

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.

Του Κ.Ι. ΣΑΧΠΑΖΗ *

Στην εργασία αυτή περιγράφεται και αναλύεται η μεθοδολογία και διαδικασία εκτέλεσης της απαραίτητης υπαίθριας και εργαστηριακής έρευνας υπεδάφους, για τον τεχνικοοικονομικά ορθότερο και ασφαλέστερο σχεδιασμό της θεμελίωσης των διαφόρων τεχνικών έργων.

Ειδικότερα, προτείνονται τρόποι για τον καθορισμό της απαιτούμενης λεπτομέρειας και του βάθους της γεωτεχνικής διερεύνησης, σε σχέση με τις ιδιαιτερότητες τόσο του προτεινόμενου τεχνικού έργου όσο και του υπεδάφους.

Αναφέρονται επίσης οι καταλληλότερες μέθοδοι και τεχνικές διάτρησης καθώς και επιτόπιων (in-situ) υπαίθριων δοκιμών, ανάλογα με το είδος και φύση του εδαφικού ή βραχώδους σχηματισμού.

Ακόμη προτείνονται οδηγοί που αφορούν την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου δειγματοληψίας, καθώς και εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των απαραίτητων φυσικών, χημικών, μηχανικών και άλλων ιδιοτήτων, σε σχέση με το είδος του γεωλογικού σχηματισμού. Επί πλέον, γίνεται μια σύντομη αναφορά στις διάφορες γεωφυσικές μεθόδους διερεύνησης του υπεδάφους.

Τέλος, παρατίθεται ένας υποδειγματικός τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων και της τεχνικής έκθεσης της γεωτεχνικής έρευνας, δίνοντας σύντομη αλλά σαφή και ακριβή έμφαση στα προβλήματα εκείνα της περιοχής τα οποία θα καθορίσουν ουσιαστικά την επιλογή της μεθόδου και του είδους της θεμελίωσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια επαρκής γεωτεχνική διερεύνηση υπεδάφους θα πρέπει να εκτελείται με σκοπό τον καθορισμό των συνθηκών θεμελίωσης κάποιου τεχνικού έργου πριν την έναρξη του σχεδιασμού και μελέτης του. Θα πρέπει λοιπόν να συγκεντρώνονται όλες οι σχετικές απαραίτητες γεωτεχνικές και γεωλογικές πληροφορίες ώστε να επιτυγχάνεται τόσο ασφαλής όσο και οικονομικός σχεδιασμός, καθώς και να αποφεύγονται κάθε είδους απρόβλεπτες δυσκολίες (π.χ. υπόγεια νερά, βραχώδεις εκσκαφές, κλπ.) κατά την κατασκευή.

Ένα καλά σχεδιασμένο και οργανωμένο γεωτεχνικό διερευνητικό πρόγραμμα πρέπει να δίνει:

1. Πληροφόρηση σχετικά με την καταλληλότητα της περιοχής για το προτεινόμενο έργο.
2. Γεωτεχνικά και Γεωλογικά στοιχεία.
3. Πληροφόρηση για τον υπολογισμό των πιθανών επιδράσεων των υπόγειων συνθηκών στο έργο και τις εγκαταστάσεις του.
4. Εκτίμηση των τυχόν μελλοντικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ του έργου και του γεωπεριβάλλοντος.
5. Υποδείξεις για την καλύτερη μέθοδο, τρόπο και τύπο της θεμελίωσης του έργου.
6. Εισηγήσεις σχετικές με την ύπαρξη κατάλληλων εναλλακτικών θέσεων θεμελίωσης του έργου.

* Γεωτεχνικός-Γεωλόγος Μηχανικός

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να προτείνει και να αναλύσει την μεθοδολογία και τις τεχνικές που μπορούν να ακολουθούνται σε κάποια γεωτεχνική διερεύνηση υπεδάφους για σκοπούς θεμελίωσης διαφόρων τεχνικών έργων.

2. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Η γεωτεχνική διερεύνηση πρέπει να καθορίζει τη στρωματογραφική αλληλουχία των σχηματισμών (κατακόρυφη τομή εδάφους), την οριζόντια έκτασή τους, καθώς και τα φυσικά, χημικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους κάτω από την προτεινόμενη θέση της κατασκευής, με την απαιτούμενη κάθε φορά λεπτομέρεια. Αναλυτικότερα, πρέπει να συμπεριλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

1. Την γενική μορφολογία και τοπογραφία της περιοχής του έργου, με ιδιαίτερη αναφορά στην διαμόρφωση της επιφάνειας, στις προσκείμενες ιδιοκτησίες, στην παρουσία υδροροών, λιμναζόντων νερών, βάλτων, δένδρων, θάμνων, βραχωδών εξάρσεων, στην θέση σκεπασμένων εγκαταστάσεων, όπως καλωδίων ΟΤΕ, υδρευτικών σωλήνων, υπονόμων κ.α., καθώς και τη δυνατότητα προσπέλασης των οχημάτων κατασκευής και του εργοταξίου.
2. Το προηγούμενο ιστορικό και χρήση της περιοχής.
3. Την διαθεσιμότητα και ποιότητα των τοπικών δομικών υλικών.
4. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως π.χ. σεισμικότητα, κατολισθήσεις, κλιματικοί παράγοντες όπως πλημμύρες, παγετοί, διάβρωση εδάφους κλπ., εάν υπάρχουν βεβαιωμένες τέτοιες πληροφορίες.
5. Τη γενικότερη γεωλογική δομή της περιοχής.
6. Την αναλυτική διάκριση, περιγραφή και ταξινόμηση των υποκείμενων στρωμάτων.
7. Την έκταση, το πάχος και τον προσανατολισμό των στρωμάτων αυτών.

8. Υδρογεωλογικά στοιχεία, όπως: Πιεζομετρική επιφάνεια, εποχιακές διακυμάνσεις, κίνηση υπογείων νερών κ. α.

9. Το βάθος και την φύση του βραχώδους υποβάθρου, εάν συναντηθεί μέσα στο διερευνούμενο βάθος.

10. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα των εκτελεσθεισών δοκιμών στα δοκίμια εδάφους και πετρώματος.

11. Τα αποτελέσματα των υπαίθριων (in-situ) δοκιμών.

12. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του εδάφους και των υπόγειων νερών για τον προσδιορισμό πιθανών καταστρεπτικών συστατικών για τα θεμέλια της κατασκευής. Τα στοιχεία (1-5) πιο πάνω, μπορούν να αποκτηθούν κατά το πρώτο στάδιο της γεωτεχνικής έρευνας, που είναι: το αναγνωριστικό (site reconnaissance) και η μελέτη υπαρχουσών πληροφοριών (desk study). Τα υπόλοιπα στοιχεία αποκτώνται μέσω του επιτόπιου γεωτεχνικού διερευνητικού προγράμματος.

3. ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Δεν υπάρχουν, ούτε είναι δυνατόν να προδιαγραφούν αυστηροί πρότυποι κανόνες όσον αφορά τον τύπο, την έκταση και τη λεπτομέρεια του διερευνητικού προγράμματος του υπεδάφους (Fahlgquist F.E. 1941, Proctor D.C. 1976 και Sowers G.F. 1954). Το διερευνητικό πρόγραμμα, π.χ. ενός πολυώροφου κτιρίου, με μεγάλα φορτία έδρασης, θα είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό ενός μονώροφου κτιρίου, ή επίσης η διερεύνηση για ένα μεγάλο φράγμα βαρύτητας από ένα δρόμο. (Ι. Κουμαντάκης, Γ. Κούκης 1984).

Επομένως ο γεωτεχνικός ή γεωλόγος μηχανικός θα καθορίσει την μέθοδο την έκταση και τον τύπο του διερευνητικού προγράμματος, προδιαγράφοντας τις αποστάσεις των ερευνητικών γεωτρήσεων ή ορυγμάτων, τον τύπο των δοκιμών, την συχνότητα της δειγματοληψίας, τις απαραίτητες επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές, κ.α. στον απαιτούμενο βαθμό και λεπτομέρεια σε σχέση με το προτεινόμενο έργο. (A.S.C.E. 1976, Hvorslev M.J. 1948, 1949).

Παρόλα αυτά όμως, δίδονται πιο κάτω ορισμένα στοιχεία - οδηγοί που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, για τον προγραμματισμό μιας γεωτεχνικής διερεύνησης υπεδάφους:

1. Οι σταθερές της κατασκευής (π.χ. τύπος, φορτία, μέγεθος, χρήση και λειτουργία κατασκευής κλπ.

2. Προδιαγραμμένες ή προβλεπόμενες ανάγκες (π.χ. στοιχεία σχεδιασμού και παράμετροι, περιορισμοί καθίζησης, περιορισμοί κατασκευής ή περιοχής).

