

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ



ΣΚΟΠΟΣ – ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Όταν θα έχετε διδαχτεί αυτό το κεφάλαιο:

- Θα έχετε μάθει ποιές τεχνικές χρησιμοποιούμε για τη βελτίωση του εδάφους.
- Θα έχετε γνωρίσει τη λειτουργία των πιο συνηθισμένων τεχνικών, που χρησιμοποιούνται σε κτιριακά έργα.

6.1. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η αντοχή του εδάφους μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά αν αλλάξουν οι ιδιότητες του εδάφους, όπως η γωνία τριβής, η συνοχή και το ίδιο βάρος γ. Οι καθιζήσεις, επίσης, είναι δυνατόν να μειωθούν με την αύξηση της πυκνότητας και τη συνεπαγόμενη μείωση των κενών του εδάφους.

Η βελτίωση των εδαφών μπορεί να γίνει με μεθόδους όπως:

- Η συμπύκνωση
- Η δυναμική συμπύκνωση
- Η προφόρτιση
- Η αποστράγγιση
- Τα ενέματα
- Η χημική σταθεροποίηση
- Η χρήση γεωφασμάτων

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τις μεθόδους της συμπύκνωσης, της δυναμικής συμπύκνωσης και της προφόρτισης.

6.2. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Είναι η οικονομικότερη μέθοδος βελτίωσης του εδάφους. Για να συμπυκνώσουμε το έδαφος, πρώτα σκάβουμε και κατόπιν το τοποθετούμε πάλι σε τρεις στρώσεις, τις οποίες συμπυκνώνουμε διαδοχικά με κατάλληλα μέσα. Για τον εργαστηριακό έλεγχο της συμπύκνωσης χρησιμοποιείται σφύρα βάρους 25N, η οποία αφήνεται να πέφτει από ύψος 30,5 εκατοστών ασκώντας 25 κτύπους ανά στρώμα.

Η συμπύκνωση των συνεκτικών εδαφών γίνεται με τη βοήθεια κυλίνδρων που έχουν ελαστική επένδυση. Το πάχος των στρώσεων είναι 150 έως 200 mm.

Η συμπύκνωση των μη συνεκτικών εδαφών γίνεται με κυλίνδρους, οι οποίοι έχουν μία διάταξη που προκαλεί δονήσεις στο έδαφος. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να συμπυκνώσουμε στρώσεις με πάχος 1,5 έως 2 m.

6.3. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Είναι μία επέκταση της συνήθους μεθόδου συμπύκνωσης. Με τη μέθοδο αυτή συμπυκνώνουμε το έδαφος με τη βοήθεια ενός γερανού, ο οποίος ανυψώνει ένα βάρος σε κάποιο ύψος και το αφήνει να πέσει με ορμή στο έδαφος. Με τη δυναμική συμπύκνωση μπορούμε να συμπυκνώσουμε στρώμα εδάφους μεγάλου βάθους. Το βάρος, που χρησιμοποιείται συνήθως, είναι ίσο με 10 έως 20 τόννους (100 έως 200 kN), ενώ το ύψος από το οποίο πέφτει είναι από 10 έως 20 m. Το βάθος μέχρι το οποίο γίνεται συμπύκνωση εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, το βάρος και το ύψος της πτώσης. Για την περίπτωση μη συνεκτικών εδαφών το βάθος συμπύκνωσης μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$D=0.5(W*h)^{1/2},$$

ενώ στην περίπτωση συνεκτικών εδαφών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D=(W*h)^{1/2},$$

όπου D το βάθος συμπύκνωσης, W το βάρος σε τόννους και h το ύψος πτώσης.

Η μέθοδος αυτή είναι οικονομική για εκτάσεις 5000 έως 10000 m² και για μεγάλο βάθος στρώματος. Στην περίπτωση κατά την οποία η στάθμη του νερού είναι κοντά στην επιφάνεια, τότε τοποθετείται ένα στρώμα κοκκώδους εδάφους πάχους 200 mm έως 1 m επάνω στο έδαφος που πρόκειται να συμπυκνωθεί.

