

Κεφάλαιο 4. Εδαφοτεχνική έρευνα

4.1. Εδαφοτεχνική έρευνα

Η εδαφοτεχνική ή γεωτεχνική έρευνα, είναι η έρευνα που γίνεται για να διαπιστωθούν γενικότερα οι ιδιότητες του εδάφους, όπως η κατάταξη σε κατηγορίες και άλλες. Το αντικείμενο της εδαφοτεχνικής ή γεωτεχνικής έρευνας είναι οι επί τόπου δοκιμές (ή δοκιμές πεδίου) και η δειγματοληψία για δοκιμές σε εργαστήριο. Από τις δοκιμές πεδίου και τις δοκιμές εργαστηρίου, εκτιμάται η αναμενόμενη συμπεριφορά του εδάφους, κατά την κατασκευή αλλά και κατά την λειτουργία του έργου. Τα συμπεράσματα από την εδαφοτεχνική έρευνα, διατυπώνονται σε εκθέσεις, και αποτελούν την εδαφοτεχνική μελέτη.

Σε σημαντικά έργα (όπως πχ ένα φράγμα) είναι απαραίτητο να γίνει πλήρης εδαφοτεχνική έρευνα, που περιλαμβάνει:

- γεωλογική μελέτη της περιοχής του έργου
- γεωτρήσεις & άλλες μέθοδοι έρευνας εδάφους, και συλλογή δειγμάτων
- μετρήσεις και δοκιμές στο εδαφοτεχνικό εργαστήριο

Σε μικρότερα έργα, μπορεί να παραληφθούν κάποια από τα ανωτέρω στάδια, όπως η γεωλογική μελέτη της περιοχής ή οι εργαστηριακές δοκιμές. Ακόμη η γεωτρήσεις μπορεί να αντικατασταθούν από πενετρομετρήσεις ή από δοκιμαστικά φρεάτια. Υπάρχει η δυνατότητα να περιοριστεί η εδαφοτεχνική έρευνα με απλές παρατηρήσεις με χρήση πρόχειρων δοκιμών που μπορεί να γίνουν στο ύπαιθρο χωρίς αξιολογία εργαλεία.

Για τον σχεδιασμό και τον υπολογισμό των τεχνικών έργων, είναι απαραίτητη η έρευνα των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Η ατελής γνώση του εδάφους, μπορεί να εκθέσει τον μηχανικό στο να αντιμετωπίσει ένα μη αναμενόμενο τεχνικό πρόβλημα, και τον ιδιοκτήτη - κύριο του έργου, να αντιμετωπίσει ένα μη αναμενόμενο κόστος του έργου.

Με την εδαφοτεχνική έρευνα λαμβάνουμε πληροφορίες για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως:

- προβλήματα θεμελιώσεων & αντιστηρίξεων: προσδιορίζεται η αντοχή και οι παραμορφώσεις των εδαφικών υλικών, όταν επιβάλλονται φορτία, σε εκσκαφές, επιχώματα, κατασκευές θεμελίων. Ακόμη προβλέπονται οι ωθήσεις γαιών, που θα ασκούν τα εδάφη στις κατασκευές που θα τα συγκρατούν, όπου αυτές χρειάζονται
- προβλήματα κατασκευής: μελετάται η έκταση και η φύση των υλικών που πρόκειται να εκσκαφτούν. Ακόμη εντοπίζεται η θέση, η ποιότητα & ο όγκος των εδαφικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν ως υλικό κατασκευής (πχ για αδρανή σκυροδέματος, για κατασκευή επιχωμάτων σε συγκοινωνιακά έργα, ή αναχωμάτων σε υδραυλικά έργα κτλ).
- προβλήματα λόγω ύπαρξης υπογείων υδάτων: η γνώση της στάθμης και της ποιότητας των υπογείων υδάτων είναι πολύ σημαντική για την εκτίμηση της επιρροής του νερού στην ευστάθεια και τις καθιζήσεις του έργου. ακόμη εκτιμάται ο κίνδυνος διάβρωσης από την ροή του νερού στο έδαφος, η επιρροή του στα δομικά υλικά κατασκευής. Τέλος συμπεραίνουμε την καταλληλότητα του εδάφους, για να κατασκευαστεί το έργο σε αυτό.