3. Κόστος της γεωτεχνικής διερεύνησης συγκριτικά με το ολικό κόστος της κατασκευής. Αυτό γενικά κυμαίνεται από 0,1% για πολύ μεγάλες κατασκευές και απλές συνθήκες εδάφους θεμελίωσης, έως 5% για μικρότερες και δύσκολες συνθήκες υπεδάφους. (R.F. Craig, 1980).

4. Διαθέσιμη πληροφόρηση του υπεδάφους θεμελίωσης από στοιχεία προηγούμενης διατρητικής ή γενικής έρευνας της περιοχής.

5. Είδος και φύση των εδαφών ή πετρωμάτων της σημαντικής ζώνης θεμελίωσης (Significant foundation zone), όπως προκύπτουν από το αναγνωριστικό στάδιο και την μελέτη υπαρχουσών πληροφοριών.

Το όλο γεωτεχνικό διερευνητικό πρόγραμμα, είναι σχεδόν πάντα προτιμότερο και οικονομικότερο, να εκτελείται σε δύο στάδια: το προκαταρκτικό και το τελικό στάδιο ακριβείας.

4. ΒΑΘΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

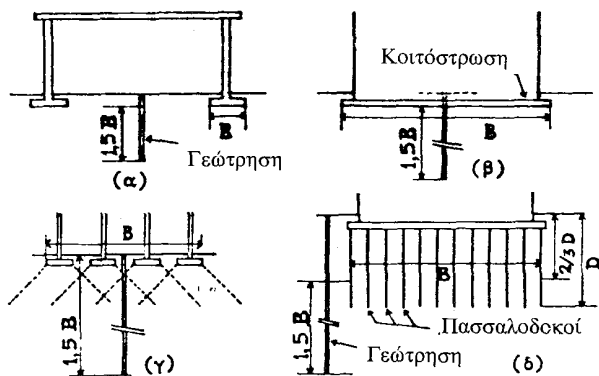
Το βάθος μέχρι το οποίο θα πρέπει να διερευνώνται οι σχηματισμοί θεμελίωσης, με ερευνητικές γεωτρήσεις, καθορίζεται και εξαρτάται από το βάθος που επηρεάζονται οι σχηματισμοί, μέσω των φερουσών τάσεων της θεμελίωσης. Οι κατακόρυφες τάσεις μέσα στο υπεδάφος σε βάθος 1,5 του πλάτους (B) της φορτισμένης επιφάνειας θεμελίωσης είναι περίπου 20% (J. Boussinesq 1985) της εφαρμοζόμενης τάσης στο επίπεδο θεμελίωσης και η διατμητική τάση στο βάθος αυτό είναι αξιόλογη (L. Jurgenson 1934). Επομένως η διάτρηση στο υπεδάφος θα πρέπει πάντα να φθάνει σε βάθος 1,5 x B τουλάχιστον (κατά B.S.: 5930: 1981).

Στα σχήματα Ια, β, γ και δ παρουσιάζονται διάφοροι τύποι και τρόποι θεμελίωσης και τα αντίστοιχα απαιτούμενα βάθη διερεύνησης τους. Στην περίπτωση θεμελίωσης με φρεατοπασσάλους σε ομοιόμορφο και ομοιογενές έδαφος, σχήμα Ιδ, το βάθος διερεύνησης ξεκινά από το βάθος των 2/3 του μήκους των φρεατοπασσάλων. (B.B. Broms 1972 και G.N. Smith 1981).

Όπως λοιπόν φαίνεται από τα πιο πάνω αναφερόμενα, το βάθος της διερεύνησης εξαρτάται άμεσα από το προτεινόμενο πλάτος και γενικότερα από το τύπο θεμελίωσης. Όμως το πλάτος και ο τύπος εξαρτάται κυρίως από τις γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής θεμελίωσης, που με τη σειρά τους, θα αποκαλυφθούν από την διερεύνηση. Βλέπουμε λοιπόν ότι στο πρόβλημα υπάρχει μια ανακύκλωση και αλληλεξάρτηση των ζητούμενων - δεδομένων στοιχείων. Η σύγχυση αυτή μπορεί να αποφευχθεί με την οργάνωση και εξέλιξη του διερευνητικού προγράμματος σε δύο στάδια, όπως στο αρχικό εκτελούνται ορισμένες αραιές, αλλά συστηματικά διατεταγμένες, ρηχότερες γεωτρήσεις και στο τελικό ακριβείας, ανάλογα με τα αποτελέσματα του αρχικού, συμπληρώνονται οι υπόλοιπες γεωτρήσεις στο απαιτούμενο βάθος και λεπτομέρεια, όπως αναπτύσσεται στην πιο κάτω ενότητα.

Για εκσκαφές σε χαμηλές τοπογραφικά περιοχές όπου υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης αρτεσιανών υδροφορέων, η διερεύνηση θα πρέπει να φθάνει, σαν εμπειρικός κανόνας, σε βάθος τουλάχιστον 1,5 φορά του βάθους εκσκαφής.

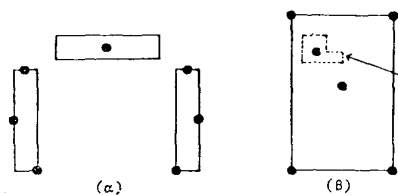
Τέλος, εάν κατά την διάτρηση συναντάται το βραχώδες υπόβαθρο η διερεύνηση σταματά εκεί, αφού όμως γίνει απόληψη καρότου για εξέταση από αυτό για την σίγουρη διαπίστωση ότι όντως πρόκειται περί του βραχώδους αυτού υποβάθρου και όχι περί συνάντησης ογκολίθου.



Σχ. 1. Βάθη των ερευνητικών γεωτρήσεων για διάφορες συνθήκες θεμελίωσης.

Fig. 1. Depths of investigation boreholes for various foundation conditions.

(α) Γεώτρηση = Borehole, (β) Κοιτόστρωση = Raft (γ) (δ) Φρεατοπάσσαλοι = Piles, Γεώτρηση = Borehole



Σχ. 2. Τοπικές διατάξεις ερευνητικών γεωτρήσεων, (α) Πολυώροφα κτίρια, (β) Κτίριο εργοστασίου.

Fig. 2. Typical arrangements of investigation boreholes, (a) Multistoreyed buildings, (b) Factory building. (a) - (β) Εγκατάσταση βαρέως μηχανήματος = Installation heavy machinery.

5. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Όπου είναι δυνατόν, οι ερευνητικές γεωτρήσεις θα πρέπει να γίνονται κοντά στα προτεινόμενα θεμέλια της κατασκευής. Οι αποστάσεις μεταξύ τους θα πρέπει να είναι μεταξύ 10 και 30 μέτρα περίπου (B.S. 5930: 1981), όπως φαίνεται στις τυπικές διατάξεις των γεωτρήσεων στο σχήμα (2α και β).

Η ακριβής όμως διαμόρφωση, οι θέσεις και ο τύπος των θεμελίων της προτεινόμενης κατασκευής συνήθως καθορίζονται μετά τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής διερεύνησης, και επομένως οι αποστάσεις, ο αριθμός και η διάταξη των σημείων διερεύνησης του υπεδάφους δεν μπορούν να ορισθούν όπως πιο πάνω.

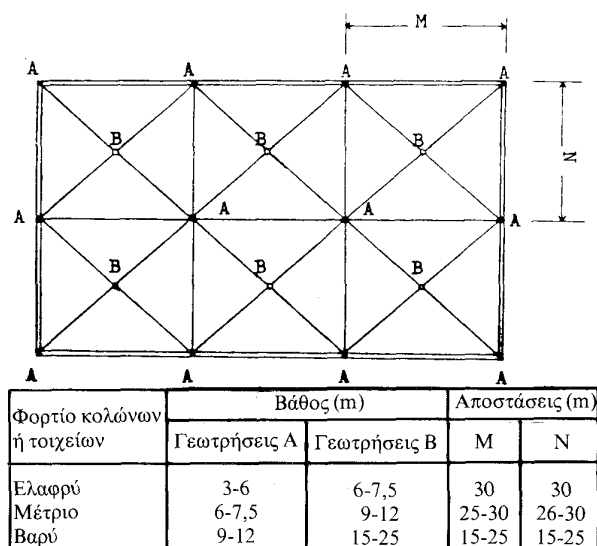
Για τον λόγο αυτό, προτείνεται ένα σχέδιο διερευνητικού προγράμματος, το οποίο εκτελείται βασικό σε δύο στάδια: α) το προκαταρκτικό και β) ανάλογο με τις αποκαλυφθείσες συνθήκες και τις ιδιαιτερότητες του υπεδάφους αποφασίζεται και εκτελείται το επόμενο λεπτομερειακό στάδιο της διερεύνησης ακριβείας.

