



Β' Τεχνικού Λυκείου

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΘΕΛΕΛΙΩΣΕΙΣ

**Αριστείδη Δεϊμέζη**

ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜ. Ε.Μ.Π.





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΟΥΝ 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 την διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του κυρία Μαριάνθη 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 150 τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη, και καλύπτουν ανάγκες των Κατώτερων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ) 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 βελτιώνονται 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 στην 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, είναι γραμμένα σε γλώσσα δημοτική με βάση την γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία είναι γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. 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 ίδρυτη του, να θέσει στην διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας την έκδοση των βιβλίων και για τις νέες Τεχνικές και Επαγγελματικές Σχολές και τα νέα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα με τα Αναλυτικά Προγράμματα του Κ.Ε.Μ.Ε.

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

**Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης**, Διπλ. Μηχ. - Ηλ. ΕΜΠ, Επίτιμος Διοικητής Ο.Τ.Ε., Πρόεδρος.  
**Μιχαήλ Γ. Αγγελόπουλος**, Τακτικός Καθηγητής ΕΜΠ, τ. Διοικητής ΔΕΗ, Αντιπρόεδρος.  
**Αλέξανδρος Σταυρόπουλος**, Καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς.  
**Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου**, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Δ/ντής Εφ. Προγρ. και Μελετών Τεχν. και Επαγγ. Εκπ. Υπ. Παιδείας.  
Επιστημ. Σύμβουλος, **Γ. Ρούσσος**, Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ.  
Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, Καθηγητής Φιλοσοφικής Σχολής Παν/μίου Αθηνών.  
Γραμματεύς, **Δ. Π. Μεγαρίτης**.

#### 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 Σπετσιέρης (1956 - 1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960 - 1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968 - 1976) Μηχ.-Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζηιωάννου (1977 - 1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955 - 1983) Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ.





Β' ΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

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

ΑΘΗΝΑ  
1984





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε, για να διδαχτεί στη Β' τάξη των Τεχνικών Λυκείων (Τμήματα Δομικών) στα πλαίσια του μαθήματος «Τεχνολογία Τεχνικών Έργων». Στην ίδια τάξη και μέσα στα πλαίσια του ίδιου μαθήματος προβλέπεται να διδαχτούν ακόμα - εκτός απ' τα «Στοιχεία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεις» - «Στοιχεία Πολεοδομίας» και «Δομικά και Κατασκευαστικά Υλικά». Επειδή τα τρία αυτά κεφάλαια της Τεχνολογίας των Τεχνικών Έργων έχουν αντικείμενα με μικρή σχετική συγγένεια κρίθηκε σκόπιμο τα τρία αυτά κεφάλαια ν' αποτελέσουν ύλη τριών χωριστών βιβλίων.

Ως προς τα στοιχεία της Εδαφομηχανικής έγινε στο βιβλίο αυτό προσπάθεια να περιληφθούν όλες οι γνώσεις, που είναι απαραίτητες σ' ένα τεχνικό δομικών έργων με γενικά καθήκοντα της στάθμης των Λυκείων. Για τους λίγους, που θ' ασχοληθούν ιδιαίτερα σε έργα σχετικά με την έρευνα του εδάφους είτε στο εργοτάξιο είτε στο εργαστήριο, οι γνώσεις αυτές δεν είναι αρκετές και θα πρέπει να τις συμπληρώσουν μετά την αποφοίτησή τους απ' το Λύκειο.

Η ανάπτυξη των στοιχείων της Εδαφομηχανικής γίνεται σε ύφος περιγραφικό και εγκυκλοπαιδικό, γιατί κρίθηκε πως σ' ένα τέτοιο θέμα δεν πρέπει να επιβαρυνθούν οι μαθητές με πρόσθετες επιστημονικές γνώσεις στη στάθμη της Μέσης Εκπαίδευσεως. Ιδιαίτερα δεν δίνονται μαθηματικοί τύποι ή μέθοδοι υπολογισμού για διάφορα μεγέθη, επειδή κάτι τέτοιο ανήκει στις αρμοδιότητες μόνο των διπλωματούχων μηχανικών.

Για τις Θεμελιώσεις καταβλήθηκε προσπάθεια να γίνει μια αρκετά λεπτομερειακή περιγραφή των πιο συνηθισμένων μεθόδων κατασκευής. Για τα θεμέλια δίνονται και μερικά απλά παραδείγματα υπολογισμού. Αυτό κρίθηκε σκόπιμο, πρώτα για ν' αποκτήσουν οι απόφοιτοι των Τεχνικών Λυκείων σαφέστερη αντίληψη για τη λειτουργία των θεμέλιων και έπειτα για να μπορούν να λύσουν μερικά απλά προβλήματα θεμελιώσεως σε μικρά έργα, όπου συνήθως δεν υπάρχει συνεχής παρακολούθηση από διπλωματούχο μηχανικό.

Βεβαίως για την κατανόηση του βιβλίου αυτού είναι απαραίτητες αρκετές γνώσεις από τη Χημεία και τη Φυσική και ιδιαίτερα τη Στατική και την Αντοχή των Υλικών. Οι καθηγητές θα πρέπει, εκεί που χρειάζονται οι γνώσεις αυτές, να κάνουν μια σύντομη επανάληψη και επεξήγησή τους, ώστε να βεβαιώνονται ότι οι μαθητές καταλαβαίνουν καλά το αντικείμενο του μαθήματος που τους διδάσκουν.

Τέλος θεωρούμε σκόπιμο να συνδυασθεί η διδασκαλία του μαθήματος αυτού με μερικές επισκέψεις σε εργοτάξια, όπου γίνονται αξιόλογα έργα θεμελιώσεων, έργα χωματουργικά και έρευνα του εδάφους, όπως επίσης και σε κάποιο εδαφοτεχνικό εργαστήριο.



## 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 θεμελιωμένα 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 σηκώσει 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, τα τουύβλα, το τσιμέντο, ο ασβέστης κ.ο.κ. Σ' αυτή την περίπτωση πρέπει πάλι να είναι γνωστές οι ιδιότητες του εδάφους, για να διαλεχετεί το κατάλληλο για κάθε δομικό υλικό έδαφος.

Το συμπέρασμα είναι ότι για όλα τα δομικά έργα είναι απαραίτητο να γνωρίζομε 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. Γι' 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 συμπεραίνουμε 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 **Έδαφομηχανική**.<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,

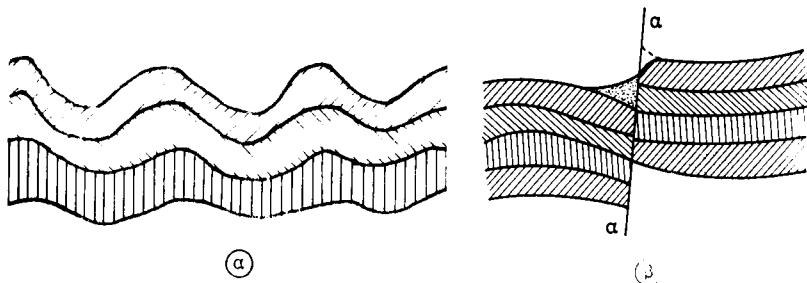
---

(\*) Σημειώνομε για αντιδιαστολή ότι η **Έδαφολογία** 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 έπεσε και οι ελαφρές σκουριές άρχισαν να στερεοποιούνται. Δημιουργήθηκε λοιπόν ο πρώτος **στερεός φλοίος** 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 συνεχιζόταν και αυτό είχε ως συνέπεια τη συστολή της Γης. Ο στερεός πια φλοιός της δεν μπορούσε να παρακαλουθήσει 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 δυο πλευρές του ρήγματος (σχ. 1.2α).



Σχ. 1.2α.

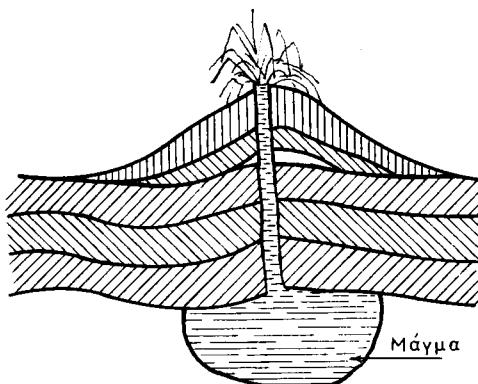
Παραμορφώσεις του φλοιού της γης: α) Πτυχώσεις. β) Ρήγμα α - α.

Σε πολλές περιπτώσεις από τα ρήγματα ξεχύθηκαν νέες ποσότητες από το **μάγμα**, 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 **λάβα**, 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 **autoγενή**, 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.

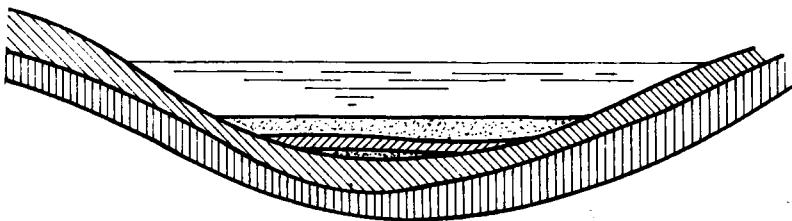
Τα προϊόντα από την καταστροφή των αρχικών πετρωμάτων συμπυκνώθηκαν σιγά-σιγά και πάλι και σχημάτισαν νέα πετρώματα. Στην ανασύνθεση αυτή βοήθησαν διάφορες ορυκτές κόλλες ή φυσικά τσιμέντα, που είχαν διαλυθεί και αυτά μέσα στο νερό. Έτσι έχομε τα **ιζηματογενή** πετρώματα, που μπορεί να είναι **υδατογενή**, 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).

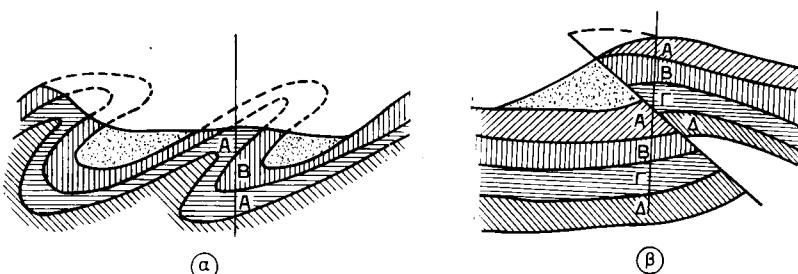
Ειδικότερα στις θέσεις των ρηγμάτων η συστολή της Γης είχε κατά κανόνα ως αποτέλεσμα να γλιστρήσει το ένα κομμάτι του εδάφους πάνω στο άλλο ακολουθώντας την κεκλιμένη επιφάνεια του ρήγματος και να βρεθεί από πάνω του. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **επώθηση**, δηλαδή σπρώξιμο ενός τμήματος του εδάφους πάνω 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 φαμίτες 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 παλαιότερα: α) Επειδή οι πτυχώσεις 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 όμως σχηματίζουν σαφείς στρώσεις με σχεδόν σταθερό πάχος. Γι' αυτό άλλωστε λέγονται και **στρωσιγενή**.

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα έχουν συνήθως κρυσταλλικό ιστό, όπως τα πυριγενή, παρουσιάζουν όμως και στρώσεις, όπως τα ίζηματαγενή. 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 ονομάζουμε **Βράχο**. Σε πολλές περιπτώσεις οι βράχοι εμφανίζονται γυμνοί στην επιφάνεια της γης, συνήθως όμως είναι σκεπασμένοι με στρώματα από ασύνδετα υλικά, αυτά που ονομάζουμε **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 υπάρχουν 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 θυμματίζεται. Γι' 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

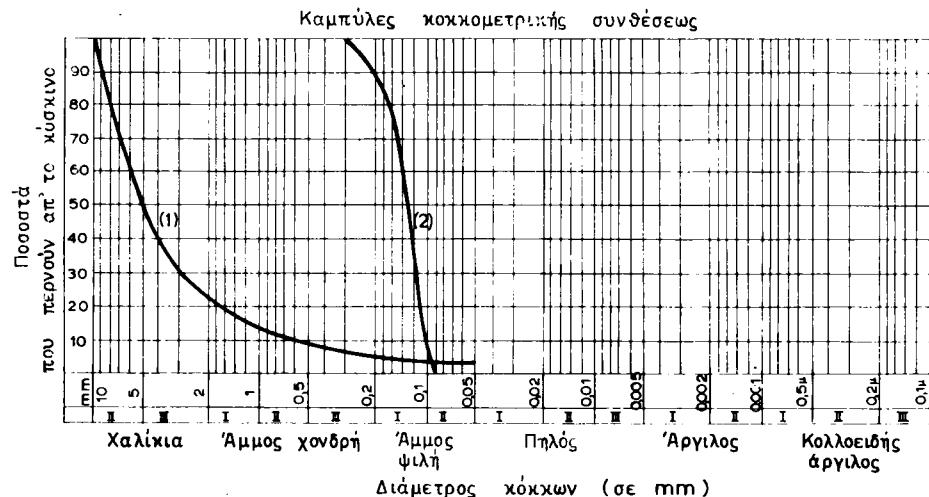
### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

#### 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 τους 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) Αμμοχάλικο. (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 ξεχωρίσουμε κατά μεγέθη χρησιμοποιώντας μια σειρά από τυποποιημένα κόσκινα. Οι λεπτότεροι διαχωρίζονται, όταν ρίζουμε το έδαφος σε άφθονο νερό, ώστε να δημιουργηθεί ένα αιώρημα, και αφήσουμε 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 προσθέσουμε σιγά-σιγά νερό, υπάρχει πιθανότης να μεταβληθεί σε μια εύπλαστη μάζα, που να μπορούμε να της δώσουμε ότι σχήμα επιθυμούμε. Το έδαφος αυτό λέμε ότι παρουσιάζει πλαστικότητα.

Όταν το πλαστικό έδαφος είναι τόσο στεγνό, ώστε, αν σχηματίσουμε 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 πλαστικότητας**.

Όταν το πλαστικό έδαφος είναι τόσο υγρό, ώστε δεν μπορούμε πια να σχηματίσουμε 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 εδάφη 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  $\beta_\epsilon$ , η υγρασία του είναι:

$$\text{u\%} = \frac{\beta_u - \beta_\epsilon}{\beta_\epsilon} \cdot 100$$

**Φαινόμενο βάρος ή υγρό φαινόμενο βάρος** του εδάφους  $\beta_\phi$  ονομάζομε το λόγο του βάρους, που έχει στη φυσική του κατάσταση, προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού με θερμοκρασία  $4^\circ\text{C}$ . Το φαινόμενο βάρος παρουσιάζει πολύ μεγάλες διαφορές από το ένα έδαφος στο άλλο.

Αντίθετα **ειδικό βάρος** του εδάφους  $\beta_e$  ονομάζομε το λόγο του βάρους του, αφού το ξεράνομε, προς το βάρος αποσταγμένου νερού με θερμοκρασία  $4^\circ\text{C}$ , που έχει όμως όγκο ίσο με τον όγκο μόνο των στερεών κόκκων του εδάφους και η τιμή του είναι για όλα σχεδόν τα εδάφη περίπου η ίδια, δηλαδή  $2,65$  ως  $2,75 \text{ Kg/cm}^3$ .

Υπάρχει και ο όρος **ξερό φαινόμενο βάρος**, που δείχνει το φαινόμενο βάρος, που θα είχε το έδαφος, αν μπορούσαμε με κάποιο τρόπο να του αφαιρέσουμε όλο το νερό, χωρίς όμως ν' αλλάξουμε τη διάταξη των κόκκων του.

Είναι εύκολο να βρούμε τότε ότι το ποσοστό των κενών, που λέγεται και **πορώδες του εδάφους**, θα είναι:

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

ενώ **δείκτης πόρων** λέγεται ο λόγος:

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

Ένα μέρος από τα κενά αυτά είναι γεμάτο νερό και συγκεκριμένα ποσοστό του όγκου του εδάφους ίσο με  $\beta_\phi \cdot u\%$ , ενώ τα υπόλοιπα κενά, δηλαδή  $(\pi - \beta_\phi \cdot u)\%$  είναι γεμάτα αέρα. Ο λόγος  $\frac{\beta_\phi \cdot u}{\pi}$  λέγεται **βαθμός κορεσμού** του εδάφους. Αν το  $\pi$  είναι ίσο με το  $\beta_\phi \cdot u$ , σημαίνει ότι δεν υπάρχει καθόλου αέρας και τότε το έδαφος είναι **κορεσμένο** με νερό, ενώ ο βαθμός 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 των 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 μετρούμε 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. Μόνο σε αδιατάρακτο δείγμα του εδάφους μπορούμε να τις μετρήσουμε. Οι ιδιότητες αυτές δεν λαμβάνονται υπ' όψη στην 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<sup>2</sup> 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 συμπίεζεται 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 λέ-

γεται το ποσοστό που προκύπτει, αν αφαιρέσουμε από το 100% το δείκτη πόρων. Το πείραμα αυτό γίνεται με διάφορα ποσοστά υγρασίας και έτσι καθορίζεται και η **βέλτιστη 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 δυναμόμετρο επάνω στη βελόνα μας δείχνει την αντίσταση σε  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

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 δειγματος 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  $\frac{4}{5}$  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 αρμώδη), 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.

#### a) **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 βραχοκιμιλά, 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-

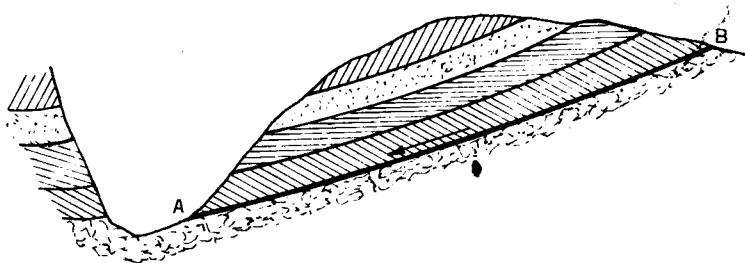
σκονται και τα λατομεία για πέτρες κτισμάτος, σκύρα και άμμο λατομείου. Υπάρχουν τέλος και βράχοι εξαιρετικά σκληροί, όπως είναι π.χ. οι γρανίτες, από όπου προέρχονται οι κυβόλιθοι, που τους χρησιμοποιούσαν παλότερα στα οδοιστρώματα για βαριά κυκλοφορία.

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 ΑΒ, 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 ΑΒ προς τα κάτω.

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

4) **Από γεωλογικά ρήγματα**, όπου μπορεί να παρουσιασθούν σχετικές μετακίνησης των πετρωμάτων, που βρίσκονται από τις δύο μεριές τους, ιδίως όταν προστέθουν 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.**

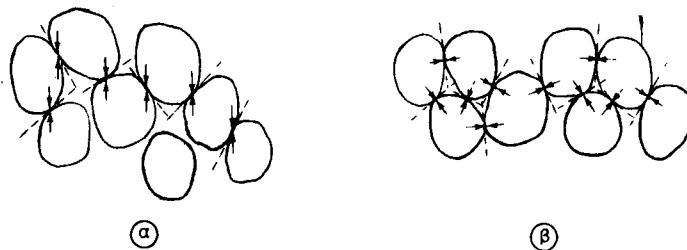
Τα χαλικώδη και αμμώδη εδάφη υπάγονται, όπως είπαμε, στα γαιώδη εδάφη και αποτελούνται από κόκκους σχετικά μεγάλους. Τα ακριβή μεγέθη των κόκκων, που θεωρούνται ως όρια, για να χαρακτηρίσομε τα εδάφη αυτά, διαφέρουν από χώρα σε χώρα και από συγγραφέα σε συγγραφέα. Στο βιβλίο αυτό κόκκοι μεγαλύτεροι από 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 χαλικωδών και αμμωδών 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, ώσπου 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.

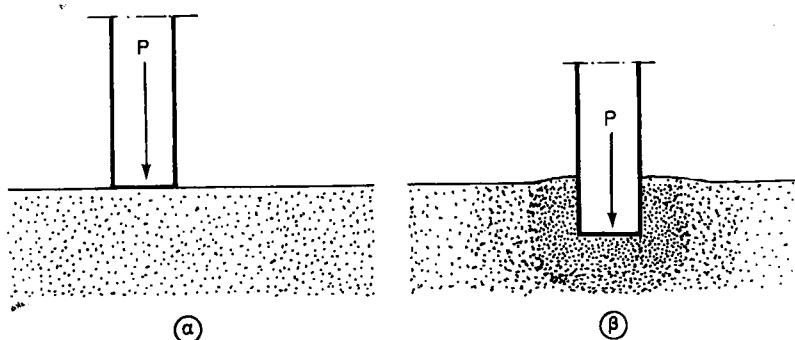
Όταν λοιπόν εφαρμόσουμε πάνω σε ένα χαλαρό έδαφος πρόσθετα φορτία, οι κόκκοι του μετακινούνται και τελικά η επιφάνειά του χαμηλώνει, παρουσιάζεται δηλαδή μια **καθίζηση**. Ο μηχανισμός, που προκαλεί αυτή την καθίζηση, είναι τέτοιος, ώστε το φαινόμενο παρουσιάζεται σχεδόν αμέσως, μόλις επιβληθούν τα πρόσθετα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

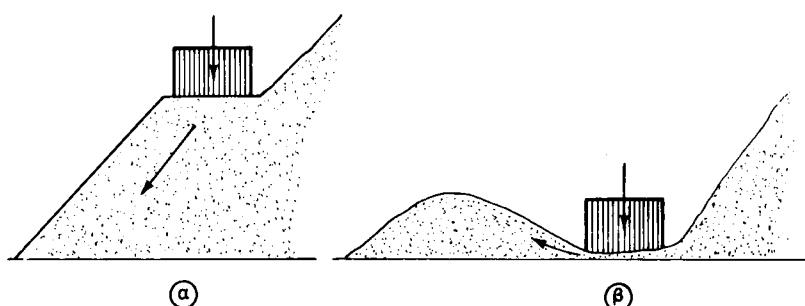
α) Κόκκοι εδάφους, που πιέζουν ο ένας τον άλλον με δυνάμεις πολύ λοξές σχετικά με τις επιφάνειες επαφής τους. β) Με μικρή μετακίνηση των κόκκων καθένας από αυτούς στηρίζεται σε περισσότερα σημεία και οι δυνάμεις γίνονται σχεδόν κάθετες με τις επιφάνειες επαφής.



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 αρμέσως, ίδιως 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 βρέξιμο, 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 καταστήσουμε 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 κυμαίνεται ανάμεσα στα 5 και τα 80 μ το έδαφος ονομάζεται **πηλώδες ή Ιλιώδες**. 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 οι 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 **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 οι δυο αυτές έννοιες είναι εντελώς διαφορετικές η μια από την άλλη.

Είδαμε ότι στα αρμώδη εδάφη, όταν η υγρασία ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, οι κόκκοι δείχνουν σα να έχουν συγκολληθεί και αποτελούν ένα ενιαίο πλαστικό σώμα. Στα πηλώδη και ιδιαίτερα στα αργιλώδη εδάφη το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο και μπορούμε να πλάσουμε 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, μοιάζει 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, συρρικνώνονται. 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 έχομε 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 εφαρμόσομε 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 χαρακτηρίζομε 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 στο 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 χονδρόκοκκα ή χαλιάρδ	Χαλίκια και εδάφη χαλικώδη	<p>GW Χαλίκια με καλή κοκκομετρική σύνθεση. Αμμοχάλικα με λίγους ή χωρίς λεπτούς κόκκους</p> <p>GP Χαλίκια με κακή κοκκομετρική σύνθεση. Αμμοχάλικα με λίγους ή χωρίς λεπτούς κόκκους</p> <p>GM Χαλίκια πηλώδη. Αμμοχάλικα με πηλό και κακή κοκκομετρική σύνθεση</p> <p>GC Χαλίκια αργιλώδη. Αμμοχάλικα με άργιλο και κακή κοκκομετρική σύνθεση</p>
	Άμμοι και εδάφη αμμώδη	<p>SW Άμμος με καλή κοκκομετρική σύνθεση. Άμμος με λίγα ή χωρίς χαλίκια και λεπτούς κόκκους</p> <p>SP Άμμος με κακή κοκκομετρική σύνθεση. Άμμος με λίγα ή χωρίς χαλίκια και λεπτούς κόκκους</p> <p>SM Άμμος πηλώδης. Άμμος με πηλό και κακή κοκκομετρική σύνθεση</p> <p>SC Άμμος αργιλώδης. Άμμος με άργιλο και κακή κοκκομετρική σύνθεση</p>
	Γηλοί και αργιλοί ML < 50	<p>ML Πηλός ανόργανος και άμμος πολύ λεπτόκοκκος, βραχώδεις παιπάλες, άμμος πηλώδης ή αργιλώδης λεπτόκοκκος με ελάχιστη πλαστικότητα</p> <p>CL Άργιλος ανόργανος με μέση ή μικρή πλαστικότητα, άργιλος χαλικώδης, άργιλος αμμώδης, άργιλος πηλώδης, ισχνή άργιλος</p> <p>OL Οργανικοί πηλοί, οργανικό μήγμα πηλού-άργιλου με μικρή πλαστικότητα</p>
	Γηλοί και αργιλοί ML > 50	<p>MH Ανόργανος πηλός, μαρμαρυγιακά ή διατομούχα λεπτόκοκκα αμμώδη ή αργιλώδη εδάφη, πλαστικός πηλός</p> <p>CH Ανόργανος άργιλος με μεγάλη πλαστικότητα, παχειά άργιλος</p> <p>OH Οργανική άργιλος με μέση ως μεγάλη πλαστικότητα</p>
	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 εντύπωση 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 γι' 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 έχουμε 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 στόμα 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 χαρηλό 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 μίγματα λεπτοκόκκων άμμων και πηλών ή παιπάλης, δηλαδή προϊόντων από κονιοποιημένους μαλακούς βράχους. Τα εδάφη της κατηγορίας GL είναι αργιλικά, αλλά με αρκετό ποσοστό χαλικιών, άμμου ή πηλού.