Οι γεωτεχνικές έρευνες πρέπει να εκτελούνται με καθορισμένο τρόπο που περιγράφεται στις σχετικές προδιαγραφές. Στην Ελλάδα υπάρχουν προδιαγραφές με ισχύ Νόμου, καθώς και εγκύκλιοι για τους διάφορους τύπους των έργων. Βασικές προδιαγραφές για εδαφοτεχνικές - γεωτεχνικές μελέτες, και των δοκιμών που περιλαμβάνουν είναι οι παρακάτω:

1. «Τεχνικές προδιαγραφές γεωλογικών εργασιών μέσα στα πλαίσια των μελετών τεχνικών έργων (Ε 104-85)» στο ΦΕΚ 29/Β'/1986.
2. «Προδιαγραφές επί τόπου δοκιμών εδαφομηχανικής (Ε 106-86)» στο ΦΕΚ 955/Β'/1986.
3. «Προδιαγραφές επί τόπου δοκιμών βραχομηχανικής (Ε 102-84) και εργαστηριακών δομικών βραχομηχανικής (Ε 103-84)» στο ΦΕΚ 70/Β'/1985.
4. «Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής (Ε 105-86), στο ΦΕΚ 955/Β'/1986

Οι φάσεις μια πλήρους εδαφοτεχνικής έρευνας αναφέρονται παρακάτω:

A. Η **γεωλογική μελέτη** έχει αποτέλεσμα την σύνταξη του γεωλογικού χάρτη της περιοχής, και τον σχεδιασμό μερικών χαρακτηριστικών γεωλογικών τομών. Τα δεδομένα για την γεωλογική έρευνα, συγκεντρώνονται με την παρατήρηση των επιφανειακών πετρωμάτων, την παρατήρηση της εικόνας των φυσικών τομών του εδάφους (όπως κοίτες χειμάρρων), με τεχνητές τομές (όπως πηγάδια, θεμέλια γειτονικών έργων), με δοκιμαστικά φρεάτια ή με γεωτρήσεις, και με πιο προχωρημένες μεθόδους. Πιο προχωρημένες μέθοδοι γεωλογικής έρευνας είναι η μέτρηση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων που προκαλούνται από ειδική συσκευή, η μέτρηση της αγωγιμότητας του εδάφους, η μέτρηση των μεταβολών της βαρύτητας και άλλες.

B. **μέθοδοι έρευνας εδάφους** είναι

- οι γεωτρήσεις
- η κανονική ή πρότυπη δοκιμή διεσόδσεων
- οι πενετρομετρήσεις
- οι δοκιμαστικές ράβδοι
- τα δοκιμαστικά φρεάτια
- η δοκιμαστική φόρτιση
- η δοκιμαστική πασσάλωση, κ.α.

γεωτρήσεις

Για να σχηματιστεί τεκμηριωμένη άποψη για τις συνθήκες του εδάφους, γίνονται γεωτρήσεις σε διάφορα βάθη και σε διάφορες θέσεις, και λαμβάνονται δείγματα που θα εξεταστούν στο εργαστήριο. Ο μελετητής του έργου, κρίνοντας από τις πληροφορίες για την γεωλογία του έργου (1^ο στάδιο εδαφοτεχνικής έρευνας), προγραμματίζει την θέση και το πλήθος των γεωτρήσεων. Για ένα κτίριο, ένα αρχικό πρόγραμμα γεωτρήσεων θα μπορούσε να είναι από μια γεώτρηση σε κάθε γωνία της κατασκευής, και μία στο μέσο. Ένας πρακτικός κανόνας για το βάθος γεώτρησης είναι να φτάνει σε βάθος διπλάσιο από την μικρότερη διάσταση, της κάτοψης του έργου. Μπορούν επίσης να γίνουν επί τόπου δοκιμές για τον προσδιορισμό αντοχής και παραμορφωσιμότητας.

Οι γεωτρήσεις δίνουν πληροφορίες για το έδαφος με δύο τρόπους α) μετρώντας την αντίσταση του εδάφους, καθώς προχωράει το γεωτρήπανο εις βάθος και β) με τα δείγματα του εδάφους, που λαμβάνει από το βάθος που βρίσκεται το κοπτικό εργαλείο. Οι γεωτρήσεις ακόμη δίνουν πληροφορίες και για τα υπόγεια νερά, το βάθος που βρίσκονται, την πίεση τους, και μπορούμε να πάρουμε δείγματα για να βρούμε την χημική τους σύσταση.