Στο πρώτο στάδιο των ερευνητικών γεωτρήσεων συνήθως δεν εκτελείται λεπτομερής δειγματοληψία. Αντίθετα αρκεί η απόληψη και εξέταση των διατριθέντων υλικών ή των διαταραγμένων δοκιμίων και οι γενικές πληροφορίες περί των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών και των υπόγειων νερών. Οι ακόλουθες γεωτρήσεις του σταδίου ακριβείας σχεδιάζονται σαν συμπληρωματικές των προκαταρκτικών, αλλά συμπεριλαμβάνουν ειδικές απαιτήσεις σχετικά με τον τύπο, τη μέθοδο, το βάθος και τη συχνότητα της δειγματοληψίας.

Το σχήμα 3 προτείνει ένα υποδειγματικό δίκτυο για μια τυπική διάταξη γεωτρήσεων. Η διάταξη αυτή υποθέτει ότι το σχήμα της κατασκευής είναι παραλληλόγραμμο, αλλά το βασικό υπόδειγμα μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα, απλά με προσθήκη τμημάτων του δικτύου, διαστάσεων M επί N. Η διάταξη αυτή είναι

η πλέον αποδοτική για την αποκάλυψη της στρωματογραφίας και της γεωτεχνικής τομής καθώς και η εκτίμηση του γενικού προφίλ του υπεδάφους γίνεται ευκολότερα, με τη μικρότερη παραμόρφωση των στοιχείων.

Στο σχήμα αυτό, οι γεωτρήσεις Α ανήκουν στο προκαταρκτικό στάδιο οι οποίες αργότερα, εάν απαιτείται, συμπληρώνονται από τις υπόλοιπες Β. Παρόλ' αυτά το σχήμα θα πρέπει να χρησιμοποιείται σαν ένας απλός οδηγός που δίνει μια γενική ιδέα των συνθηθέτερα χρησιμοποιούμενων τιμών του γεωτρητικού βάθους, των αποστάσεων και της διάταξης, για κάποιες, μάλλον γενικές ομάδες κατασκευών. Επίσης, επειδή σπάνια δυο περιοχές είναι όμοιες και ακόμα πιο σπάνια δυο προγράμματα είναι εντελώς όμοια σε έκταση ή ανάγκες, δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν απόλυτες και αυστηρές προδιαγραφές στην έκταση της γεωτεχνικής διερεύνησης υπεδάφους, αλλά προτείνονται μόνο υποδείξεις.



Σχ. 3. Τυπική διάταξη και βάθος ερευνητικών γεωτρήσεων. Fig. 3. General guidelines for exploration boring layout and depths.

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

Εδώ γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής και παρουσίασης τόσο των κυριότερων μεθόδων διάτρησης των εδαφών για τον προσδιορισμό της στρωματογραφίας μιας διερευνόμενης περιοχής, όσο και των σπουδαιότερων (in-situ) υπαίθριων δοκιμών για το καθορισμό των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων των, υποκείμενων στη περιοχή, εδαφών. Περιλαμβάνονται μόνο οι πιο σύγχρονοι μέθοδοι διάτρησης εδαφών και υπαίθριων δοκιμών, που ακολουθούνται και εκτελούνται σε διάφορες ανεπτυγμένες χώρες. Δεν γίνεται όμως ανάλυση και περιγραφή της κάθε μεθόδου ή του τρόπου εκτέλεσης των δοκιμών, γιατί αυτό εκτρέπεται από το σκοπό αυτής της εργασίας και επίσης γιατί αυτές περιγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. CP 2001, B.S. 5930: 1981 και αλλού). Στη συνέχεια γίνεται μια ταξινόμηση των κυριότερων ομάδων των εδαφών και προτείνονται αντίστοιχα οι καταλληλότερες μέθοδοι διάτρησης και επιτόπου δοκιμών για την κάθε ομάδα εδάφους. α) Μέθοδοι διάτρησης:

A. 1) Δοκιμαστικά ορύγματα και τάφροι. A.2) Δοκιμαστικά φρεάτια και πλαγιοτρήσεις ή στοές.

A.3) Γεωτρήσεις με χειροκίνητα ελικοειδή τρυπάνια τύπου Auger.

A.4) Γεωτρήσεις με μηχανοκίνητα Auger. A.5) Γεωτρήσεις με κρουστικά γεωτρήματα. A.6) Γεωτρήσεις με περιστροφικά, συμπαγή ή

πυρηνοληπτικά γεωτρήματα. A.7) Γεωτρήσεις με απόπλυση υπο-πίεση (Wash

Borings). β) Επί τόπου υπαίθριες δοκιμές:

Αυτές, ανάλογα με τη φύση τους, εκτελούνται είτε μέσα (πάτωμα ή πλευρές) στα ορύγματα, φρεάτια και γεωτρήσεις, είτε απ' ευθείας στην επιφάνεια του εδάφους και προοδευτικά διεισδύουν σε αυτό. Εκτελούνται για τον επί τόπου καθορισμό των τριών κυριότερων γεωτεχνικών ιδιοτήτων:

Αντοχή, Παραμορφωσιμότητα, Υδατοπερατότητα.

B. 1) Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (S.P.T.). B.2) Δοκιμή διάτμησης πτερυγίου (V.S.T.). B.3) Δοκιμή φόρτισης πλάκας (P.L.T.). B.4) Δοκιμή πρεσιομέτρησης Menard (M.P.T.). B.5) Δοκιμή στατικής διείσδυσης κώνου Dutch

(μηχανοκίνητη, ηλεκτροκίνητη). B.6) Δοκιμή δυναμικής διείσδυσης κώνου (π.χ. δοκιμή Macintosh).

B. 7) Δοκιμή συνδυασμού στατικής και δυναμικής διείσδυσης κώνου.

B.8) Δοκιμή υδροπερατότητας σταθερού φορτίου νερού (Lefranc). B.9) Δοκιμή υδροπερατότητας μεταβαλλόμενου φορτίου νερού (MAAG).

B. 10) Δοκιμαστική άντληση χρησιμοποιώντας γεώτρηση παρατήρησης της πτώσης στάθμης.

B. 11) Δοκιμή εισπίεσης νερού με Packer, ή δοκιμή Lugeon.

B. 12) Δοκιμή μέτρησης της πυκνότητας με μέθοδο ισοτόπων ή ακτινών X κλπ. (ASTM D2922-1975) ή με αντικατάσταση άμμου (BS 1377) ή με τη μέθοδο μπαλονιού (ASTM.D2167-1975). B. 13) Δοκιμή φόρτισης φρεατοπασσάλου (PLT-

ASTM D1143). B. 14) Δοκιμή διατμητικής αντοχής. Πιο κάτω οι διάφοροι τύποι εδαφών ταξινομούνται σε επτά γενικές κατηγορίες. Στη κάθε κατηγορία εδάφους προτείνεται η χρήση της ή των καταλληλότερων μεθόδων διάτμησης του, καθώς και οι σχετικές επιτόπιες δοκιμές. Αυτές δεν είναι υποχρεωτικό να εκτελούνται όλες ανελλιπώς. Ίσως καμία ή και όλες απαιτούνται ανάλογα την περιοχή και την προτεινόμενη κατασκευή.

α) Μη συνεκτικά εδάφη περιέχοντα ογκόλιθους, κροκάλες και χαλίκια **Μέθοδος διάτμησης:** A.1, A.2 και A.5

Επιτόπου **δοκιμές:** B. 1 σε εδάφη με αρκετή περιεκτικότητα σε ογκόλιθους και κροκάλες δίνει υψηλότερες μη πραγματικές τιμές. B.3, B.4, B.7, B.8, B.9, B. 10, B.12, B.13, B.14

β) Άμμοι

Μέθοδος διάτμησης: Κυρίως A.5 και A.7, αλλά για αβαθείς διερευνήσεις πάνω από την πιεζομετρική επιφάνεια: A. 1, A.2, A.3 και A.4.

Επιτόπου **δοκιμές:** B. 1, B.3 σε ξηρές εκσκαφές, B.4, B.5, B.6, B.8, B.9, B. 10, B. 12, B. 13, B. 14.

γ) Ιλύες

Μέθοδος διάτμησης: A.5, A.7, A.1, A.2, A.3, A.4

Επιτόπου **δοκιμές:** B. 1, B.2 για λεπτόκοκκη ιλύ ή αργιλώδη ιλύ, B.3, B.4, B.5, B.8, B. 11, B.12, B.13, B.14.