Τα ανόργανα εδάφη με όριο υδαρότητας πάνω από 50 χωρίζονται και αυτά 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 καρφώσουμε ένα ξύλινο πάσσαλο με τετράγωνη διατομή 50 × 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 εδαφούς 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 μπήξομε 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 **στεγνός**, όταν η υγρασία του δε γίνεται άμεσα αντιληπτή, ή **υγρός**, όταν η υγρασία του είναι περίπου εκείνη, που δίνει την καλύτερη συμπύκνωση. Μπορεί να είναι **πολύ υγρός**, όταν η υγρασία του ξεπερνάει τη βέλτιστη, πράγμα που σημαίνει ότι η αντοχή του είναι μικρότερη. Τέλος μπορεί να είναι **κορεσμένο**, όταν 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 εδαφούς που μας ενδιαφέρει. Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται κατά την κατασκευή ή μετά την αποπεράτωση του έργου να πάρουμε ειδικά μέτρα, ώστε να περιορίζουμε τη μεταβολή της υγρασίας του εδαφούς μέσα στα επιθυμητά όρια.

### 3.4 Εδαφοτεχνική έρευνα.

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

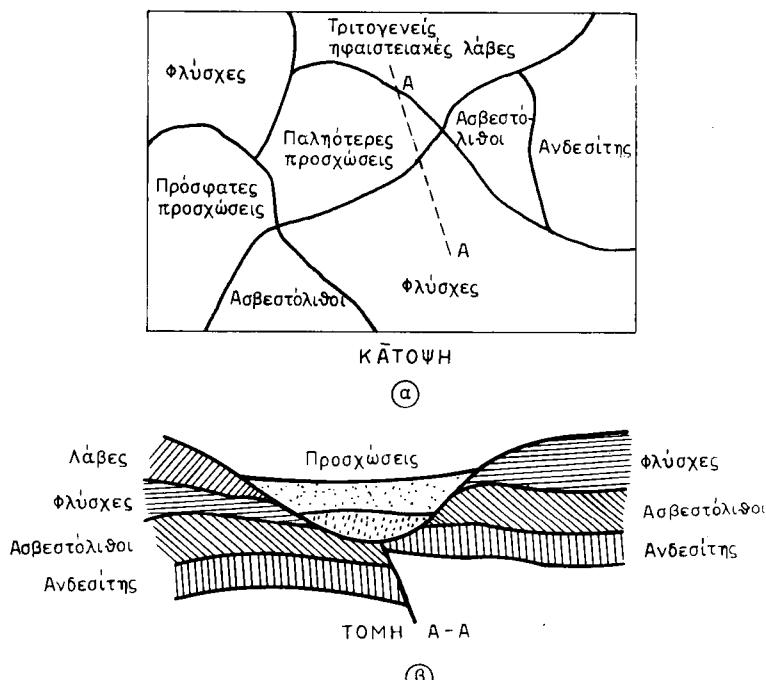
προηγούμενες παραγράφους, και για να διαπιστώσουμε γενικότερα τις ιδιότητές του, πρέπει να προβούμε σε κάποια έρευνα, που ονομάζεται **εδαφοτεχνική έρευνα**. Η έρευνα αυτή μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο διεξοδική, ανάλογα με το μέγεθος και τον προϋπολογισμό του έργου, αλλά και με το είδος του 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 προχειρες δοκιμές, που μπορούν να γίνουν στο ύπαιθρο χωρίς αξιόλογα εργαλεία, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 3.2.

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

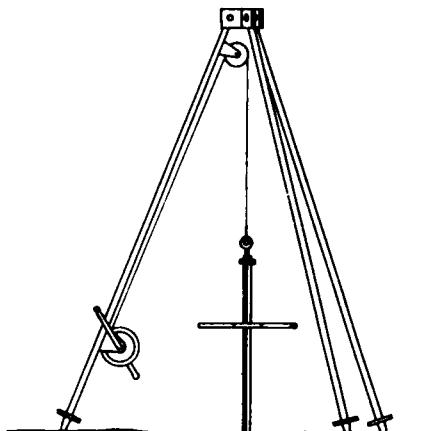
— Η **γεωλογική μελέτη** οδηγεί στη σύνταξη ενός γεωλογικού χάρτη της περιοχής και μερικών χαρακτηριστικών γεωλογικών τομών (σχ. 3.4α). Τα στοιχεία, που



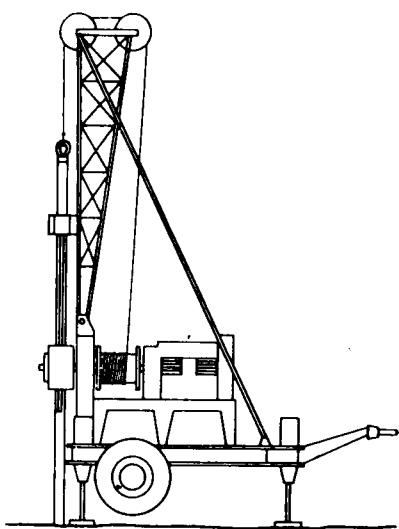
Σχ. 3.4α.

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.



(α)



(β)

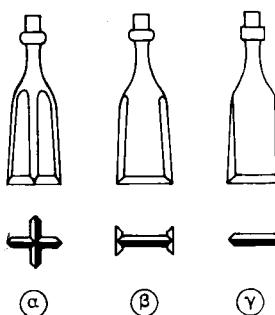
**Σχ. 3.48.**  
Γεωτρύπανα.  
α) Χειροκίνητο. β) Μηχανικό.

— Οι **γεωτρίσεις** 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:

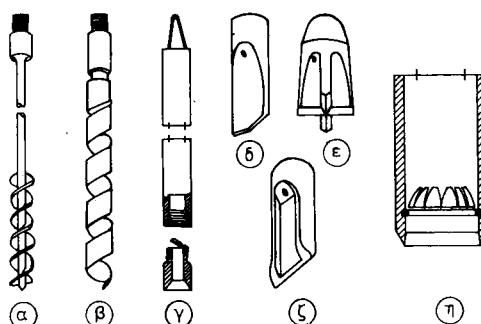
α) Με τη μέτρηση της αντιστάσεως, που παρουσιάζει το έδαφος στο προχώρημα του γεωτρυπάνου και

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.



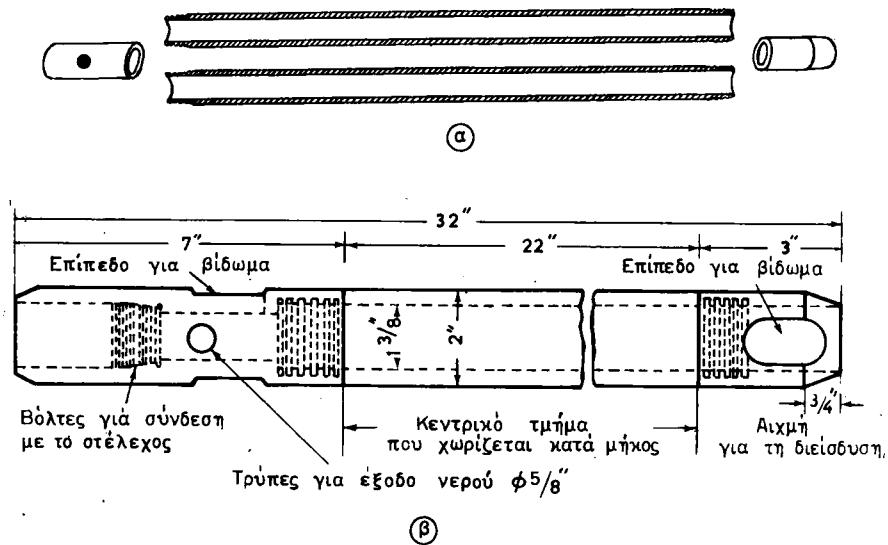
**Σχ. 3.4δ.**

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 αμμαντλίες, για να παίρνουν 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 αυτά 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 εξακριβώσομε τη χημική τους σύσταση.



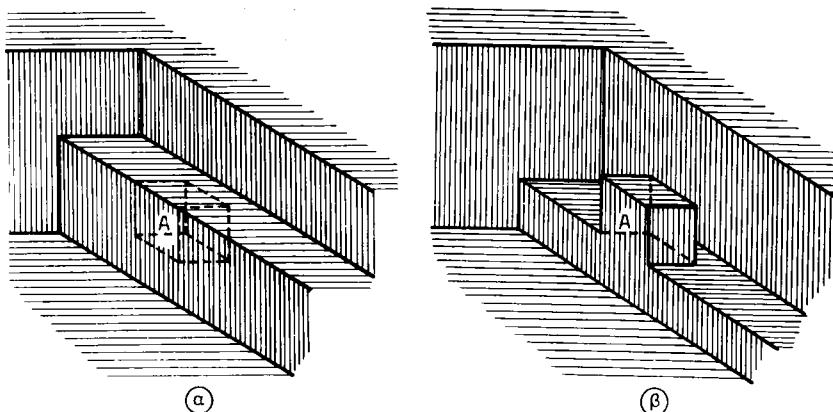
Σχ. 3.4ε.

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 τελείωση το μηχανικό εξοπλισμό, μπορούμε να περιορισθούμε σε **δοκιμαστικά φρέατα**, που σκάβονται με συνηθισμένα εργαλεία. Βέβαια το βάθος των φρέατων 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 φρέστου με σκοπό να πάρομε το αδιατάρακτο δείγμα του εδάφους Α.

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

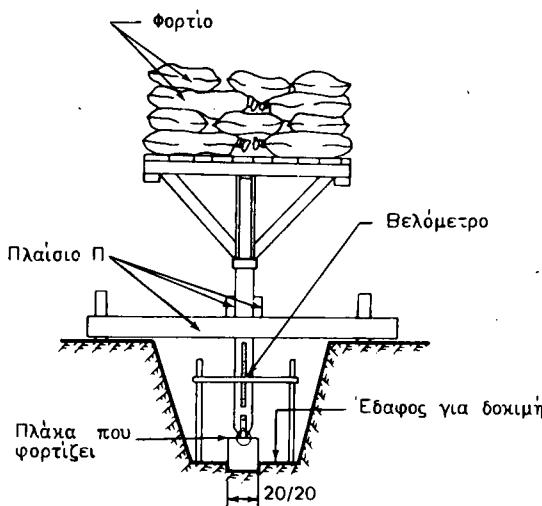
Τα δείγματα πρέπει να μπαίνουν σε ειδικούς σάκκους και να συνοδεύονται πάν-

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.

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

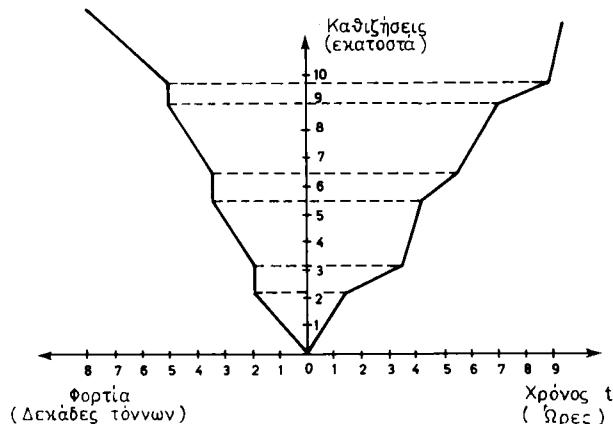


**Σχ. 3.4η.**

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

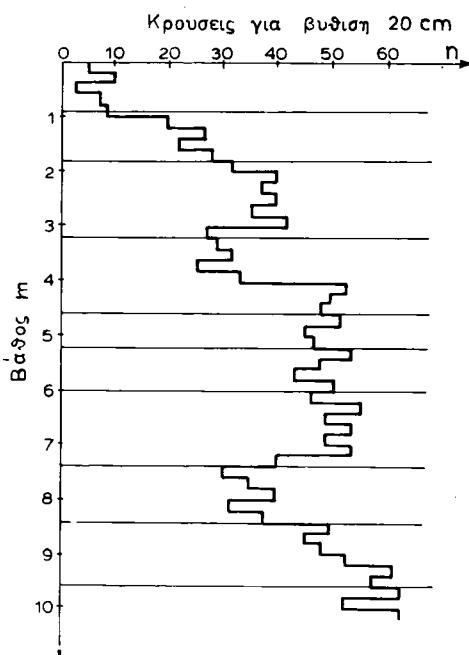
Με τη δοκιμαστική φόρτιση του εδάφους (σχ. 3.4η) διαπιστώνομε πόσο το έδαφος υποχωρεί, όσο αυξάνονται τα φορτία που το πιέζουν. Μπορούμε έτσι να σχε-

διάσομε είνα 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 έχουμε 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. 4.1a).

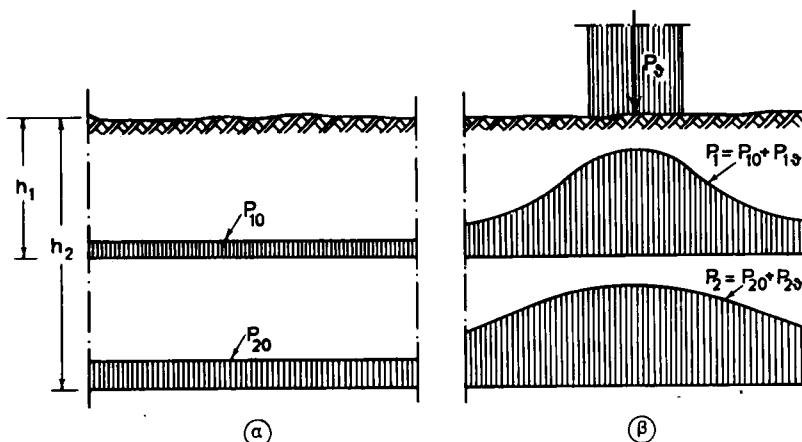
Για να υπολογίσουμε τις μεταβολές αυτές των πιέσεων, χρειάζεται να γνωρίζομε τόσο τα φορτία του έργου όσο και τις ιδιότητες του εδάφους και τις πιέσεις, που υπάρχουν ήδη σε κάθε σημείο του. Ο υπολογισμός αυτός δεν είναι καθόλου απλός, αλλά κάποια σχετική ιδέα μπορεί να μας δώσει η εξαιρετικά απλή περίπτωση 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:

$$\sigma = \frac{3h^3}{2\pi \sqrt{(x^2 + h^2)^5}} \cdot P$$

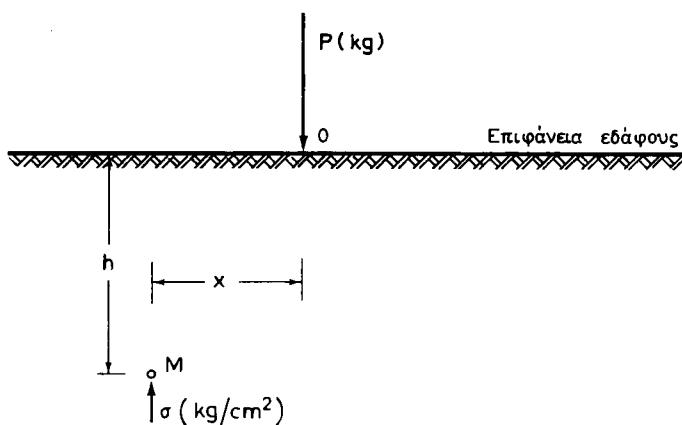
Ο τύπος αυτός οφείλεται στο Γάλλο φυσικομαθηματικό Joseph Boussinesq (1842 - 1929). Στην πραγματικότητα τα φορτία είναι πολλά, δεν είναι συγκεντρωμένα σε σημεία, το έδαφος δεν είναι ούτε ομοιόμορφο ούτε ισότροπο και η επιφάνειά του δεν είναι πάντοτε οριζόντια. Χρειάζονται λοιπόν πολύ πιο δύσκολοι υπολογισμοί, 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  $P_{1g}$ ,  $P_{2g}$  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 **καθίζηση**, δηλαδή η υποχώρηση της ελεύθερης επιφάνειάς του, όπου και εφαρμόζονται τα πρόσθετα φορτία.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζομε πάντοτε από πριν, τουλάχιστον προσεγγιστικά, ποιες καθίζησεις του εδάφους πρόκειται να παρουσιασθούν, όταν κατασκευασθεί το έργο. Αυτό απαιτείται πρώτα, για να ελέγξουμε αν οι καθίζησεις 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 καθίζησεις αυτές.

#### 4.2 Καθίζησεις.

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 αρέσως, 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.

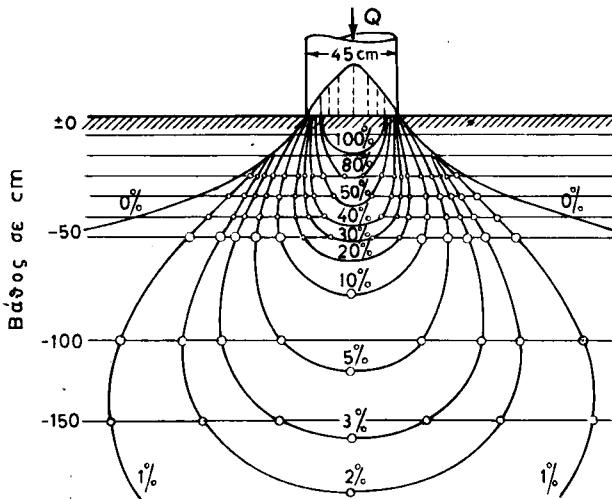
Όταν αφαιρέσουμε το φορτίο, αναιρέεται και ένα μέρος από την παραμόρφωση. Όσο μικρότερο είναι το φορτίο και όσο λιγότερο χρόνο διατηρείται, τόσο μικρότερο είναι και το ποσοστό, που παραμένει ως μόνιμη παραμόρφωση. Γενικά το έδαφος παρουσιάζει κάποια σχετική **ελαστικότητα\*** και οι παραμορφώσεις του 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 μικρότερο βαθμό από ό,τι 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 καθίζηση 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 επιφάνεια.

---

\* 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.

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

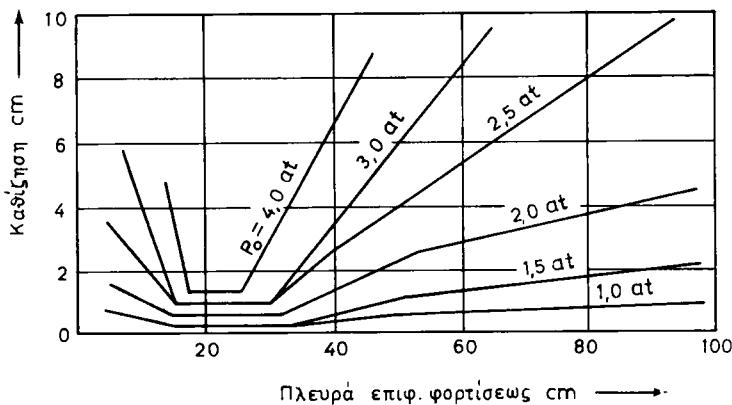
όπου:  $F = \frac{\pi}{4} 45^2 \text{ cm}^2$ .

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.

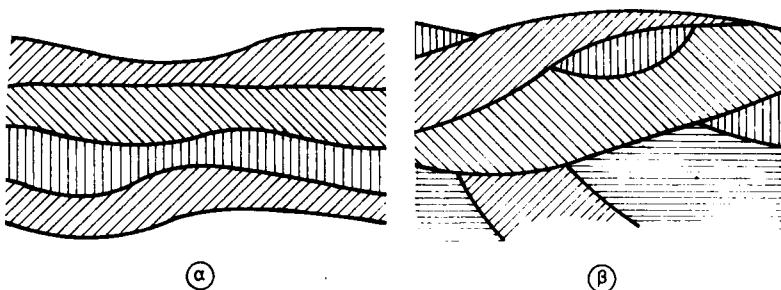
Το κυριότερο συμπέρασμα από όσα είπαμε ως τώρα είναι ότι, όσο πιο πλατύ είναι ένα θεμέλιο, τόσο βαθύτερα φθάνουν οι μεταβολές των πιέσεων και επομένως παραμορφώνονται και στρώματα του εδάφους σε μεγαλύτερο βάθος. Επομένως για μια ορισμένη πίεση ρ στην επιφάνεια θεμελιώσεως η καθίζηση είναι τόσο μεγαλύτερη, 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  $p_0$  οι καθίζησις μεγαλώνουν, δύσο μεγαλώνει η επιφάνεια που φορτίζει το έδαφος. Οι καθίζησις μεγαλώνουν απότομα και όταν η επιφάνεια αυτή είναι εξαιρετικά μικρή.



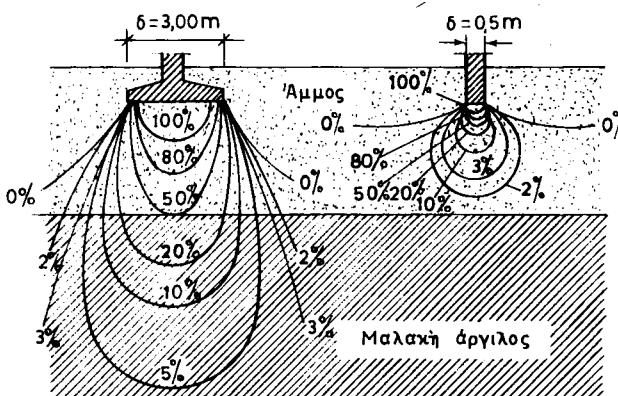
Σχ. 4.2γ.

Στρώματα εδάφους: 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 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 γνωρίζουμε 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 καθίζσεων γίνεται δυσκολότερος. Όταν το πλάτος του θεμελίου μεγαλώσει, μπορεί αυτό να προκαλέσει την παραμόρφωση ενός βαθύτερου στρώματος, που για μικρότερα πλάτη θεμελίων βρίσκεται έξω από το βολβό των πιέσεων (σχ. 4.2δ). 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. 4.2δ.

Οι καθίζσεις 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 καθίζσεων.

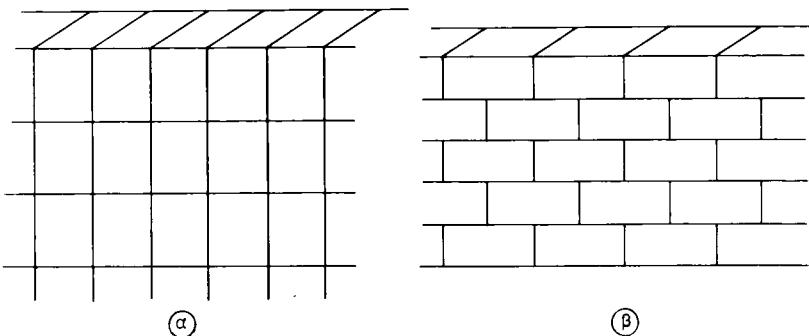
Το μέγεθος των καθίζσεων του εδάφους, που θεωρούνται ανεκτές, διαφέρει από έργο σε έργο. Σε ένα λιμενικό έργο π.χ. μπορούμε να δεχθούμε καθίζσεις αρκετών εκατοστών του μέτρου, πράγμα που θα ήταν απαράδεκτο για ένα κτήριο. Αυτό που ενοχλεί πιο πολύ, δεν είναι οι ίδιες οι καθίζσεις, αλλά οι διαφορές τους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

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

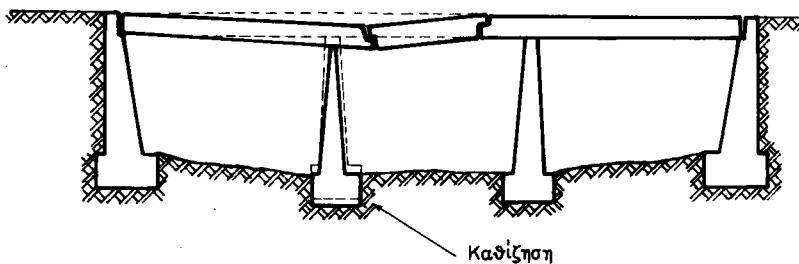
Για να αντιμετωπισθούν σημαντικές διαφορές καθιζήσεων, όπου αυτές είναι ανεκτές, η κατασκευή προβλέπει κατάλληλες διατάξεις. Έτσι στα λιμενικά έργα π.χ. οι ογκόλιθοι τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι αρμοί τους να μη συμπλέκονται, αντίθετα από αυτό που γίνεται, όταν κτίζομε με τούβλα (σχ. 4.2ε). 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.