6.4. ΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΜΕ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ

Διακρίνουμε δύο είδη:

- **Με επιφόρτιση.** Η απλούστερη μέθοδος βελτίωσης εδάφους, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε συνεκτικά εδάφη. Αυτή η τεχνική έγκειται στο να επιβληθεί στην επιφάνεια του εδάφους, προσωρινά, ένα φορτίο με τη μορφή επιχώματος ή άλλου φορτίου. Το έδαφος στερεοποιείται και αυξάνεται η αντοχή του, ενώ μειώνεται η συμπιεστότητά του. Ο απαιτούμενος χρόνος εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής που πρέπει να διανύσει το νερό.
- **Με σταδιακή κατασκευή.** Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται, επίσης, σε συνεκτικά εδάφη και έγκειται στο να γίνεται σταδιακά η κατασκευή, ώστε να επιτρέπεται στο έδαφος να στερεοποιείται με ρυθμό που να του εξασφαλίζει την αναγκαία αντοχή που απαιτεί-

ται για κάθε στάδιο φόρτισης. Τελικά το έδαφος θα έχει την αναγκαία αντοχή για να φέρει με ασφάλεια το συνολικό φορτίο. Η μέθοδος αυτή συνήθως εφαρμόζεται στην κατασκευή επιχωμάτων.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Μελετήσαμε για το σκοπό και τις μεθόδους βελτίωσης των εδαφών.

Εξετάσαμε πιο αναλυτικά κάποιες μεθόδους και μελετήσαμε τη διαδικασία που ακολουθείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ



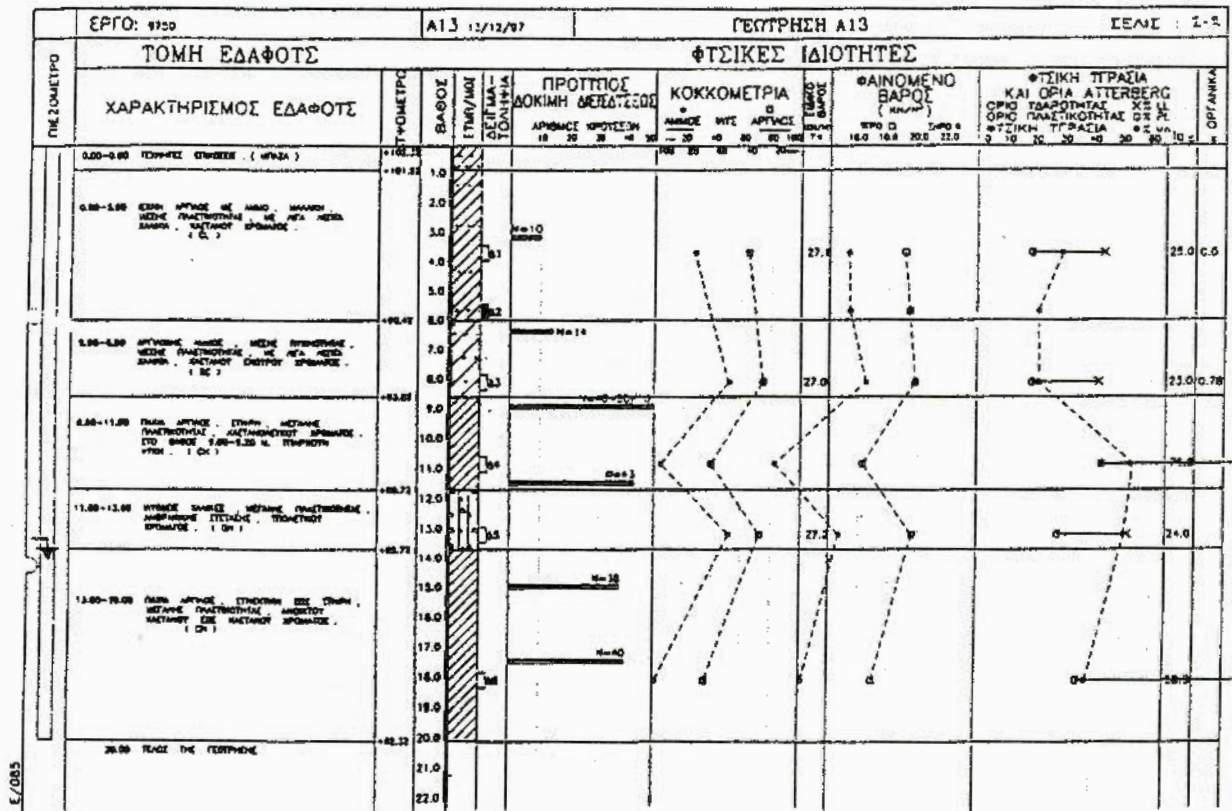
ΣΚΟΠΟΣ – ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Όταν θα έχετε διδαχτεί αυτό το κεφάλαιο:

- Θα γνωρίζεται γιατί πρέπει να γίνονται έρευνες του εδάφους θεμελίωσης.
- Θα έχετε μάθει ότι γίνονται δοκιμές επί τόπου και ότι παίρνουμε δείγματα του εδάφους για δοκιμές και έρευνες, οι οποίες θα γίνουν στο εργαστήριο.

