπουν οι κανονισμοί [σχ. 4.6ιη(β)].

Πολλές φορές τα ανοίγματα των πλακών και των δοκαριών είναι πολύ μεγάλα και έτσι τα σχέδια προβλέπουν και ράβδους οπλισμού με πολύ μεγάλο μήκος. Πρέπει πάντοτε να προσπαθούμε οι ράβδοι αυτές να είναι μονοκόμματες, αλλά αυτό δεν μπορούμε πάντοτε να το πετύχομε, είτε επειδή δεν υπάρχουν στο εμπόριο, είτε επειδή έτσι θα περίσσευαν πολλά άχρηστα ρετάλια.



Σχ. 4.6ιη.

Χαλύβδινες καβίλιες Κ για τη διατήρηση του οπλισμού στη σωστή του θέση:

(α) Κακή χρήση. (β) Σωστή χρήση.

Μπορούμε λοιπόν να αντικαταστήσουμε μια ράβδο με δύο άλλες με μικρότερο μάκρος, εφόσον βέβαια δεν έχει αντίρρηση ο υπεύθυνος μηχανικός. Πρέπει πάντως να προσέχουμε να μη διακόπτεται στην ίδια θέση περισσότερο από το 1/5 του οπλισμού. Αν ο οπλισμός δεν εφελκύεται, αλλά θλίβεται, τότε μπορεί να διακοπεί στην ίδια θέση και μεγαλύτερο ποσοστό.

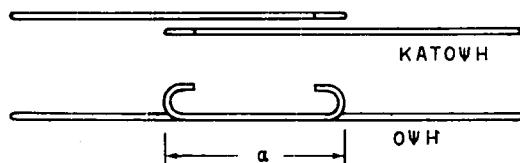
Η ένωση των δύο κομματιών της ράβδου του οπλισμού μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

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

Στην πρώτη περίπτωση τα δύο κομμάτια καταλήγουν σε άγκιστρα, άσχετα με

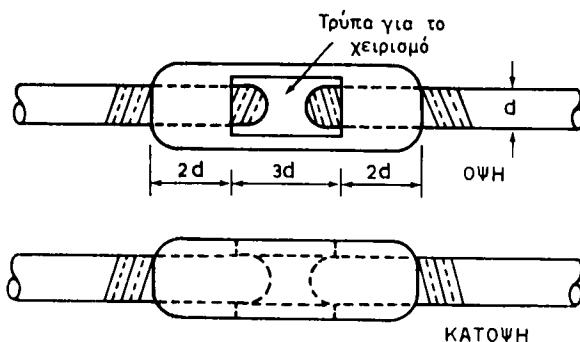
την κατηγορία του χάλυβα, και υπάρχουν και τα δύο το ένα δίπλα στο άλλο σε ένα μήκος  $a$ , που εξαρτάται τόσο από την κατηγορία του σκυροδέματος, όσο και από την κατηγορία του χάλυβα (σχ. 4.6ιθ). Το  $a$  μεγαλώνει, όσο αυξάνει η αντοχή του χάλυβα, και μικραίνει, όσο αυξάνει η αντοχή του σκυροδέματος. Έτσι για χάλυβα κατηγορίας I είναι κατά προσέγγιση  $a = 60$  d για σκυρόδεμα B120,  $a = 48$  d για B160,  $a = 40$  d για B225 και  $a = 30$  d για B300, ενώ για χάλυβα κατηγορίας III είναι  $a = 60$  d για σκυρόδεμα B225. Αν δεν υπάρχουν άγκιστρα, το μήκος  $a$  πρέπει να αυξηθεί τουλάχιστον κατά 50%. Σε όλες τις παραπάνω σχέσεις με d σημειώνεται η διάμετρος της ράβδου του οπλισμού.

Η ένωση με απλή παράθεση απαγορεύεται για διαμέτρους μεγαλύτερες από



Σχ. 4.6ιθ.

Κατά μήκος σύνδεση ράβδων οπλισμού με απλή παράθεση.



Σχ. 4.6κ.

Κατά μήκος σύνδεση ράβδων οπλισμού με αρμοκλείδα.

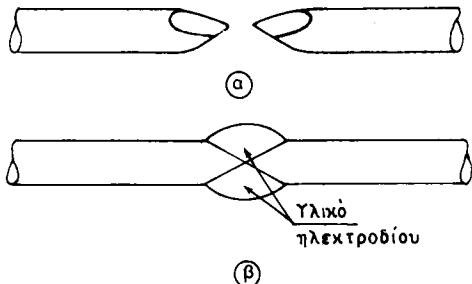
26 mm και για τον οπλισμό στοιχείων, που υπόκεινται σε καθαρό εφελκυσμό και όχι σε κάμψη, όπως π.χ. σε ελκυστήρες, αναρτήρες κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζεται μια από τις άλλες δυο μεθόδους.

Οι αρμοκλείδες (σχ. 4.6κ) γίνονται από χάλυβα με αντοχή τουλάχιστον ίση με την αντοχή του οπλισμού. Στις δύο άκρες των ράβδων, που πρόκειται να ενωθούν, ανοίγονται βόλτες με το βιδολόγο και έτσι η διατομή τους μικραίνει. Για το λόγο αυτό στους υπολογισμούς η αντοχή της ράβδου στη θέση της ενώσεως λογαριάζεται μειωμένη κατά 20%. Η διατομή της αρμοκλείδας πρέπει παντού, ιδιαίτερα εκεί, όπου υπάρχουν οι τρύπες για το βίδωμα, να είναι μεγαλύτερη από το 80% της διατομής της ράβδου, για να μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια τις δυνάμεις από το

ένα κομμάτι της ράβδου στο άλλο. Οι βόλτες στις δύο άκρες της αρμοκλείδας είναι αντίστροφες, ώστε, όταν τη στρίβωμε με ένα κατάλληλο κλειδί, τα δύο κομμάτια της ράβδου βιδώνονται και πλησιάζουν μεταξύ τους.

Η ένωση με ηλεκτροσυγκόλληση απαγορεύεται στο εργοτάξιο, όπως έχομε αναφέρει και πιο πριν, για τις κατηγορίες χάλυβα IIb, IIIb και IVb. Όταν γίνεται ηλεκτροσυγκόλληση για τις υπόλοιπες κατηγορίες, οι άκρες των δύο ράβδων μορφώνονται σε κώνους ή καλύτερα σε σφήνες [σχ. 4.6κα(α)]. Οι κορυφές των κώνων ή οι ακμές των σφηνών έρχονται σε επαφή και τα κενά συμπληρώνονται με το υλικό των ηλεκτροδίων [σχ. 4.6κα(β)]. Αν και στη θέση της ενώσεως η διατομή της ράβδου είναι συνήθως σημαντικά μεγαλύτερη από την αρχική, το σημείο της ενώσεως είναι πάντοτε ένα σημείο ασθενές. Γι' αυτό οι κανονισμοί ορίζουν πως στους υπολογισμούς η αντοχή της ράβδου στο σημείο της ενώσεως πρέπει και πάλι να λογαριάζεται μειωμένη κατά 20%.

Υπάρχουν στους κανονισμούς και άλλες διατάξεις σχετικές με τον οπλισμό του σκυροδέματος, όπως π.χ. αυτές, που καθορίζουν σε κάθε περίπτωση το μέγιστο και τον ελάχιστο επιτρέπομενο οπλισμό, τις μέγιστες αποστάσεις ανάμεσα σε παράλληλες ράβδους, το μέγιστο αριθμό στρώσεων κλπ. Οι διατάξεις αυτές δεν είναι γενικές, αλλά αναφέρονται σε ορισμένες κάθε φορά κατηγορίες κατασκευών από σκυρόδεμα και γι' αυτό αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.



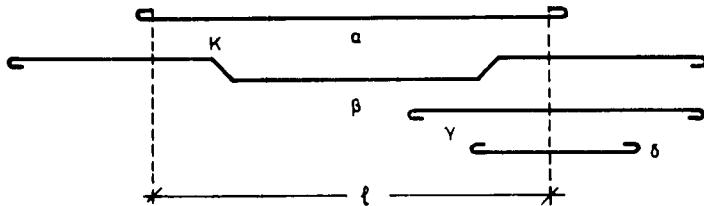
**Σχ. 4.6κα.**

Κατά μήκος σύνδεση ράβδων οπλισμού με ηλεκτροσυγκόλληση.