δ) Κανονικά συμπίεσμένοι (Normally Consolidated) και ελαφρά υπερσυμπιεσμένοι (Slightly Over-consolidated) άργιλοι (Λόγος υπερσυμπιεστότητας (Overconsolidation Ratio) $\leq 1,8$). **Μέθοδος διάτμησης:** A.5, A.7, A.3, A.4, A.1, A.2,

Επιτόπου δοκιμές: B.2, B.4, B.5, B.8, B.11, B. 12, B. 13, B.14.

ε) Υπερσυμπιεσμένοι (Overconsolidated) άργιλοι (Λόγος υπερσυμπιεστότητας $> 1,8$). **Μέθοδος διάτμησης:** A. 1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7.

Επιτόπου **δοκιμές:** B. 1 περιορισμένης αξιοπιστίας, B.3, B.4, B.5, B.6, B. 11, B.12, B. 13, B. 14.

στ) Άργιλοι περιέχοντες

κροκάλες και ογκόλιθους.

Μέθοδος διάτμησης: Καλύτερες A. 1, A.2, επίσης A.5 και A.6 όταν το αργιλικό μητρικό υλικό είναι σχετικά σκληρό.

Επιτόπου **δοκιμές:** B.3, B.4, B.7, B. 11, B. 12, B. 13, B. 14.

ζ) Επίχωμα με στείρα ή τεχνητό έδαφος.

Μέθοδος διάτμησης: Κυρίως A.1, και A.2. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδο ανάλυσης με τη φύση και ομοιογένεια του επιχωματικού υλικού.

Επιτόπου δοκιμές: B.1, B.3, B.4, B.7, B.9, B. 10, B.11, B.12, B.14.

7. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΩΝ

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές δειγματοληψίες εδάφους, οι οποίες αναφέρονται, ονομαστικά μόνο πιο κάτω. Η επιλογή της κάθε, κατά περίπτωση, τεχνικής εξαρτάται από την απαιτούμενη ποιότητα του δοκιμίου, τη φύση και τον χαρακτήρα του εδάφους.

Έτσι οι κυριότερες και πιο σύγχρονες μέθοδο και τεχνικές δειγματοληψίας διεθνώς είναι:

γ) Δειγματοληψία Διείσδυσης

Γ.1) Δειγματοληψία με παχύ τοιχώματος δειγματολήπτη.

Γ.2) Δειγματοληψία με λεπτού τοιχώματος

δειγματολήπτη.

Γ.3) Δειγματοληψία με λεπτού τοιχώματος εμβολοφόρου δειγματολήπτη.

Γ.4) Δειγματοληψία συνεχόμενου προφίλ εδάφους με τον Σουηδικό δειγματολήπτη.

Γ.5) Δειγματοληψία με δειγματολήπτη πεπιεσμένου αέρα.

δ) Δειγματοληψία εκσκαφέντων υλικών:

Με τη μέθοδο αυτή δειγματοληψίας λαμβάνονται διαταραγμένα δοκίμια που προέρχονται από τα διατρητικά εργαλεία ή τα εκσκαπτικά μηχανήματα κατά τη πρόοδο της γεώτρησης ή εκσκαφής αντίστοιχα.

ε) Περιστροφική δειγματοληψία:

Ε. 1) Δειγματοληψία με διπλού τοιχώματος δειγματολήπτη.

Ε.2) Δειγματοληψία με τριπλού τοιχώματος δειγματολήπτη.

στ) Δειγματοληψία χωρίς συσκευές:

Αυτή επιτυγχάνεται με την αποκοπή δοκιμίων εδάφους με τα χέρια είτε από επιφανειακά εμφανιζόμενα υλικά είτε από εκσκαφές π.χ. ορυγμάτων, φρεατίων, στοών κλπ.

Ποιότητα δοκιμίου: Η τεχνική και η μέθοδος δειγματοληψίας θα πρέπει να επιλέγεται με βάση την ποιότητα που απαιτείται από το δοκίμιο. Η ποιότητα αυτή καθορίζεται από την καταλληλότητα του δοκιμίου για τις διάφορες απαραίτητες εργαστηριακές δοκιμές. Μια ταξινόμηση της ποιότητας των εδαφικών δοκιμίων αναπτύχθηκε στη Γερμανία (Κ.Η. Idel, Η. Muhs, και Ρ. Soos 1969) και ξεχωρίζει πέντε διαφορετικές ποιότητες δοκιμίων. Πίνακας (1).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1	
Ποιότητα	Ιδιότητες που μπορούν να προσδιοριστούν με αξιοπιστία
Κατηγορία 1	Περιγραφή και ταξινόμηση εδάφους, περιεκτικότητα υγρασίας, πυκνότητα, αντοχή, χαρακτηριστικά παραμορφωσιμότητας και συμπίεστότητας
Κατηγορία 2	Περιγραφή και ταξινόμηση, περιεκτικότητα υγρασίας, πυκνότητα
Κατηγορία 3	Περιγραφή και ταξινόμηση, περιεκτικότητα υγρασίας
Κατηγορία 4	Περιγραφή και ταξινόμηση
Κατηγορία 5	Καμία (μόνο στρωματογραφική αλληλουχία)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2		
Ποιότητα δοκιμίου που απαιτείται	Χαρακτηριστικά του εδαφικού σχηματισμού	Προτείνεται η χρήση της ακόλουθης δειγματοληπτικής τεχνικής
Κατηγορία 1	Εδάφη συνεκτικά ευαίσθητα στις διαταραχές, π.χ. ευαίσθητη άργιλος	Γ.3, Γ.4, ΣΤ
Κατηγορία 2		Γ.2
Κατηγορία 1	Άργιλος ή ιλύς χαμηλής αντοχής	Γ.3, Γ.4, ΣΤ ίσως Γ.2
Κατηγορία 2		Γ.2, Γ.1
Κατηγορία 1	Στιφρή άργιλος ή ιλύς	Γ.3, Γ.2, ΣΤ
Κατηγορία 2		Γ.1
Κατηγορία 1	Εδάφη συνεκτικά, μη ευαίσθητα στις διαταραχές, π.χ. αργιλώδης ιλύς παγετώδους προέλευσης	Γ.3, Γ.2, ΣΤ
Κατηγορία 2		Γ.1
Κατηγορία 1	Πρόσφατα Αλλουβιακά εδάφη	Γ.4 ή ανάλογα με τον τύπο εδάφους (δες αντίστοιχα)
Κατηγορία 2		ανάλογα τον τύπο του εδάφους
Κατηγορία 1	Εδάφη περιέχοντα ασυνέχειες (ιστός) που επηρεάζουν την αντοχή, παραμορφωσιμότητα και συμπίεστότητά τους	Μεγάλης διαμέτρου Γ.2 και Γ.3, ΣΤ
Κατηγορία 2		Γ.1

Κατηγορία 1	Πολύ σκληρή άργιλος ή ιλύς	Ε.2, ΣΤ
Κατηγορία 2		Ε.1
Κατηγορία 1	Άμμος (λεπτόκοκκος έως χονδρόκοκκος), χονδρόκοκκη ιλύς, που βρίσκονται κάτω από πιεζομετρική επιφάνεια	Γ. 5 με στατικό εμπηγγμό
Κατηγορία 2		Γ. 5 με δυναμικό εμπηγγμό
Κατηγορία 3	Σκληρή άργιλος και ιλύς	Γ.1
	Χαμηλής συνεκτικότητας ιλύς και ιλυώδης λεπτόκοκκη άμμος πάνω από τη πιεζομετρική επιφάνεια	Γ. 1 με ειδική παγίδα του πυρήνα
	Συνεκτικά εδάφη πάνω από την πιεζομετρική επιφάνεια	Υλικά εκσκαφής ή διάτρησης με τις μεθόδους Α.3, Α.4.Α.5
Κατηγορία 4	Συνεκτικά εδάφη βρισκόμενα κάτω από τη πιεζομετρική επιφάνεια	Εκσκαφέντα υλικά διάτρησης με τις μεθόδους Α.3, Α.4, Α.5
Κατηγορία 5	Μη-συνεκτικά εδάφη	Εκσκαφέντα υλικά διάτρησης με τις μεθόδους Α.3, Α.4, Α.5,Α.6,Α.7

Αφού ο γεωτεχνικός ή μηχανικός γεωλόγος μελετήσει το πρόβλημα της θεμελίωσης και τα χαρακτηριστικά της περιοχής και αποφασίσει ποιος βαθμός λεπτομέρειας ή ποιότητας απαιτείται και οικονομικά δικαιολογείται, θα πρέπει να επιλέξει τη μέθοδο και τη τεχνική της δειγματοληψίας που θα ακολουθηθεί, όπως προτείνεται στον πιο πάνω πίνακα (2).