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο των γεωτεχνικών ερευνών είναι οι επί τόπου δοκιμές, ή δοκιμές πεδίου, και η δειγματοληψία για εργαστηριακό έλεγχο.



Σχήμα 1. Φύλλο τυπικής γεώτρησης με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ερευνών.

Στο Σχήμα 1., παρουσιάζεται ένα φύλλο γεώτρησης. Στην πρώτη στήλη δίνεται η ονοματολογία και η κατάταξη των διαφόρων στρωμάτων, όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές, σε συνδυασμό με την περιγραφή του δείγματος κατά τη δειγματοληψία. Στις άλλες στήλες φαίνονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων, κοκκομετρία, φυσική υγρασία κ.ά., σε αντιστοιχία προς το βάθος από το οποίο πήραμε τα δείγματα.

Η απελής γνώση του εδάφους εκθέτει το Μηχανικό στο ενδεχόμενο να αντιμετωπίσει ένα **μη αναμενόμενο τεχνικό πρόβλημα** και τον ιδιοκτήτη να αντιμετωπίσει ένα **μη αναμενόμενο κόστος** του έργου.

Η έρευνα των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό και τον υπολογισμό των τεχνικών έργων. Με τις έρευνες αυτές παίρνουμε πληροφορίες για την αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως:

- **Προβλήματα θεμελιώσεων.** Μπορούμε να προσδιορίσουμε την αντοχή και τις παραμορφώσεις των εδαφικών υλικών, όταν τους επιβάλουμε φορτία σε κατασκευές θεμελίων ή σε εκσκαφές και επιχώματα. Επίσης, μπορούμε να προβλέψουμε τις ωθήσεις που θα ασκούν τα εδάφη σε κατασκευές οι οποίες θα τα συγκρατούν, όπου χρειάζεται η κατασκευή τους.
- **Προβλήματα κατασκευής.** Μπορούμε να διαγνώσουμε την έκταση και τη φύση των υλικών, τα οποία πρόκειται να εκσκαφούν. Επίσης, είναι δυνατόν να εντοπίσουμε τη θέση και να εκτιμήσουμε την ποιότητα και τον όγκο των εδαφικών υλικών, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως υλικό κατασκευής, όπως για παράδειγμα για αδρανή του σκυροδέματος, για την κατασκευή επιχωμάτων ή αναχωμάτων σε συγκοινωνιακά ή υδραυλικά έργα κ.ά.
- **Προβλήματα που σχετίζονται με την παρουσία υπόγειων υδάτων.** Ο εντοπισμός της στάθμης και της ποιότητας των υπόγειων υδάτων έχει μεγάλη σημασία γιατί μπορούμε να εκτιμήσουμε την επιρροή του νερού στην ευστάθεια και τις καθιζήσεις ενός έργου. Επίσης μπορούμε να εκτιμήσουμε τον κίνδυνο διάβρωσης από τη ροή του νερού μέσα στο έδαφος καθώς και την επιρροή του στα δομικά υλικά, και τελικά να συμπεράνουμε αν αυτό το έδαφος είναι κατάλληλο ώστε να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή του έργου.

Οι γεωτεχνικές έρευνες πρέπει να γίνονται με καθορισμένο τρόπο, που περιγράφεται σε προδιαγραφές. Στον ελληνικό χώρο υπάρχουν προδιαγραφές με την ισχύ Νόμου, καθώς επίσης και διάφορες εγκύκλιοι για διάφορους τύπους έργων.

Οι βασικές προδιαγραφές, οι οποίες έχουν δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως είναι οι εξής:

1. "Τεχνικές Προδιαγραφές Γεωλογικών Εργασιών μέσα στα Πλαίσια των Μελετών Τεχνικών Έργων", (Ε 104-85), ΦΕΚ υπ'αρ. 29/11-2-1986.
2. "Προδιαγραφές επί Τόπου Δοκιμών Εδαφομηχανικής", (Ε 106-86), ΦΕΚ υπ'αρ. 955/31-12-86.
3. "Προδιαγραφές επί Τόπου Δοκιμών Βραχομηχανικής και Εργαστηριακών Δοκιμών Βραχομηχανικής", (Ε 102-84) και (Ε 103-84), ΦΕΚ υπ'αρ. 70/8-2-1985.
4. "Προδιαγραφές Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής", (Ε 105-86), ΦΕΚ υπ'αρ. 955/31-12-86.