### Β) Πλάκες

Οι απλές πλάκες έχουν τον κύριο οπλισμό τους παράλληλο με τις μικρές πλευρές τους και τον οπλισμό διανομής κάθετο με τις πλευρές αυτές. Πρώτα τοποθετείται ο κύριος οπλισμός, που αποτελείται από δύο τύπους ράβδων (α) και (β) κατά κανόνα (σχ. 4.6κβ). Συνήθως όλες οι ράβδοι έχουν την ίδια διάμετρο και τοποθετούνται εναλλάξ μία τύπου (α) και μία τύπου (β). Οι κανονισμοί επιτρέπουν ο οπλισμός τύπου (β) να είναι περισσότερος από το μισό, όχι όμως περισσότερος από τα δύο τρίτα του συνόλου του κύριου οπλισμού, γι' αυτό δεν αποκλείεται οι ράβδοι τύπου (β) να έχουν διάμετρο κατά 2 πτυ μεγαλύτερη από τις ράβδους τύπου (α).

Είναι φανερό, ότι οι ράβδοι τύπου (β) δεν προχωρούν πέρα από το στήριγμα της πλάκας, όπως φαίνεται στο σχήμα, όταν δεν υπάρχει γειτονική πλάκα. Αντίθετα, όταν υπάρχει γειτονική πλάκα, είναι πιθανό ο κύριος οπλισμός να πέριλαμβάνει στην



Σχ. 4.θκβ.

Συνηθισμένα σχήματα των ράβδων οπλισμού πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα.

περιοχή της στήριξης και ράβδους τύπου (γ) στο πάνω μέρος της πλάκας ή, σπανιότερα, και ράβδους τύπου (δ) στο κάτω (σχ. 4.θκβ).

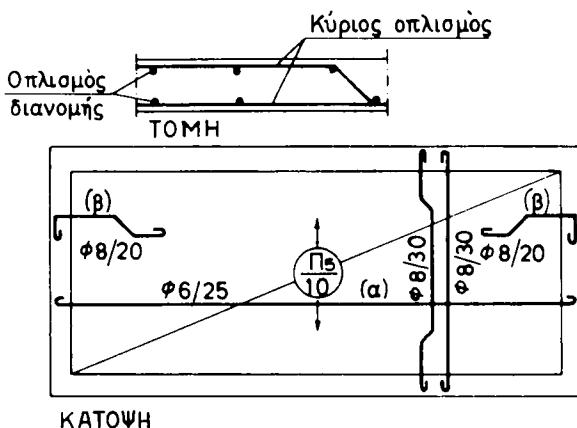
Ο δευτερεύων οπλισμός διανομής τοποθετείται, αφού προηγουμένως τοποθετηθεί ο κύριος οπλισμός, και συνδέεται μ' αυτόν με σύρμα σε ορισμένες διασταύρωσεις τους, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως. Κατ' εξαίρεση μέρος του οπλισμού διανομής στην περιοχή των στηρίξεων είναι σκόπιμο να τοποθετείται και να συνδέεται, όταν τοποθετηθούν οι ράβδοι τύπου (α) και (δ) και πριν τοποθετηθούν οι ράβδοι τύπου (β) και (γ), επειδή οι τελευταίες αυτές εμποδίζουν κάπως την εργασία. Αυτός είναι ο λόγος, που συχνά οι ράβδοι αυτές του οπλισμού διανομής παραλείπονται, πράγμα που δεν είναι σωστό.

Η κάμψη Κ στις ράβδους τύπου (β) απέχει από τον άξονα της στηρίξεως, όσο περίπου είναι το 1/5 του ανοίγματος  $l$ , αν η πλάκα συνεχίζεται πέρα από τη στήριξη, και μόνο το 1/10 ως 1/8 του ανοίγματος, αν δεν συνεχίζεται. Όταν η πλάκα συνεχίζεται πέρα από τη στήριξη, οι ράβδοι τύπου (β) προχωρούν στο γειτονικό άνοιγμα σε μήκος ίσο με το 1/4 του μεγαλύτερου από τα δύο ανοίγματα, ενώ, αν η πλάκα συνεχίζεται με πρόβολο, προχωρούν ως την άκρη του. Είναι μάλιστα σκόπιμο στην περίπτωση αυτή να κάμπονται στην άκρη προς τα κάτω, ώστε να στηρίζονται στο καλούπι και να μη φεύγουν από τη σωστή τους θέση.

Οι οδηγίες αυτές εφαρμόζονται βέβαια μόνον, όταν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία στα σχέδια ή στους κατάλογους οπλισμού.

Οι ράβδοι του κύριου οπλισμού στην κεντρική ζώνη της πλάκας, εκεί δηλαδή όπου υπάρχουν ράβδοι τύπου (α) και ράβδοι τύπου (β), δεν επιτρέπεται να απέχουν μεταξύ τους, περισσότερο από μιάμιση φορά το πάχος της πλάκας και πάντως όχι περισσότερο από 20 cm. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της δαπάνης, αν το πάχος μιας πλάκας γίνει πολύ μικρό, επειδή ο οπλισμός θα αυξηθεί καί, όπως είναι ακριβό υλικό, μπορεί η αύξηση του κόστους του να ξεπεράσει την οικονομία από τον περιορισμό του δύκου του σκυροδέματος. Σημειώνομε πως η διάμετρος των ράβδων του οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον Ø8.

Ο οπλισμός διανομής πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το 1/5 του αντίστοιχου κύριου οπλισμού και πάντως όχι λιγότερος από μια ράβδο Ø6 κάθε 25 cm. Για παράδειγμα μια πλάκα με κύριο οπλισμό Ø12 κάθε 10 cm ( $f_e = 11,30 \text{ cm}^2/\text{m}$ ) χρειάζεται οπλισμό διανομής τουλάχιστον Ø6 ανά 12,5 cm ( $f_e = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}$ ). Αντίθετα σε μια πλάκα με κύριο οπλισμό Ø8 ανά 16 cm ( $f_e = 3,02 \text{ cm}^2/\text{m}$ ) φθάνει ο ελάχιστος οπλισμός διανομής Ø6 ανά 25 cm ( $f_e = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$ ), αν και είναι πολύ



Σχ. 4.6κγ.

Δευτερεύων οπλισμός (διανομής) σε πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα:

(α) Στο άνοιγμα. (β) Στις δευτερεύουσες στηρίξεις.

περισσότερος από το 1/5 του πρώτου. Ο οπλισμός διανομής μπαίνει πάνω από τον κύριο οπλισμό της πλάκας, όταν αυτός βρίσκεται στο κάτω μέρος της πλάκας και αντίστροφα, όταν βρίσκεται στο πάνω (σχ. 4.6κγ).

Στην Ελλάδα υπάρχει η τάση να γίνεται κακώς εννοούμενη οικονομία στον οπλισμό διανομής των πλακών. Η τακτική αυτή είναι παράνομη, αλλά και επικίνδυνη, γιατί μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιασθούν ρωγμές παράλληλες προς τον κύριο οπλισμό της πλάκας. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να μη δημιουργούν κινδύνους για την ευστάθεια της κατασκευής, αλλά μπορεί από αυτές να πέρασουν τα νερά της βροχής. Σημειώνομε μάλιστα πως οι κίνδυνοι αυτοί προκαλούνται για μια οικονομία εντελώς ανάξια λόγου.

Στις απλές πλάκες πρέπει να μπαίνει και ένας οπλισμός κάθετος προς τον κύριο στο πάνω μέρος της πλάκας στις θέσεις, όπου γίνεται η δευτερεύουσα στήριξη των πλακών [σχ. 4.6κγ(β)]. Οι κανονισμοί δεν καθορίζουν πόσος πρέπει να είναι ο οπλισμός αυτός, αλλά είναι σκόπιμο να μην είναι λιγότερος από το διπλάσιο του οπλισμού διανομής, εκτός αν τα σχέδια ή οι κατάλογοι οπλισμού προβλέπουν περισσότερο.

Όταν η μικρή πλευρά μιας πλάκας είναι μεγαλύτερη από τα 2/3 της μεγάλης πλευράς της οι κανονισμοί απαιτούν να μπαίνει κύριος οπλισμός και κατά τις δυο διευθύνσεις. Ο οπλισμός τότε μπαίνει αναγκαστικά σε δυο στρώσεις. Στην κάτω στρώση μπαίνει ο οπλισμός που είναι παράλληλος με τις μικρότερες πλευρές, για να παραλάβει την μεγαλύτερη καμπτική ροπή, που αναπτύσσεται κατά κανόνα σε αυτή τη διεύθυνση. Στην πάνω στρώση μπαίνει ο οπλισμός, που είναι παράλληλος με τις μεγαλύτερες πλευρές. Για τον οπλισμό αυτό το στατικό ύψος είναι μικρότερο και γενικά μπορεί να θεωρείται ίσο με το πάχος της πλάκας μειωμένο κατά 2,5 cm. Ο οπλισμός αυτός δεν μπορεί ποτέ να είναι λιγότερος από το 1/5 του οπλισμού της άλλης διευθύνσεως ούτε από 4 ράβδους Ø6 σε κάθε μέτρο, μπορούν όμως οι ράβδοι του να απέχουν μεταξύ τους το πολύ ως 25 cm.