Οι γεωτρήσεις γίνονται με κρουστικά ή περιστροφικά γεωτρήπανα, και μπορούν να είναι μηχανική ή χειροκίνητα. Ένα γεωτρήπανο αποτελείται από την διάταξη για την έμπηξη, από το στέλεχος του, και από το κοπτικό εργαλείο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοπτικών εργαλείων, κάποιοι από αυτούς λειτουργεί και σαν αμμαντλίες για να παίρνουν δείγματα από το έδαφος.

Στο φύλλο γεώτρησης δίνονται σε στήλες διάφορες πληροφορίες, όπως η ονοματολογία και η κατάταξη των διάφορων στρωμάτων, όπως προέκυψε από την περιγραφή του δείγματος στην δειγματοληψία, και από τις εργαστηριακές δοκιμές. Σε άλλες στήλες γράφονται οι τιμές των διάφορων παραμέτρων (όπως κοκκομετρία, φυσική υγρασία κτλ), πάντα σε συνδυασμό με το βάθος των δειγμάτων.

Στο τέλος της παραγράφου δίνονται δύο φύλλα γεωτρήσεων.

κανονική ή πρότυπη δοκιμή διεισδύσεων

Με την κανονική ή πρότυπη δοκιμή διεισδύσεων, επιτυγχάνονται δύο πράγματα. Γίνεται η δοκιμή που δίνει πληροφορίες για το έδαφος, αλλά και καθώς κοίλωμα του δειγματολήπτη γεμίζει λαμβάνουμε τα εδαφικά δείγματα για περαιτέρω ανάλυση. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται συχνά καθώς προχωρά η γεώτρηση, και ιδιαίτερα όταν φαίνεται να αλλάζει η ποιότητα του εδάφους.

Ο πρότυπος δειγματολήπτης είναι ένα όργανο που μπορεί να μετρήσει την αντίσταση του εδάφους & να πάρει δείγματα, αν τοποθετηθεί στην θέση του κοπτικού εργαλείου του γεωτρήπανου. Έχει φορτίο 64 kg και πέφτει από 76 cm ύψος. Ο αριθμός των κρούσεων που χρειάζονται για να προχωρήσει σε βάθος 15 cm χαρακτηρίζει την ποιότητα του εδάφους, ιδιαίτερα αν είναι συνεκτικό. Μετριέται ο αριθμός των κτύπων για να διεισδύσει αρχικά για 15 cm, και επαναλαμβάνεται σε δύο στάδια με διείσδυση 15 cm το κάθε ένα. Ο αριθμός N που είναι το άθροισμα των κτύπων για την διείσδυση των επόμενων 30 εκατοστών (15 cm & 15 cm), μετά την αρχική διείσδυση, εκφράζει την αντίσταση του εδάφους και συνδέεται με την αντοχή του. Στους πίνακες 1 και 2, που παρατίθενται στο τέλος της παραγράφου, φαίνεται η συσχέτιση του αριθμού των κτύπων N με βασικές παραμέτρους - ιδιότητες του εδάφους, όπως η σχετική πυκνότητα, η γωνία τριβής, η αντοχή του εδάφους σε θλίψη, η κατάσταση του εδάφους, αναγνώριση του κτλ.

πενετρομετρήσεις, και δοκιμαστικές ράβδοι

Οι γεωτρήσεις επειδή είναι δαπανηρές, μπορούν να αντικατασταθούν με πενετρομετρήσεις και με δοκιμαστικές ράβδους. Τα πενετρόμετρα και οι δοκιμαστικές ράβδοι, πολλές φορές είναι χειροκίνητα, μοιάζουν με μικρά γεωτρήπανα, μετράνε την αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση της αιχμής τους, και ορισμένοι τύποι τους μπορούν να συλλέξουν δείγματα. Σε

σχέση με τις γεωτρήσεις, έχουν μικρότερο κόστος, μικρότερο βάθος, αλλά και μικρότερη αξία πληροφοριών.

δοκιμαστικά φρεάτια

Για αποφυγή μηχανολογικού εξοπλισμού, μπορούν να γίνουν δοκιμαστικά φρεάτια, που σκάβονται με συνηθισμένα εργαλεία. Το βάθος τους είναι περιορισμένο, όμως δίνουν καλύτερη εικόνα του υπεδάφους, η δυσκολία εκσκαφής δίνει πληροφορίες για την ποιότητα του εδάφους, και μπορεί να γίνει η λήψη δειγμάτων.