Στο Κεφάλαιο 2, έγινε περιγραφή της κοκκομετρικής ανάλυσης και δόθηκαν οι ορισμοί δεικτών, όπως ο λόγος κενών, η περιεχόμενη υγρασία κ.ά., που υπάγονται στις εργαστηριακές δοκιμές. Οι δοκιμές αντοχής και παραμορφωσιμότητας των εδαφών πρέπει να γίνονται σε “αδιατάρακτα” δείγματα, δηλαδή σε δείγματα των οποίων η δομή και οι μηχανικές ιδιότητες δεν επηρεάστηκαν (διαταράχθηκαν) κατά το στάδιο της δειγματοληψίας. Για να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα γίνονται επί τόπου δοκιμές, ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά του εδάφους στη φυσική του κατάσταση.

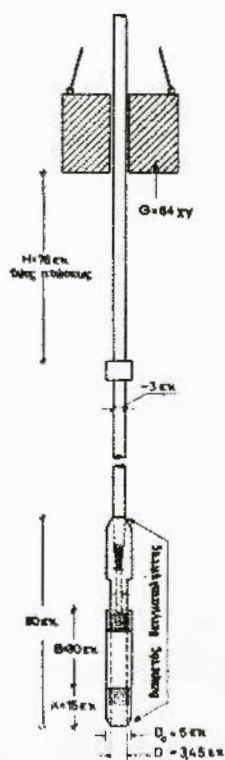
Στα επόμενα θα περιγράψουμε, σε συντομία, μία πολύ χρήσιμη επί τόπου δοκιμή, η οποία είναι γνωστή ως “Κανονική Δοκιμή Διεισδύσεων” (SPT).

7.2. Η ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΕΩΝ

Στα μη συνεκτικά εδάφη δεν είναι δυνατή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων. Μία από τις πιο απλές δοκιμές είναι η δοκιμή που αναφέρθηκε στα προηγούμενα.

Η δοκιμή συνίσταται στη μέτρηση του αριθμού των κτύπων, που απαιτούνται για τη διείσδυση δειγματολήπτου μέσα στο έδαφος με βήματα των 15 εκατοστών.

Για τις κρούσεις χρησιμοποιείται ένα βάρος 64 κιλών, το οποίο πέφτει από ύψος 76 εκατοστών. Μετρείται ο αριθμός των κτύπων για μία αρχική διείσδυση 15 εκ. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η διαδικασία σε δύο στάδια με διείσδυση 15 εκ. το καθένα. Ο αριθμός που προκύπτει ως



Σχήμα 2. Διάταξη για την Κανονική Δοκιμή Διεισδύσεων

άθροισμα των κτύπων που απαιτήθηκαν για τα τελευταία 30 εκ. (15+15) είναι ο αριθμός N. Αυτός ο αριθμός εκφράζει την αντίσταση του εδάφους και κατά συνέπεια συνδέεται με την αντοχή του.

Στους Πίνακες 1 και 2 φαίνεται η συσχέτιση του αριθμού των κτύπων N, με βασικές παραμέτρους του εδάφους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 (Έδαφος χωρίς συνοχή)

N (κρ/30 εκ.)	D_r (%)	ϕ°	γ_u (kN/m^3)	Κατάσταση του εδάφους
0 – 4	0 – 15	< 28	< 16,0	Πολύ χαλαρή
4 – 10	15 – 35	28 – 30	15 – 20	Χαλαρή
10 – 30	35 – 65	30 – 36	17,5 – 20,5	Μέση
30 – 50	65 – 85	36 – 41	17,5 – 22	Πυκνή
> 50	85 – 100	> 41	> 20,5	Πολύ πυκνή

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 (Έδαφος με συνοχή)

N (κρ/30 εκ.)	γ_u (kN/m^3)	Αντοχή σε θλίψη q_u (kN/m^2)	Κατάσταση του εδάφους	Αναγνώριση
< 2	16 – 19	< 25	Πολύ μαλακό	Διαρρέει από τα δάκτυλα όταν συνθλίβεται
2 – 4	16 – 19	25 – 50	Μαλακό	Μικρή πίεση των δακτύλων αφήνει αποτυπώματα
4 – 8	17,5 – 20,5	50 – 100	Μέσο	Ισχυρή πίεση αφήνει αποτυπώματα
8 – 16	19 – 22	100 – 200	Σπιφρό	Χαράζεται με τον αντίχειρα
16 – 32	19 – 22	200 – 400	Πολύ σπιφρό	Χαράζεται με το νύχι
> 32	> 20,5	400 – 800	Σκληρό	Χαράζεται δύσκολα με το νύχι

Στο 3^ο Κεφάλαιο είχαμε δει πώς μπορούμε να κάνουμε μία εκτίμηση του μεγέθους των καθιζήσεων με τη χρήση του αριθμού N. Θα ήταν ιδιαίτερα διδακτικό εάν γινόταν ένας συνδυασμός των πληροφοριών που μπορούμε να πάρουμε από τη δοκιμή διεισδύσεων και να παρατηρήσουμε πώς συσχετίζεται η κατάσταση του εδάφους με την αναμενόμενη καθίζηση.