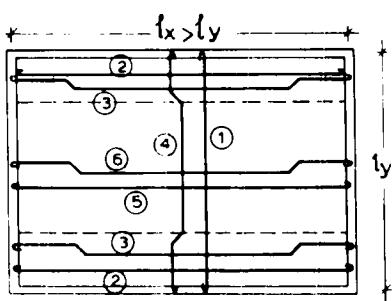
Ο οπλισμός τοποθετείται με τη σειρά προτεραιότητας, που φαίνεται στο σχήμα 4.6κδ.

Σπανιότερα εφαρμόζονται πλάκες με νευρώσεις και πλάκες, που στηρίζονται απευθείας στις κολώνες, χωρίς να μεσολαβούν δοκάρια. Για την τοποθέτηση του οπλισμού στις πλάκες αυτές ισχύουν γενικά, όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, υπάρχουν όμως και μερικές ιδιομορφίες, που αναπτύσσονται στο βιβλίο του **Οπλισμένου Σκυροδέματος**.

Τέλος, όταν η πλάκα ανήκει σε μια κοιτόστρωση, όταν δηλαδή ανήκει σε μια θεμελίωση και ακουμπά στο έδαφος, ο οπλισμός της είναι ανάποδος. Οι ράβδοι τύπου (α) βρίσκονται κοντά στην επάνω της επιφάνεια και οι ράβδοι τύπου (γ) κοντά στην κάτω. Κατά τα άλλα ισχύουν, όσα αναπτύχθηκαν προηγουμένως.

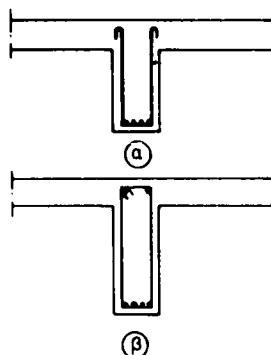
#### γ) Δοκάρια και πεδιλοδοκοί.

Ο οπλισμός των δοκαριών διακρίνεται σε **διαμήκη** και σε **εγκάρσιο**. Ο εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από τους **συνδετήρες**, που μπορούν να έχουν σχήμα **αναβολέα**, δηλαδή ενός ανάποδου Π, αλλά συνήθως έχουν το σχήμα ενός κλειστού ορθογώνιου παραλληλόγραμμου (σχ. 4.6κε). Το επίπεδο των συνδετήρων είναι κάθετο προς τον άξονα του δοκαριού. Σημειώνομε ότι οι συνδετήρες πρέπει να είναι υποχρεωτικά κλειστοί, όταν το δοκάρι έχει θλιβόμενο οπλισμό, έχει δηλαδή οπλισμό και στο πάνω και στο κάτω μέρος του.



Σχ. 4.6κδ.

Σειρά προτεραιότητας για τη διάστρωση του οπλισμού σε πλάκα, που οπλίζεται σταυροειδώς.

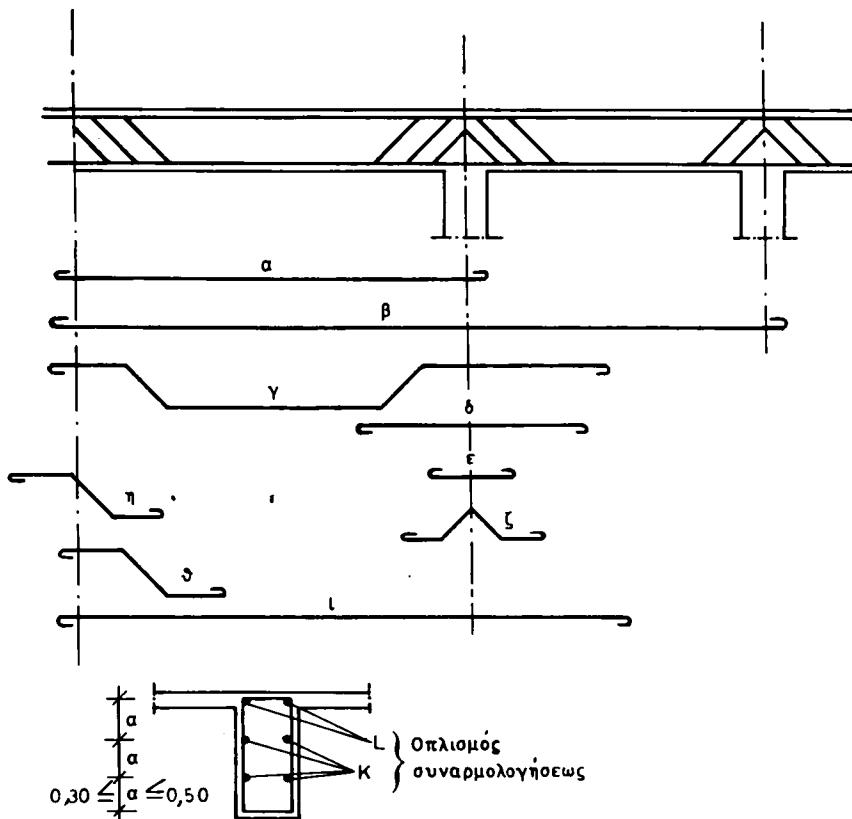


Σχ. 4.6κε.

Συνδετήρες δοκαριών:  
(α) Ανοικτοί (άναβολεις). (β) Κλειστοί.

Οι συνδετήρες έχουν συνήθως διάμετρο 5 ως 6 mm, οι αποστάσεις τδυς όμως δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 20 cm. Αυτό το τονίζομε, γιατί πολλές φορές στα σχέδια δεν αναφέρονται καθόλου οι συνδετήρες.

Ο διαμήκης οπλισμός περιλαμβάνει τον οπλισμό αντοχής και τον οπλισμό συναρμολογήσεως. Για τον οπλισμό αντοχής χρησιμοποιούνται ράβδοι με διάμετρο τουλάχιστον 12 mm, εκτός αν πρόκειται για δοκάρια με πολύ μικρά φορτία, οπότε επιτρέπεται κατά εξαίρεση να χρησιμοποιηθούν και ράβδοι με διάμετρο 10 mm. Αντίθετα πρέπει να αποφεύγονται διάμετροι μεγαλύτερες από 26 mm, γιατί τότε χρειάζεται κάποιος ειδικός έλεγχος, για να εξασφαλίζεται η συνάφεια του οπλισμού με το σκυρόδεμα. Επίσης έχομε ήδη αναφέρει ότι για τις διαμέτρους αυτές δεν επιτρέπεται η σύνδεση με απλή παράθεση, αλλά χρειάζεται η-



Σχ. 4.8η.

Συνηθισμένα σχήματα ράβδων οπλισμού για δοκάρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

λεκτροσυγκόλληση ή αρμοκλείδα. Γι' αυτό και στο εμπόριο δεν κυκλοφορούν συνήθως διάμετροι πάνω από τα 26 mm και χρειάζεται ειδική παραγγελία.

Ο οπλισμός αντοχής αποτελείται από ράβδους διαφόρων κατηγοριών, που έχουν σχήματα παρόμοια με τις ράβδους του κύριου οπλισμού αντοχής, των πλακών (σχ. 4.8η). Μια πρώτη κατηγορία (α) περιλαμβάνει ευθύγραμμες ράβδους, που μπαίνουν στο κάτω μέρος της νευρώσεως και καλύπτουν όλο το μάκρος του ανοίγματος. Οι ράβδοι αυτής της κατηγορίας, που ανήκουν σε γειτονικά ανοίγματα, πρέπει να διασταυρώνονται στα στηρίγματα σε μάκρος 30 ως 50 cm, εκτός αν τα σχέδια προβλέπουν μεγαλύτερο μήκος επικαλύψεως. Πολλές φορές οι ράβδοι αυτής της κατηγορίας καλύπτουν δύο ή και περισσότερα γειτονικά ανοίγματα, ιδιαίτερα όταν τα ανοίγματα είναι μικρά [σχ. 4.8η(β)]. Αντίθετα απαγορεύεται να καλύπτουν μόνο ένα μέρος ενός ανοίγματος.