Τα δοκίμια των κατηγοριών 1 και 2 θεωρούνται αδιατάρακτα ενώ των 3, 4 και 5 διαταραγμένα. Εάν ο γεωτεχνικός ή ο γεωλόγος αποφασίσει να διερευνήσει τις ιδιότητες του υπεδάφους με επιτόπιες υπαίθριες δοκιμές, τότε μεγάλη λεπτομέρεια για αδιατάρακτη δειγματοληψία, θεωρείται τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά απαράδεκτη. Μια «απλή» κατηγορία είναι επαρκής για να δώσει την αναγνώριση και ταυτοποίηση των συναντούμενων εδαφικών τύπων.

8. ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Συνήθως προδιαγράφεται ότι τα δοκίμια εδάφους θα πρέπει να παίρνονται στη κορυφή κάθε καινούργιου στρώματος και κατόπιν σε κάθε 1,5 μέτρο έως τη συνάντηση του επόμενου νέου στρώματος, όπου επαναλαμβάνεται το ίδιο (BS 5930: 1981).

Επιπλέον, όταν πρόκειται να διατηρηθούν μόνο λίγες γεωτρήσεις, είναι καλή πρακτική να υιοθετείται συνεχόμενη δειγματοληψία για τα πρώτα 2 έως 3 μέτρα και μετά, κανονικά, κάθε 1,5 μέτρο.

Όπου προτείνεται να εκτελούνται επιτόπου υπαίθριες δοκιμές, αυτές θα πρέπει να γίνονται στη κορυφή κάθε νέου στρώματος και μετά, ανά κάθε 1 μέτρο περίπου, σύμφωνα με αμερικάνικα και βρετανικά πρότυπα.

9. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΕΛΑΦΗ

Οι εργαστηριακές δοκιμές παράγουν στοιχεία, από τα οποία τα εδάφη μπορούν να ταξινομηθούν καθώς και να γίνει πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους κάτω από την επίδραση των φορτίων της κατασκευής. Οι δοκιμές αυτές γενικά συμπεριλαμβάνουν το προσδιορισμό των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών, π.χ. της διαμηκτικής αντοχής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της μέγιστης φέρουσας ικανότητας των εδαφών ή της ευστάθειας πρανών των εκσκαφών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών θα πρέπει να μελετούνται πάντα σε σχέση με τη καταγραφή της τομής των γεωτρήσεων και με άλλες παρατηρήσεις της περιοχής.

Οι κυριότερες εργαστηριακές δοκιμές, οι οποίες αφορούν καθαρά τους μηχανικούς θεμελίωσης, για τον προσδιορισμό των απαραίτητων γεωτεχνικών παραμέτρων και συντελεστών θεμελίωσης, είναι οι εξής και πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με τα προ

διαγραμμένα πρότυπα BS: 1377:

α) Οπτική εξέταση και ίσως ορυκτολογική ανάλυση.

β) Φυσική περιεκτικότητα υγρασίας και ειδικό βάρος. γ) Όρια υδαρότητας και πλαστικότητα (όρια Atterberg).

δ) Ανάλυση κοκκομετρικής διαβάθμισης. ε) Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. στ) Αντοχή σε τριαξονική θλίψη (σε μη αποστραγγιζόμενη κατάσταση, σε προστερεοποιημένημη αποστραγγιζόμενη κατάσταση, σε

αποστραγγιζόμενη κατάσταση). ζ) Διατμητική αντοχή σε κιβώτιο διάτμησης, η) Πτερύγιο διάτμησης, εργαστηρίου. θ) Στερεοποίηση και καθίζηση. ι) Υδροπερατότητα. ία) Χημικές αναλύσεις (οργανικές ουσίες, SO₄, PH, CO₃, CL).

Ανάλυση και περιγραφή των πιο πάνω εργαστηριακών δοκιμών δεν γίνεται γιατί αυτό θα ήταν εκτός του σκοπού της εργασίας αυτής. Παρ' όλα αυτά, οι δοκιμές αναφέρονται ονομαστικά, για να επιστήσουν τη προσοχή του μηχανικού στις σπουδαιότερες και σχετικότερες, ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη πληροφόρηση για τις θεμελιώσεις των κατασκευών.

10. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Οι γεωτεχνικές διερευνήσεις στους σχηματισμούς πετρωμάτων για σκοπούς θεμελίωσης διαφόρων κατασκευών, αποσκοπούν πρώτα στον καθορισμό των μεγίστων επιτρεπόμενων φέρουσων τάσεων για τις θεμελιώσεις πέδλων, πεδιλοδοκών ή φρεατοπασσάλων, και δεύτερον στον προκαθορισμό των συνθηκών που αναμένονται να συναντηθούν εάν πρέπει να γίνουν εκσκαφές μέσα σε βραχώδη στρώματα, για βαθιές θεμελιώσεις. Ο μηχανικός επομένως, θα πρέπει να έχει πληροφόρηση σχετικά με τον τύπο πετρώματος στη περιοχή θεμελίωσης, της γεωτεχνικής κατάστασης τους, δηλαδή το βαθμό αποσάθρωσης του καθώς και το προφίλ της αποσάθρωσης, τη κατάσταση των ασυνεχειών, τη παρουσία κατακερματισμένων ζωνών ή ρηγμάτων, που είναι ευαίσθητα στις μετακινήσεις, τη πιθανότητα ύπαρξης καταβόθρων, κοιλωμάτων καλυμμένων με φερτά εδαφικά υλικά και υπογείων κρυμμένων κοιλωμάτων, τη ποσότητα των υπογείων νερών που πιθανά θα αντληθούν από εκσκαφές κ. α. Μεγάλο μέρος από αυτή την πληροφόρηση μπορεί να αποκτηθεί σε κάποια γενική ποιοτική μορφή, από μελέτη γεωλογικών ή κυριότερα γεωτεχνικών χαρτών, εάν υπάρχουν.

Ένα βασικό μέρος της διερεύνησης της βραχομάζας, που βοηθά και στην ερμηνεία των στοιχείων των ερευνητικών γεωτρήσεων καθώς και των εργα στηριακών και υπαίθριων δοκιμών, είναι η λεπτομερής και ακριβής περιγραφή και καταγραφή των εξής γεωτεχνικών χαρακτηριστικών (κατά BS 5930: 1981, Anon 1981):

- 1) Χρώμα.
- 2) Μέγεθος κόκκων (το μέγεθος των ορυκτών κόκκων ή κρυστάλλων που αποτελούν το πέτρωμα.
- 3) Ιστός (π.χ. άμορφος, κρυσταλλικός, πορφυριτικός, κοκκώδης, υαλώδης, κρυστοκρυσταλλικός κ.α.).
- 4) Υφή (π.χ. συμπαγής, πομφολιγώδης, ταινιωτή ή παράλληλη κλπ.).
- 5) Ασυνέχειες. Καταγράφονται αναλυτικά τα εξής:
 - α) Προσανατολισμός των επιπέδων τους. β) Διάστημα μεταξύ διαδοχικών ασυνεχειών. γ) Άνοιγμα ή διάκενο μεταξύ των επιφανειών των ασυνεχειών.
 - δ) Σύνθεση του πληρωτικού, στα διάκενα των ασυνεχειών, υλικού εάν υπάρχει.
- 6) Κατάσταση αποσάθρωσης της βραχομάζας (σύμφωνα με τη κλίμακα που δίνεται από τη Διεθνή Επιτροπή Τεχνικής Γεωλογίας, ANON 1981) και τομές του προφίλ της αποσάθρωσης.
- 7) Πετρογραφικό όνομα του πετρώματος.
- 8) Αντοχή υλικού πετρώματος (από δοκιμή μονοαξονικής θλίψης).
- 9) Άλλα χαρακτηριστικά και ιδιότητες.

Από την πιο πάνω περιγραφή, οι τρεις ιδιότητες που είναι ιδιαίτερα σπουδαίες για το σχεδιασμό της θεμελίωσης, είναι τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών, η κατάσταση και το προφίλ αποσάθρωσης, και η αντοχή του υλικού του πετρώματος. Οι ιδιότητες αυτές έχουν συσχετιστεί από διάφορους ερευνητές καθώς και από διάφορους διεθνείς κώδικες πρακτικής, επιτυχώς με τη μέγιστη φέρουσα ικανότητα του πετρώματος, καθώς και με τη παραμορφωσιμότητα του κάτω από διάφορες συνθήκες και τύπους φόρτισης.

Εξ' άλλου, εάν γίνει λεπτομερής και ακριβής περιγραφή και καταγραφή των γεωτεχνικών αυτών στοιχείων σε ορισμένες θέσεις πετρωμάτων, όπου έχουν εκτελεσθεί διάφορες επιτόπιες υπαίθριες δοκιμές, όπως π.χ. δοκιμή φόρτισης πλάκας κλπ., τότε τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών μπορούν να μεταφερθούν και να εφαρμοστούν και σε άλλες θέσεις και τμήματα της ερευνώμενης περιοχής, όπου έχουν καταγραφεί παρόμοιες γεωτεχνικές συνθήκες του πετρώματος.