δοκιμαστική φόρτιση, και δοκιμαστική πασσάλωση

Άλλες μέθοδοι έρευνας εδάφους, είναι η δοκιμαστική φόρτιση και η δοκιμαστική πασσάλωση, που παλαιότερα χρησιμοποιούνταν συχνά. Σήμερα θεωρείται ότι δεν δίνουν αξιόπιστες πληροφορίες για την ποιότητα του εδάφους. Όμως η δοκιμαστική πασσάλωση & η φόρτιση των δοκιμαστικών πασσάλων είναι απαραίτητη όταν το έργο πρόκειται να θεμελιωθεί με πασσάλους, και είναι ο μόνος τρόπος υπολογισμού με σχετική ακρίβεια των φορτίων που μπορούν να παραλάβουν οι πάσσαλοι της θεμελίωσης και το έδαφος στην περιοχή αυτή.

Η δοκιμαστική φόρτιση γίνεται με αύξηση φορτίου και μέτρησης της αυξανόμενης υποχώρησης του εδάφους. Σχεδιάζεται έτσι ένα διάγραμμα, στο οποίο αναγράφονται τα φορτία, οι καθιζήσεις και ο χρόνος για να γίνουν οι καθιζήσεις. Το διάγραμμα δίνει κάποια εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους θεμελίωσης, όταν θα φορτιστεί με το βάρος του τεχνικού έργου που πρόκειται να κατασκευαστεί. Δίνει πληροφορίες για επιφανειακά στρώματα.

Οι δοκιμαστικές πασσαλώσεις γίνονται με την διείδυση πασσάλου και καταγραφή της αντίστασης του εδάφους στην διείδυση. Καρφώνεται αρχικά ο πάσσαλος και εφαρμόζεται δοκιμαστική φόρτιση και καταγράφεται η υποχώρηση του εδάφους. Σχεδιάζεται έτσι ένα διάγραμμα με τα φορτία, την διείδυση του πασσάλου, και ο χρόνος που πέρασε. Το διάγραμμα δείχνει πού αλλάζει η ποιότητα του εδάφους. Δίνει πληροφορίες για την ποιότητα του εδάφους σε μεγαλύτερα βάθη.

δειγματοληψία

Τα εδαφικά δείγματα μπορούν να είναι διαταραγμένα ή να είναι αδιατάρακτα. Στα μη-συνεκτικά (ασύνδετα) εδάφη, δεν είναι δυνατή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων. Στα διαταραγμένα εδαφικά δείγματα, η δομή και οι μηχανικές ιδιότητες, επηρεάστηκαν (διαταράχτηκαν) κατά την δειγματοληψία.

Στα αδιατάρακτα δείγματα οι κόκκοι του εδάφους έχουν διατηρήσει τις σχετικές μεταξύ τους θέσεις & αποστάσεις, όπως ήταν μέσα στο έδαφος. Είναι αρκετά δύσκολο να ληφθούν αδιατάρακτα δείγματα, και αδύνατο για μερικά εδάφη. Ο πρότυπος δειγματολήπτης, μπορεί να πάρει αδιατάρακτα δείγματα, κυλινδρικά που λέγονται καρότα. Η συλλογή των δειγμάτων γίνεται σε ειδικούς σάκους, με δελτίο στοιχείων δείγματος εδάφους & δειγματοληψίας. Η συσκευασία τους χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, καλύπτονται με στρώμα παραφίνης τουλάχιστον 2 mm, και τοποθετούνται σε ειδικά μεταλλικά κουτιά.

Οι δοκιμές αντοχής και παραμορφωσιμότητας του εδάφους, πρέπει να γίνονται σε αδιατάρακτα δείγματα. Για αυτό γίνονται επί τόπου δοκιμές, ώστε να μπορέσουμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά του εδάφους στην φυσική του κατάσταση.

Γ. μετρήσεις και δοκιμές στο εδαφοτεχνικό εργαστήριο

Στο εργαστήριο μπορούν να γίνουν πολλές και διάφορες δοκιμές, ανάλογα με την σημασία και το είδος του έργου. Κυριότερες από αυτές είναι