Μια δεύτερη κατηγορία ράβδων (γ) έχει τέτοιο σχήμα, ώστε το μεσαίο τους κομμάτι βρίσκεται στο κάτω μέρος της νευρώσεως στη μέση του ανοίγματος, ενώ το ένα ή και τα δύο άκρα τους βρίσκονται στο πάνω μέρος του δοκαριού στην περιοχή των στηρίξεων. Τα ενδιάμεσα κομμάτια των ράβδων αυτών είναι λοξά με κλίση ίση συνήθως με 45°. Σχεδόν πάντοτε υπάρχουν τέτοιες ράβδοι στα δοκάρια,

επιτρέπεται όμως και να μην υπάρχουν, ενώ οι ράβδοι της πρώτης κατηγορίας είναι πάντοτε απαραίτητες.

Μια τρίτη κατηγορία αποτελούν οι ράβδοι, που μπαίνουν στην περιοχή των στηριγμάτων των δοκαριών. Οι ράβδοι αυτές μπορεί να είναι ευθύγραμμες και να μπαίνουν είτε στο πάνω είτε στο κάτω μέρος του δοκαριού [σχ. 4.6κστ(δ) και (ε)]. Μπορεί όμως να έχουν και δύο λοξά κομμάτια — και σπανιότερα ένα — ετσι, ώστε το μεσαίο τμήμα τους να βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκαριού στη θέση ακριβώς του στηρίγματος, ενώ οι άκρες τους — ή η μια τους άκρη — να βρίσκονται στο κάτω μέρος του δοκαριού [σχ. 4.6κστ(ζ)]. Ότι ράβδοι, που έχουν μόνον ένα λοξό κομμάτι [σχ. 4.6κστ(η) και (θ)], απαγορεύονται γενικά κατά τους ελληνικούς κανονισμούς, που είναι, οπως ειπαμε, σχεδόν μετάφραση των γερμανικών. Για να δεχθούμε τέτοιες ράβδους, πρέπει το πάνω οριζόντιο τμήμα τους να προχωρεί αρκετά πέρα από το στήριγμα μέσα στο γειτονικό άνοιγμα.

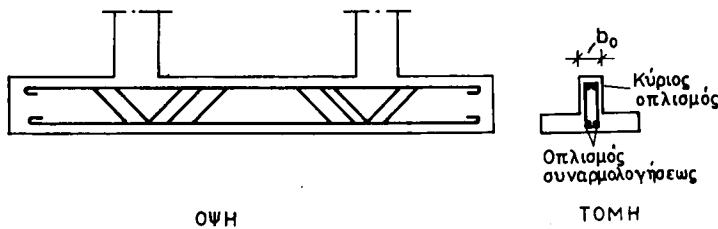
Ο οπλισμός **συναρμολογήσεως** αποτελείται κυρίως από δύο βέργες, που συνδέουν τις πάνω γωνίες των συνδετήρων του δοκαριού [σχ. 4.6κστ(ι) και L]. Συνήθως για τον οπλισμό αυτό χρησιμοποιείται οπλισμός κατηγορίας I με διάμετρο 5 ως 6mm και δε λογαριάζεται καθόλου σαν οπλισμός αντοχής. Είναι όμως πιο σωστό να χρησιμοποιείται οπλισμός της ίδιας κατηγορίας με τον οπλισμό αντοχής, με διάμετρο τουλάχιστο 10 mm και να λογαριάζεται στα στηρίγματα και αυτός σαν οπλισμός αντοχής. Εννοείται οτι, αν υπάρχει οπλισμός αντοχής στο πάνω μέρος του δοκαριού σε όλο του το μάκρος, ο οπλισμός συναρμολογήσεως είναι περιπτός.

Στα συνεχή δοκάρια, που έχουν μεγάλο μάκρος, χρειάζεται συχνά να χρησιμοποιείται οπλισμός συναρμολογήσεως από δύο ή περισσότερα κομμάτια. Τα κομμάτια αυτά συνδέονται μεταξύ τους με απλή παράθεση. Οι θέσεις για τις συνδέσεις αυτές πρέπει να διαλέγονται κοντά στο μέσο κάποιου ανοίγματος και όχι κοντά σε στήριγμα, επειδή εκεί συγκεντρώνεται πολύς οπλισμός αντοχής στο πάνω μέρος του δοκαριού και δε συμφέρει να έχομε και διπλές ράβδους συναρμολογήσεως.

Όταν το ύψος του δοκαριού είναι μεγάλο, πρέπει να μπαίνει οπλισμός συναρμολογήσεως και σε ενδιάμεσες θέσεις κοντά στις κατακόρυφες έδρες του δοκαριού [σχ. 4.6κστ(Κ)]. Οι ράβδοι του οπλισμού αυτού έχουν διάμετρο 5 ως 6 mm και απέχουν η μια από την άλλη γύρω στα 30 ως 50 cm. Ο οπλισμός αυτός είναι υποχρεωτικός κατά τους κανονισμούς, όταν το ύψος του δοκαριού ξεπερνά τα 1,40 m, πράγμα που σπάνια συμβαίνει σε συνηθισμένα οικοδομικά έργα, αλλά δεν είναι ασυνήθιστο σε άλλα δομικά έργα, όπως π.χ. στις γέφυρες. Ο οπλισμός συναρμολογήσεως στις κατακόρυφες έδρες του δοκαριού πρέπει τότε να είναι συνολικά τουλάχιστον ίσος με το 8% του οπλισμού αντοχής, που χρειάζεται στη μέση του αντίστοιχου ανοίγματος. Εννοείται και πάλι ότι ο οπλισμός αυτός είναι περιπτός, όταν άλλοι λόγοι, π.χ. καταπόνηση του δοκαριού σε στρέψη, επιβάλλουν να υπάρχει στην ίδια θέση οπλισμός αντοχής.

Όσα αναφέρθηκαν για τα σχήματα και τη διάταξη των ράβδων του οπλισμού των δοκαριών ισχύουν και για τις πεδιλοδοκούς. Η μόνη διαφορά είναι ότι όλα είναι ανάποδα, τα πάνω κάτω, μια και οι πεδιλοδοκοί φορτίζονται από το έδαφος από κάτω προς τα πάνω, ενώ τα συνηθισμένα δοκάρια φορτίζονται από πάνω προς τα κάτω (σχ. 4.6κζ).

Όταν βάζομε τον οπλισμό σε ένα δοκάρι, πρέπει να τηρούμε όλους τους γενι-



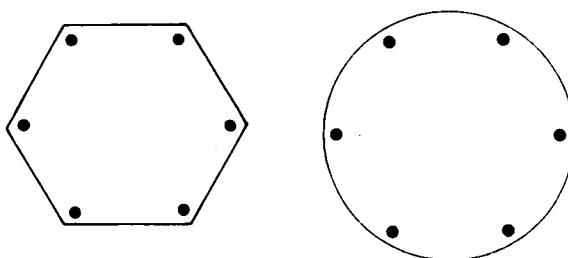
Σχ. 4.6κζ.

Διάταξη οπλισμού σε πεδιλοδοκό από οπλισμένο σκυρόδεμα.

κούς περιορισμούς, που αναφέρονται στο πάχος της επικαλύψεως του οπλισμού, στις ελάχιστες αποστάσεις ανάμεσα σε γειτονικές ράβδους, στις ενώσεις των ράβδων κλπ. [παράγρ. 4.6.2 (γ) και 4.6.3]. Ο οπλισμός αντοχής στην περιοχή, όπου υπάρχουν εφεκτικότερες τάσεις, επιτρέπεται να μπαίνει σε δύο στρώσεις, όταν δε χωρά σε μια, ποτέ όμως σε περισσότερες. Αντίθετα εκεί, όπου υπάρχουν θλιπτικές τάσεις, όλος ο οπλισμός πρέπει να μπαίνει σε μια μόνο στρώση. Οι περιορισμοί αυτοί ισχύουν για τα οικοδομικά έργα, αντίθετα στις γέφυρες επιτρέπονται περισσότερες, στρώσεις οπλισμού.