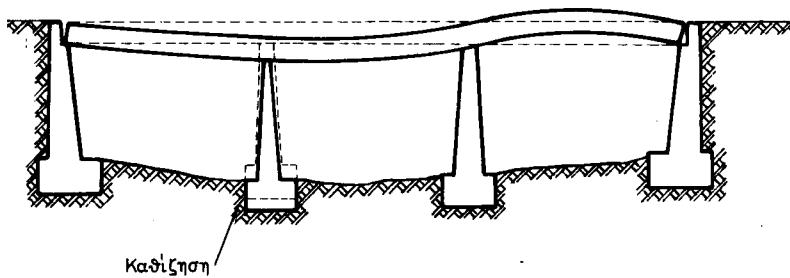
Οι γέφυρες πάλι κατασκευάζονται κατά κανόνα **ισοστατικές**, αν και η λύση αυτή είναι πιο δαπανηρή. Με τον τρόπο αυτό η διαφορετική καθίζηση των βάθρων τους (σχ. 4.2στ) δεν προκαλεί εσωτερικές δυνάμεις στα οριζόντια στοιχεία τους. Στις ισοστατικές κατασκευές (δοκοί αμφιέρειστες, αμφιπροέχουσες, Gerber, τριαρθρωτά τόξα κλπ.) παρουσιάζονται βέβαια αλλαγές στο σχήμα, όταν οι στηρίξεις 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 αντίθετο 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 καθιζηση δηλαδή του εδάφους, αν δεν είναι ομοιόμορφη, καταπονεί ολόκληρο το έργο.

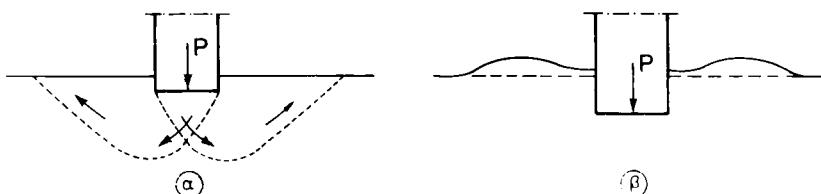
Πρέπει λοιπόν με κάθε τρόπο να υπολογίζομε, έστω προσεγγιστικά, τις καθιζήσεις του εδάφους, που πρόκειται να παρουσιασθούν, όταν κατασκευασθεί κάποιο έργο. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με διάφορους μαθηματικούς τύπους, που όλοι βασίζονται στήν αρχή, ότι η καθιζηση είναι άθροισμα των παραμορφώσεων των 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. 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 (πιέσεις), 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 (πίεσεις) 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 θεμελίου ( $G_s = 2$ ). ( $G_s = \text{Συντελεστής ασφάλειας για τη θραύση του εδάφους θεμελιώσεως}$ ).

Είδος αργύριου 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 υπολογίσομε σύμφωνα με αυτές τις μέγιστες επιβαρύνσεις που επιτρέπεται να επιβάλλομε 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 [πέσει] 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 από 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 **βαθιές**, 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 νερό.

Οι βαθιές θεμελιώσεις περιλαμβάνουν:

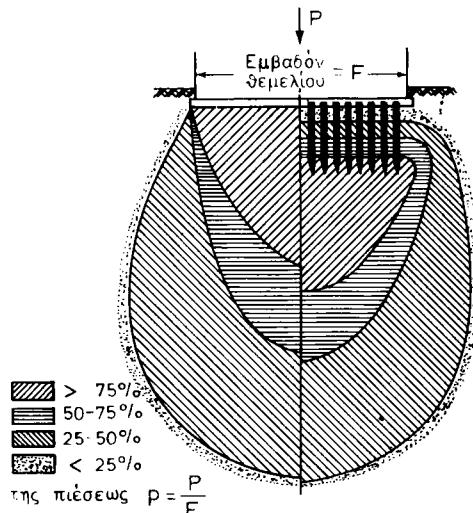
a) Τα **καταδυόμενα φρέατα**, όπου η προετοιμασία των επιφανειών του εδάφους για την έδραση των θεμελίων γίνεται σιγά-σιγά, όσο προχωράει η κατασκευή τους.

β) Τις **πασσαλώσεις με προκατασκευασμένους** πασσάλους, όπου οι επιφάνειες για την έδραση των θεμελίων μορφώνονται αυτόματα, 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.



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.

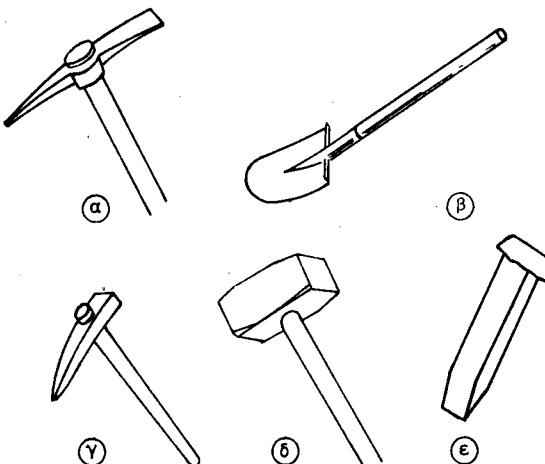
Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι η συμπίεση ενός στρώματος εδάφους δεν εξαρτάται μόνο από την αύξηση της πιέσεως, αλλά και από το πόσο μεγάλη είναι αυτή η αύξηση σχετικά με την αρχική πίεση. Έτσι τα βαθύτερα στρώματα, όπου οι αρχικές πιέσεις είναι μεγαλύτερες, παραμορφώνονται λιγότερο από 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 εδαφός είναι ομοιόμορφο σε πολύ μεγάλο βάθος.

## 5.2 Άμεση θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον.

### a) Εκσκαφή θεμελίων.

Εξετάζουμε 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.

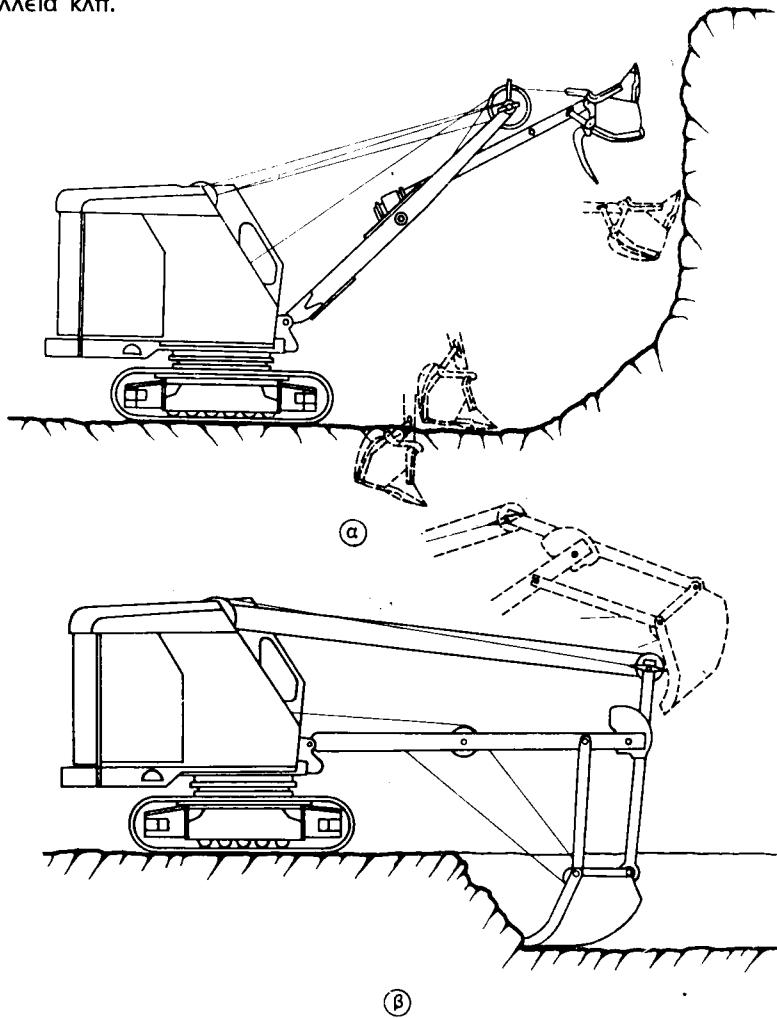
Κατά τις εκσκαφές των θεμελίων γινόταν παλιότερα χρήση της **σκαπάνης (κασμά)** και του **φτυαριού**, όταν το έδαφος ήταν σχετικά μαλακό και του **πικουνιού (γενηίδος)**, όταν ήταν σκληρότερο (σχ. 5.2a). Στην πρώτη περίπτωση το έδαφος



Σχ. 5.2a.

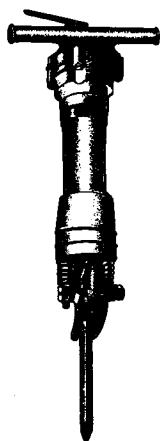
Εργαλεία για χωματουργικές εργασίες: α) Σκαπάνη (γκασμάς). β) Φτυάρι. γ) Πικουνί (γενηίς). δ) Σφυρί (βαρειά). ε) Σφήνα.

χαρακτηρίζεται γαιώδες και στη δεύτερη ημιβραχώδες. Με τα σημερινά ημερομίσθια 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 (βαρείες)** [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 διαφέύγουν απ' αυτές και τα αποτέλεσματα 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.

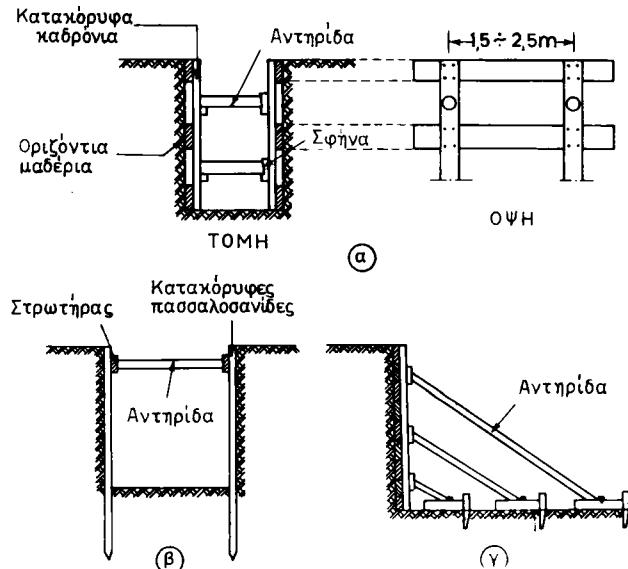
Παλιότερα τα διατρήματα ανοίγονταν με τα χέρια με τη βοήθεια μιας ατσαλενίας ράβδου, που ήταν γνωστή με το όνομα **μπαραμίνα** (Barre à mine).

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 μη 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 αντιστηρίζεις. Το ίδιο συμβαίνει και στα πιο συνεκτικά εδάφη, όταν το βάθος ξεπερνάει ορισμένα όρια, που είναι βέβαια διαφορετικά για κάθε είδος εδάφους.

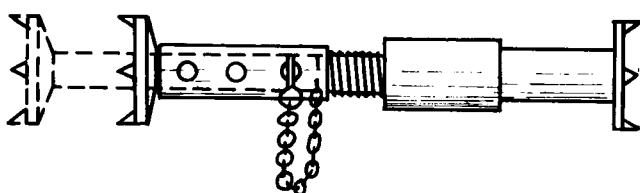
Στο σχήμα 5.2δ φαίνονται μερικά απλά συστήματα αντιστηρίζεων. Αποτελούνται κυρίως από ξύλα, μαδέρια και καδρόνια, με μερικά μεταλλικά στοιχεία. Όταν το

πλάτος των ορυγμάτων είναι πολύ μικρό, όπως π.χ. στην περίπτωση θεμελίων για τοίχους, συμφέρει το ένα πρανές να αντιστηρίζει το άλλο με τη βοήθεια οριζόντιων 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.

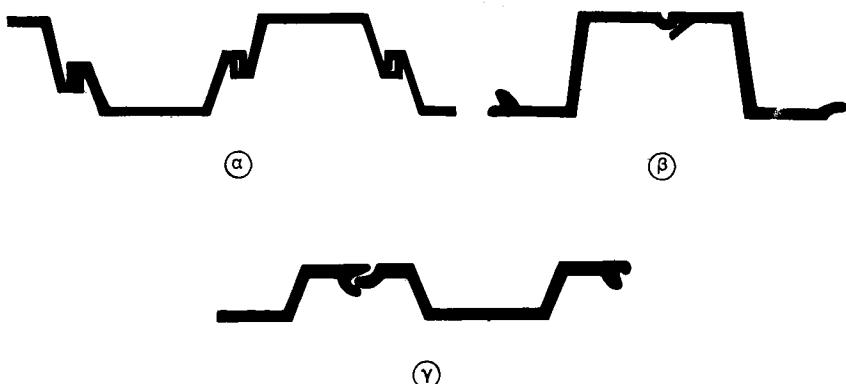
Αντιστηρίζεις για πρανή ορυγμάτων: α) Ορύγματα με μικρό πλάτος (χαντάκια). β) Εδάφη πολύ ασταθή και ιδιαίτερα μέσα στο νερό. γ) Ορύγματα με μεγάλες διαστάσεις.



Σχ. 5.2ε.

Αντηρίδα από μεταλλικό σωλήνα για αντιστήριξη πρανών.

Σε εξαιρετικά δυσμενή εδάφη η αντιστήριξη πρέπει να συνοδεύεται και με επένδυση όλης της επιφάνειας των πρανών, για να μη διαρρέει το έδαφος από τα κενά ανάμεσα από τα στοιχεία της αντιστηρίξεως. 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 αντιστήρι-



**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 αρμοί 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 κάτοψη των θεμελίων. Στα σημεία αυτά κατασκευάζονται μικρά φρεάτια λίγο βαθύτερα από τά αυλάκια και μέσα σ' αυτά τοποθετείται το ποπήρι 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.

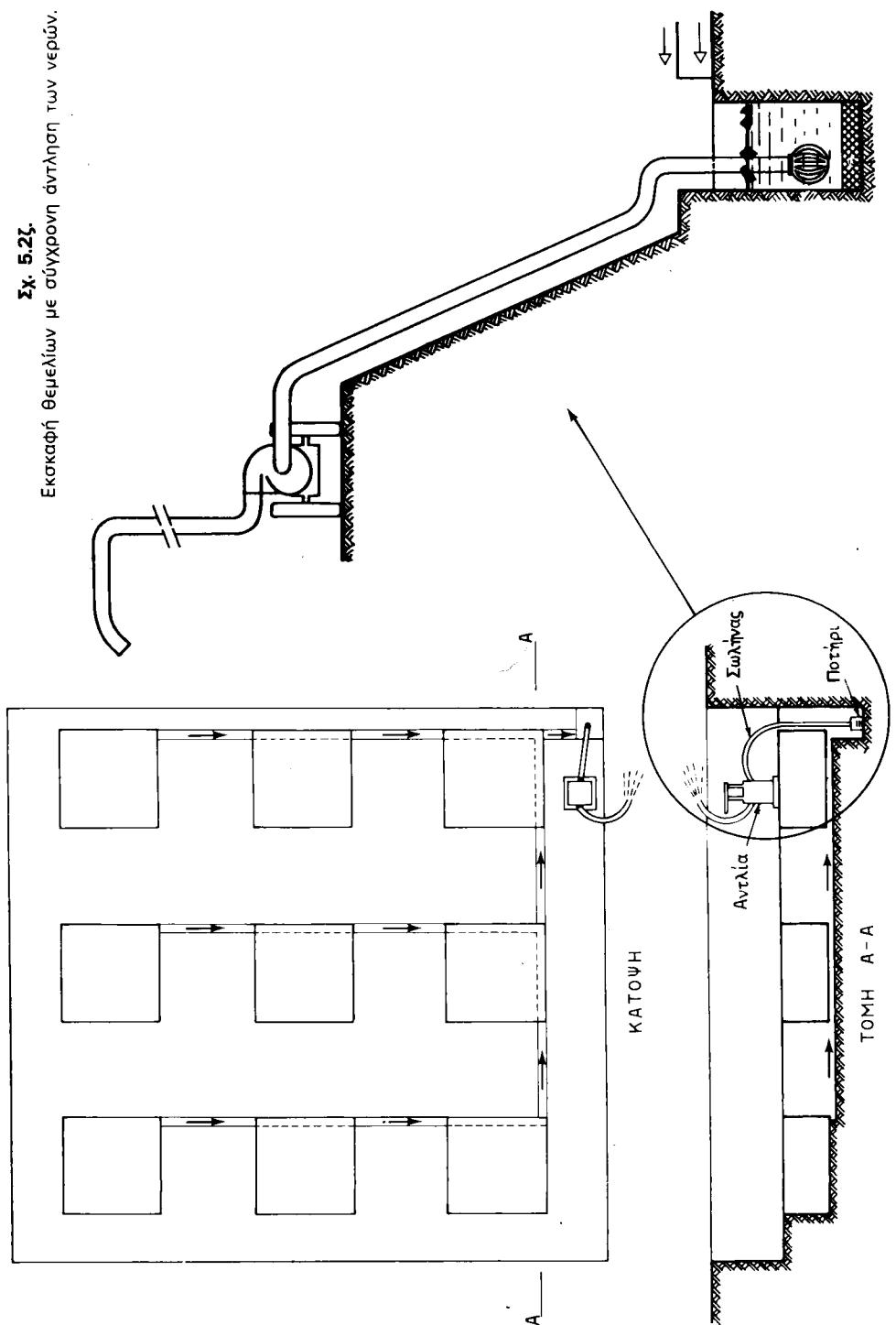
Όταν προβλέπεται μετά από την κατασκευή των θεμελίων να ξαναγεμίσουν τα ορύγματα, η επίχωση πρέπει να γίνεται έντεχνα, ώστε να πετυχαίνομε μια καλή συμπύκνωση και να αποφεύγομε έτσι τον κίνδυνο για μελλοντικές καθίζσεις. Περισσότερα πράγματα σχετικά με το θέμα αυτό αναφέρονται στο κεφάλαιο 8. Όταν για 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 δόμικων 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.

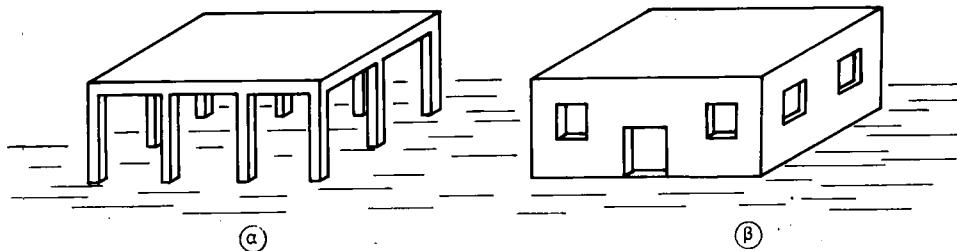
Ως προς τη μορφή τους τα θεμέλια, που εξετάζομε, διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες:

**Σχ. 5.25.**  
Εκσκαφή θεμέλιων με σύγχρονη διντηλοτή 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.

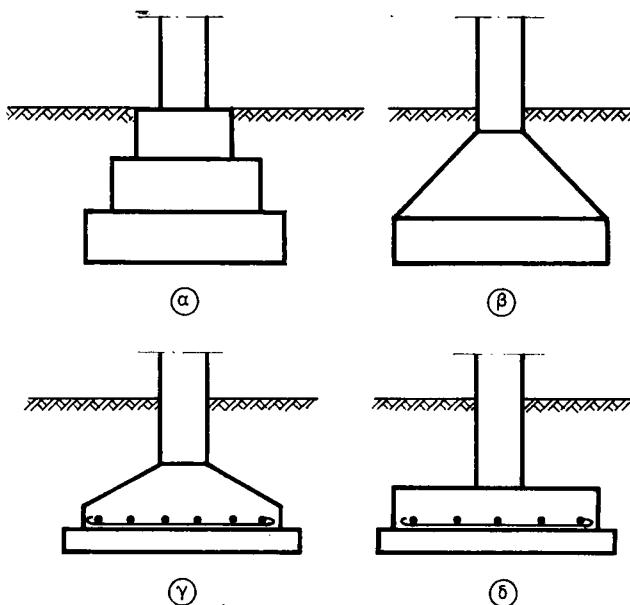
Τυπικές περιπτώσεις για φέρουσες κατασκευές δομικών έργων: α) Με μορφή σκελετού. β) Με κατάκρυφα στοιχεία συνεχή.

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 θεμελίωση, 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 μικράνουν 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 θλιπτικές και επομένως μπορούμε να τα κατασκευάσουμε με πέτρες ή με απλό σκυρόδεμα.



Σχ. 5.20.

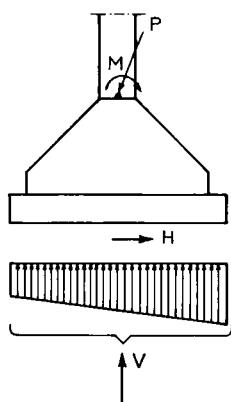
Απομονωμένα πέδιλα: α), β) Χωρίς οπλισμό. γ), δ) Με σιδερένιο οπλισμό.

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 5.2θ(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 πετύχομε 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.

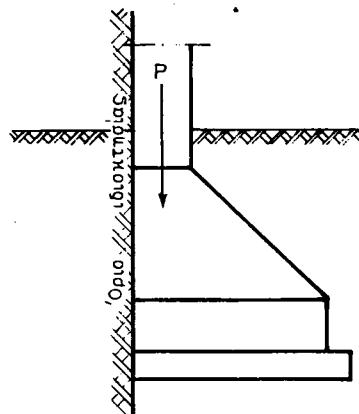
Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι σχεδόν πάντοτε οι δυνάμεις, που εφαρμόζονται σε κάθε πέδιλο, μεταβάλλονται και κατά τη μέγεθος και κατά τη διεύθυνση,

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.**

Εκκεντρό πέδιλο οικοδομής σε επαφή με το διοριό 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).

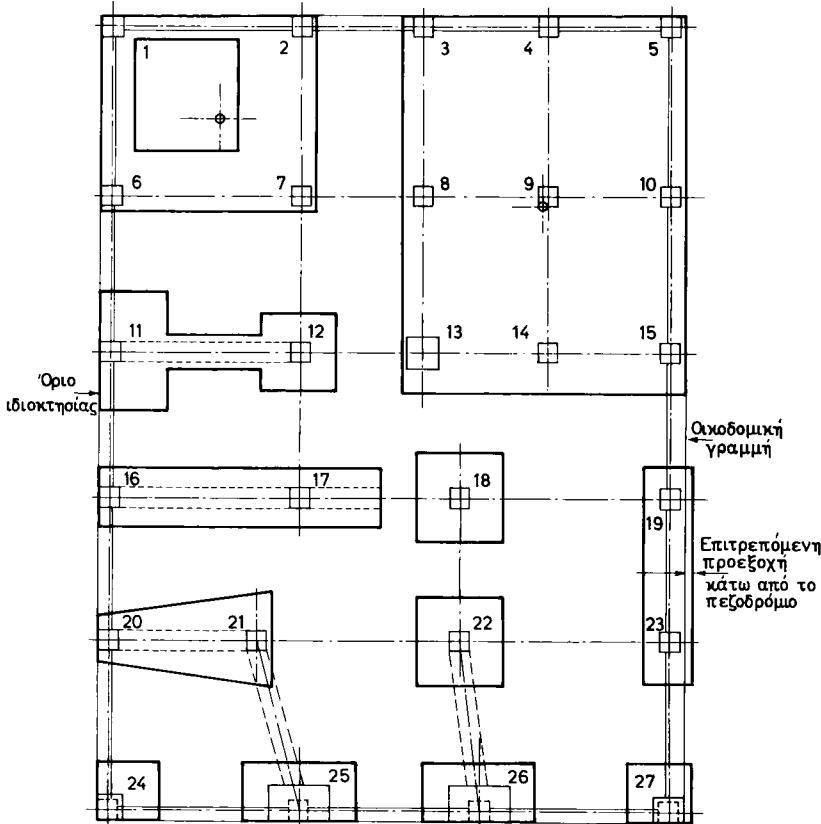
Στα πέδιλα αυτά, που ονομάζονται **έκκεντρα**, οι πιέσεις του εδάφους διαφέρουν πάρα πολύ από τη μια άκρη τους στην άλλη. Τα έκκεντρα πέδιλα δημιουργούν δυσμενείς επιβαρύνσεις στο έδαφος, αλλά και πρόσθετες επιβαρύνσεις στην ανωδομή, γι' αυτό πρέπει να αποφεύγονται τουλάχιστον στα σοβαρά έργα.

## 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 και στα απομονωμένα πέδιλα.



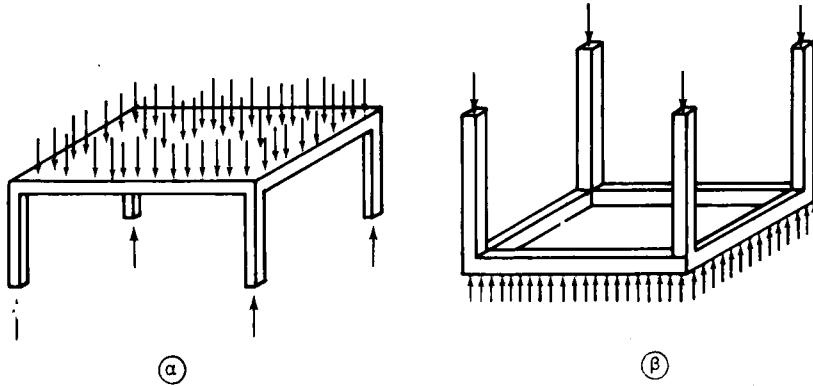
Σχ. 5.2ιβ.