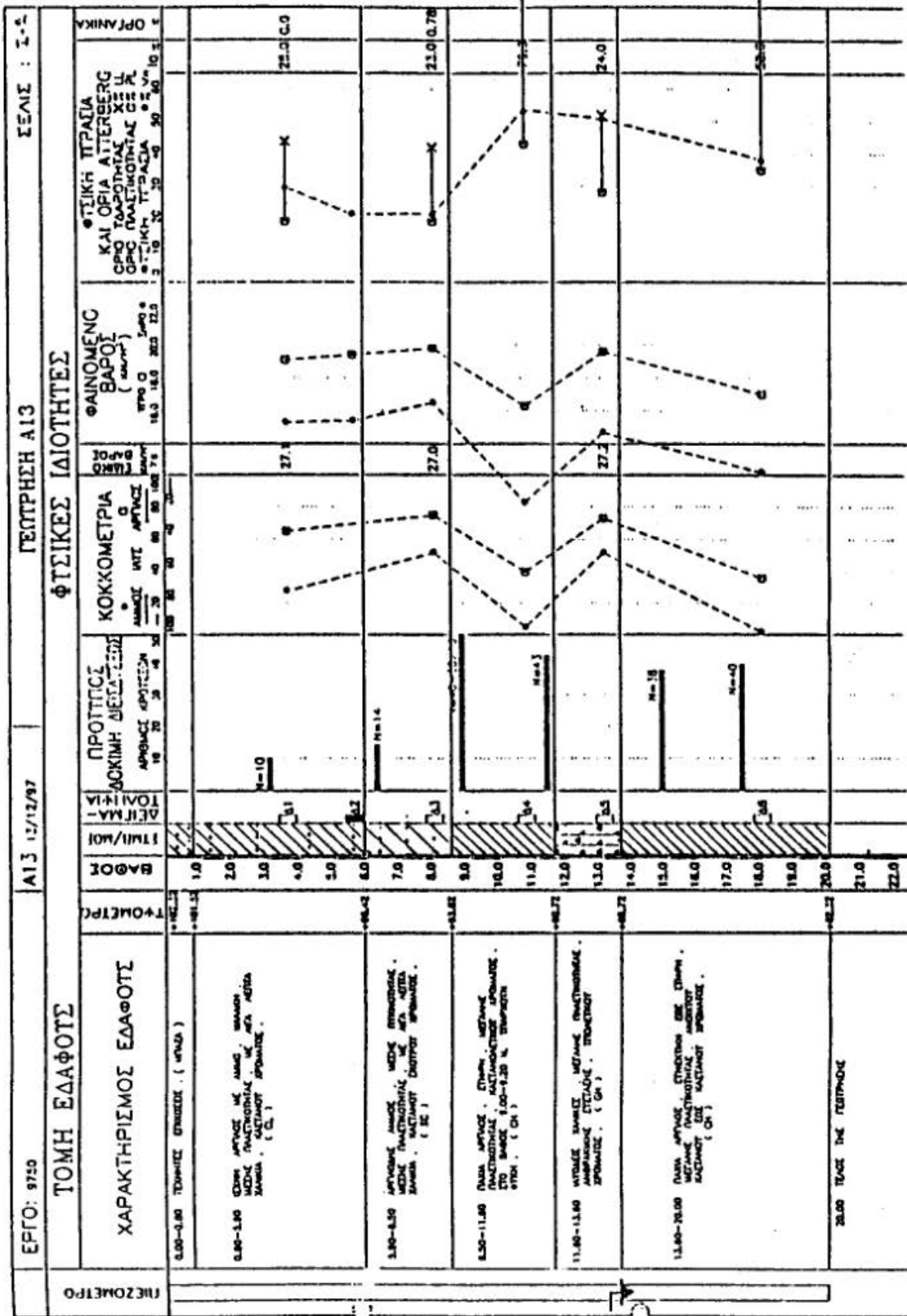
- προσδιορισμός περιεχομένης υγρασίας
- προσδιορισμός κενών
- προσδιορισμός ειδικού βάρους, φαινομένου βάρους κτλ
- προσδιορισμός κοκκομετρικής ανάλυσης
- προσδιορισμός ορίων Attenberg (συρρίκνωσης, πλαστικότητας, υδαρότητας)
- μέτρηση υδροπερατότητας
- προσδιορισμός βέλτιστης υγρασίας
- αντίσταση σε διείδυση βελόνας Proctor
- δοκιμή συμπύκνωσης Proctor
- Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- δοκιμή τριαξονικής θλίψης
- προσδιορισμός ποσοστών διαφόρων χημικών ενώσεων κ.α.