Βασικά υπάρχουν τρεις μέθοδοι διάτμησης, για την υπόγεια γεωτεχνική διερεύνηση των πετρωμάτων, και είναι:

1. Δοκιμαστικά ορύγματα και τάφροι.
2. Φρεάτια και στοές.
3. Περιτροφικές πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις.

Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κρουστική μέθοδος γεώτρησης σε ασθενή και αποσαθρωμένα πετρώματα.

Οι κυριότερες επιτόπιες υπαίθριες δοκιμές, για το προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αντοχής, παραμορφωσιμότητας και υδροπερατότητας των πετρωμάτων, είναι οι ακόλουθες και εκτελούνται είτε σε γεωτρήσεις είτε σε εκσκαφές:

1. Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (S.P.T.).
2. Δοκιμή φόρτισης πλάκας (P.B.T.).
3. Δοκιμή πρεσιομέτρησης (Δοκιμή Menard) (M.P.T.).
4. Δοκιμή υδροπερατότητας σταθερού φορτίου (Le-franc).
5. Δοκιμή υδροπερατότητας μεταβαλλόμενου φορτίου (Maag).
6. Δοκιμή εισπίεσης νερού με Packer (Lugeon).
7. Δοκιμαστικές αντλήσεις με παρατηρήσεις πτώσεις στάθμης (κατάλληλη σε πετρώματα κάτω από την πιεζομετρική επιφάνεια).
8. Δοκιμή διατμητικής αντοχής σε δοκίμιο πετρώματος που διαμορφώνεται με προσεκτική λάξευση με τα χέρια.

Δειγματοληψία δοκιμίων πετρώματος γίνεται με τη περιστροφική μέθοδο χρησιμοποιώντας:

1. Τον δειγματολήπτη διπλού τοιχώματος. Αυτός χρησιμοποιείται σε σκληρότερα, πιο υγιεινά και σχετικά συμπαγή ή λιγότερο ασυνεχή πετρώματα, και
2. Τον δειγματολήπτη τριπλού τοιχώματος, για πιο ασθενή, αποσαθρωμένα και ασυνεχή πετρώματα. Η δειγματοληψία θα πρέπει να είναι συνεχόμενου προφίλ, μέχρι το απαιτούμενο βάθος.

11. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Στη περίπτωση ισχυρών αλλά ρωγματομένων πετρωμάτων, ο καθορισμός των παραμέτρων θεμελίωσης (κυρίως η συνοχή της βραχομάζας, η γωνία εσωτερικής τριβής της βραχομάζας, καθώς και το στατικό μέτρο ελαστικότητας της βραχομάζας) μπορεί να επιτευχθεί από το σύστημα της Γεωμηχανικής ταξινόμησης της βραχομάζας του **Z.T. Bieniawski** 1979. Το σύστημα απαιτεί τον εργαστηριακό προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του ακέραιου υλικού πετρώματος και άλλων πέντε παραμέτρων που προσδιορίζονται κατά την διατρητική ή επιφανειακή έρευνα του πετρώματος, σύμφωνα με την διαδικασία που προτείνεται από τον **Z.T. Bieniawski** 1979.

Στη περίπτωση ισχυρών και συμπαγών (χωρίς ασυνέχειες) πετρωμάτων θα πρέπει, ανάλογα με τη σπουδαιότητα και το μέγεθος της κατασκευής, να υπολογίζονται όλες ή μερικές από τις πιο κάτω ιδιότητες, που αφορούν κυρίως τον μηχανικό θεμελίωσης:

1. Φυσικές ιδιότητες και ορυκτολογική σύνθεση.
2. Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (και αντοχή σε σημειακή φόρτιση).
3. Αντοχή σε εφελκυσμό (έμμεση, δοκιμή Βραζιλιανή).
4. Αντοχή σε τριαξονική θλίψη.
5. Στατικό μέτρο ελαστικότητας κατά Young.
6. Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας και ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων.
7. Δοκιμή σε ερπυσμό.

ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Μια καλή πηγή πληροφόρησης σχετικά με τις ζώνες της σεισμικής δραστηριότητας στον Ελληνικό χώρο είναι τα γεωδυναμικά Ινστιτούτα και οι τομείς γεωφυσικής και σεισμολογίας των Πανεπιστημίων και Πολυτεχνείων. Η πληροφόρηση παρέχεται κυρίως σε μορφή σεισμολογικών χαρτών όπου φαίνεται η συχνότητα και η ένταση της σεισμικής επικινδυνότητας καθώς και ο σεισμικός συντελεστής της κάθε περιοχής. Τα στοιχεία αυτά, αν και προσεγγιστικά, είναι απαραίτητα για τον ορθό σχεδιασμό μιας θεμελίωσης και πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στη γεωτεχνική διερεύνηση.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Κάτω από ορισμένες συνθήκες, οι γεωφυσικές μέθοδοι μπορούν να δώσουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες στις γεωτεχνικές διερευνήσεις για τη θεμελίωση κατασκευών. Αυτές χρησιμοποιούνται τόσο κατά το προκαταρκτικό στάδιο, όσο και κατά το στάδιο ακριβείας της διερεύνησης. Δύο είναι οι κυριότερες γεωφυσικές μέθοδοι που εφαρμόζονται σε αυτού του είδους τις διερευνήσεις: η μέθοδος σεισμικής διάθλασης και η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης.

Γενικά, οι γεωφυσικές μέθοδοι μπορεί να είναι χρήσιμες στις γεωτεχνικές διερευνήσεις θεμελιώσεων εκτιμώντας και προσδιορίζοντας:

- 1) Το βάθος του βραχώδους υποβάθρου (Bedrock) και το πάχος των επιφανειακών εδαφικών σχηματισμών.
- 2) Την πιεζομετρική επιφάνεια των υπογείων νερών.
- 3) Τις εναλλαγές των στρωμάτων, τόσο σε κατακόρυφη όσο και σε οριζόντια έννοια (εάν έχουν μεταξύ τους διαφορές στις γεωφυσικές ιδιότητες).

- 4) Τις τεκτονικές ανωμαλίες και τις υπόγειες κοιλότητες.
5) Την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, προσδιορίζοντας έτσι την κατάσταση αποσάθρωσης και διάρρηξης των πετρωμάτων και επομένως τα προβλήματα κατά τις εκσκαφές καθώς και τον καθορισμό των σεισμικών σταθερών. 6) Τις θέσεις για περαιτέρω γεωτρητική έρευνα.

Η ΕΚΘΕΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Η τεχνική έκθεση μιας γεωτεχνικής διερεύνηση θεμελίωσης είναι το τελικό προϊόν όλων των διαθέσιμων και ανευρεθέντων στοιχείων από χάρτες και ιστορική βιβλιογραφία, γεωτρήσεις, δοκιμαστικά ορύγματα και τάφρους, φρεάτια, παρατηρήσεις τη περιοχής, υπαίθριες και εργαστηριακές δοκιμές. Μια τέτοια έκθεση θα πρέπει να ακολουθεί και να περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες:

1. Εισαγωγή

Θα πρέπει να αναφέρεται στον αναγνώστη ποιος είναι ο εργοδότης, η ημερομηνία της διερεύνησης, ο τύπος των διατρήσεων και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης, θα αναφέρεται η έκταση και η ακρίβεια της διερεύνησης π.χ. εάν η διερεύνηση στη έγινε απλώς για να ληφθούν περιορισμένα και προσεγγιστικά στοιχεία της περιοχής για να εκτιμηθούν από τον πολιτικό μηχανικό, ή εάν απαιτείται μια πλήρης γεωτεχνική διερεύνηση με διατρήσεις εργαστηριακές και υπαίθριες δοκιμές για τον ακριβή υπολογισμό της μέγιστης φέρουσας ικανότητας καθώς και των προβλεπόμενων καθιζήσεων. Εάν η έκταση και η ακρίβεια της γεωτεχνικής διερεύνησης έχει περιοριστεί, για οικονομικούς ή άλλους λόγους κατά τέτοιο βαθμό, ώστε ο υπεύθυνος γεωτεχνικός ή γεωλόγος μηχανικός τη θεωρεί ανεπαρκή, θα πρέπει να αναφέρει τους περιοριστικούς αυτούς λόγους στην εισαγωγή.