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.

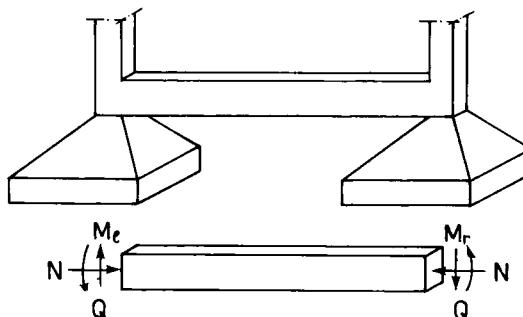
Όταν το στοιχείο της μερικής κοιτοστρώσεως περιλαμβάνει μόνο δύο σημεία εφαρμογής δυνάμεων της ανωδομής η τρία, αλλά όχι στην ίδια ευθεία και τα τρία, το σύστημα είναι ισοστατικό και η αντιστροφή των ρόλων, που αναφέραμε προηγουμένως, είναι ακριβώς όπως την περιγράψαμε. Όταν όμως τα σημεία εφαρμογής 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 λύσαμε 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 περιπώσεις 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.

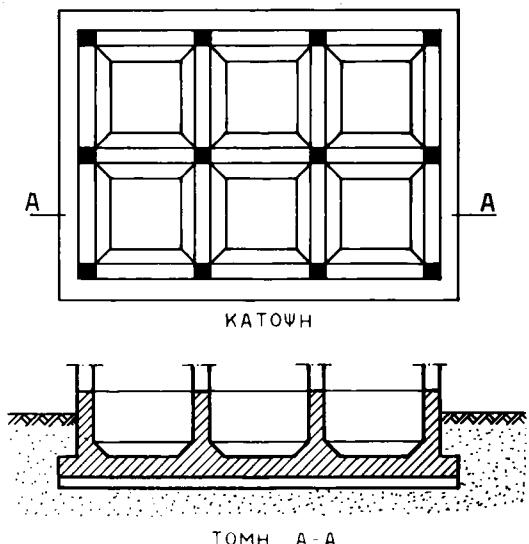
Όταν τα φορτία του έργου είναι πάρα πολύ μεγάλα και η αντοχή του εδάφους μικρή, μπορεί να χρειάζεται για τη θεμελίωση μια τόσο μεγάλη επιφάνεια εδράσεως, που το εμβαδό της να πλησιάζει ή και να ξεπερνάει την κάτοψη του έργου. Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζεται η **γενική κοιτόστρωση**.

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 όρια.

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

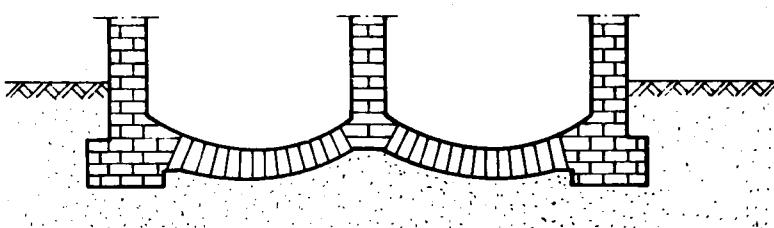
Ο στατικός υπολογισμός της σχάρας αυτής παρουσιάζει σοβαρά θεωρητικά προβλήματα, που δεν έχουν λυθεί ικανοποιητικά. Εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, που είναι αρκετά πολύπλοκες, αν και δίνουν μόνο προσεγγιστικές λύσεις.

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 περιγράψαμε και για τα πέδιλα και τη μερική κοιτόστρωση.



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

Σε χώρες, όπου το σίδερο είναι φτηνό, γίνεται καμμιά φορά και συνδυασμός του οπλισμένου σκυροδέματος με μεταλλική κατασκευή. Παληότερα 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 λιθόδομη με ανάποδους θόλους.

#### 4) Συνεχή θεμέλια.

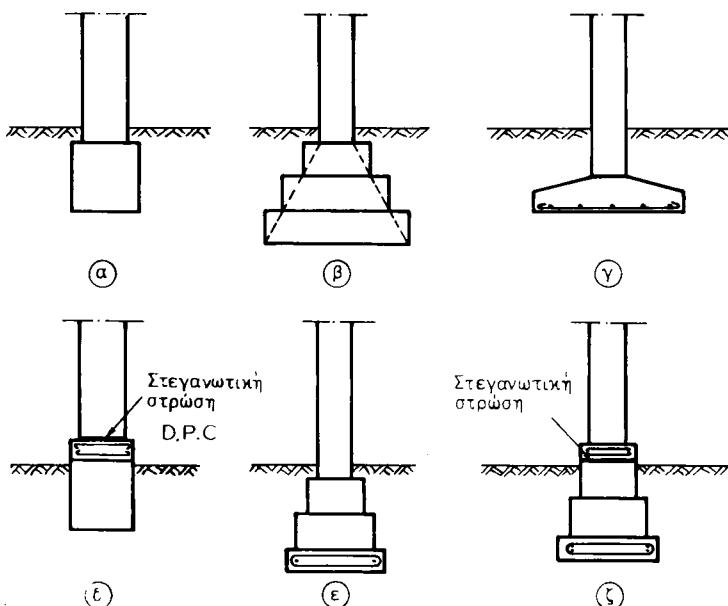
Όταν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής αποτελείται από τοίχους ή άλλα παρόμοια συνεχή στοιχεία, τότε και τα θεμέλια είναι συνεχή.

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 τοίχων 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 πλατύτερο (σχ. 5.2ιζ), ώστε οι δυνάμεις να κατανέμηθούν 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. 5.2ιζ.  
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 τριχοειδή 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 φουσκώνουν 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 Αβαθής θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον μετά από βελτίωση του εδάφους.

#### *α) Γενικά.*

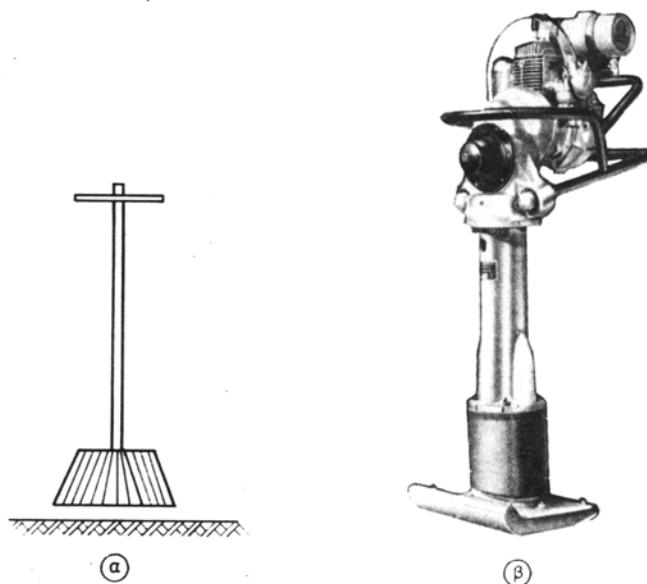
Όταν το έδαφος είναι πολύ κακής ποιότητας, πρέπει πάντοτε να εξετάζομε μήπως υπάρχει η δυνατότητα να βελτιωθεί. Δεν αποκλείεται, όταν το έδαφος βελτιωθεί, να μπορεί να κατασκευασθεί η θεμελίωση τόσο φθηνότερα, ώστε να υπερκαλυφθούν οι δαπάνες για τις πρόσθετες εργασίες της βελτιώσεως. Χρειάζεται βέβαια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

εργασίες πραγματοποιούνται σε τρεις διαδοχικές φάσεις. Στην πρώτη φάση γίνονται οι εκσκαφές και γι' 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.



Σχ. 5.3α.  
Κόπανοι (τυπάδες): α) Χειροκίνητος. β) Μηχανοκίνητος.

### 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 πετύχομε τη μείωση των κενών, είτε αν αναγκάσομε τους κόκκους του εδάφους να πλησιάσουν ο ένας με τον άλλο, είτε αν ανάμεσα στους κόκκους εισύδουν άλλα υλικά, και γεμίσουν ένα μέρος από τα κενά αυτά.

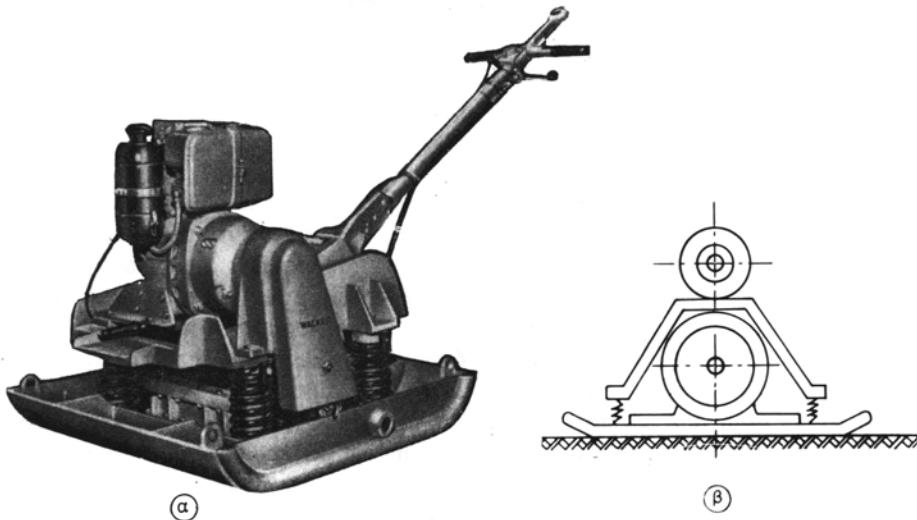
Στα χαλαρά εδάφη είναι εύκολο να αναγκάσομε τους κόκκους να πλησιάσουν ο ένας τον άλλο, αν επιβάλομε στο έδαφος κατάλληλα φορτία για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Τα φορτία αυτά μπορεί να είναι στατικά. Ο πιο απλός τρόπος να επιβάλλομε τέτοια φορτία είναι να συγκεντρώσουμε όλα τα δομικά υλικά, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του έργου, πάνω στο τμήμα του εδάφους, που χρειάζεται βελτίωση. Ο τρόπος αυτός είναι μαλλον δύσκολος, τουλάχι-

στον 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. 5.3α).

Η **δόνηση** γίνεται πάντοτε με μηχανικό δονητή (σχ. 5.3β). Με τη δόνηση οι τρίβες, 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.



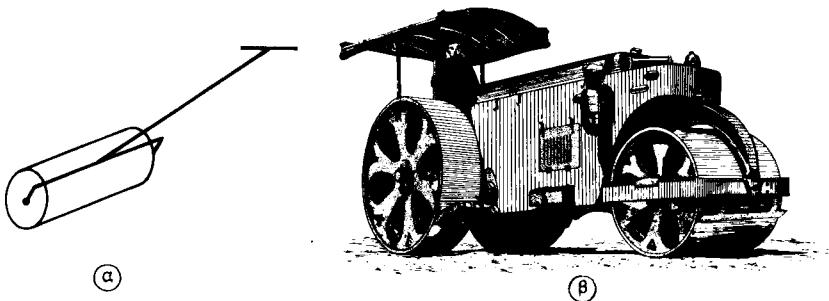
Σχ. 5.3β.  
Δονητής εδάφους: α) Φωτογραφία. β) Σχηματική τομή.

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 λέ-

γονται και **οδοστρωτήρες** (σχ. 5.3γ). Μπορούμε να πετύχομε καλύτερη συμπύκνωση του εδάφους, όταν η επιφάνεια των κυλίνδρων δεν είναι ομαλή, αλλά έχει κατάλληλες προεξοχές (**κατοικοπόδαρα**), που εισχωρούν στο έδαφος (σχ. 5.3δ). Έτσι στο έδαφος δεν αναπτύσσονται μόνο κατακόρυφες πιέσεις, 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 περιγράψαμε, βελτιώνουν μόνο τα ανώτερα στρώματά του.



Σχ. 5.3γ.

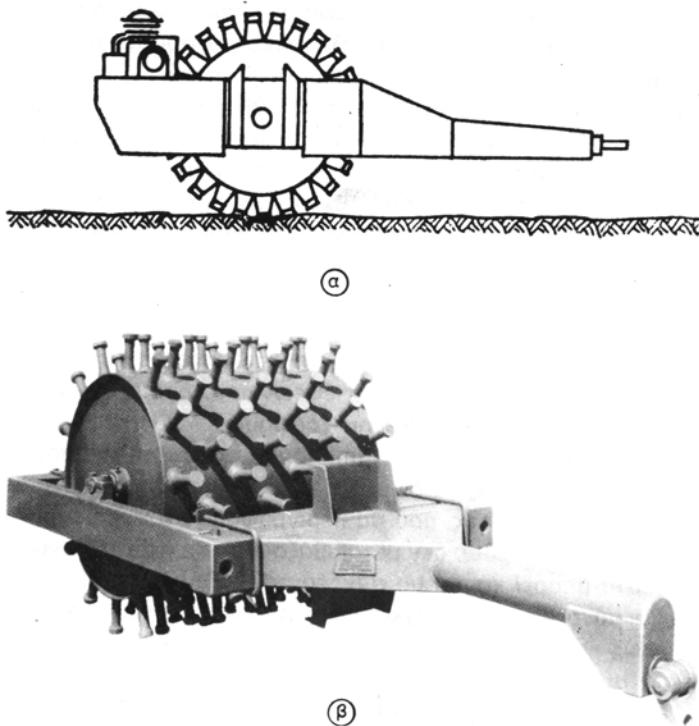
Κύλινδροι: α) Χειροκίνητος. β) Μηχανοκίνητος (οδοστρωτήρας).

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.

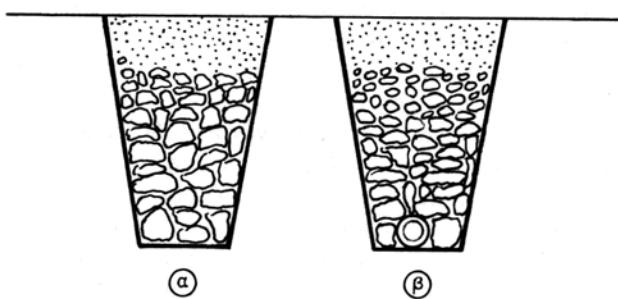
Τα συνεκτικά εδάφη χρειάζονται βελτίωση, όταν παρουσιάζουν μικρή αντοχή και μεγάλες καθιζήσεις. Αυτό συμβαίνει, όταν περιέχουν ψηλό ποσοστό υγρασίας. Όταν μάλιστα το ποσοστό αυτό έχει και μεγάλες μεταβολές, το έδαφος παρουσιάζει το ακόμα δυσμενέστερο χαρακτηριστικό, ότι μεταβάλλεται με τον καιρό τόσο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

Για να αποστραγγίσουμε το έδαφος, κατασκευάζομε ένα σύστημα αυλακιών με μεγάλο βάθος μέσα και γύρω από την περιοχή της θεμελιώσεως, που τα γεμίζομε 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. 5.3ε). 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 υπόδοχέα (υπόνομο, ποτάμι, λίμνη, θάλασσα). Βέβαια θα μπορούσε κανείς να αντλεί



**Σχ. 5.3δ.**  
Ρυμουλκούμενος κύλινδρος με προεξοχές (κατσικοπόδαρο).  
α) Σχηματική όψη. β) Φωτογραφία.



**Σχ. 5.3ε.**  
Στραγγιστήρια: α) Απλό. β) Με σωλήνωση με ανοικτούς αρμούς.

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 γεμίζοντας 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 ικανοποιητικά και έπαιψε 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 περιγράψουμε στην παράγραφο 5.5(γ). Οι πάσσαλοι, που αναφέρομε εδώ, δεν μεταβιβάζουν τα φορτία της ανωδομής στο έδαφος 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 πετύχουμε 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 πήξει, 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. Γι' αυτό κανόνα εφαρμόζεται σε θεμελιώσεις φραγμάτων ή παρομοίων έργων.

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

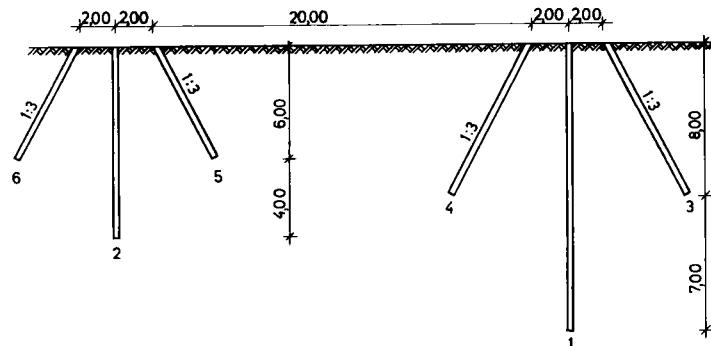
Θεωρούμε ότι η βελτίωση του έδαφους με τους τρόπους που αναφέραμε γίνεται με χημικά μέσα, επειδή, όταν τα υλικά που προσθέτομε στο έδαφος πήζουν, συντελούνται ορισμένες χημικές αντιδράσεις, όπου άλλοτε συμμετέχει το έδαφος και άλλοτε όχι. Εν τούτοις η βελτίωση είναι κυρίως μηχανική, αφού στηρίζεται στη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

Τα υλικά για τη βελτίωση του έδαφους, ιδιαίτερα το τσιμέντο και η άσφαλτος, μπορούν να προστεθούν επιφανειακά. Το έδαφος αναμοχλεύεται και θρυμματίζεται στο βάθος που θέλομε 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 έδαφους περιορίζεται σε πολύ μικρό βάθος και γι' αυτό δεν εφαρμόζεται συνήθως στις θεμελιώσεις, αλλά περισσότερο στην οδοποιία.

Ο συνηθισμένος τρόπος, για να προσθέσομε 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 από 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 έδαφους. Η εργασία συνεχίζεται μ' αυτό τον τρόπο, ώσπου να εμποτισθούν όλα τα στρώματα του έδαφους, που προβλέπει η μελέτη. Η μελέτη για τη βελτίωση του έδαφους συνοδεύεται και από σχέδια (σχ. 5.3στ), που δείχνουν τον αριθμό, το μάκρος, την κατεύθυνση και τη σειρά προτεραιότητας των ενέσεων.

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 έδαφους 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 έδαφους παίρ-



Σχ. 5.3στ.

Σχηματικό διάγραμμα για την εκτέλεση τσιμεντενέσεων (τομή).

νει ένα σχήμα παρόμοιο 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 όμως 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.

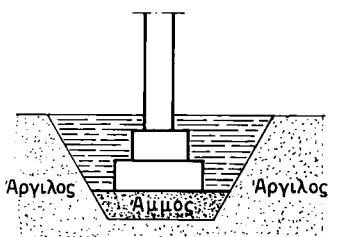
Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί και με καθαρά χημικές μεθόδους. Μια απ' αυτές είναι η **ηλεκτροχημική**, όπου μπήγομε στο έδαφος δύο ηλεκτρόδια με διαφορά τάσεως. Το νερό, που περιέχεται μέσα στο έδαφος και περιέχει πάντοτε σε διάλυση ορισμένους ηλεκτρολύτες (άλατα, οξέα κλπ), μετακινείται φεύγοντας από 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 βελτιώσομε ένα ακατάλληλο έδα-

φος, 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 καθίζσεις 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. 5.3ζ), 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.



Σχ. 5.3ζ.

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

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 αλλού, 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.

Η τελευταία αυτή μέθοδος εφαρμόζεται και στην περίπτωση, που βρίσκονται στην περιοχή των θεμελίων παληά πηγάδια, βόθροι και γενικότερα παληές εσκαφές είτε αυτές έχουν επιχωματωθεί παλιότερα είτε όχι. Οι παληές 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 παληές 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.

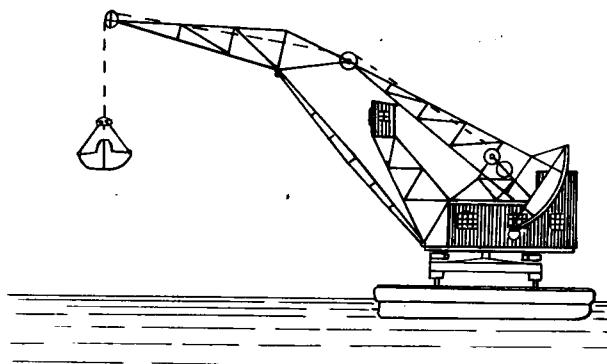
#### 5.4 Άμεση αβαθής θεμελίωση μέσα στο νερό.

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 θεμελιώσομε 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.

Στις βαθιές θεμελιώσεις ο τρόπος εργασίας δεν αλλάζει σημαντικά αν υπάρχει νερό, ούτε η δαπάνη επηρεάζεται πολύ. Επίσης, αν χρειάζεται να γίνει βελτίωση του εδάφους κάτω απ' το νερό, αυτή γίνεται με ενέσεις ή με αντικατάσταση του εδάφους, χωρίς πάλι να έχει μεγάλη σημασία αν υπάρχει νερό ή όχι. Γ' αυτό εξετάζομε μόνο τις άμεσες αβαθείς θεμελιώσεις, που κατασκευάζονται μέσα στο νερό.

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.



Σχ. 5.4a.  
Πλωτός μηχανοκίνητος εκσκαφέας.

Στην πρώτη φάση οι εκσκαφές γίνονται με μηχανικούς εκσκαφείς, που μπορεί να είναι πλωτοί (σχ. 5.4a), αλλά μπορεί και να πατούν στο στερεό έδαφος, αν κοντά 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 κυρίως 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 σκυροδέματος, 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 κεί το σκυρόδεμα, ενώ η άλλη τους άκρη μετακινείται έτσι, ώστε να βρίσκεται πάντοτε κοντά στο σημείο, όπου θέλομε να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Όπως το σκυρόδεμα γλυστράει με το βάρος του μέσα στο σωλήνα, δεν προφταίνουν τα υλικά του να διαχωριστούν. Αμέσως μετά τη διάστρωση το σκυρόδεμα συμπικνώνεται με κοπάνισμα ή καλύτερα με δόνηση και έτσι περιορίζεται και ο κίνδυνος να αποπλυθεί.

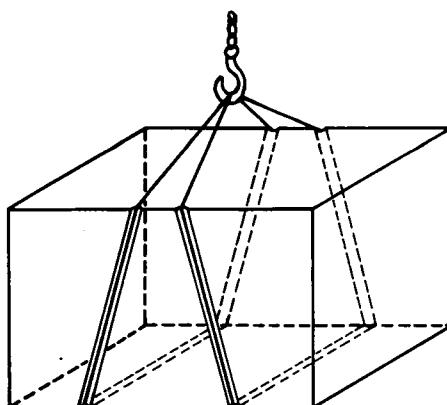
Οταν τα θεμέλια κατασκευάζονται με προκατασκευασμένα στοιχεία, τα στοιχεία αυτά είναι συνήθως **ογκόλιθοι** ή **κυψελωτά κιβώτια**. Οι ογκόλιθοι έχουν το σχήμα περίπου ενός ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου με όγκο γύρω στα 5 ως 20 m<sup>3</sup>, ζυγίζουν δηλαδή από 10 ως 50 τόννους. Όσο μεγαλύτεροι είναι οι ογκόλιθοι, τόσο μικράίνει η δαπάνη για την κατασκευή των θεμελίων, επειδή μεγαλώνει το ποσοστό της δουλειάς, που γίνεται έξω από το νερό, και μικράίνει ο αριθμός των μεταφορών. Υπάρχουν βέβαια ορισμένα όρια, γιατί οι διαστάσεις των ογκολίθων δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερες από τις διαστάσεις του θεμέλιου, που πρόκειται να κατασκευασθεί, ούτε το βάρος τους μεγαλύτερο από κείνο, που μπορούν να σηκώσουν τα ανυψωτικά μηχανήματα που διαθέτουμε.

Παληότερα οι ογκόλιθοι κτίζόταν με πέτρες, ενώ το κονίαμα ήταν υδραυλικό, κυρίως θηραϊκοκονίαμα. 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. 5.4β), ώ-

στε η ισορροπία των ογκολίθων να είναι ευσταθής και να μην κινδυνεύουν να ανατραπούν.