### δ) Κολώνες.

Ο οπλισμός στις κολώνες, όπως και στα δοκάρια, διακρίνεται σε **διαμήκη** και **εγκάρσιο**. Ο διαμήκης οπλισμός είναι γενικά κατακόρυφος και αποτελείται τουλάχιστον από τέσσερεις ράβδους, που μπαίνουν κοντά στις γωνιές της ορθογωνικής διατομής της κολώνας. Άν η διατομή είναι πολυγωνική, είναι σωστό να υπάρχει τουλάχιστο μια ράβδος κοντά σε κάθε κορυφή της και αν είναι κυκλική, πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον έξι ράβδοι (σχ. 4.6η). Οι κανονισμοί επιβάλλουν ο διαμήκης αυτός οπλισμός να έχει διάμετρο τουλάχιστον 14 mm. Κατά εξαίρεση κολώνες με διατομή  $20 \times 20$  cm μπορούν να έχουν οπλισμό από τέσσερεις ράβδους με διάμετρο 12 mm, ενώ αντίθετα οι γωνιακές κολώνες πρέπει να έχουν οπλισμό από τέσσερεις ράβδους με διάμετρο 20 mm σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό, ή γενικότερα με συνολική διατομή τουλάχιστον ίση με  $12 \text{ cm}^2$ .



Σχ. 4.6κη.

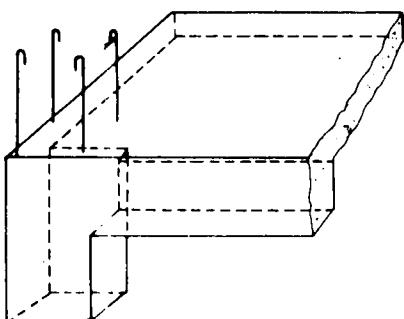
Διαμήκης οπλισμός σε κολώνες με διατομή πολυγωνική ή κυκλική.

Ο διαμήκης οπλισμός πρέπει να έχει συνολικό εμβαδό διατομής τουλάχιστον ίσο με τα 8 χιλιοστά της διατομής της κολώνας. Αν όχι για λόγους αντοχής, αλλά για λόγους αισθητικούς π.χ., μια κολώνα έχει διαστάσεις μεγαλύτερες από τις απαραίτητες, επιτρέπεται ο οπλισμός της να περιορισθεί στα 8 χιλιοστά-της διατομής, που θα ήταν αναγκαία σύμφωνα με τους υπολογισμούς. Και πάλι όμως δεν είναι σωστό ο διαμήκης οπλισμός να είναι λιγότερος από τα 5 χιλιοστά της πραγματικής διατομής της κολώνας.

Οι κανονισμοί ορίζουν και μέγιστα όρια για το διαμήκη οπλισμό των κολωνών. Για τις κατηγορίες σκυροδέματος B120 και B160 δεν επιτρέπεται να ξεπερνά τα 30 χιλιοστά και για τις κατηγορίες B225 και B300 τα 60 χιλιοστά της διατομής της κολώνας. Ο αντισεισμικός κανονισμός επιτρέπει να μπαίνει και πρόσθετος διαμήκης οπλισμός κοντά στο κεφάλι και στο πόδι κάθε κολώνας, αλλά κι αυτός δεν επιτρέπεται να είναι περισσότερος από το μισό του κανονικού οπλισμού, που πρέπει να είναι σύμφωνος με τα όρια, που αναφέραμε. Τέλος ο διαμήκης οπλισμός πρέπει να διατάσσεται σε μια στρώση κοντά στην περίμετρο της διατομής και μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις ο πρόσθετος οπλισμός για το σεισμό μπορεί να μπει σε δεύτερη σειρά, όχι όμως σε περισσότερες.

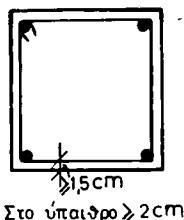
Οι πολυόρφοφες κολώνες δεν κατασκευάζονται γενικά μονοκόμματες, αλλά για κάθε όροφο χωριστά. Επομένως κι ο διαμήκης οπλισμός τους αποτελείται από ράβδους, που έχουν το ύψος ενάς μόνον ορόφου κατά κανόνα. Αυτό γίνεται και για λόγους ευκολίας της κατασκευής, αλλά και επειδή συνήθως ο οπλισμός αλλάζει από όροφο σε όροφο. Πρέπει όμως ο διαμήκης οπλισμός της κολώνας να έχει μήκος μεγαλύτερο από το ύψος του ορόφου(σχ.4.6κθ)κατά ένα μήκας  $a = \lambda \cdot d$ , όπου  $d$  η διάμετρος των ράβδων και  $\lambda$  ο συντελεστής, που αναφέρεται στην παράγραφο 4.6.3 και ισχύει γενικά, για κάθε περίπτωση, που συνδέονται ράβδοι οπλισμού με απλή παράθεση. Θυμίζομε ότι ο συντελεστής  $\lambda$  εξαρτάται από τις ποιότητες σκυροδέματος και οπλισμού και μικραίνει, όσο καλύτερη είναι η πρώτη, ενώ μεγαλώνει, όσο καλύτερη είναι η δεύτερη. Το μήκος αυτό αείχει πάνω από τον όροφο και αποτελεί τις **αναμονές** του οπλισμού για την κατασκευή του επόμενου ορόφου.

Ο εγκάρσιος οπλισμός στις κολώνες αποτελείται από συνδετήρες. Κατά κανόνα οι συνδετήρες έχουν το σχήμα της διατομής της κολώνας και μπαίνουν κοντά στην επιφάνειά της έξω από το διαμήκη οπλισμό, ώστε να τον αγκαλιάζουν και να μένει έξω από αυτούς μόνο το απαραίτητο πάχος για την επικάλυψή τους (σχ. 4.6λ) Όταν η διατομή της κολώνας δεν είναι κυρτή (σχ. 4.6λα), δεν επιτρέπεται να εχουν και οι συνδετήρες τέτοιο σχήμα. Υποχρεωτικά τότε μπαίνουν δυστή και περισσότερες κατηγορίες συνδετήρων, ώστε καθένας να έχει κυρτό σχήμα και όλοι μαζί να καλύπτουν ολόκληρη την περίμετρο της διατομής.

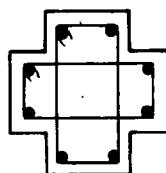


**Σχ. 4.6κθ.**

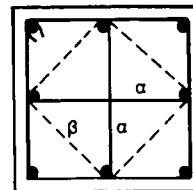
Οπλισμός υναμυνής κολώνας σε πολυόρφοφη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.

**Σχ. 4.6λ.**

Συνδετήρες κολώνας με ορθογωνική διατομή και τέσσερεις ράβδους για κύριο οπλισμό.

**Σχ. 4.6λα.**

Διάτοξη συνδετήρων σε κολώνα, που η διατομή της δεν είναι κυρτή.

**Σχ. 4.6λβ.**

Διάταξη συνδετήρων σε κολώνα με οκτώ ράβδους κύριου οπλισμού. Εκτός από τους κύριους συνδετήρες μπαίνουν και πρόσθετοι (είτε α, είτε β).

Οι συνδετήρες, που βρίσκονται στην περίμετρο της διατομής της κολώνας, είναι αρκετοί, όταν όλες οι ράβδοι του κύριου οπλισμού περνούν πολύ κοντά από τις γωνιές τους ή από τα σημεία διασταυρώσεως. Όταν αντίθετα υπάρχει διαμήκης οπλισμός και σε άλλες θέσεις, π.χ. στα μέσα των πλευρών της διατομής (σχ. 4.9ιγ), χρειάζονται και πρόσθετοι συνδετήρες, ώστε κάθε διαμήκης ράβδος να μη μπορεί να μετακινηθεί προς καμιά διεύθυνση στα σημεία, όπου συναντά τους συνδετήρες. Το ζήτημα αυτό είναι πολύ σοβαρό, επειδή ο διαμήκης οπλισμός στις κολώνες καταπονείται σε θλίψη και πρέπει να τον προστατέψουμε από κάθε κίνδυνο λυγισμού.

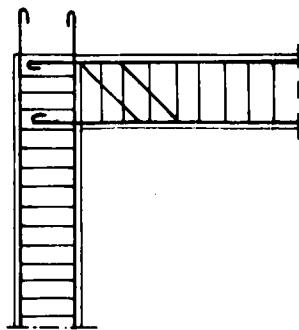
Η απόσταση ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς συνδετήρες δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από τη μικρότερη πλευρά της διατομής της κολώνας, ούτε από το 12πλάσιο της πιο λεπτής ράβδου του κύριου οπλισμού. Οι περιορισμοί αυτοί αναφέρονται στους συνδετήρες της περιμέτρου, ενώ οι πρόσθετοι συνδετήρες μπορεί να είναι κάπως αραιότεροι.