2. Γενική περιγραφή της περιοχής

Αυτό το τμήμα της έκθεσης θα πρέπει να περιγράφει την γενική μορφολογική διαμόρφωση και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά της περιοχής, επισημαίνοντας την παρουσία δένδρων, τοίχων, παλιών κτιρίων, λατομείων, φρεατίων, ορυχείων, ελωδών εδαφών, μικρών λιμνών, υδατοροών, επιχωματωμένων θέσεων, την προσπελασιμότητα της περιοχής κ.ά. Επίσης, θα πρέπει να περιγράφεται κάθε χρήσιμη πληροφόρηση παραγόμενη από ιστορική βιβλιογραφία για την προηγούμενη χρήση της περιοχής καθώς και άλλες παρατηρήσεις όπως πλημμύρες, διάβρωση εδάφους, καθιζήσεις, σεισμούς, αστάθεια κλιτύων και πρανών. Επίσης, παρατηρήσεις επί γειτονικών κτιρίων που δείχνουν σημάδια ρωγμάτωσης λόγω καθίζησης είναι πολύτιμα στοιχεία.

3. Γενική γεωλογία της περιοχής θα πρέπει να δίνονται σημειώσεις σχετικά με τη γεωλογία της περιοχής, καθώς και σύγκριση της δημοσιευμένης πληροφόρησης σε χάρτες, άρθρα και τη βιβλιογραφία γενικότερα κ.λπ., με τους σχηματισμούς που βρέθηκαν κατά την διατρητική έρευνα. Θα πρέπει να δίνεται προσοχή σε κάθε γνωστό ρήγμα, λατομείο, πηγή, καταβόθρες, ορυχεία και εκσκαφές, ή άλλα χαρακτηριστικά που θα έχουν επίδραση στις εργασίες θεμελίωσης, θα πρέπει επίσης να συμπεριλαμβάνεται ένας χάρτης που να δείχνει τη θέση, την τοπογραφία και γεωλογία της περιοχής καθώς και τις θέσεις των σημείων διερεύνησης.

4. Περιγραφή των συνθηκών του υπεδάφους όπως διαπιστώθηκαν στις γεωτρήσεις

Αυτό το τμήμα θα πρέπει να αποτελείται από μια σύντομη και ακριβή περιγραφή των διαφόρων συντηθέντων στρωμάτων και του υπογείου νερού κάτω από τη διερευνούμενη περιοχή με αντίστοιχη αναφορά στα φύλλα καταγραφής των γεωτρήσεων. Γενικά, θα πρέπει να αναφέρεται η σπουδαιότητα των κάθε εκτελεσθέντων επιτόπιων υπαίθριων δοκιμών.

5. Φύλλα καταγραφής γεωτρήσεων

Σε αυτά καταγράφονται όλα τα υλικά και τα χαρακτηριστικά τους που συναντήθηκαν κατά την πορεία της γεώτρησης. Ένα τέτοιο φύλλο δείχνει με τον καλύτερο τρόπο την κατακόρυφη τομή των σχηματισμών υπό κλίμακα έτσι ώστε τα βάθη στα οποία συναντήθηκαν τα διάφορα υλικά να φαίνονται σχηματικά με ευκολία. Ένα τέτοιο απλό σχήμα είναι κατά πολύ καλύτερο από σελίδες έγγραφου υλικού. Ένα τυπικό φύλλο καταγραφής γεώτρησης δείχνεται στο σχήμα (4). Επίσης, αυτό θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλη την σχετική πληροφόρηση που βρέθηκε κατά την διάτρηση των εδαφικών ή βραχωδών σχηματισμών με λακωνικό αλλά ακριβή και περιεκτικό τρόπο, και σύμφωνα με τον διεθνή προτεινόμενο τρόπο και σειρά που υιοθετήθηκε και ακολουθείται από την Διεθνή Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (Anon 1981). Επίσης, πρέπει να συμπεριλαμβάνει στοιχεία σχετικά με τις συνθήκες των υπόγειων νερών, τον αριθμό, τον τύπο και την ακριβή θέση των δοκιμών που λήφθηκαν για εργαστηριακή εξέταση, τον τύπο και τις θέσεις των επιτόπιων δοκιμών, τον τύπο του διατρητικού μηχανήματος και τον χρόνο που απαιτήθηκε για την διάτρηση, καθώς και κάθε άλλο χρήσιμο στοιχείο.

Τέλος, εάν στην περιοχή έχουν διατηρηθεί αρκετές γεωτρήσεις, θα ήταν μια καλή τακτική να σχεδιασθούν μια ή περισσότερες μηκοτομές κατά διάφορες διευθύνσεις στην περιοχή, ώστε να δείχνονται ευκρινώς οι μεταβολές και τα επίπεδα των ιδιαίτερων στρωμάτων, για την καλύτερη παρουσίαση και κατανόηση των υπόγειων συνθηκών.

Περιγραφή των στρωμάτων	Υπό-μετρο	Συμβολισμός	Βάθος σε μ.	Τύπος δοκιμής	N	Cr	R.Q.D.	Is	Wn	L.L.	Cu	φ'	M _r	K	U.C.S.	Άλλα στοιχεία
	0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
χορμικό έδαφος			0,5	Δ	6											2x10 ³
Άμμος χαλαρή, ανοικτή καφέ.	50		3,6	Δ	15											1x10 ⁴
Άμμος μέσης πυκνότητας, καφέ, χαλκώδης.			5	Δ	19											
Ποκνά, καφέ, αμώδη χαλίκια με λίγη άργιλο.	45		5,9	Δ	19											
Άργιλος μέσης συνεκτικότητας έως σιφή, κτινιοκαφέ με στενού διαστήματος ρωγμές, υψηλής πλαστικότητας.	40		6,9	A	22				13	58	80	32	0,25			6x10 ⁶
			10	A	22				15	60	86	32	0,23			2x10 ⁶
			15	A	22				12	59	97	35	0,18			
			16	A	22				14	61	105	34	0,17			7x10 ⁷
Ψαμίτης ανοικτός γκρι, χονδρόκοκκος, γενικά υψηλά αποσαθρωμένος, κροκαλοπαγής, μέτρια ασθενής.	35		20	A	50 για 110 mm			0,50								8
			20,3	A	50 για 110 mm			0,80	2,5							12
Κροκαλοπαγής, γκρι ανοικτό, ελαφρά αποσαθρωμένο, μέτρια ισχυρό, με ενστρώσεις ψαμίτι.	30		22,8	A	50 για 110 mm			1,10								41
			22,8	A	50 για 110 mm			1,30	2,2							48
			25	A	50 για 110 mm			1,20								42
Ψαμίτης πρασινογκρι χονδρόκοκκος, ελαφρά αποσαθρωμένος, κροκαλοπαγής, ισχυρός με κλίση στρωμάτων περίπου 50'.	15		25	A	50 για 110 mm			1,60	2,0							55

ΣΥΜΒΟΛΑ:

Δ = διαταραγμένο δοκίμιο
 A = αδιατάρακτο δοκίμιο
 N = αποτελέσματα δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης
 Cr = ποσοστό απόληψης πυρήνων
 R.Q.D. = δείκτης ποιότητας πετρώματος

Is = δείκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση
 Wn = περιεκτικότητα φυσικής υγρασίας
 L.L. = όριο υδαρότητας
 Cu = συνοχή (μη αποστραγγισμένη)
 φ' = γωνία εσωτερικής τριβής (αποστραγγισμένη)

M_r = συντελεστής συμπίεστότητας
 K = συντελεστής υδροπερατότητας
 U.C.S. = αντοχή σε μονοαξονική θλίψη
 ▼ = υψηλότερη στάθμη νερού
 ▽ = χαμηλότερη στάθμη νερού

ΚΑΙΜΑΚΑ 1:250

Σχ. 4. Φύλλο καταγραφής της γεώτρησης.
 Fig. 4. Borehole record sheet.

6. Αποτελέσματα εργαστηριακών και υπαίθριων δοκιμών

Δεν πρέπει να δίδεται μια μακροσκελής περιγραφή των αποτελεσμάτων των δοκιμών. Το περιγραφικό υλικό θα πρέπει να περιορίζεται σε μια σύντομη αναφορά των διαφόρων τύπων δοκιμών που εκτελέστηκαν και θα πρέπει να εφιστά την προσοχή σε κάθε αποτέλεσμα που είναι είτε ασύνηθες ή ιδιαίτερα σημαντικό. Για τις λεπτομέρειες των αποτελεσμάτων, ο αναγνώστης θα πρέπει να παραπέμπεται στο παράρτημα των αποτελεσμάτων με τα διαγράμματα και τους πίνακες των δοκιμών όπως π.χ. των ορίων Atterberg στον πίνακα ταξινόμησης των εδαφών κατά Casagrande, της τριαξονικής θλίψης στα διαγράμματα των κύκλων του Mohr ή στα «R-Q» διαγράμματα, των μεγεθών κόκκων στα διαγράμματα της κοκκομετρικής ανάλυσης, της συμπίεστότητας στις καμπύλες πίεσης-λόγου κενών, της δοκιμής φόρτισης πλάκας στις καμπύλες φορτίου-καθίζησης και καθίζησης-χρόνου, παρατηρήσεις και αποτελέσματα γεωφυσικής διασκόπησης και σεισμολογικών παραμέτρων κ.ά.