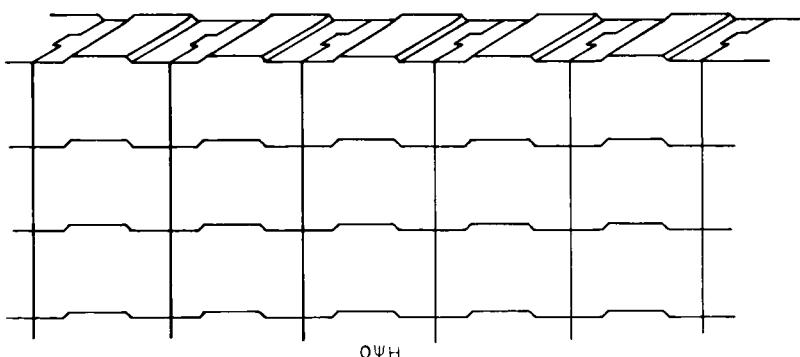
Στην επιφάνεια των ογκολίθων αφήνονται και μερικές εσοχές, που μέσα τους αγκυρώνονται χαλύβδινες θηλιές. Στις θηλιές αυτές μπορούν να δεθούν βοηθητικά συρματόσχοινα, ώστε να μπορούν να γίνουν οι κατάλληλοι μικροχειρισμοί, που απαιτούνται, για να μπει ο κάθε ογκόλιθος με ακρίβεια στη σωστή του θέση. Τα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

Οι ογκόλιθοι κτίζονται χωρίς κονίαμα και έτσι, ώστε ο ένας να βρίσκεται 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. 5.4γ).



**Σχ. 5.4β.**

Εγκοπές για την ανάρτηση του ογκόλιθου από το γερανό.

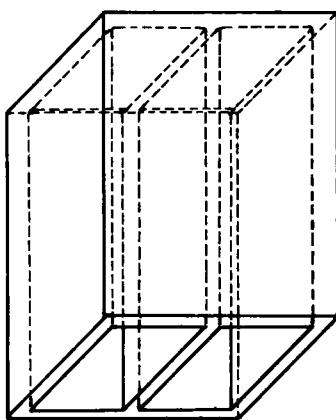


**Σχ. 5.4γ.**

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

Στα λιμενικά έργα η μεταφορά των ογκολίθων αποβαίνει πολύ δαπανηρή, όταν τα έργα απέχουν πολύ από την ακτή, όπου κατασκευάζονται οι ογκόλιθοι. Το ίδιο ισχύει και για τα βάθρα μιας γέφυρας σε ένα φαρδύ ποτάμι με πολύ νερό. Συμφέρει τότε να χρησιμοποιηθούν **κυψελωτά κιβώτια** και όχι συμπαγείς ογκόλιθοι.

Τα κιβώτια αυτά κατασκευάζονται κατά κανόνα από οπλισμένο σκυρόδεμα και αποτελούνται από ένα περίβλημα σχετικά λεπτό και μερικά διαφράγματα κατακόρυφα ή και οριζόντια, που χρειάζονται, για να έχουν μεγαλύτερη αντοχή (σχ. 5.4δ). Τα κιβώτια, επειδή είναι πιο ελαφριά, μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερα από τους ογκόλιθους. Ο αριθμός τους επομένως είναι μικρότερος με αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερες μεταφορές.



Σχ. 5.4δ.  
Κυψελωτό κιβώτιο.

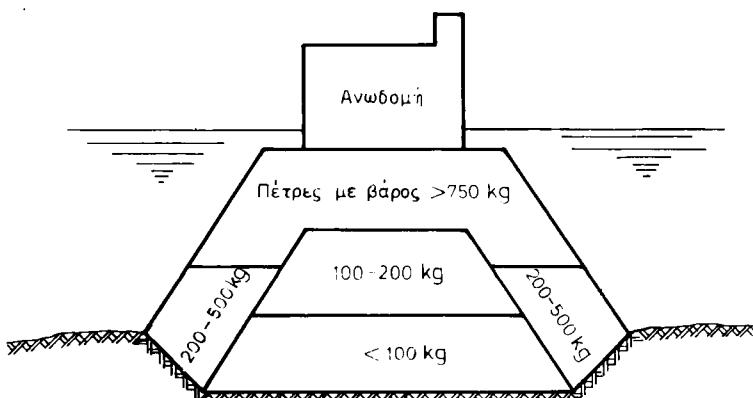
Το κυριότερο όμως πλεονέκτημα των κυψελωτών κιβωτίων είναι ότι επιπλέουν στο νερό. Έτσι, όταν κατασκευασθούν και πήξουν καλά, μπορούν να καθελκυσθούν, όπως ακριβώς ένα πλοίο, και να ρυμουλκηθούν στην οριστική τους θέση. Έπειτα τα κενά τους γεμίζονται σιγά-σιγά με σκυρόδεμα ή λιθόδεμα ή ακόμα και με αμμοχάλικο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

Μια ενδιάμεση λύση είναι τα **απύθμενα κυψελωτά κιβώτια**. Τα κιβώτια αυτά δεν είναι πλωτά, αλλά μεταφέρονται με γερανούς, όπως και οι ογκόλιθοι. Είναι όμως 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 συτά να χαρακτηρισθούν ως **λιθοδομές** αλλά ως **λιθορρόπες**. Βέβαια οι λίθοι δεν τοποθετούνται τυχαία, αλλά σε ορισμένες θέσεις του θεμελίου μπαίνουν πέτρες μικρότερες και σε άλλες μεγαλύτερες, όπως φαίνε-

ται στο σχήμα 5.4ε. Έτσι το θεμέλιο εξασφαλίζεται από τον κίνδυνο να παρασύρθουν 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. 5.4ε.

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

## 5.5 Βαθιές Θεμελιώσεις.

### a) Γενικά.

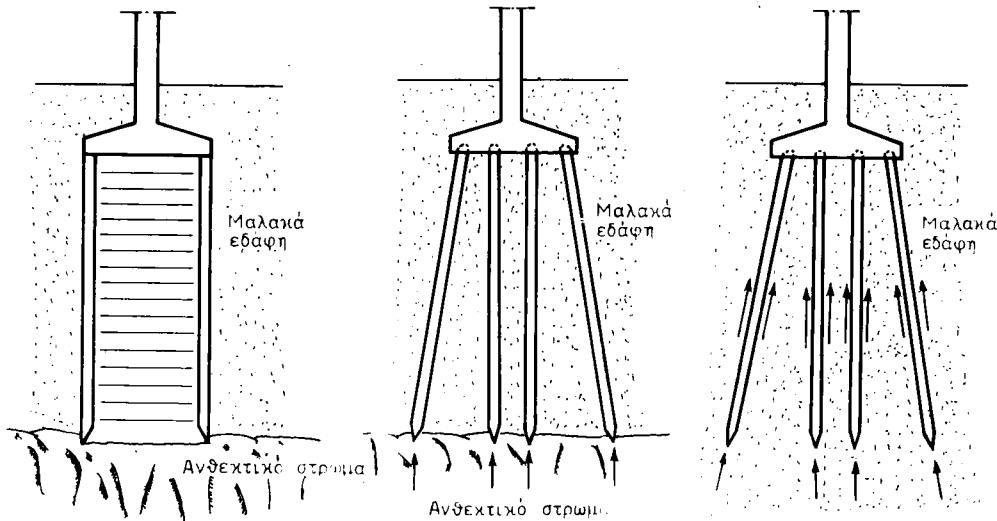
Οι βαθιές θεμελιώσεις είναι γενικά δύσκολες και δαπανηρές. Για να κατασκευασθούν, χρειάζεται σχεδόν πάντοτε βαρύς μηχανικός εξοπλισμός, ενώ ο κατασκευαστής πρέπει να έχει πείρα σε τέτοιες εργασίες. Αν δεν υπάρχει πείρα και ο εξοπλισμός είναι ακατάλληλος, είναι δυνατόν οι εργασίες να αποτύχουν και σ' 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 απαλλάξουμε τα ανώτερα στρώματά του από τις πρόσθετες επιβαρύνσεις, να παρουσιάζει ανεκτές καθίζσεις 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. 5.5α) ή με πασσάλους, που λέγονται **πάσσαλοι αιχμής** (σχ. 5.5β).



Σχ. 5.5α.

Καταδυόμενο φρέαρ.

Σχ. 5.5β.

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

Σχ. 5.5γ.

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

Στη δεύτερη περίπτωση η θεμελίωση εδράζεται σε όλα τα στρώματα του έδαφους, 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. 5.5γ).

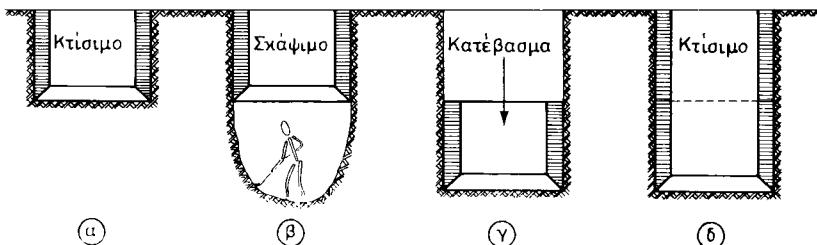
### β) Καταδυόμενα φρέατα.

Τα καταδυόμενα φρέατα εφαρμόζονται κυρίως, όταν τα έδαφη 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 θεμέλιου γίνεται πιο οικονομικά, γιατί εκτελείται πάντοτε κοντά στην επιφάνεια του έδαφους και όχι στο βάθος του ορύγματος.

Για την κατασκευή ενός καταδυόμενου φρέατος σκάβεται πρώτα ένα ρηχό δρυγμα (σχ. 5.5δ) 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, δημοσιεύεται στο σχήμα 5.5δ(α), που διευκολύνει την επένδυση να βυθίζεται 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. 5.5δ(β)]. Το νέο δρυγμα έχει την ίδια κάτοψη 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. 5.5δ(γ)]. Τότε κατασκευάζεται ένα δεύτερο στοιχείο της επενδύσεως ακριβώς επάνω στο πρώτο [σχ. 5.5δ(δ)]. Ακολουθεί νέο σκάψιμο, νέο γλύ-



Σχ. 5.5δ.

Διαδοχικές φάσεις εργασίας για την κατασκευή καταδυόμενου φρέατος.

στρημα 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. 5.5ε) ή και να μείνει άδειο, αλλά να σκεπασθεί μόνο με μια χοντρή πλάκα από σκυρόδεμα (σχ. 5.5στ), ανάλογα και με την ποιότητα του εδάφους, που βρίσκεται από κάτω του.

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.

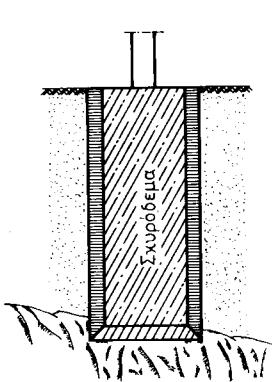
Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις, που το έδαφος δεν αφήνει την επένδυσή του να γλυστρήσει μόνη της με το βάρος της. Χρειάζεται τότε να τοποθετούμε επάνω στην επένδυση προσωρινά φορτία, για να την αναγκάσουμε να προχωρήσει προς τα κάτω.

Επειδή η εκσκαφή των καταδυομένων φρεάτων γίνεται σε μεγάλο βάθος, η εργασία είναι πάντοτε επικίνδυνη. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει παροχή καθαρού αέρα, επειδή στο βάθος της εκσκαφής συγκεντρώνεται διοξείδιο του άν-

Θρακος ή άλλα βαριά αέρια, που μπορούν να προκαλέσουν συμπτώματα ασφυξίας. Είναι επίσης σκόπιμο οι εργάτες να είναι δεμένοι με σχοινιά, ώστε να μπορούμε να τους ανασύρομε, αν χάσουν τις αισθήσεις τους ή αν συμβεί κανένα ατύχημα από απρόβλεπτη κατολίσθηση χωμάτων.

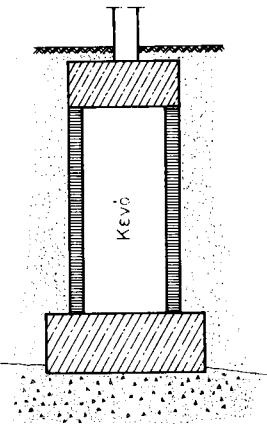
Όταν η φέρουσα κατασκευή της ανωδομής έχει μορφή σκελετού, κατασκευάζεται ένα καταδυόμενο φρέαρ κάτω από κάθε σημείο, όπου καταλήγουν τα φορτία της ανωδομής. Όταν η φέρουσα κατασκευή είναι συνεχής κατασκευάζονται περισσότερα από ένα φρέατα κάτω από κάθε στοιχείο της και πάνω τους στηρίζεται μια θεμελιοδοκός, που αποτελεί και τη χαμηλότερη ζώνη του στοιχείου της φέρουσας κατασκευής.

Παληότερα τα καταδυόμενα φρέατα κτίζοταν με πέτρες ή τούβλα συμπαγή και με υδραυλικό κονίαμα (θηραϊκονίαμα). Σήμερα κατασκευάζονται γενικά με σκυρόδεμα οπλισμένο ή και απλό. Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι όλο και λιγότερο εφαρμόζεται αυτή η μέθοδος θεμελιώσεως, επειδή η πρόσδος 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. 5.5ε.

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



Σχ. 5.5στ.

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

### γ) Πασσαλώσεις με προκατασκευασμένους πασσάλους.

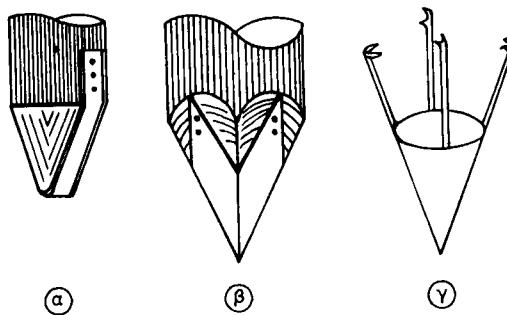
Η πασσαλωση ως μέθοδος κατασκευής εφαρμόζεται από πολύ παλιά. Οι προϊστορικές λιμναίες κατοικίες στηρίζονταν πάνω σε πασσάλους. Γενικά σε περιοχές ελώδεις ή με εδάφη μαλακά και ασταθή η συνηθισμένη λύση ήταν πάντοτε η θεμελίωση με πασσάλους. Οι πάσσαλοι αρχικά ήταν ξύλινοι. Ξύλινοι πάσσαλοι χρησιμοποιούνται 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 σπάζουν 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.

Με προκατασκευασμένους πασσάλους μπορούν να πραγματοποιηθούν **πασσαλώσεις αιχμής, πασσαλώσεις τριβής** ή και πασσαλώσεις μόνο για τη βελτίωση του εδάφους [παράγρ. 5.3(β)]. Για τις 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.

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 σχ. 5.5ζ.



Σχ. 5.5ζ.

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

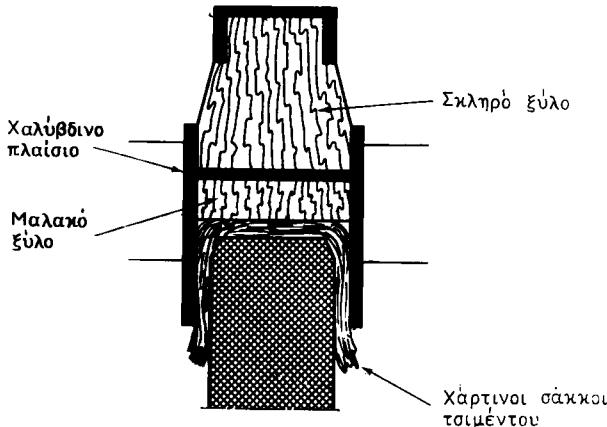
Ο κορμός των ξυλίνων πασσάλων είναι συνήθως κυλινδρικός, επειδή προέρχεται από τον κορμό κάποιου δένδρου. Στους μεταλλικούς πασσάλους ο κορμός έχει συνήθως διατομή διπλού του και σπανιότερα σχηματίζεται από σωλήνες. Οι πάσσαλοι από σκυρόδεμα έχουν συνήθως διατομή τετραγωνική, επειδή αυτή κατασκευάζεται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

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 βοή-

Θεια 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.

Το μάκρος των πασσάλων κυμαίνεται συνήθως από 5 ως 20 m. 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 (5.5η).

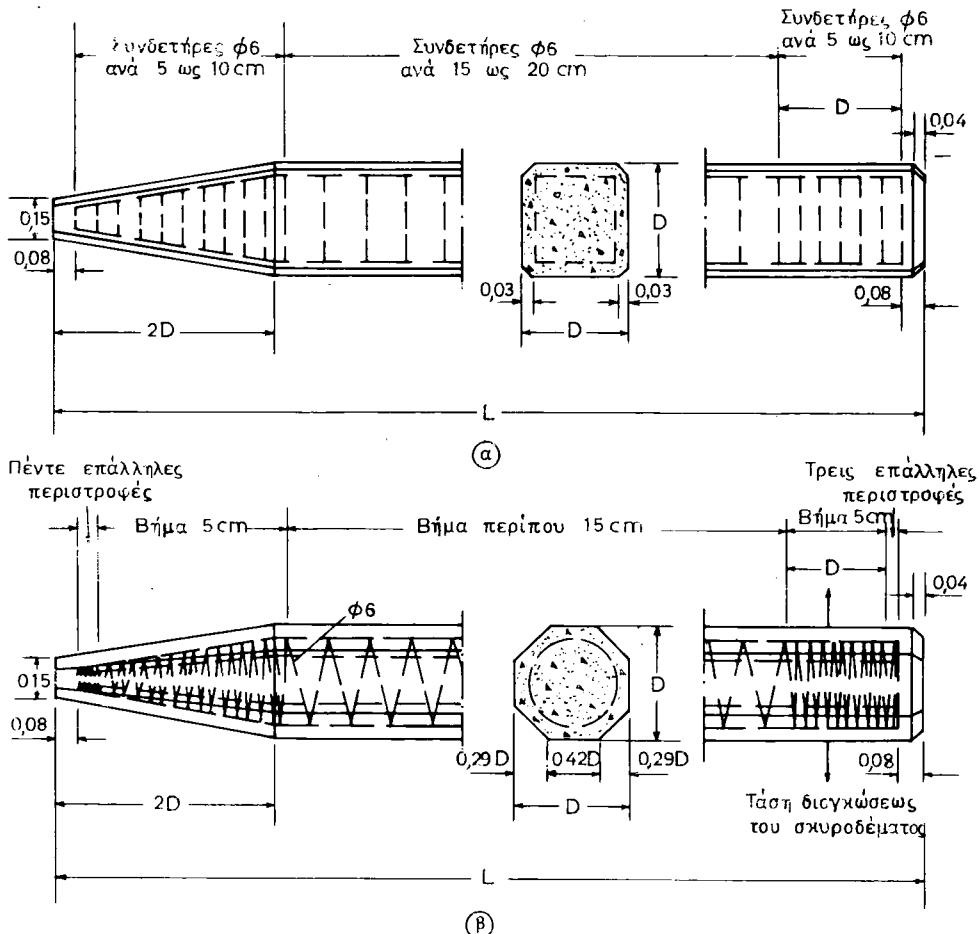


**Σχ. 5.5η.**  
Προσκέφαλο πασσάλου από σκυρόδεμα.

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 5.5θ, 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.

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. 5.51).

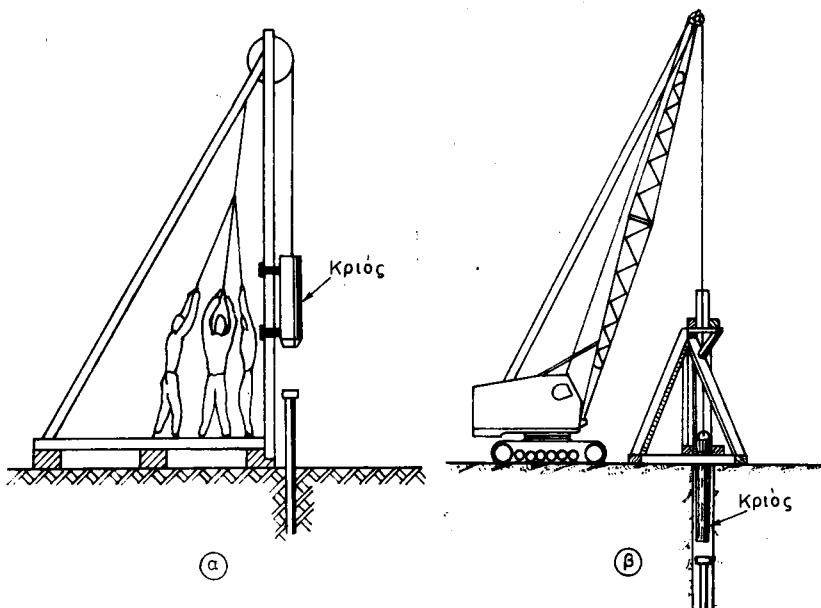


Σχ. 5.50.

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

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



Σχ. 5.5ι.

Πασσαλοπήγτες: α) Χειροκίνητος. β) Μηχανοκίνητος με ερπύστριες.

ανάμεσά τους ανεβοκατεβαίνει ο **κριός**, δηλαδή το βάρος, που πέφτει στην κεφαλή του πασσάλου.

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

Ετσι η ενέργεια για κάθε κρούστη 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 συνδεθεί με ένα κινητήρα, που τον ανεβοκατεβάζει συνέχεια, ο πασσαλοπήγκτης λέγεται **διπλής ενέργειας**. Η ενέργεια κάθε κρούσεως στην περίπτωση αυτή δεν προέρχεται μόνο από το βάρος του κριού, αλλά και από τον κινητήρα, μπορεί δηλαδή να είναι  $W > G \cdot h$ .

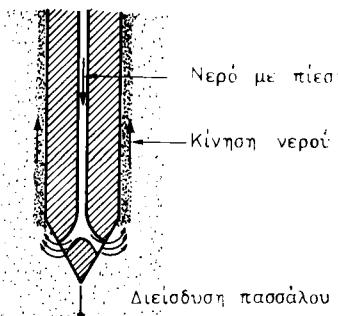
Οι κριοί έχουν μεγάλο βάρος, μπορούν σε εξαιρετικές περιπτώσεις να φθάνουν και στους 10 τόνους. Το βάρος του κριού πάντως πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το  $\frac{1}{3}$  του βάρους του πασσάλου. Οι πασσαλοπήγκτες απλής ενέργειας είναι αργοί και οι κρούσεις τους είναι μόνο 5 ως 15 κάθε λεπτό. Αντίθετα στους πασσαλοπήγκτες 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 αιμμώδη εδάφη ή το πολύ σε μαλακούς πηλούς και αργίλους (σχ. 5.5ια).

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, επειδή και τα φορτία, που μεταβιβάζουν, είναι και αυτά σχεδόν κατακόρυφα. Οταν 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.



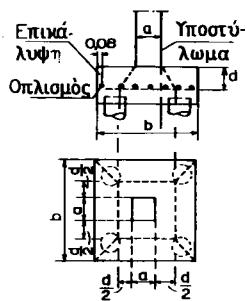
Σχ. 5.5ια.

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

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 παράληλοι, 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 ανωδομής. 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 5.5ιβ. Στο ίδιο σχήμα βλέπομε ότι οι



Πλήθος πασσάλων	Κάτοψη
1	□
2	□□□
3	△
4	□□□□

Πλήθος πασσάλων	Κάτοψη	Πλήθος πασσάλων	Κάτοψη
5		11	
6		12	
7		13	
8		14	
9		15	
10		16	

**Σχ. 5.5β.**  
Τυπικές μορφές για πασσαλοεσχάρες.

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 καθιζήσεις 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 5.3(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. Κια για τις δύο περιπτώσεις είναι καλύτεροι από τους προκατασκευασμένους, επειδή έχουν πολύ μεγαλύτερη βάση και πολύ πιο ανώμαλη επιφάνεια. Για τους λόγους αυτούς τους προτιμούμε στα πιο σημαντικά έργα και στις πιο δύσκολες περιπτώσεις.

Η κατασκευή των πασσάλων αυτών είναι γενικά πιο δαπανηρή από την κατασκευή και την έμπηξη των προκατασκευασμένων, εκτός αν το βάθος της θεμελίωσεως 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 m ή και ακόμα μεγαλύτερο.