Πρέπει τέλος να τονίσουμε ότι οι συνδετήρες πρέπει να συνεχίζονται κανονικά και στα κομμάτια της κολώνας, που βρίσκονται μέσα σε δοκάρια, πλάκες, πέδιλα και γενικότερα μέσα σε άλλα στοιχεία της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα (σχ. 4.9ιδ). Στην Ελλάδα δυστυχώς, κυρίως για λόγους ευκολίας και λιγότερο για λόγους οικονομίας, οι συνδετήρες αυτοί παραλείπονται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντοχή του έργου και ιδιαίτερα στην περίπτωση σεισμού.

Οι κανονισμοί προβλέπουν κι ένα άλλο είδος εγκάρσιου οπλισμού για μια ιδιαίτερη κατηγορία κολωνών, που λέγονται **σπειροειδώς οπλισμένες** και επιτρέπεται να κατασκευάζονται μόνον από σκυρόδεμα κατηγορίας B225 ή B300.

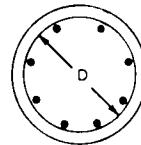
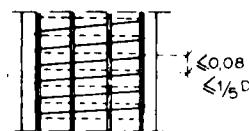
Οι κολώνες αυτές έχουν συνήθως διατομή με σχήμα κύκλου ή κανονικού πολυγώνου και ο διαμήκης οπλισμός τους διατάσσεται έτσι, ώστε να περνά από τα σημεία ενός οριζόντιου κύκλου. Γύρω από το διαμήκη οπλισμό μπαίνει ο εγκάρσιος, που έχει το σχήμα έλικας και δε χρησιμεύει μόνο, για να στερεώνει το διαμήκη οπλισμό και να τον προστατεύει από τό λυγισμό, αλλά και για να παίρνει ένα μέρος του φορτίου (σχ. 4.6λδ).

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι κολώνες, που υπάρχουν στους ανώτερους ορόφους, είναι ανεπιθύμητες στους κατώτερους, τόσο για λόγους λειτουργικούς όσο



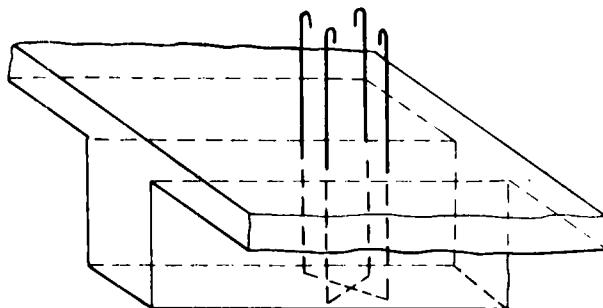
Σχ. 4.6λγ

Οι συνδετήρες των κολωνών συνεχίζονται και μέσα στα οριζόντια μέλη της κατασκευής.



Σχ. 4.6λδ.

Κολώνα με σπειροειδή οπλισμό.



Σχ. 4.6λε.

Οπλισμός αναμονής για φυτευτή κολώνα, που έχει μπει πριν χυθεί το σκυρόδεμα για το δοκάρι και την πλάκα.

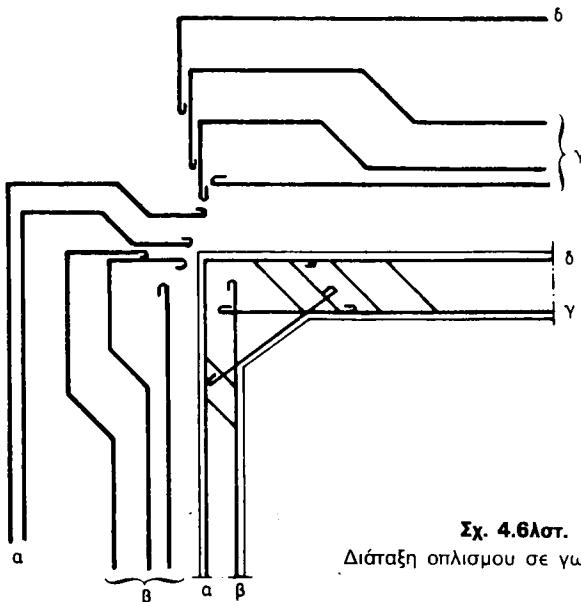
και για αισθητικούς. Οι κολώνες αυτές δεν φτάνουν στα θεμέλια, αλλά στηρίζονται σε κάποιο δοκάρι ενδιάμεσου ορόφου και λέγονται **φυτευτές**. Ο οπλισμός των φυτευτών κολωνών πρέπει να συνεχίζεται και μέσα στο δοκάρι, όπου στηρίζονται, πρέπει λοιπόν να έχει τοποθετηθεί, πριν χυθεί το σκυρόδεμα του δοκαριού. Κατά κανόνα το σκυρόδεμα του δοκαριού διαστρώνεται, πριν ακόμα καλουπωθεί η κολώνα. Συνήθως για το λόγο αυτό και για την ευκολία της κατασκευής τοποθετούνται μόνο μικρά κομμάτια του οπλισμού (σχ. 4.6λε), που χρησιμεύουν σαν αναμονές.

#### ε) Πλαίσια.

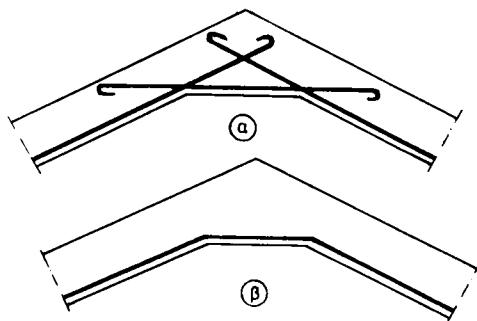
Πλαίσια ονομάζονται τα στοιχεία της κατασκευής, που αποτελούνται από κολώνες και δοκάρια (**Ιζυγώματα**), που τα θεωρούμε όμως ότι συνεργάζονται σαν ενιαίος φορέας. Ο οπλισμός τους γενικά μοιάζει με τον οπλισμό των κολωνών και των δοκαριών. Οι διαφορές παρουσιάζονται εκεί, όπου συναντώνται τα δοκάρια με τις κολώνες. Στις θέσεις αυτές η διάταξη του οπλισμού πρέπει να εξασφαλίζει τη συνεργασία, που έχει ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς. Μια τέτοια διάταξη

οπλισμού φαίνεται στο σχήμα 4.6λστ, όπου ο οπλισμός κάθε μέλους του πλαισίου συνεχίζεται μέσα στο γειτονικό μέλος σε αρκετό μάκρος.

Τα πλαίσια έχουν συχνά και ζυγώματα καμπύλα ή ζυγώματα από κεκλιμένα τμήματα, που μπορεί να σχηματίζουν εισέχουσες γωνίες (σχ. 4.6λζ). Ο οπλισμός στις θέσεις αυτές πρέπει να ακολουθεί στο σύνολό του τη μορφή του πλαισίου, αλλά κάθε ράβδος πρέπει να προεκτείνεται ευθύγραμμα στο εσωτερικό, του πλαισίου και να κάμπτεται κοντά στην απέναντι έδρα του ζυγώματος.



Σχ. 4.6λστ.  
Διάπαξη οπλισμού σε γωνία πλαισίου.



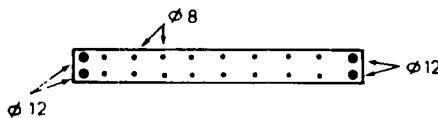
Σχ. 4.6λζ.  
Τοποθέτηση οπλισμού σε εισέχουσα γωνία  
πλαισίου: (a) Σωστή. (β) Λάθος.

### στ) Τοιχώματα.

Τα τοιχώματα είναι κατακόρυφες κατασκευές με πάχος πολύ μικρότερο από το

μήκος και το ύψος τους. Μπορούν δηλαδή να θεωρηθούν σαν κολώνες με πολύ στενόμακρη διατομή. Γι' αυτό λοιπόν έχουν και παρόμοιο με τις κολώνες οπλισμό κατακόρυφο και οριζόντιο. Ο κατακόρυφος οπλισμός πρέπει να έχει διατομή τουλάχιστον ίση με τα 8 χιλιοστά της διατομής μιάς ιδεατής κολώνας με τη μια διάσταση ίση με το πάχος του τοιχώματος, που θα μπορούσε να αναλάβει τα κατακόρυφα φορτία του. Επειδή συνήθως η διατομή της ιδεατής αυτής κολώνας είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τη διατομή του τοιχώματος, ο οπλισμός, που προκύπτει με αυτό τον τρόπο, είναι πολύ λίγος. Είναι λοιπόν πιο σωστό ο κατακόρυφος οπλισμός να έχει διατομή τουλάχιστον ίση με τα δυό χιλιοστά της διατομής του τοιχώματος. Σε ένα τοίχωμα π.χ. με τράκος 4.00 m και πάχος 20 cm, που έχει δηλαδή διατομή  $400 \times 20 = 8000 \text{ cm}^2$ , ο κατακόρυφος οπλισμός πρέπει να είναι τουλάχιστον  $0.002 \times 8000 = 16 \text{ cm}^2$ , δηλαδή  $32 \varnothing 8$ .