Τέλος η διαδικασία των δοκιμών θα πρέπει να περιγράφεται μόνο στην περίπτωση των μη-προτύπων, ειδικά επισημασμένων δοκιμών για την διερεύνηση.

7. Συζήτηση και συμπεράσματα επί των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής διερεύνησης, σε σχέση με τον σχεδιασμό της θεμελίωσης της κατασκευής.

Αυτή είναι η «καρδιά» της τεχνικής έκθεσης και ο συγγραφέας θα πρέπει να προσπαθήσει να συζητήσει το πρόβλημα καθαρά και σύντομα χωρίς «εάν» και «αλλά». Για αναγνωσιμότητα αυτό το τμήμα της έκθεσης θα πρέπει να αναλύεται σε ένα αριθμό υποενοτήτων. Πρώτα, κάτω από τα «γενικά» δίδεται μια περιγραφή των κύριων κατασκευών και των σχετιζόμενων φορτίων που θα επιβληθούν και σε σχέση με την γενική εκτίμηση των υπόγειων συνθηκών, ο δυνατός τύπος της θεμελίωσης που μπορεί να επιλεχθεί π.χ. θεμελίωση δια πεδιλοδοκών, κοιτόστρωσης, ή δια πασσάλων. Οι

υπόλοιπες υποενοότητες πρέπει να αναφέρονται στα ιδιαίτερα μέρη των κατασκευών, εάν υπάρχουν (π.χ. στην περίπτωση κατασκευής εργοστασίου, στο τμήμα των ελαφρών κτιρίων των γραφείων, και στο τμήμα της έδρασης των βαρειών μηχανημάτων που προξενούν κραδασμούς κ.λ.π.) και στους δυνατούς τύπους της θεμελίωσης για το κάθε ιδιαίτερο τμήμα των κατασκευών. Ο συγγραφέας θα πρέπει να έρχεται απ' ευθείας στο κυρίως θέμα. Στην περίπτωση αβαθούς θεμελίωσης με πέδιλα ή πεδιλοδοκούς, θα αναφέρεται το απαιτούμενο βάθος θεμελίωσης, κατόπιν οι μέγιστες φέρουσες τάσεις, και κατόπιν οι αναμενόμενες καθιζήσεις για τις τάσεις αυτές. Επίσης, θα αναφέρεται εάν θα υπάρχει κάποιο πλεονέκτημα, τοποθετώντας τα θεμέλια βαθύτερα π.χ. αύξηση της φέρουσας τάσης ή μείωση των καθιζήσεων.

Σε περίπτωση θεμελίωσης με πασσάλους, ο συγγραφέας θα πρέπει να καθορίζει το φέροντα στρώμα ή σχηματισμό που θα πρέπει να εδραστούν οι πάσσαλοι, την απαιτούμενη διείσδυση τους μέσα σε αυτό, τα μέγιστα επιτρεπτά φορτία που μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε πάσσαλο ή στην ομάδα των πασσάλων και τις υπολογιζόμενες καθιζήσεις τους. Πιθανές δυσκολίες στην έμπηξη ή διάτρηση για τους φρεατοπασσάλους θα πρέπει να σημειώνονται, καθώς και να αναφέρεται κάθε πιθανή επιζήμια επίδραση στις γειτονικές κατασκευές.

Τέλος, τα αποτελέσματα των δοκιμών εκείνων που φαίνεται ότι είναι σχετικά πολύ χαμηλά δεν θα πρέπει να απορρίπτονται επειδή δεν ικανοποιούν τις γενικές ιδέες και αποφάσεις περί του τύπου της θεμελίωσης. Οπωσδήποτε θα πρέπει πρώτα να μελετώνται οι λόγοι για τους οποίους τα αποτελέσματα είναι χαμηλά. Μόνο εάν μπορεί να αποδειχθεί ότι αυτά δεν είναι αντιπροσωπευτικά π.χ. λόγω διατάραξης του δοκιμίου, ή είναι σχετικά πολύ λίγα στον αριθμό ώστε να μην έχουν πρακτική σπουδαιότητα στο γενικό πρόβλημα, τότε μπορούν να παραμεληθούν. Παρόμοια, ορισμένα στοιχεία γεωτρήσεων που αντιβαίνουν στην γενική απόφαση περί του τύπου της θεμελίωσης δεν πρέπει να παραμερίζονται. Εάν τα στοιχεία αυτά είναι ανάμοια όλων των άλλων γειτονικών τους, και έτσι διαταράσσουν τοπικά τη διάταξη και τον τύπο των θεμελίων, τότε θα πρέπει να διερευνάται η αιτία της ασυμφωνίας. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να εκτελούνται ερευνητικές γεωτρήσεις ή δοκιμές ελέγχου. Εάν τελικά δείχθει ότι πραγματικά υπάρχουν ιδιόρυθμες συνθήκες υπεδάφους τότε ο σχεδιασμός της θεμελίωσης θα πρέπει να τις λαμβάνει υπόψη.

Τέλος, τα κυριότερα προβλήματα, συμπεράσματα και προτάσεις της γεωτεχνικής διερεύνησης θα πρέπει να συνοψίζονται και να παρουσιάζονται στον επίλογο της τεχνικής έκθεσης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society of Civil Engineers (1976) "Subsurface Investigation for Design and Construction of Building" Manual No.56.
- Anon (1981) "Rock and Soil description for engineering geological mapping". Report by the Commission on Engineering Geological Mapping. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 24.
- Bieniawski, **Z.T.** (1979) "The geomechanics classification in rock engineering applications". Proc. 4th Int. Cong. Rock Mech., Montreux (Suisse), 1, 41-48.
- Boussinesq J., (1885) "Application des Potentiels a l' Etude de l' Equilibre et du Mouvement des Solides Elastiques", Gauthie-Vallars, Paris.
- British Standards 1377: (1967) "Methods of testing soils for civil engineering purposes". British Standards Institution.
- British Standards 5930: (1981) "Code of practice for Site Investigations" British Standards Institution.
- Broms, **B.B.** (1972) "Settlements of Pile Groups" 5th Panamerican Soil Mech. Conf, A.S.C.E., vol. 3.
- Craig, R.F. (1980) "Soil Mechanics" Published by Van Nostrand Reinhold, England.
- Fahlquist, F.E. (1941) "New Methods and Techniques in Subsurface Explorations". Contribution to Soil Mechanics 1941-1953, Boston Soc. Civ. Eng.
- Hvorslev, M.J. (1948 and 1949) "Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes". Rep. Comm. Sampling and Testing, A.S.C.E. Soil. Mech. Found. Div.
- Idel, K.H., Muhs, H., von Soos, P. (1969) "Proposals for quality classes in soil sampling and the importance of boring methods and sampling equipment". Speciality session No. 1. Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Mexico.
- Jurgenson, L. (1934) "The application of theories of elasticity and plasticity to foundation problems". Proc. Boston Soc. Civ. Engrs.
- Κουμαντάκης, Ι., Κούκης, Γ. (1984) «Γενικές προδιαγραφές Γεωλογικών εργασιών στα πλαίσια των Μελετών Τεχνικών Έργων». Μ.Μ. Χρονικά. No. 55.
- Proctor, **D.C.**, (1976) "Requirements of Soil Sampling for Laboratory testing". Offshore Soil Mechanics, Cambridge University and Lloyd's Register of Shipping.
- Smith, G.N., (1981) "Elements of Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers" Published by Granada, England.
- Sowers, G.F., (1954) "Modern Procedures for Underground Investigation" A.S.C.E. separate no 435.

GEOTECHNICAL SITE INVESTIGATION METHODOLOGY FOR FOUNDATIONS OF STRUCTURES

By CONST. SACHPAZIS
SUMMARY

This paper is mainly concerned with the appropriate methods and procedures applicable to a typical ground investigation, for a safe and economic foundation design of a structure.

Especially, there are some suggestions given in relation to the selection of the necessary extent and depth of a geotechnical exploration, according to the peculiarities of the proposed structure as well as the nature and type of the underground soil and rock formations.

In addition, the most suitable methods and techniques for boring and in-situ testing are mentioned with respect to the encountered soil and/or rock types.

Guidelines are also recommended which deal with the selection of the most appropriate methods of sampling and laboratory testing, according to the type of soils and rocks. Moreover, it is included a concise description of various suitable geophysical methods for ground investigation.

Finally, a borehole log model as well as a scheme for a site investigation report are given to illustrate how the results of a geotechnical investigation can be presented in a concise, exact and clear way.