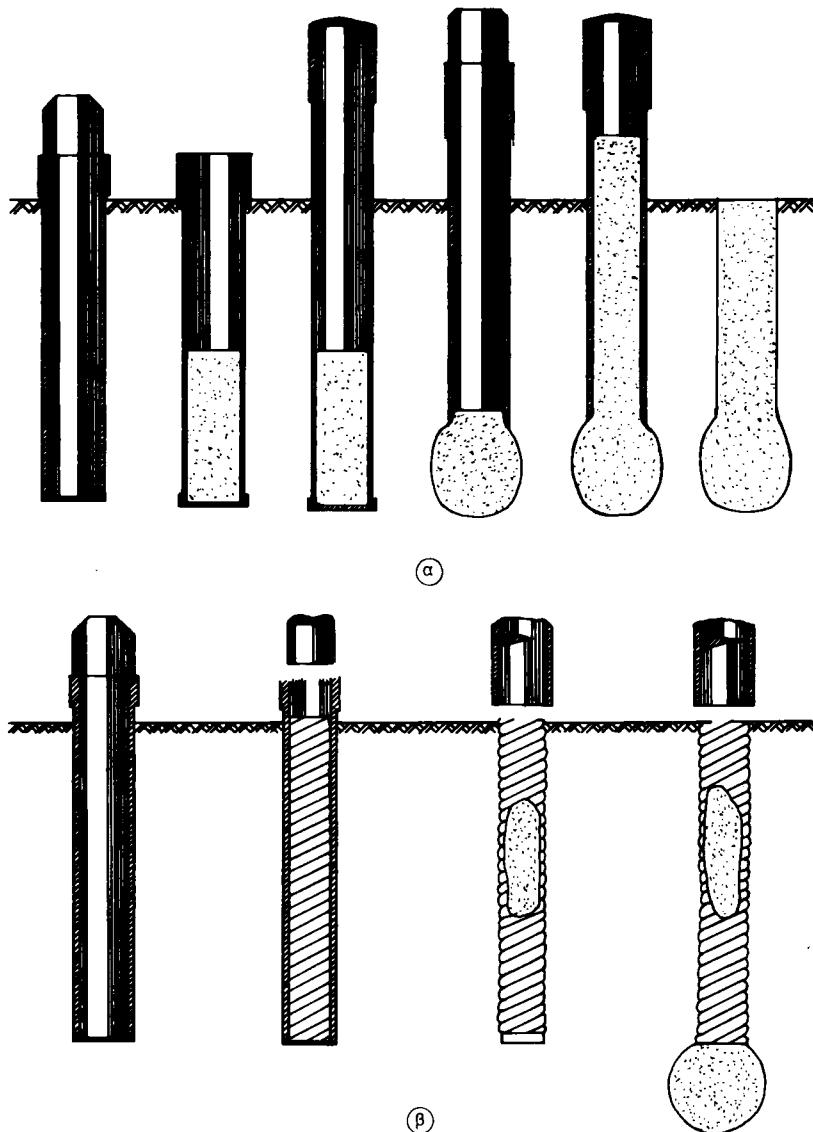
Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτών των πασσάλων είναι ότι δεν χρειάζεται χώρος για να τους αποθηκεύσουμε, ούτε χάνεται χρόνος, ώσπου να πήξουν και να αποκτήσουν αρκετή αντοχή, ώστε να μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε. Τέλος οι πάσσαλοι αυτοί κατασκευάζονται ακριβώς στο μάκρος που χρειάζεται, ενώ στους προκατασκευασμένους 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. 5.5ιγ. 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 εδάφους 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 καινούργιες 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

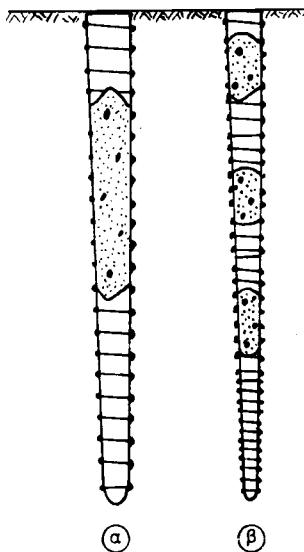


**Σχ. 5.5ιγ.**

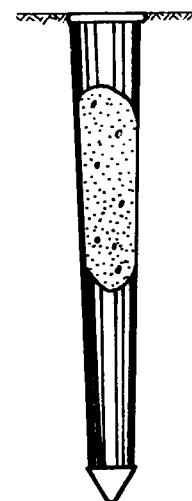
Διαδοχικές φάσεις εργασίας για την κατασκευή πασσάλων μέσα στο έδαφος: α) Χωρίς μόνιμη επένδυση. β) Με μόνιμη επένδυση.

σιγά-σιγά, όσο προχωράει η κατασκευή του πασσάλου (σχ. 5.5ιγ.).

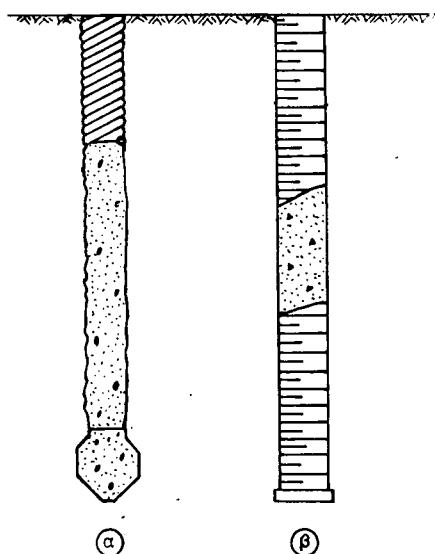
Τα διάφορα συστήματα χαρακτηρίζονται κυρίως από τη μορφή και τον οπλισμό του χαμηλότερου μέρους του πασσάλου. Διαφέρουν επίσης και οι λεπτομέρειες των διαφόρων φάσεων της κατασκευής. Τα σχήματα 5.5ιδ, 5.5ιε, 5.5ιστ και 5.5ιζ δείχνουν παραδείγματα τέτοιων συστημάτων, που εφαρμόζονται κυρίως στην

**Σχ. 5.5ιδ.**

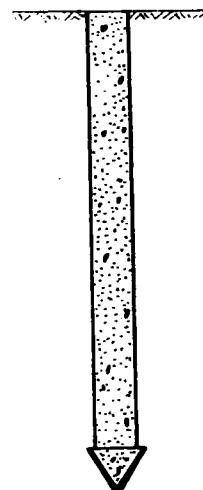
Έγχυτοι πάσσαλοι με μόνιμο περίβλημα τύπου Raymond (Standar - step).

**Σχ. 5.5ιε.**

Έγχυτος πάσσαλος με μόνιμο περίβλημα τύπου Union.

**Σχ. 5.5ιστ.**

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

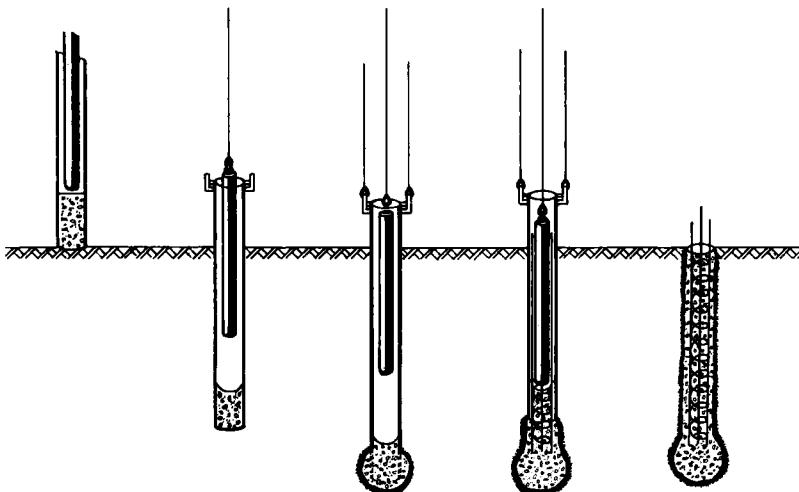
**Σχ. 5.5ιζ.**

Έγχυτος πάσσαλος χωρίς περίβλημα τύπου Simplex.

Αμερική. Παληότερα στην Ευρώπη εφαρμοζόταν συνήθως το σύστημα Franki, που χαρακτηρίζεται από το ότι το χαμηλότερο μέρος των πασσάλων είναι πολύ ογκώδες, ώστε να λειτουργεί περίπου σαν ένα απομονωμένο πέδιλο (σχ. 5.5η). 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 είπαμε, μπορούν να θεωρηθούν και ως εξέλιξη των καταδυομένων φρεάτων.



Σχ. 5. 5η.

Διαδοχικές φάσεις για την κατασκευή έχυτου πασσάλου τύπου Franki.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΝ

#### 6.1 Γενικά.

Όπως η κατασκευή των θεμελίων χωρίζεται σε δυο 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 θεμελίου**.

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

#### 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 θεμελίου.

Αν ονομάσουμε  $P_a$  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 ονομάσουμε  $p_a$  την ανεκτή πίεση του εδάφους, το εμβαδόν της επιφάνειας εδράσεως του θεμελίου πρέπει να είναι:

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

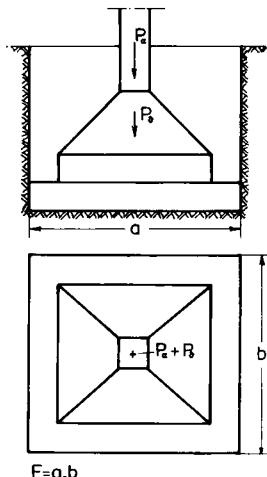
Αν ονομάσουμε  $h$  το βάθος του θεμελίου κάτω από το δάπεδο της κατασκευής και  $\gamma$  το μέσο ειδικό βάρος των υλικών, που βρίσκονται πάνω απ' την επιφάνεια εδράσεως του θεμελίου, τότε το φορτίο  $P_\theta = \gamma \cdot h \cdot F$ .

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.

### Παράδειγμα 1.

Στύλος δομικού έργου μεταφέρει στη βάση του κατακόρυφο φορτίο 85 τόννων και πρόκειται να θεμελιωθεί με ένα πέδιλο σε βάθος 1,50 π 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  $5 \text{ m}^2$ . Μπορεί λοιπόν να έχει διαστάσεις  $2,25 \times 2,25$  ή  $2,00 \times 2,50$  κ.ο.κ. με το κέντρο βάρους της κάτω ακριβώς από τον άξονα του στύλου.

Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζονται και οι διαστάσεις της κατόψεως, 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:

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

### Παράδειγμα 2.

Ένας τοίχος μεταφέρει στη βάση του κατακόρυφα φορτία ίσα με  $12 \text{ τόνους}$  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  $1 \text{ kg/cm}^2$ . Το πλάτος πρέπει να έχει το θεμέλιο;

### Λύση.

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

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

Επομένως το πλάτος του θεμελίου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με  $1,50 \text{ m}$  και ο άξονάς του να βρίσκεται κάτω ακριβώς από τον άξονα του τοίχου.

Όταν το θεμέλιο δέχεται φορτία σε περισσότερα από ένα σημείο 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 εδρασή του και να υπολογίσουμε το εμβαδό της. Χρειάζεται ακόμη να βρούμε το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης των φορτίων της ανωδομής, ώστε να τοποθετήσουμε 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.

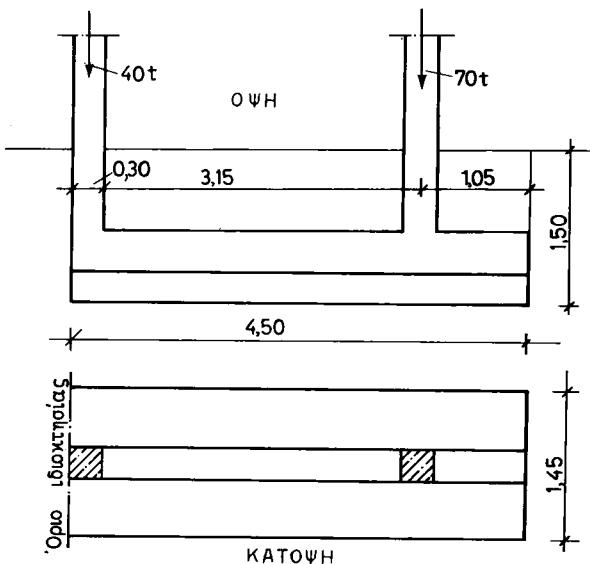
Ως παράδειγμα αναφέρομε ότι η απλή λύση του θεμελίου 16-17 του σχήματος 5.2ιβ δεν μπορεί να εφαρμοσθεί, όταν το φορτίο της κολώνας, που βρίσκεται στο όριο της ιδιοκτησίας, είναι μεγαλύτερο απ' το φορτίο της άλλης. Τότε υποχρεωτικά

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 τοποθετήσομε σωστά το θεμέλιο, χωρίς μεγάλες προεξοχές γύρω από το πολύγωνο, που σχηματίζουν οι κολώνες.

### Παράδειγμα 3.

Δύο κολώνες με αντίστοιχα φορτία 40 και 70 τόννων πρόκειται να θεμελιωθούν σε βάθος 1,50 m κάτω απ' την επιφάνεια του δαπέδου (σχ. 6.2β). Το έδαφος σ' αυτή τη στάθμη μπορεί να δεχθεί πίεση  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Η πρώτη κολώνα έχει διαστάσεις  $30 \times 30 \text{ cm}$  και βρίσκεται σε επαφή με το όριο της ιδιοκτησίας. Οι άξονες των κολωνών απέχουν μεταξύ τους  $3,30 \text{ m}$  και ορίζουν ένα επίπεδο κάθετο με το όριο της ιδιοκτησίας. Να ορισθεί η κάτοψη του θεμελίου.



Σχ. 6.2β.

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.

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 έκκεντρότητα δεν πρέπει να είναι μεγάλη. Αν η συνισταμένη των φορτίων πέφτει έχω 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 έκκεντρότητα μόνο κατά τη μία διεύθυνση. 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  $S$  του ενός από τους δύο άξονες συμμετρίας (σχ. 6.2γ). Το θεμέλιο αυτό μπορούμε να το θεωρήσουμε ή ως απομονωμένο πέδιλο, ή ως ένα συνεχές θεμέλιο με πλάτος  $\lambda$ , από το οποίο εξετάζομε ένα στοιχείο με μάκρος  $b$ .

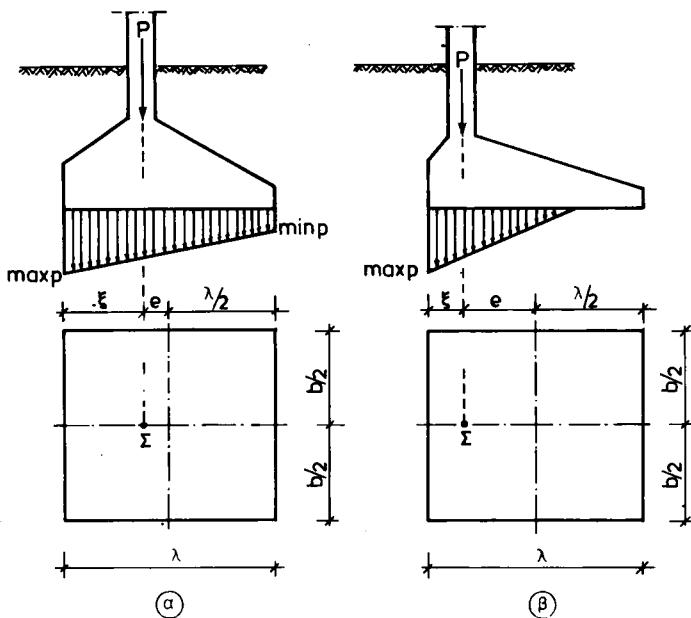
Στα ορθογώνια θεμέλια με έκκεντρότητα μόνο κατά μια διεύθυνση παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι, όταν η απόσταση  $S$  της συνισταμένης από την πιο κοντινή πλευρά είναι μεγαλύτερη ή ίση με  $\lambda/3$ , οπότε η έκκεντρότητα εί-

ναι μικρότερη ή ίση με  $\lambda/6$ , και η δεύτερη, όταν το  $\xi$  είναι μικρότερο από  $\lambda/3$  και το  $e$  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. 6.2γ(α)]. Το μέγεθος των πιέσεων αυτών παρέχεται από τους τύπους:

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

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



Σχ. 6.2γ.

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

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 δύναται να μεταδοθεί από το θεμέλιο στο έδαφος. Έτσι τελικά μόνο ένα μέρος του θεμελίου θα πιέζει το έδαφος [σχ. 6.2γ(β)] και οι πιέσεις θα είναι πάλι διαφο-

ρετικές από το ένα σημείο στο άλλο. Η μέγιστη πίεση εμφανίζεται πάλι στην πλευρά του θεμέλιου, που είναι πιο κοντά στη συνισταμένη και παρέχεται από το τύπο:

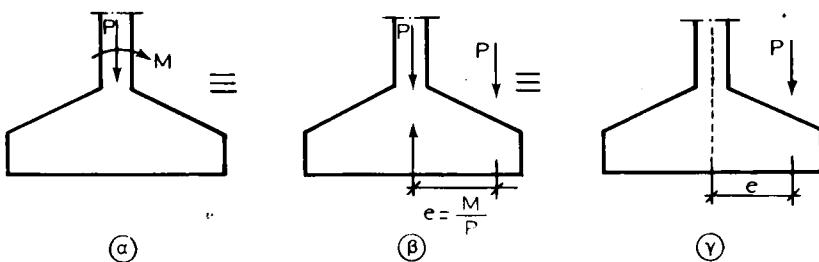
$$\text{maxp} = \frac{2}{3} \cdot \frac{P_a + P_\theta}{b \cdot \xi} \quad (8)$$

Όταν τα θεμέλια είναι έκκεντρα, το  $\text{maxp}$  μπορεί να λαμβάνει τιμές λίγο μεγαλύτερες από το  $P_a$ , όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.4.1. Στο θέμα αυτό οι κανονισμοί δεν δίνουν σαφείς οδηγίες, πολλοί όμως συγγραφείς συνιστούν να παίρνουμε  $\text{maxp} \leq p'_a = \frac{4}{3} P_a$ . Αυτό βέβαια ισχύει με την προϋπόθεση ότι η μέση πίεση του εδάφους κάτω από το θεμέλιο δεν ξεπερνάει την ανεκτή, δηλαδή ότι:

$$\frac{\text{maxp} + \text{minp}}{2} \leq p_a$$

Είναι ευνόητο ότι οι καθίζησης κάτω από ένα έκκεντρο θεμέλιο δεν έχουν το ίδιο μέγεθος σε όλα του τα σημεία. Η μέση πάντως καθίζηση 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  $\text{maxp}$ .

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 6.2δ. Το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως του θεμέλιου πρέπει



Σχ. 6.2δ.

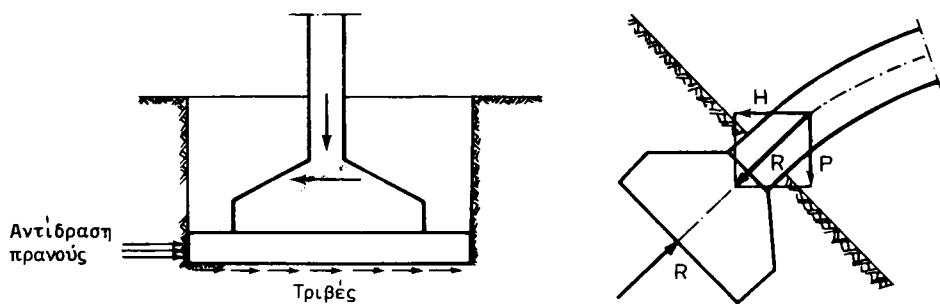
Ο συνδυασμός μιας ροπής μ' ένα κεντρικό κατακόρυφο φορτίο, είναι ισοδύναμος με ένα μοναδικό έκκεντρο κατακόρυφο φορτίο.

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 εκκεντρότητα

για οποιαδήποτε φόρτιση. Πρέπει τότε να προσπαθούμε να δώσουμε στο θεμέλιο τέτοια θέση, ώστε η εκκεντρότητα να γίνεται όσο μπορεί μικρότερη, βάζοντας το κέντρο βάρους της επιφάνειας εδράσεως κάτω από τη μέση θέση του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης.

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. 6.2ε).



Σχ. 6.2ε.

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

Όταν οι οριζόντιες δυνάμεις είναι σημαντικές, όπως π.χ. στα σημεία όπου στρίζονται τόξα ή θόλοι (σχ. 6.2στ), 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.

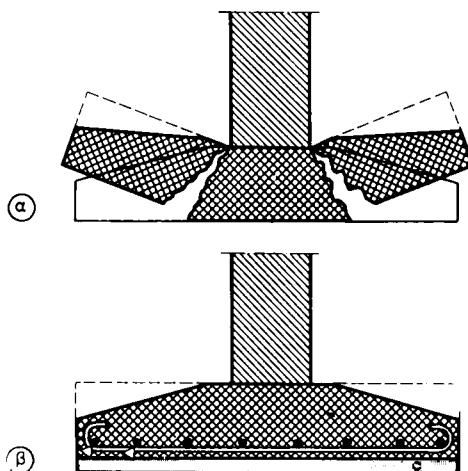
Στο πάνω μέρος των θεμελίων υπάρχουν οι πιέσεις της ανωδομής. Οι πιέσεις

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

Σχ. 6.2στ.

αυτές είναι βέβαια ανεκτές για την ανωδομή, όπως και για το θεμέλιο, που κατασκευάζεται 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 ελαττώνονται 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 έχομε σημαντικές εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις (σχ. 6.3α).



Σχ. 6.3α.

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

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. Η γωνία α εξαρτάται πρώτα από το υλικό του θεμέλιου και έπειτα από την πίεση ρ, 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 B 225 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 kg/cm<sup>2</sup>. Αν το θεμέλιο είναι από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους χτισμένους με επιμέλεια και με καλό τσιμεντοκονίαμα, μπορούμε να εφαρμόσουμε, δύσα αναφέρονται στο σκυρόδεμα B80.

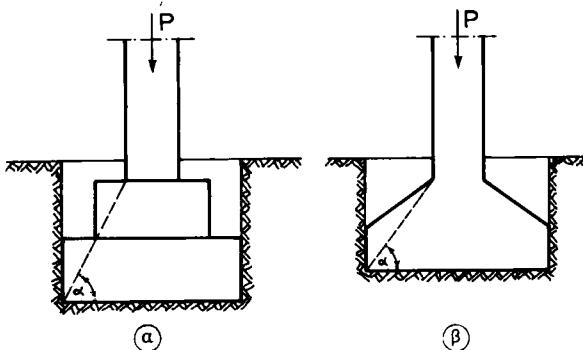
### Παράδειγμα.

Ας πούμε ότι πρόκειται να κατασκευασθεί ένα θεμέλιο από λιθοδομή σε έδα-

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.1.**

	$p = 1$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 2$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 3$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 4$ $\text{kg/cm}^2$	$p = 5$ $\text{kg/cm}^2$
Τοιχοποίια και B80	$\epsilon\phi\alpha = 1,23$ ( $\alpha = 51^\circ$ )	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 ( $59^\circ$ )

φος με αντοχή  $2 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ t/m}^2$ . Η ανωδομή έχει ένα τοίχο με πάχος 0,50 m και φορτίο  $P_a = 40 \text{ t/m}$  στη στάθμη της επιφάνειας του έδαφους. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.3.1 έχουμε  $\epsilon\phi\alpha = 1,74$ . Αν λοιπόν το θεμέλιο έχει βάθος  $t$ , το πλάτος του δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από  $b = 0,50 + 2t/1,74$  (σχ. 6.3γ). Δεχόμαστε πάλι ότι το μέσο ειδικό βάρος του θεμελίου και των χωμάτων είναι περίπου  $2\text{t/m}^3$ , οπότε το βάρος του θεμελίου για ένα μέτρο μάκρους είναι:

**Σχ. 6.3β.**

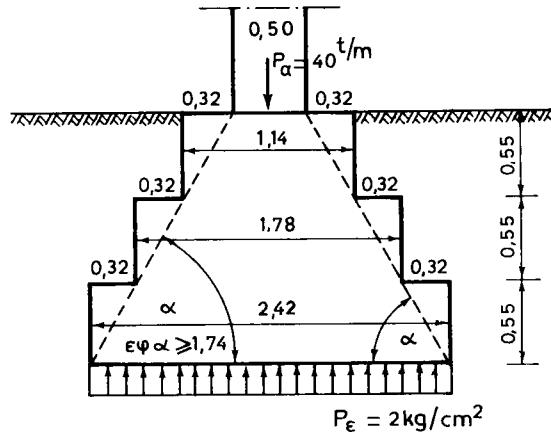
Στα διοπλα θεμέλια η γωνία α πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τις ελάχιστες τιμές, που καθορίζονται στον Πίνακα 6.3.1.

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

Η πίεση του έδαφους  $p$  στη στάθμη της θεμελιώσεως θα είναι:

$$p = \frac{P_a + P_\theta}{b} = \frac{40 + t + \frac{4t^2}{1,74}}{0,50 + \frac{2t}{1,74}} = \frac{69,6 + 1,74t + 4t^2}{0,87 + 2t}$$

Πρέπει όμως να είναι το:  $p \leq 20\text{t/m}^2$ , δηλαδή:



Σχ. 6.3γ.

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

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

Η λύση της παραπάνω ανισώσεως μας δίνει ότι το βάθος πρέπει να είναι  $t \geq 1,56 \text{ m}$ , απ' όπου προκύπτει ότι το πλάτος του θεμελίου πρέπει να είναι  $b \geq 2,40 \text{ m}$ . Στο σχήμα 6.3γ φαίνεται το τελικό σχέδιο του θεμελίου σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά.

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 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 υπολογισθούν και να κατασκευα-  
σθούν 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 δρθιο 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 κατάλλη-  
λα 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 αν-  
τέχουν στις καταπονήσεις, που προκαλούν τα κτυπήματα του κριού πάνω στην κε-  
φαλή, όταν ο πάσσαλος καρφώνεται στο έδαφος. Αφού εξασφαλίσουμε αυτή τη  
συνθήκη, είμαστε βέβαιοι ότι ο πάσσαλος μπορεί να ανθέξει και στις μόνιμες κατα-  
πονήσεις, που προκαλούν τα φορτία της ανωδομής. Είναι φανερό ότι οι καταπονή-  
σεις από τα φορτία αυτά είναι πολύ μικρότερες, αφού δεν μπορούν να προκαλέ-  
σουν 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 εφαρμόζον-  
ται 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 καθορίσθούν όλα τα στοιχεία του πασσάλου, υπολογίζεται και το φορτίο,  
που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια από την ανωδομή στο έδαφος. Ο υπολογι-  
σμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια ορισμένων μαθηματικών τύπων, που είναι μάλ-  
λον εμπειρικοί και προϋποθέτουν ότι γνωρίζουμε ορισμένες ιδιότητες του εδάφους,  
για να μπορούμε να δώσουμε αριθμητικές τιμές στις διάφορες παραμέτρους που  
περιέχουν.