βιβλιογραφία κεφαλαίου

Σακελαρίου Μ., Σερέφογλου Β. & Μαραέβας Χ., (2009). *Κτιριακά έργα Ι*. Αθήνα: Ινστιτούτο εκπαιδευτικής πολιτικής

Δειμέζης Α., (1998). *Γενική Δομική Ι*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου

Δήμος Καισαριανής. (2017). *Γεωτεχνική τομή γεώτρησης*. Καισαριανή: Ανακτήθηκε από <https://kaisariani.gr/wp-content/uploads/2019/12/Παράρτημα.pdf>



E/065

ΑΝΑΔΟΧΟΣ: CONTRACTOR:		ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: PROJECT OWNER:		ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ		ΕΡΓΟ: PROJECT:			ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ GEOTECHNICAL BOREHOLE LOG			11																																				
ΕΝΚΟΔΙΑ		ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ		ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ		ΟΔΟΣ ΣΕΒΑΣΤΟΠΟΥΛΟΥ & ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΡΑΚΗΣ X:479314, Y:4201921			ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΕΦΑΛΗΣ: HEAD ELEVATION:			160 m																																				
ΑΝΑΔΟΧΟΣ: CONTRACTOR:		ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ: PROJECT OWNER:		ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ		ΕΡΓΟ: PROJECT:			ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ GEOTECHNICAL BOREHOLE LOG			11																																				
ΕΝΚΟΔΙΑ		ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ		ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ		ΟΔΟΣ ΣΕΒΑΣΤΟΠΟΥΛΟΥ & ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΘΡΑΚΗΣ X:479314, Y:4201921			ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΕΦΑΛΗΣ: HEAD ELEVATION:			160 m																																				
BAΘΟΣ (m) DEPTH	KOTTIKA BIT	ΕΔΗΛΩΣΗ CASINGS	ΕΠΙΣΤΡ. ΕΡΡΑ R.W.	ΔΕΙΓΜΑ SAMPLE	ΔΟΚΙΜΗ ΠΕΦΑΤΟΤΗΤΑΣ PERMEABILITY TEST	ΣΥΜΒΟΛΟΣ SYMBOL	ΓΡΑΦΙΚΟΣ ΓΡΑΦΗΣ	USCS	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ SOIL DESCRIPTION	BAΘΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ SAMPLE DEPTH (m)	G S M C	OPPO ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (PL %)	OPPO ΥΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL %)	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (w %)	N (ΠΡΟΤΥΠΩΔΕΙΗ)	ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΕΙΞΕΙΣ STANDARD PENETRATION TEST	ΑΣΥΝΕΧΕΙΣ DISCONTINUITIES	ΑΠΟΛΥΤΗ ΠΥΡΗΝΑ R.O.D. (%)	ΑΠΟΡΡΗΞΗ CORE RECOVERY (%)	7d	7	Gs	cu	σc	ε	υ	φ	σt	1																			
1	0-100								0,0-3.5m: Τεχνητές επιχώσεις, ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΑ με λειβούς	3,40-3,50	30	43	27	NP	17,7	N=33 (0-11-9)																																
2	100-101																																															
3	101-105																																															
4	105-109																																															
5	109-111																																															
6	111-115																																															
7	115-117																																															
8	117-104																				17.2																											
9	104-108																																															
10	108-110																																															
11	110-111																																															
12	111-112																																															
13	112-113																																															
14	113-101																																															
15	101-102																				19.0	22.6	2.70	28.2																								
16	102-103																																															
17	103-104																																															
18	104-105																																															
19	105-106																																															
20	106-107																																															
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: REMARKS:																			10-15/m 90°		V		V		IV		18.3 28.9 18.8		18.3 28.9 18.8		N=26 (0-11-12)		N=24 (10-14-10)		117/104													
																			ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΘΡΟΦΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΣΕ ΒΑΘΟΣ - 8.80 m																													
																			SEIDA PAGE		1																											

Πηγή: Δήμος Καισαριανής

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 (Έδαφος χωρίς συνοχή)

N (κρ/30 εκ.)	D _r (%)	φ°	γ _υ (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 _υ (kN/m ³)	Αντοχή σε θλίψη q _υ (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 αποτυ- πώματα
4 – 8	17,5 – 20,5	50 – 100	Μέσο	Ισχυρή πίεση αφήνει αποτυ- πώματα
8 – 16	19 – 22	100 – 200	Στιφρό	Χαράζεται με τον αντίχειρα
16 – 32	19 – 22	200 – 400	Πολύ στιφρό	Χαράζεται με το νύχι
> 32	> 20,5	400 – 800	Σκληρό	Χαράζεται δύ- σκολα με το νύχι

πηγή: Σακελαρίου Μ., Σερέφογλου Β. & Μαράβας Χ