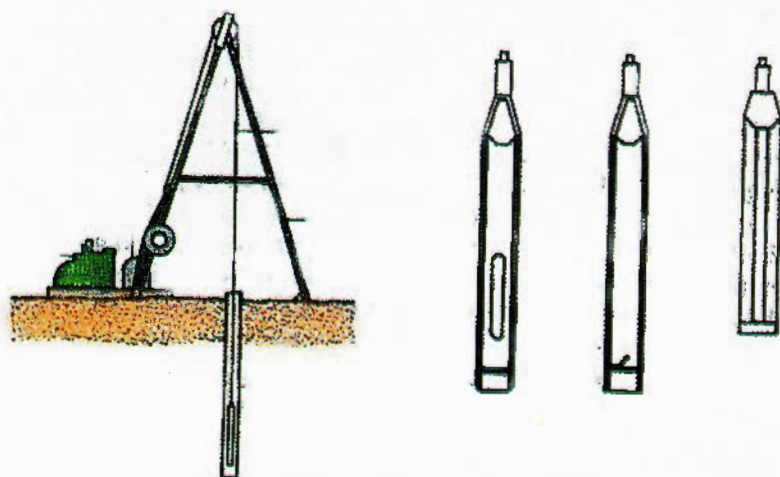
7.3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Για να σχηματίσουμε τεκμηριωμένη άποψη για τις συνθήκες του εδάφους, πρέπει να κάνουμε γεωτρήσεις από τις οποίες θα πάρουμε δείγματα από διάφορα βάρη, τα οποία θα εξεταστούν στο εργαστήριο. Από τις εργαστηριακές αναλύσεις και δοκιμές προκύπτουν πληροφορίες, που είναι απαραίτητες για την κατάταξη των εδαφών. Στα δείγματα γίνονται, επίσης, δοκιμές για τον προσδιορισμό της αντοχής τους και της παραμορφωσιμότητάς τους. Με τη βοήθεια αυτών των αποτελεσμάτων είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε την αναμενόμενη συμπεριφορά του εδάφους, κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου.

Ο μελετητής του έργου, κρίνοντας από τις πληροφορίες για τη γεωλογία της περιοχής, προγραμματίζει το πλήθος και τη θέση των γεωτρήσεων.

Για ένα κτίριο, το οποίο καταλαμβάνει σχετικά μικρή έκταση, ένα αρχικό πρόγραμμα γεωτρήσεων θα ήταν μία γεώτρηση σε κάθε γωνία της κατασκευής και μία στο μέσον της. Όσον αφορά στο βάθος μέχρι το οποίο θα φθάνουν οι γεωτρήσεις, κάτω από τη στάθμη έδρασης του θεμελίου, ένας πρακτικός κανόνας είναι να φθάνει σε βάθος ίσο προς το διπλάσιο της μικρότερης διάστασης της κάτοψης του έργου.

Στα Σχήματα που ακολουθούν βλέπουμε διάφορες διατάξεις, που χρησιμοποιούνται για τη δειγματοληψία.



Σχήμα 3., Διάταξη δειγματοληψίας.



Σχήμα 4. Δειγματολήπτης τύπου Σέλμπυ (Shelby).

Στις φωτογραφίες που ακολουθούν φαίνεται ο τρόπος τοποθέτησης των δειγμάτων σε κασόνια.



Φωτ. 1 Πυρήνας (καρότα) γεώτρησης σε ειδικό κασόνι.



Φωτ. 2 Λεπτομέρεια στην οποία φαίνεται η ετικέτα με την «αυτότητα» του δείγματος.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Μάθαμε για τη σημασία που έχουν οι επί τόπου δοκιμές και η δειγματοληψία.

Περιγράψαμε τη διαδικασία της Κανονικής Δοκιμής Διεισδύσεων και είδαμε το πως αξιοποιούνται τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Μάθαμε για τη σημασία που έχει η λήψη δειγμάτων του εδάφους και και με ποιο τρόπο προγραμματίζονται οι γεωτρήσεις.