Όταν υπολογισθεί το φορτίο, είναι συνήθως απαραίτητο να καρφώσουμε δοκι-  
μαστικά μερικούς πασσάλους, για να επιβεβαιώσουμε το αποτέλεσμα. Ως στοιχεία  
για την επιβεβαίωση αυτή έχουμε τις διεισδύσεις των πασσάλων, που παρατηρούν-  
ται για κάθε χτύπημα στα διάφορα στρώματα του εδάφους και ιδιαίτερα προς το  
τέλος της εμπήξεως. Τα στοιχεία αυτά, μαζύ 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  
υποχωρήσεις που παρουσιάζει, όσο 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 φορ-  
τίο, που μπορεί να σηκώσει ο πάσσαλος. Έτσι με δύο διαφορετικούς τρόπους δια-  
σταυρώνομε και επαληθεύομε τα αποτελέσματα.

Μόλις καθορίσουμε το φορτίο του πασσάλου, είμαστε σε θέση πια να υπολογί-  
σουμε και τον αριθμό των πασσάλων που χρειαζόμαστε. Αν  $P_a$  είναι το φορτίο  
ενός στοιχείου της ανωδομής και  $P_p$  το φορτίο, που μπορεί να σηκώσει κάθε  
πάσσαλος, τότε για τη θεμελίωση του στοιχείου αυτού χρειάζονται η πάσσαλοι, ό-

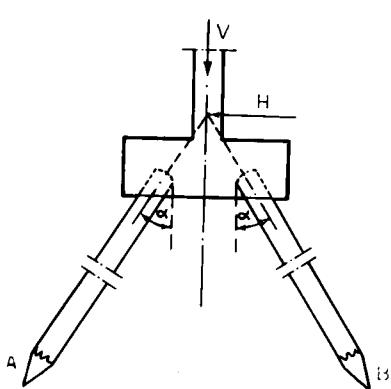
που  $n > P_a / P_\pi$ . Είναι φανερό ότι στο φορτίο  $P_a$  πρέπει να περιλάβομε τόσο το βάρος της πασσάλους εσχάρας, όσο και των ίδιων των πασσάλων.

Τους πιο αυτούς πασσάλους διατάσσουμε κατάλληλα όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.5ιβ και μάλιστα, όσο 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 στοιχείου της ανωδομής. Οι ομάδες ή οι στοίχοι αυτοί των πασσάλων ενώνονται στις κεφαλές 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.

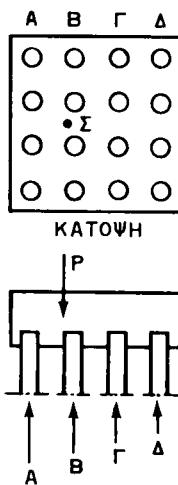
Όταν η ομάδα έχει και πασσάλους με κλίση, για να παραλάβουν τα οριζόντια φορτία της ανωδομής, οι αξονικές δυνάμεις των πασσάλων δεν είναι όλες ίσες μεταξύ τους, ακριβώς επειδή υπάρχωνται αυτά τα οριζόντια φορτία. Έτσι δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των πασσάλων που χρειαζόμαστε κάνοντας μια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

Ας πάρομε για παράδειγμα την απλή διάταξη του σχήματος 6.4a, όπου οι πάσσαλοι της ομάδας τοποθετούνται σε δύο στοίχους, όλοι με κλίση ίση με α ως προς



Σχ. 6.4a.

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



Σχ. 6.4b.

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

την κατακόρυφη. Ο αριθμός των πασσάλων του στοίχου Α είναι  $n_A$  και καθένας τους έχει αξονική δύναμη  $N_A$ . Αντίστοιχα ο στοίχος Β 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  $P_\pi$  που μπορεί να σηκώσει κάθε πάσσαλος, ο αριθμός των πασσάλων, που χρειάζονται για τη θεμελίωση είναι:

$$n_A \geq \frac{V/\text{συνα} + H/\text{ημα}}{2P_\pi}$$

$$\text{και } n_B \geq \frac{V/\text{συνα} - H/\text{ημα}}{2P_\pi}$$

Όταν υπάρχουν και πάσσαλοι κατακόρυφοι ή, οταν 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  $P_a$  των φορτίων της ανωδομής. Στο απλό παράδειγμα του σχήματος 6.4β οι πάσσαλοι Α έχουν τα μεγαλύτερα φορτία και οι πάσσαλοι Δ τα μικρότερα. Πρέπει να αποφεύγομε τέτοιες λύσεις, επειδή έτσι δεν εκμεταλλεύμαστε ολόκληρη την αντοχή των πασσάλων. Παρ' όλα αυτά πολλές φορές αναγκαζόμαστε να δεχθούμε μια τέτοια λύση, επειδή το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης  $S$  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 υπολογίσομε 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 5.5ιβ. Το πάχος τους και ο οπλισμός τους, αφού κανόνα κατασκευάζονται με οπλισμένο σκυρόδεμα, υπολογίζονται με τους κανόνες υπολογισμού των κατασκευών από το υλικό αυτό, οι κανόνες όμως αυτοί δεν περιλαμβάνονται στο σκοπό αυτού του βιβλίου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

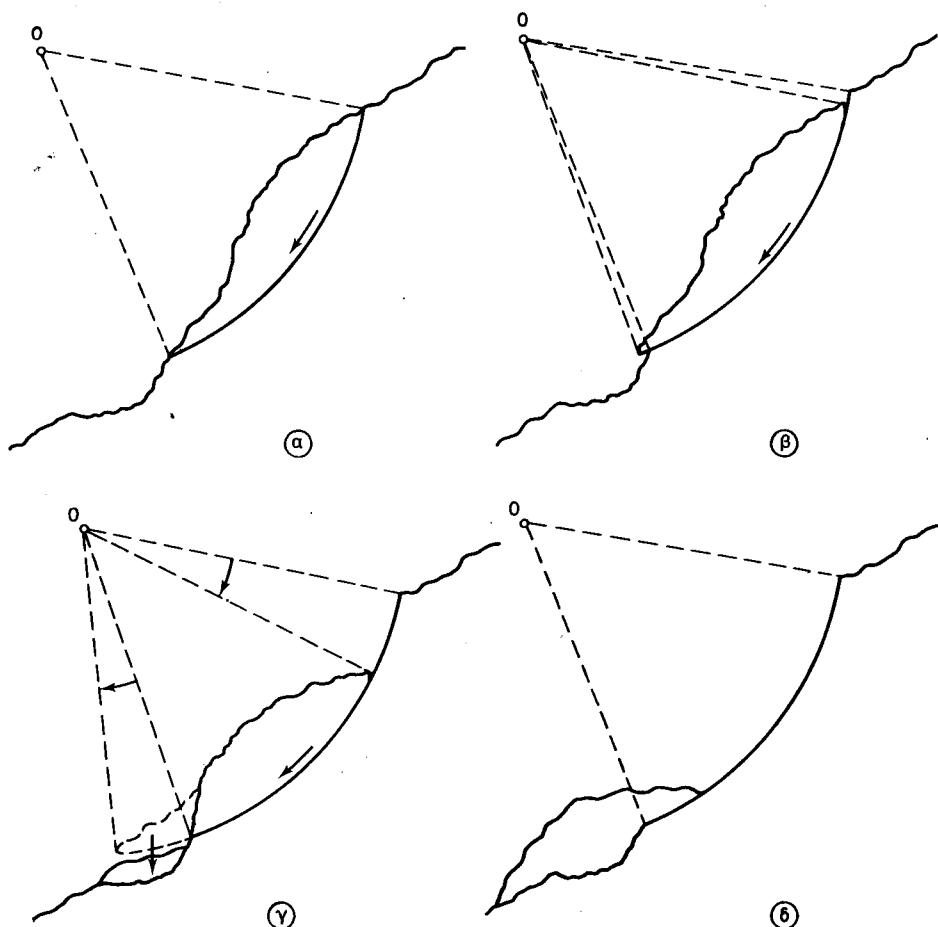
### ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ - ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΣ

#### 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(α)]. 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. Θραύσονται και κατρακυλούν προς τα κάτω. Όταν τελειώσει η κατολισθηση [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 εδαφός από κείνο, που κατολισθαίνει, δεν είναι κυλινδρικές, αλλά αικολουθούν 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.

Κατολίσθηση 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 διευκολύνοντας την αποστράγγιση κ.ο.κ. Είναι εν τούτοις προτιμότερο, όποτε μπορούμε, να αποφύγουμε τα εδάφη αυτά, δηλαδή να μη κατασκευάζομε τεχνικά έργα στην περιοχή τους. Για να αποφύγουν τον κίνδυνο από κατολισθήσεις, έχει προταθεί πολλές φορές να μετατοπισθούν αρκετά ελληνικά χωριά, που είναι κτισμένα σε επικίνδυνες για κατολισθήσεις περιοχές.

## 7.2 Ευστάθεια πρανών.

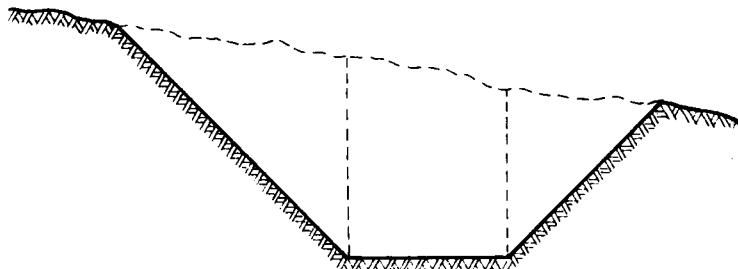
Το φαινόμενο της κατολισθήσεως μπορεί να παρουσιασθεί και σε εδάφη, που απέκτησαν κεκλιμένη ή και κατακόρυφη επιφάνεια, για να κατασκευασθεί κάποιο

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

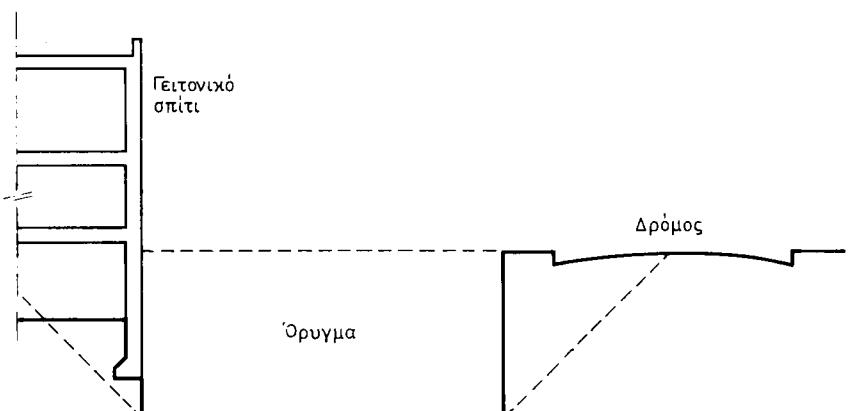
Όταν η εκσκαφή έχει προσωρινό χαρακτήρα, πρόκειται δηλαδή το όρυγμα να επιχωθεί πάλι πριν τελειώσει το έργο, τα πρανή γίνονται κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα για λόγους οικονομίας. Αυτό συμβαίνει γενικά στις εκσκαφές θεμελίων, στις εκσκαφές χαντακιών για την τοποθέτηση σωλήνων ή καλωδίων κ.ο.κ.

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 όμως 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 παίρνουμε προστατευτικά μέτρα.

Δυστυχώς στη χώρα μας για λόγους κακώς εννοούμενης οικονομίας δεν δίνεται μεγάλη σημασία σ' αυτούς τους κινδύνους. Έτσι συχνά διαβάζουμε 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.

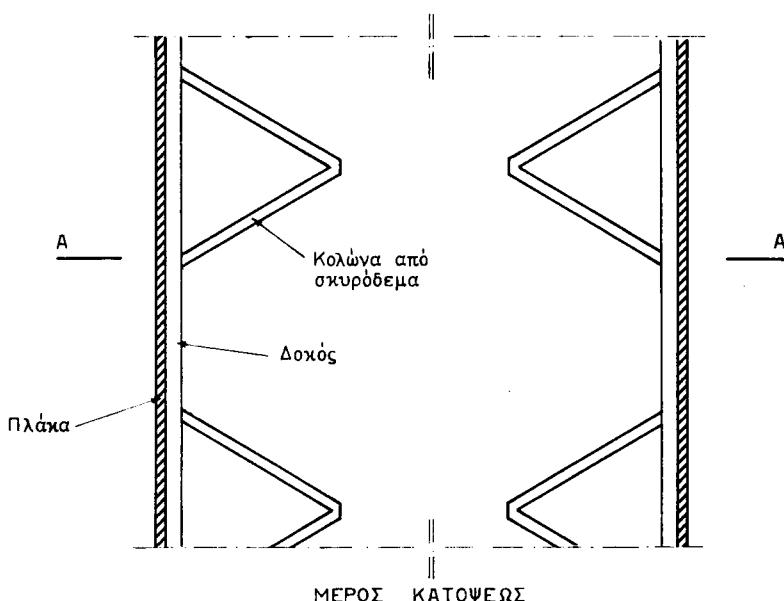
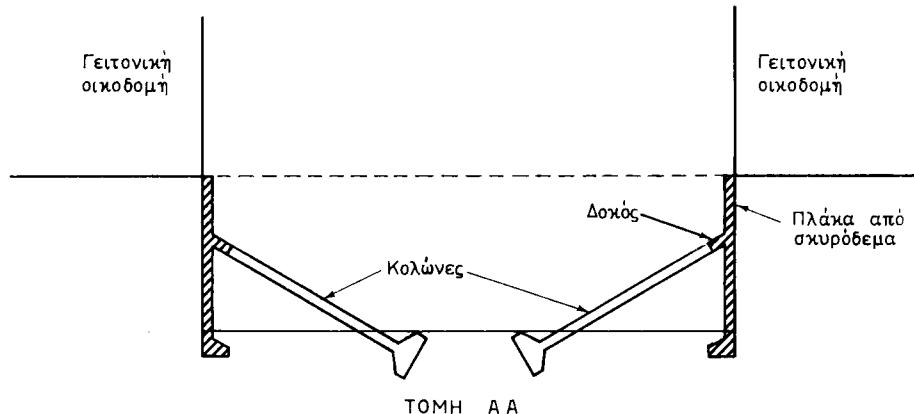


**Σχ. 7.2α.**  
Μόρφωση πρανών ορύγματος με μικρές κλίσεις.



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

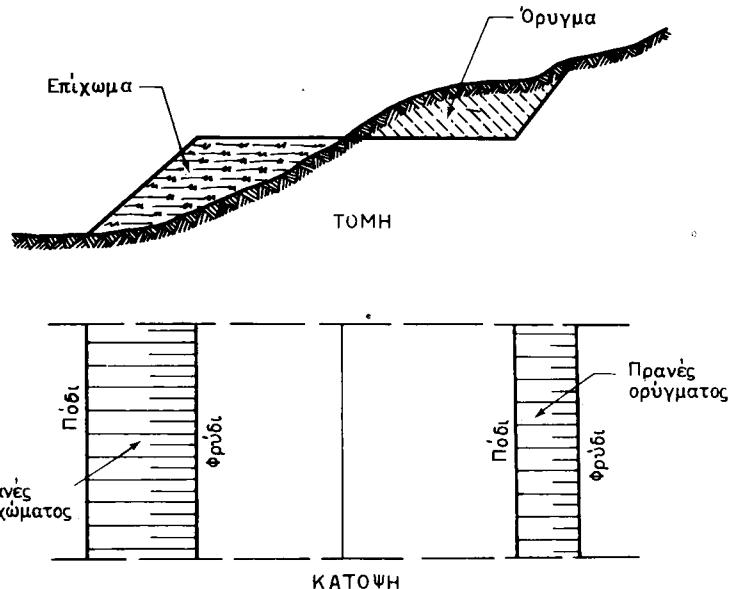
Για να αποφύγομε αυτούς τους κινδύνους, θα έπρεπε να μορφώσομε τα πρανή των ορυγμάτων με πολύ μικρή κλίση (σχ. 7.2α). Αυτό συνήθως ή δεν είναι δυνατό (σχ. 7.2β), επειδή δεν υπάρχει ο χώρος που απαιτείται, ή είναι πολύ δαπανηρό. Τότε η μόνη λύση είναι να κάνομε αντιστρίξεις. Όταν το όρυγμα έχει μικρό πλάτος [σχ. 5.2δ(α)], η αντιστρίξη 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.



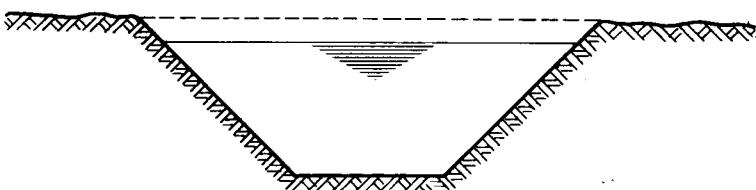
Σχ. 7.2γ.

Αντιστρίξη 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 περίπτωση αυτή μια μάζα εδάφους μπορεί να περιστραφεί γλιστρώντας πάνω σε μια κυλινδρική επιφάνεια (σχ. 7.2στ).

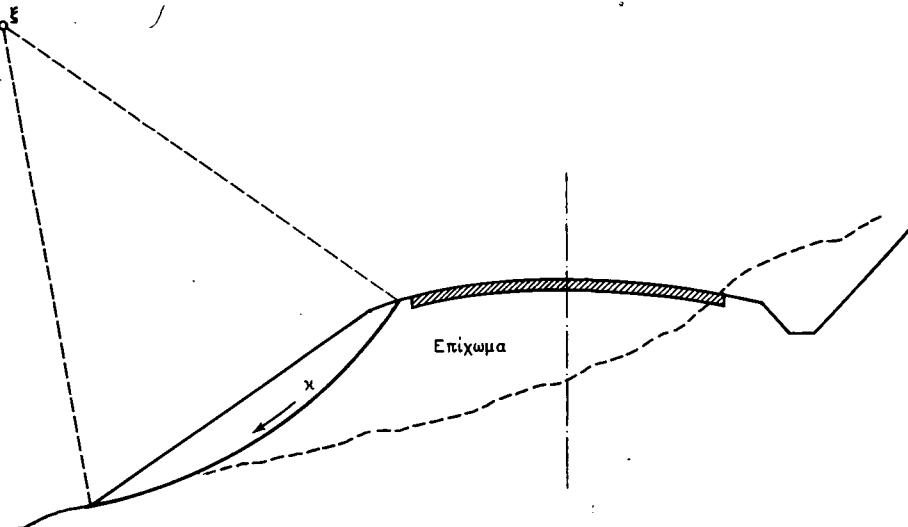


**Σχ. 7.2δ.**  
Πρανή ορυγμάτων και επιχωμάτων σε ένα δρόμο.



**Σχ. 7.2ε.**  
Πρανή σε μια αρδευτική διώρυγα.

Για ν' αποφύγομε τον κίνδυνο αυτό, πρέπει να δώσομε 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 όμως περιπτώσεις η πείρα έχει οδηγήσει σε ορισμένα συμπεράσματα, που πρέπει να τα έχομε υπ' όψη μας.

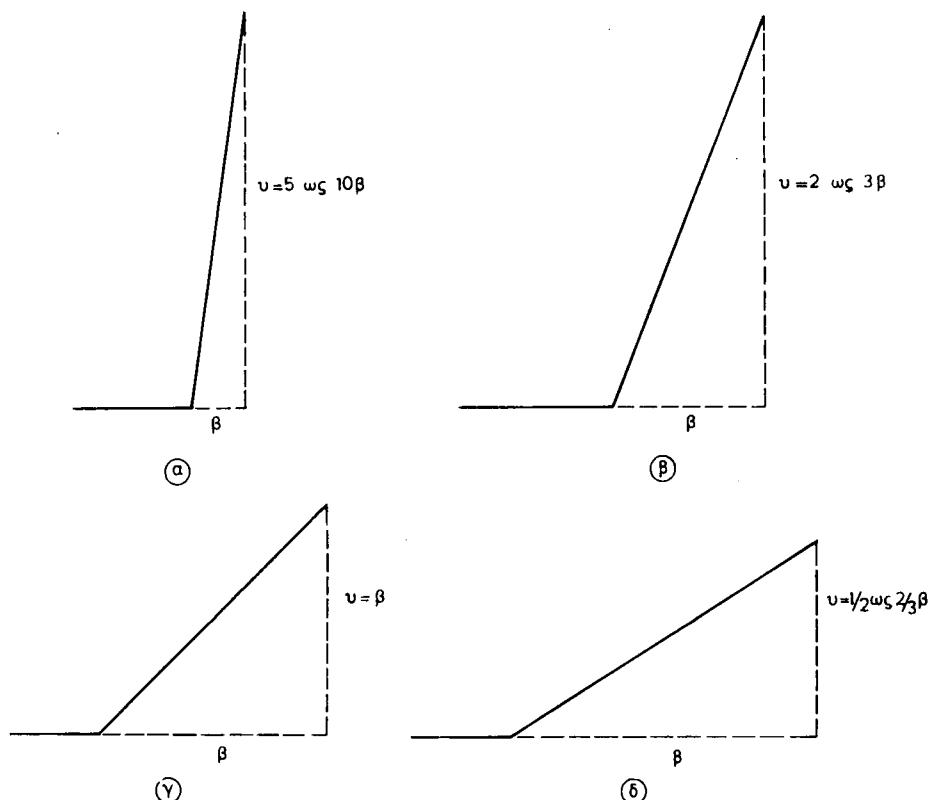


Σχ. 7.2στ.

Κατολίσθηση τεχνητού πρανούς  $\kappa$  = κυλινδρική επιφάνεια ολισθήσεως,  $\xi$  = άξονας περιστροφής.

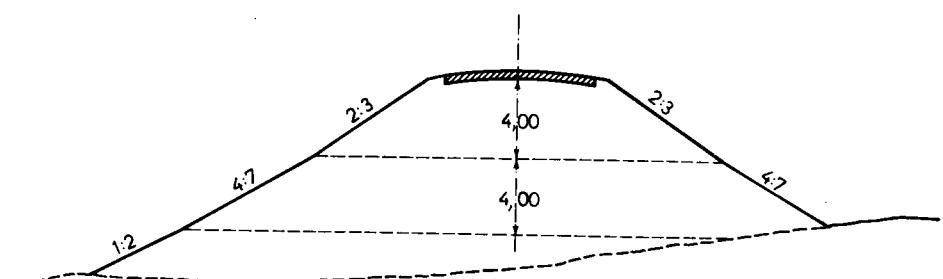
Για τα πρανή των ορυγμάτων (σχ. 7.2ζ) η κλίση μπορεί να φθάνει τα 5 ύψη προς ένα πλάτος βάσεως ή και τα 10:1, όταν πρόκειται για συμπαγή βράχο. Σε εξαιρετικά συμπαγείς βράχους μπορούμε να δεχθούμε ακόμα και κατακόρυφα πρανή. Όταν ο βράχος είναι μαλακός ή παρουσιάζει κομμούς και άλλα ελαττώματα, η κλίση πρέπει να περιορίζεται στο 3:1 ή ακόμα και στο 2:1. Για συνεκτικά (λεπτόκοκκα) 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 παραγράφο.

Για τα πρανή των επιχωμάτων τα πράγματα είναι πιο απλά, επειδή σ' αυτά δεν αντιμετωπίζουμε 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 πετύχομε συμπικνωστή 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 επιχωμάτα (σχ. 7.2η) είναι σκόπιμο να μειώνεται η κλίση των πρανών τους στο χαμηλότερο μέρος τους.



Σχ. 7.2z.

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



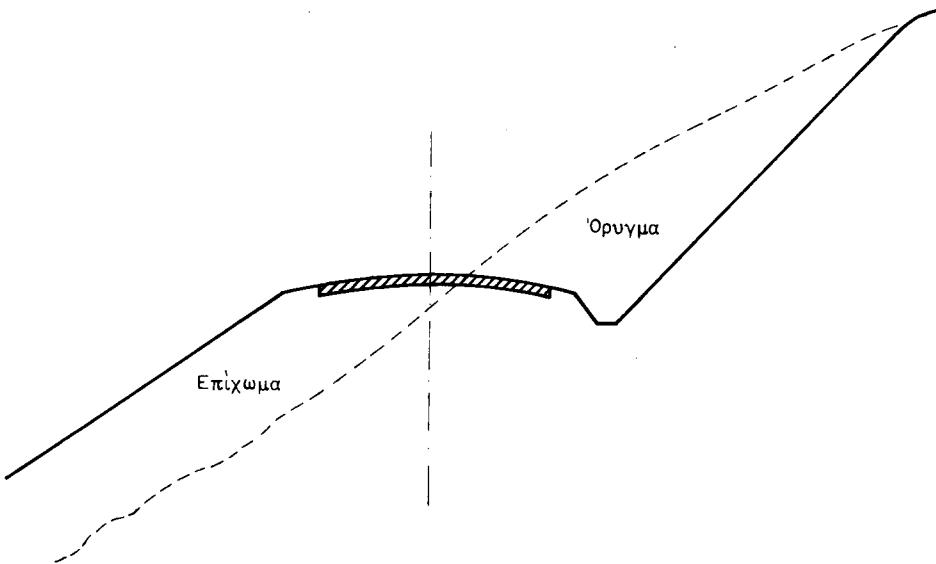
Σχ. 7.2η.