Ο οπλισμός των τοιχωμάτων πρέπει να μοιράζεται σε όλες τις έδρες τους. Ιδιαίτερα είναι σκόπιμο να προβλέπονται μερικές ράβδοι με κάπως μεγαλύτερη διάμετρο κοντά στις ακμές και στις στενές τους έδρες (σχ. 4.6λη).



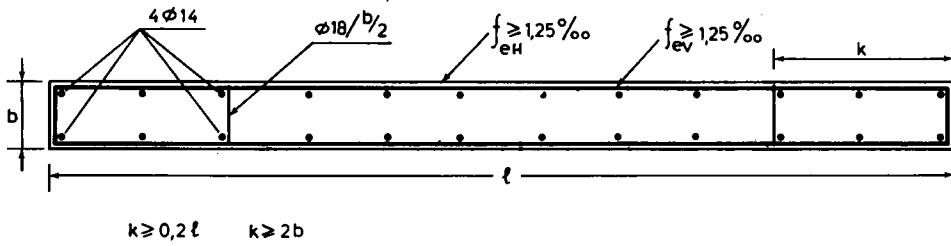
Σχ. 4.6λη.

Οπλισμός με μεγαλύτερη διάμετρο στις άκρες των τοιχωμάτων.

Εννοείται ότι το ποσοστό του οπλισμού των τοιχωμάτων δεν επιτρέπεται να ξεπερνά και τα μέγιστα όρια, που ισχύουν για τις κολώνες. Αυτός ο περιορισμός βέβαια έχει μόνο θεωρητική σημασία, γιατί τα τοιχώματα δεν έχουν ποτέ τόσο πολύ οπλισμό.

Ο αντισεισμικός κανονισμός, που δημοσιεύθηκε στις 6/4/1984, συνιστά να μπαίνουν τοιχώματα στις κατασκευές, για να αναλαμβάνουν τις σεισμικές αθήσεις. Τα τοιχώματα αυτά λέγονται **τοιχώματα ακαμψίας** και πρέπει να έχουν ελάχιστο κατακόρυφο οπλισμό τουλάχιστον 2,5% της διατομής τους. Για πάχος 15 cm, που είναι και το ελάχιστο επιτρεπόμενο, αυτό σημαίνει  $3,75 \text{ cm}^2$  ανά μέτρο μήκους ή  $\varnothing 8$  ανα 27 cm σε κάθε όψη του τοιχώματος. Στα άκρα του τοιχώματος, που πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον ίσο με  $b = 20 \text{ cm}$  πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον  $4\varnothing 14$  με συνδετήρες  $\varnothing 8$  σε αποστάσεις ίσες με  $b/2$  και σε μήκος τουλάχιστον ίσο με  $2b$  ή με το 1/5 του μήκους του τοιχώματος (σχ. 4.6λθ). Επειδή στην Ελλάδα όλες οι κατασκευές πρέπει να είναι αντισεισμικές, οι περιορισμοί αυτοί πρέπει να ισχύουν για όλα τα τοιχώματα, που φορτίζονται σαν κολώνα, έστω και αν δεν χαρακτηρίζονται σαν τοιχώματα ακαμψίας.

Ο οριζόντιος οπλισμός των τοιχωμάτων αντιστοιχεί με τους συνδετήρες των κολωνών και μπαίνει εξωτερικά από τον κατακόρυφο. Ο αντισεισμικός κανονισμός καθορίζει ότι πρέπει να είναι ίσος με τον κατακόρυφο σε κάθε όψη του τοιχώμα-



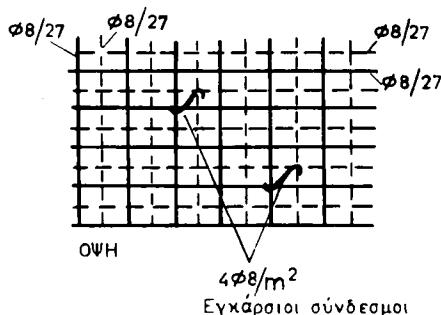
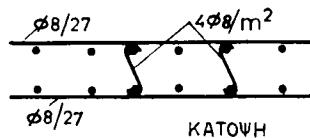
**Σχ. 4.6Λθ.**

Οπλισμός τοιχώματος ακαμψίας κατά τον αντισεισμικό κανονισμό.

Για  $b = 20 \text{ cm}$  είναι  $f_{eH} = f_{ev} = \Phi 8$  ανα  $20 \text{ cm}$ .

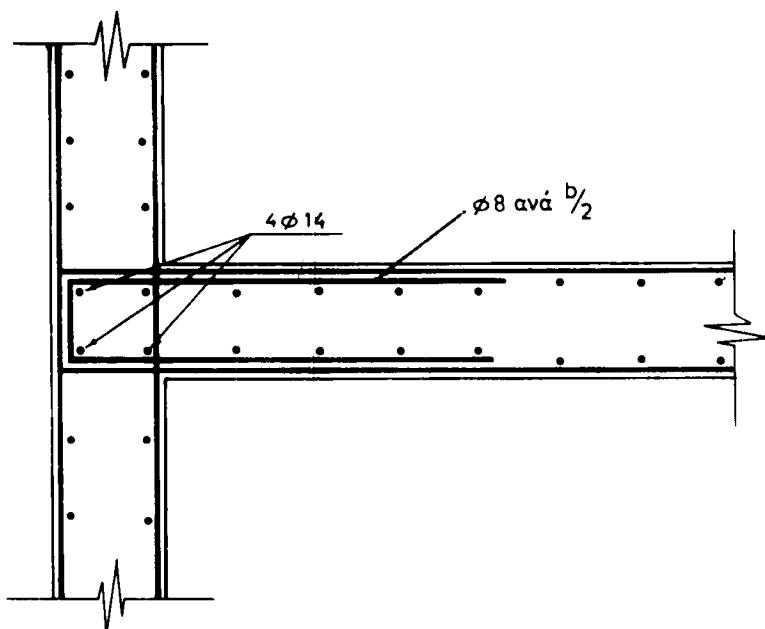
τος και να ακολουθεί όλη την περίμετρο της διατομής του τοιχώματος. Σχηματίζονται έτσι δυο σκάρες, μια σε κάθε όψη του τοιχώματος, που πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους τουλάχιστον με τέσσερις συνδετήρες για κάθε τετραγωνικό μέτρο του τοιχώματος (σχ. 4.6μι'). Οι συνδετήρες αυτοί έχουν το σχήμα ενός στενόμακρου  $S$  και κατασκευάζονται από ράβδους με διάμετρο 8 mm. Στις περιπτώσεις που δυο τοιχώματα σχηματίζουν ταυ, οι κανονισμοί προβλέπουν και οριζόντιες φουρκέτες με διάμετρο 8mm σε αποστάσεις ίσες με  $b/2$  (σχ. 4.6μα).

Υπάρχουν και τοιχώματα, που δεν φορτίζονται μόνο με κατακόρυφα φορτία, όπως οι κολώνες, αλλά και με οριζόντια κάθετα προς την επιφάνειά τους. Τα τοιχώματα αυτά λειτουργούν σαν πλάκες και οπλίζονται σαν πλάκες, όπως περιγράφτηκε στην παράγραφο 4.6.3(β). Είναι σκόπιμο πάντως σε κάθε τέτοιο τοίχωμα να υπάρχει τουλάχιστον ο οπλισμός των τοιχωμάτων ακαμψίας, που προβλέπει ο αντισεισμικός κανονισμός.

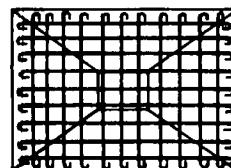
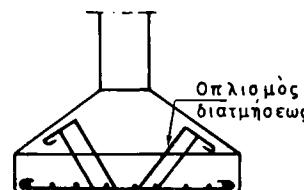


**Σχ. 4.6μ.**

Ελάχιστος οπλισμός και αριθμός συνδετήρων σε τοιχώματα ακαμψίας σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό.