Παράδειγμα για τη μόρφωση πρανών σε ψηλά επιχώματα.

### 7.3 Τοίχοι αντιστρητίζεως.

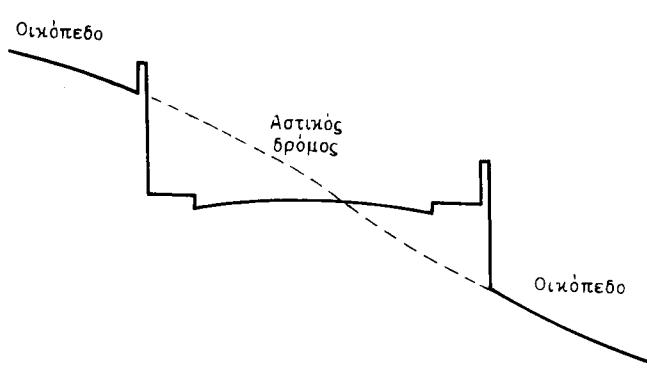
Όταν το φυσικό έδαφος, πάνω στο οποίο εκτελείται ένα τεχνικό έργο, παρου-

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.



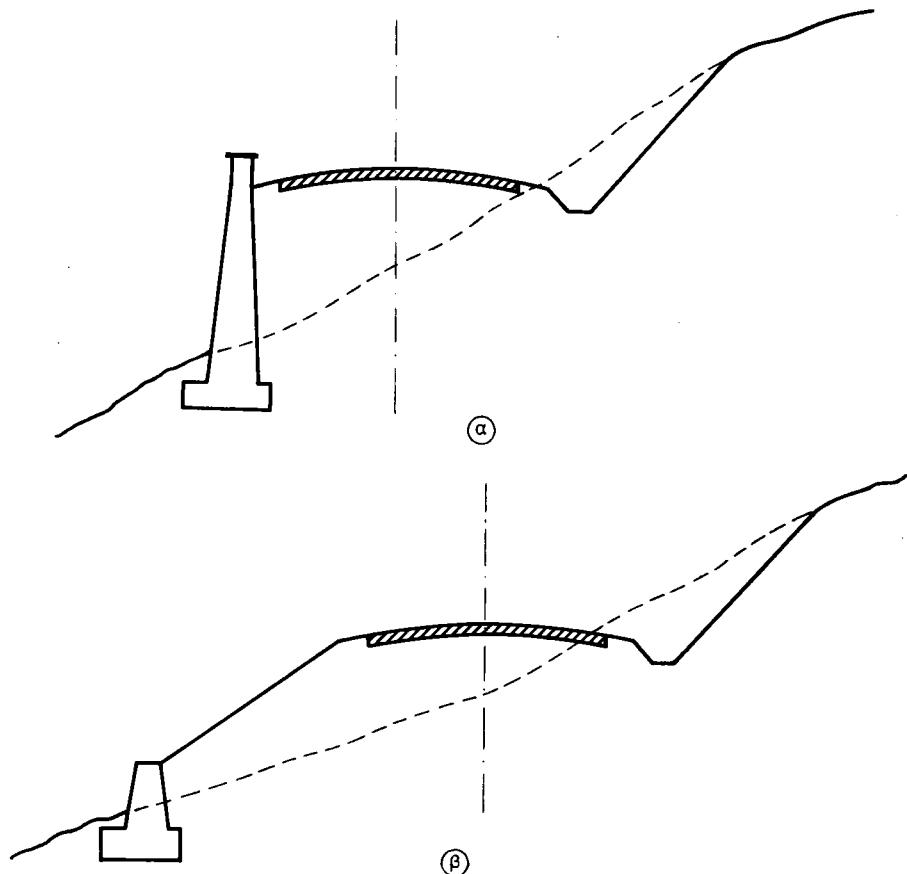
Σχ. 7.3β.

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

που ονομάζονται **τοίχοι αντιστηρίξεως** 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), δύταν αντικαθιστούν μόνο το χαμηλότερο μέρος του πρανούς [σχ. 7.3γ(β)].

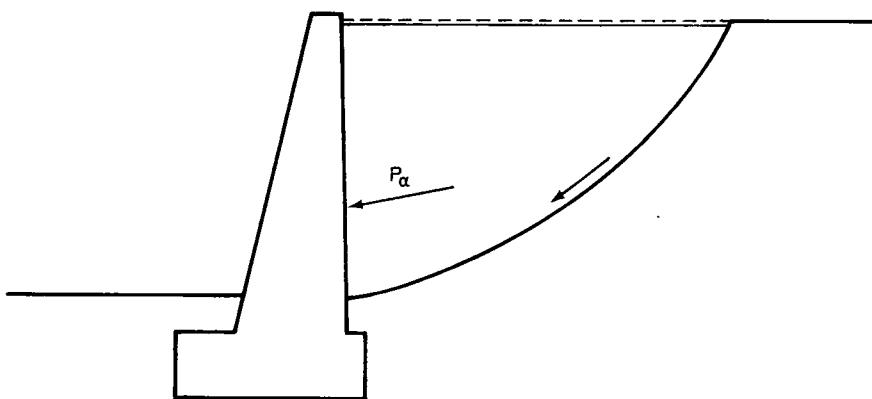
Οι τοίχοι αντιστηρίζεως είναι πολύ σοβαρά τεχνικά έργα και οι διαστάσεις τους, όπως και οι διαστάσεις των θεμελίων τους, πρέπει να καθορίζονται υστερα από προσεκτικό υπολογισμό. Το έδαφος πιέζει τον τοίχο και τείνει να τον μεταθέσει και να τον ανατρέψει. Πρέπει επομένως να γνωρίζομε με ποια δύναμη πιέζεται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



Σχ. 7.3γ.

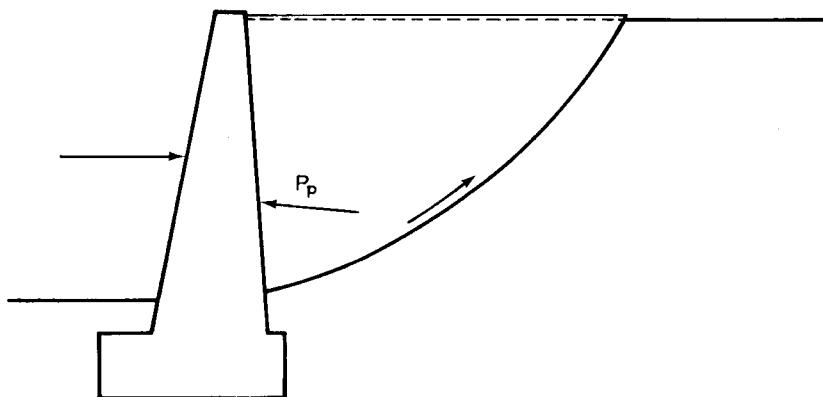
Τοίχοι αντιστηρίζεως: α) Στέψεως. β) Ποδιού (ποδαρικό).

Η πραγματική πίεση, που αναπτύσσεται και που την αποκαλούμε **ουδέτερη άθηση** 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 κατολισθαίνει (σχ. 7.3δ), σπρώχνει τον τοίχο, που μετακινείται ελάχιστα. Έτσι το μέρος του εδάφους, που ξεκόλλησε από την υπόλοιπη μάζα, μετακινείται και αυτό



Σχ. 7.3δ.

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



Σχ. 7.3ε.

Μηχανισμός, που προκαλεί τη φόρτιση του τοίχου αντιστρέψεως 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.

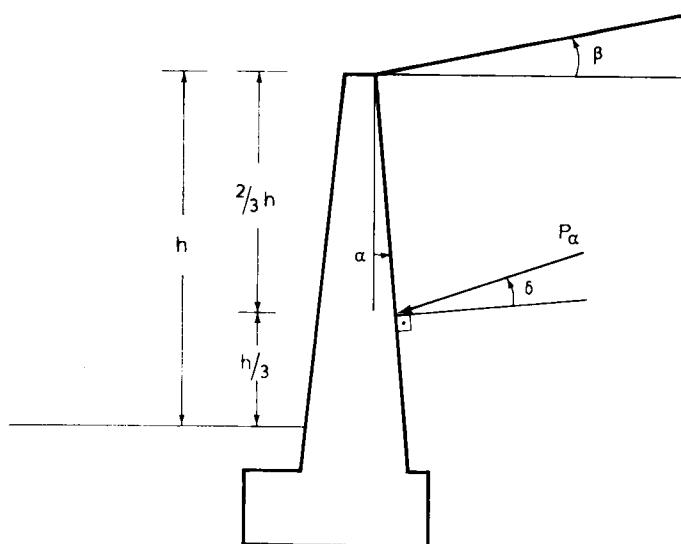
Αντίθετα, αν σπρώχομε τον τοίχο προς το έδαφος, η δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσά τους θα αυξηθεί. Κάποια στιγμή πάλι μια μάζα εδάφους θα ξεκολλήσει από το υπόλοιπο έδαφος και θα προχωρήσει λίγο προς τα πάνω (σχ. 7.3ε), επειδή και ο τοίχος θα προχωρήσει λίγο προς το έδαφος. Από εκεί και πέρα η ώθηση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

εδάφους, που τώρα ονομάζεται **παθητική**, δεν αυξάνεται πια. Και η παθητική ώθηση, που είναι μεγαλύτερη από την ουδέτερη, μπορεί να υπολογισθεί εύκολα, όταν γνωρίζουμε τις βασικές ιδιότητες του εδάφους. Η ώθηση αυτή χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των τοίχων αντιστηρίξεως, 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 αντιστηρίξεως, υπάρχουν διάφοροι τύποι. Ένας από αυτούς είναι και ο ακόλουθος, που δίνει τη συνολική ώθηση:

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

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 αντιστηρίξεως.

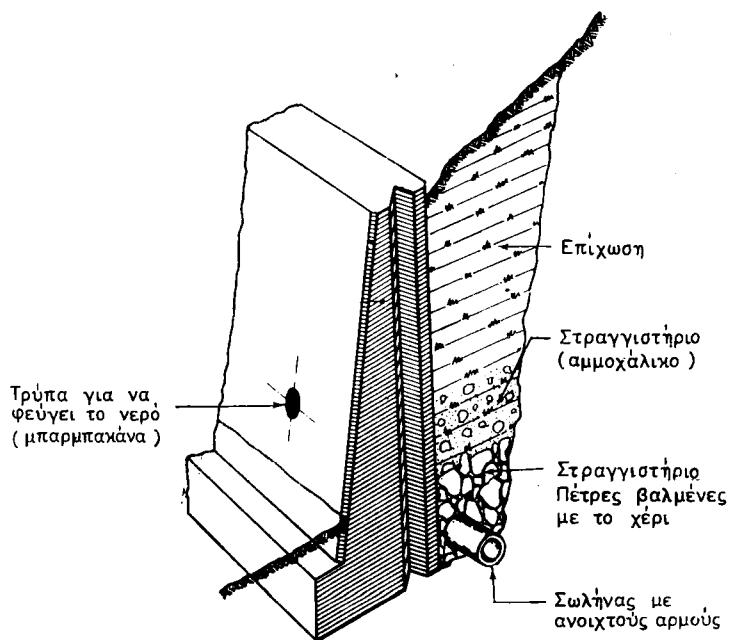
με το ρ τη γωνία εσωτερικής τριβής του ή του φυσικού πρανούς. Η γωνία αυτή μπορεί να προσδιορισθεί με μετρήσεις στο εργαστήριο, αλλά πρακτικά μπορούμε να την πάρουμε από τον Πίνακα 7.3.1 ανάλογα με το είδος του εδάφους. Στον ίδιο πίνακα δίνεται και το υγρό φαινόμενο βάρος γ για την περίπτωση, που μας είναι δύσκολο να το μετρήσουμε. Η γωνία δ είναι η γωνία τριβής ανάμεσα στο έδαφος και στον τοίχο και εξαρτάται από το έδαφος, αλλά κυρίως από το πόσο επίπεδη και λεία είναι η επιφάνεια του τοίχου. Επειδή η επιρροή της γωνίας αυτής είναι ασή-

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

Είδος εδάφους	Γωνία $\rho$	Υγρό Φαινόμενο βάρος $v$ ( $kg/cm^3$ )
<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 χωρίς 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

μαντη, την θεωρούμε συνήθως ίση με το μηδέν. Η ώθηση δεν είναι κάθετη στην επιφάνεια του τοίχου, αλλά σχηματίζει με την κάθετη στην επιφάνεια του τοίχου γωνία ίση με  $\delta$ . Το σημείο εφαρμογής της είναι στο τρίτο του ύψους  $h$ .

Είναι φανερό πως το μέγεθος της δυνάμεως  $P_a$  εξαρτάται από τις τιμές, που θα δώσουμε στις διάφορες παραμέτρους ( $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ) και πού, όπως είπαμε, είναι πολύ δύσκολο να τις γνωρίζουμε με βεβαιότητα. Ιδιαίτερα οι τιμές αυτές αλλάζουν πολύ, όταν το έδαφος είναι πολύ υγρό, και μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε προκύπτει πολύ μεγαλύτερη τιμή για τη δύναμη  $P_a$ . Πρέπει λοιπόν να φροντίζομε, ώστε να μη μαζεύεται νερό πίσω απ' τον τοίχο αντιστρίζεως. 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 στραγγιτήριο, παρόμοιο με κείνα, που φαίνονται στο σχήμα 7.3ζ.



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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

#### 8.1 Επιχώματα.

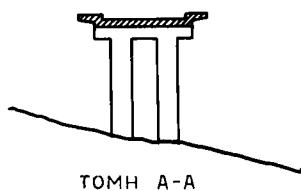
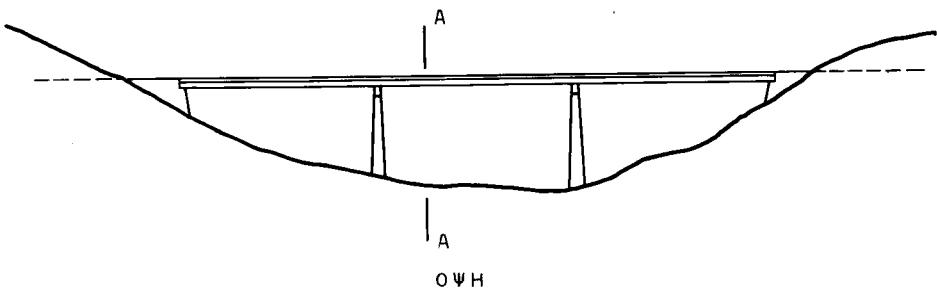
Σε πολλά τεχνικά έργα χρειάζεται να γίνουν επιχώσεις, να συγκεντρωθούν δηλαδή όγκοι εδάφους και, αφού πάρουν ένα προκαθορισμένο γεωμετρικό σχήμα, να αποτελέσουν ένα οργανικό στοιχείο του έργου.

Η απλούστερη περίπτωση παρουσιάζεται στα οικοδομικά έργα, όπου, αφού γίνουν οι κατασκευές των θεμελίων, ξαναγεμίζονται με χώμα τα ορύγματα, που χρειάσθηκε να σκαφθούν, ώς 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, ώς τη στάθμη του γύρω εδάφους, που μπορεί να είναι το φυσικό έδαφος ή η επιφάνεια ενός δρόμου ή ενός πεζοδρομίου.

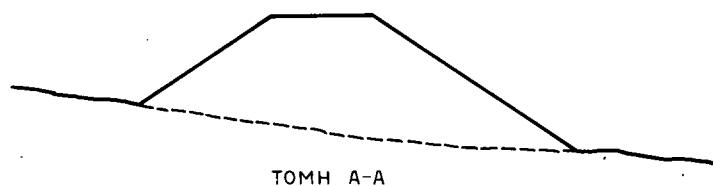
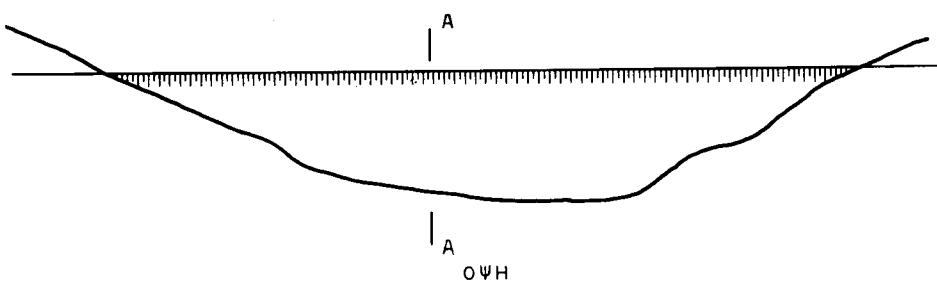
Οι επιχώσεις αυτές πρέπει να μην παρουσιάζουν καθιζήσεις με την πάροδο του χρόνου και την εφαρμογή των φορτίων λειτουργίας του έργου. Αν παρουσιασθούν καθιζήσεις, το χαμηλότερο δάπεδο της οικοδομής, το οδόστρωμα ή η επίστρωση του πεζοδρομίου θα καθήσουν και αυτά, θα παρουσιάσουν ρωγμές και τελικά θα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

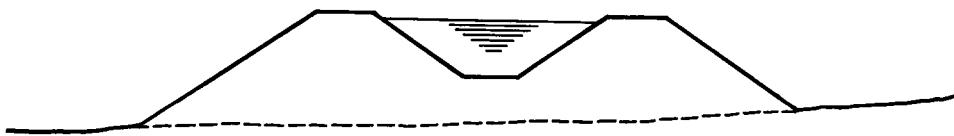
**Σχ. 8.1α.**

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

**Σχ. 8.1β.**

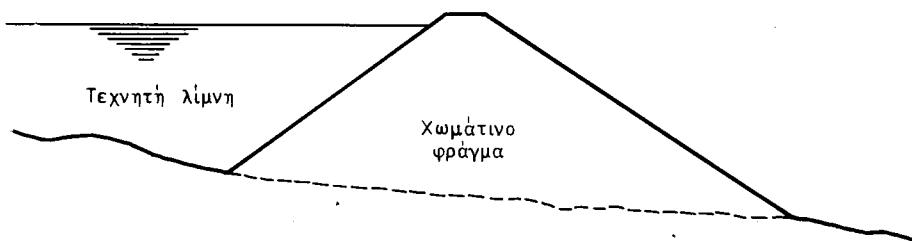
Κατασκευή δρόμου, που βρίσκεται ψηλότερα απ' το γύρω έδαφος με επίχωμα.

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 αντιπλημυρικά 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 μαζί μ' αυτή και η ευστάθεια των πρανών.

Ο 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, μεγαλύτερες

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

Η συμπύκνωση του εδάφους εξασφαλίζεται με μηχανικά μέσα. Σκοπός της, όπως είπαμε, είναι να μειωθούν όσο γίνεται τα κενά, που υπάρχουν μέσα στο έδαφος. Αυτό μπορεί να συμβεί κυρίως με τον εξανάγκασμό 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 θλιπτικές τάσεις. Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα σχετικά με τη βελτίωση του εδάφους με μηχανικά μέσα, (παράγρ. 5.3β), οι τάσεις αυτές μπορούν να αναπτυχθούν είτε με κοπάνισμα (τύπανση) του εδάφους, είτε με δόνηση, είτε με κυλίνδρωση.

Στα σχήματα 5.3α, β, γ και δ φαίνονται και τα εργαλεία και τα μηχανήματα, που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

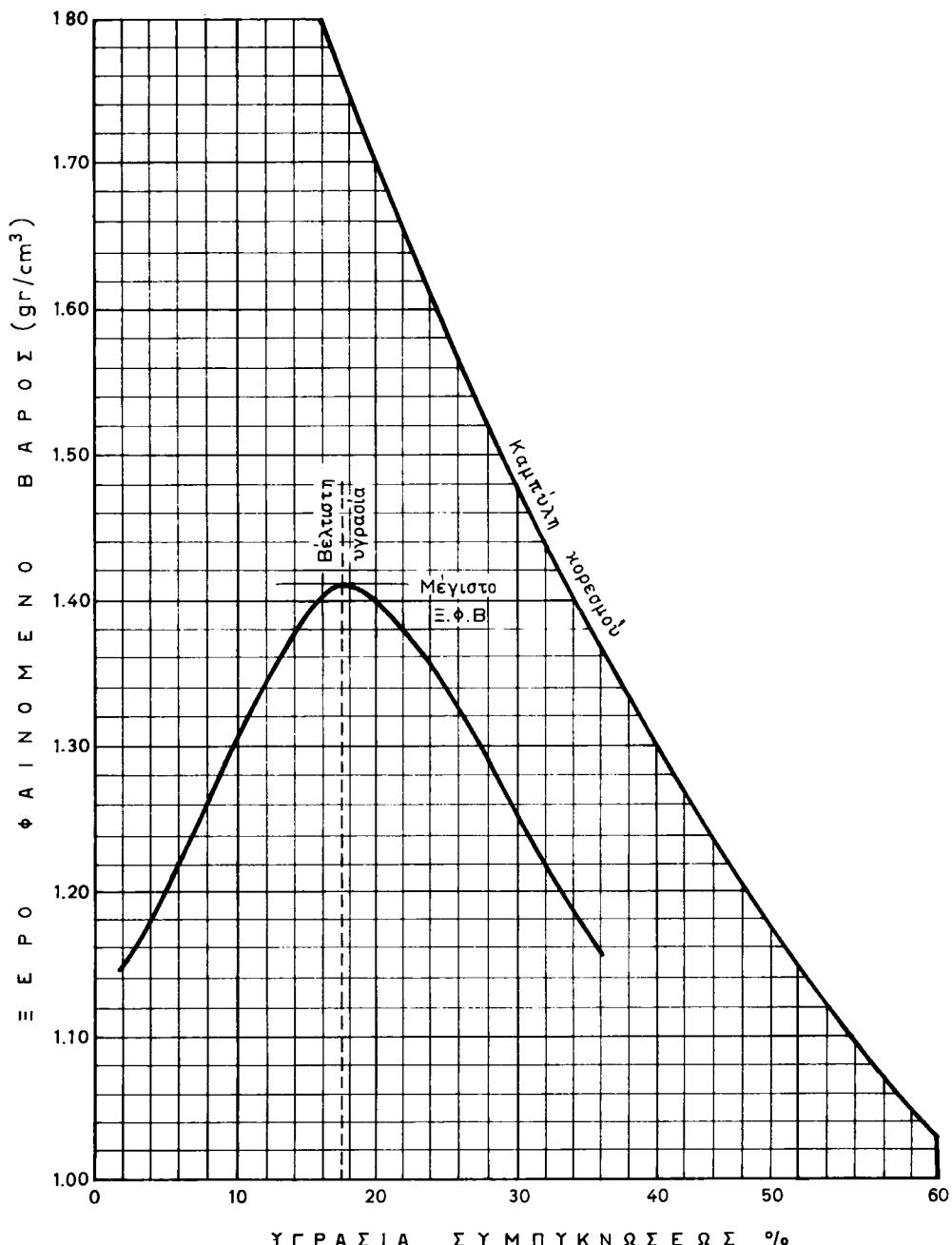
Άσχετα με τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν και με το είδος του εδάφους δύο παράγοντες επηρεάζουν άμεσα το αποτέλεσμα: το πάχος του στρώματος του εδάφους, που πρόκειται να συμπυκνωθεί, και η υγρασία του.

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, όσο 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 πετυχαίνομε το καλύτερο αποτέλεσμα.



**Σχ. 8.2.**  
Διάγραμμα για τον καθορισμό 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 συμπυκνώσεως είναι ικανοποιητικό.

---

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ**

#### **Εισαγωγή**

	Σελίδα
1.1 Γενικά .....	1
1.2 Πετρώματα .....	2
1.3 Ασύνδετα 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 Αβαθής θεμελίωση σε στεγνό περιβάλλον μετά από βελτίωση του εδάφους .....	59
5.4 Άμεση αβαθής θεμελίωση μέσα στο νερό .....	68
5.5 Βαθιές θεμελιώσεις .....	72

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Υπολογισμός θεμελίων

6.1 Γενικά .....	86
6.2 Έλεγχος πάσεων σε αβαθείς θεμελιώσεις .....	86
6.3 Υπολογισμός αβαθών θεμελίων .....	93
6.4 Υπολογισμός για βαθιές θεμελιώσεις .....	96

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Ευστάθεια πρανών - Τοίχοι αντιστηρίζεως

7.1 Κατολισθήσεις .....	100
7.2 Ευστάθεια πρανών .....	101
7.3 Τοίχοι αντιστηρίζεως .....	106

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### Επιχώματα - Συμπόκνωση εδάφους

8.1 Επιχώματα .....	113
8.2 Συμπόκνωση εδάφους .....	115