**Σχ. 4.6μα.**

Πρόσθετες φουρκέτες οπλισμού στις θέσεις, όπου τα τοιχώματα ακαμψίας σχηματίζουν ταυ.

**Σχ. 4.6μβ.**

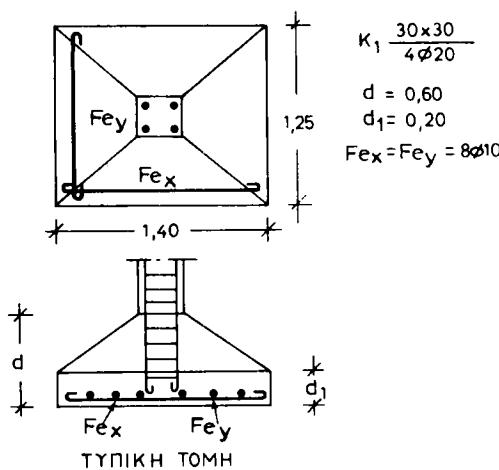
Στα μεγάλα πέδιλα πρέπει, εκτός από την κάτω σκάρα, να μπαίνει και λοξός οπλισμός για τη διάτμηση.

### ζ) Πέδιλα.

Ο οπλισμός των πεδίλων αποτελείται συνήθως από μια σχάρα, τοποθετείται κοντά στην κάτω επιφάνειά τους. Στην κατώτερη στρώση μπαίνουν οι ράβδοι, που είναι παράλληλοι με τις μακρύτερες πλευρές της κατόψεως του πεδίλου, και από πάνω οι ράβδοι, που τις διασταυρώνουν κάθετα. Οι δυο αυτές δέσμες ράβδων συνδέονται μεταξύ τους με σύρμα σε αρκετές θέσεις, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην παράγραφο. 4.6.3(α).

Μερικές φορές σε μεγάλα πέδιλα προβλέπονται και ράβδοι με λοξά τμήματα, που αποτελούν τον οπλισμό διατμήσεως (σχ. 4.6μβ).

Μέσα στο πέδιλο ενσωματώνεται βεβαίως και ο οπλισμός της κολώνας, που θεμελιώνεται μ' αυτό, τόσο ο κατακόρυφος όσο *και* ο οριζόντιος (σχ. 4.6μγ). Αν είναι δύσκολο να μπει από την αρχή ο κατακόρυφος οπλισμός για έναν ολόκληρο όροφο, πρέπει να μπουν τουλάχιστον αναμονές.



**Σχ. 4.6μγ.**  
Οπλισμός κολώνας που ενσωματώνεται στο πέδιλο.

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

##### Εισαγωγή

1.1 Γενικά .....	1
1.2 Πετρώματα .....	2
1.3 Ασύν ετα εδάφη .....	6

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

##### Χαρακτηριστικές ιδιότητες εδαφών

2.1 Γενικά .....	7
2.2 Κοκκομετρική σύνθεση .....	7
2.3 Πλαστικότητα .....	8
2.4 Πυκνότητα .....	9
2.5 Άλλες ιδιότητες .....	10

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

##### Κατάταξη των εδαφών

3.1 Κατάταξη σύμφωνα με το μέγεθος των κόκκων .....	12
3.2 Κατάταξη σύμφωνα με εμφανείς χαρακτηριστικές ιδιότητες .....	19
3.3 Κατάταξη σύμφωνα με τη φυσική πυκνότητα, το σχήμα των κόκκων κλπ. .....	23
3.4 Εδαφοτεχνική έρευνα .....	23

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

##### Αντοχή του εδάφους

4.1 Γενικά .....	32
4.2 Καθιζήσεις .....	34
4.3 Θραύση του εδάφους .....	40
4.4 Επιτρεπόμενες επιβαρύνσεις .....	40

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

##### Θεμελιώσεις

5.1 Γενικά .....	43
5.2 Άμεση θεμελιώση σε στεγνό περιβάλλον .....	45
5.3 Υποθεμελιώση τοίχων και πεδίλων .....	59
5.4 Αβαθής θεμελιώση σε στεγνό περιβάλλον μετά από βελτίωση του εδάφους .....	62
5.5 Άμεση αβαθής θεμελιώση μέσα στο νερό .....	71
5.6 Βαθιές θεμελιώσεις .....	75

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ**

### **Υπολογισμός θεμελίων**

6.1 Γενικά .....	89
6.2 Έλεγχος πιέσεων σε αβαθείς θεμελιώσεις .....	89
6.3 Υπολογισμός αβαθών θεμελίων .....	94
6.4 Εφαρμογές – Παραδείγματα .....	96
6.5 Υπολογισμός για βαθιές θεμελιώσεις .....	104

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ**

### **Ευστάθεια πρανών - Τοίχοι αντιστηρίζεων**

7.1 Κατολισθήσεις .....	107
7.2 Ευστάθεια πρανών .....	108
7.3 Τοίχοι αντιστηρίζεως .....	113

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ**

### **Επιχώματα - Συμπύκνωση εδάφους**

8.1 Επιχώματα .....	121
8.2 Συμπύκνωση εδάφους .....	123

## **ΠΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ**

### **ΛΙΘΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ – ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ**

0. Εισαγωγή .....	137
-------------------	-----

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ**

### **Λίθινες κατασκευές**

1.1 Εισαγωγή .....	139
1.2 Λιθορριπές .....	140
1.3 Ξηρολιθοδομές .....	143
1.4 Κονιάματα για κτίσιμο .....	146
1.5 Αργολιθοδομές .....	150
1.6 Λιθοδομές με λαξευτές πέτρες .....	158
1.7 Λιθοδομές με πέτρες μισολαξευμένες .....	162
1.8 Τοίχοι οικοδομικών έργων .....	163
1.9 Διάνοιξη θυρών και παραθύρων σε υπάρχοντες τοίχους .....	169
1.10 Τοίχοι αντιστηρίζεως και παρόμοιες κατασκευές .....	170
1.11 Θόλοι και αψίδες .....	173

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**

### **Κατασκευές από τεχνητούς λίθους**

2.1 Γενικά .....	184
2.2 Συμπλέγματα πλίνθων .....	184
2.3 Κατασκευές με πλίθρες (ωμοπλινθοδομές) .....	189
2.4 Κατασκευές από τούβλα (οπτοπλινθοδομές) .....	191
2.5 Κατασκευές από τσιμεντόλιθους και κιστηρόπλινθους .....	193
2.6 Χάραξη και μόρφωση τοίχων από τεχνητούς λίθους .....	196

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ**

### **Επισκευές σε τοιχοποιίες με βλάβες**

3.1 Αιτίες που προκαλούν βλάβες στις τοιχοποιίες .....	199
3.2 Μορφολογία ρηγματώσεως σε τοίχους .....	200
3.3 Επισκευή ρηγματωμένων τοίχων .....	202

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ**

### **Κατασκευές από σκυρόδεμα**

4.1 Εισαγωγή .....	204
4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	205
4.3 Υλικά σκυροδεμάτων .....	206
4.3.1 Γενικά .....	206
4.3.2 Τσιμέντο .....	207
4.3.3 Νερό .....	213
4.3.4 Άμμος .....	214
4.3.5 Σκύρα .....	216
4.3.6 Προσμίγματα σκυροδεμάτων .....	219
4.3.7 Χάλυβας .....	220
4.4 Παρασκευή και κατεργασία του σκυροδέματος .....	227
4.4.1 Αναλογίες υλικών .....	227
4.4.2 Κατηγορίες και ποιότητες σκυροδέματος .....	230
4.4.3 Παρασκευή και μεταφορά σκυροδέματος .....	236
4.4.4 Διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος .....	246
4.4.5 Επίδραση των καιρικών συνθηκών .....	252
4.4.6 Συντήρηση και προστασία του σκυροδέματος .....	254
4.5 Σκαλωσίες και καλούπια για το σκυρόδεμα .....	255
4.5.1 Γενικά .....	255
4.5.2 Σκαλωσίες .....	257
4.5.3 Καλούπια .....	264
4.5.4 Ξεκαλούπωμα .....	270
4.6 Οπλισμός σκυροδέματος .....	272
4.6.1 Γενικά .....	272
4.6.2 Κατεργασία οπλισμού .....	273
4.6.3 Τοποθέτηση και στερέωση του οπλισμού .....	273

**COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

---

