



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ
ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΠΟΛΥΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

ΚΥΡΙΑΖΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Ζ. ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Ε. ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ, ΔΡ. ΜΗΧ. ΓΕΩΛΟΓΟΣ
Γ. ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΝΙΑ, ΜΑΙΟΣ 2006

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία περιγράφεται η γεωτεχνική έρευνα που διεξήχθη σε περιοχή της Χαλέπας Χανίων για την εκτίμηση γεωτεχνικών παραμέτρων μαργαϊκού σχηματισμού, απαραίτητων για το σχεδιασμό θεμελίωσης πολυκατοικίας. Από την εν λόγω περιοχή πάρθηκαν δείγματα και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για να προσδιορισθούν η φέρουσα ικανότητα του σχηματισμού και ο δείκτης εδάφους. Η ιδιαιτερότητα του σχηματισμού έγκειται στο γεγονός ότι είναι ημίβραχος, δηλαδή μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ εδάφους και βράχου.

Περιγράφονται οι εργαστηριακές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (κοκκομετρική ανάλυση, όρια Atterberg, άμεση διάτμηση, μονοαξονική θλίψη) και γίνεται αναφορά στην χρήση του κριτηρίου Hoek & Brown για την εκτίμηση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής της βραχομάζας. Αναφέρονται οι μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας και παρατίθενται οι απόψεις των Ευρωκωδίκων. Τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Πρόλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κύριους Στειακάκη Εμμανουήλ και Αγιουτάντη Ζαχαρία για την καθοδήγηση, την υπομονή και την αμέριστη υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Χωρίς την συμβολή τους η διεκπεραίωση της εν λόγω εργασίας θα ήταν αδύνατη. Επίσης τον κύριο Εξαδάκτυλο Γεώργιο για τον χρόνο που διέθεσε για την εξέταση και διόρθωση της διπλωματικής εργασίας καθώς και τους: Καλογήρου Ειρήνη, για την πολύτιμη βοήθειά της στο σύνολο της διπλωματικής, Μαυριγιαννάκη Στέλιο για τη συμβολή του στην εκτέλεση των πειραμάτων ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης και Βαβαδάκη Διονύση για τη βοήθειά του κατά την εκπόνηση των πειραμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης των εδαφών που εξετάστηκαν. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια αλλά και κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Υπόβαθρο και Στόχος της Εργασίας.....	1
1.2	Γενικευμένη Γεωτεχνική Έρευνα	2
1.3	Ευρωκώδικες.....	4
2	ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ	5
2.1	Φέρουσα Ικανότητα	5
2.2	Μορφές Αστοχίας Εδάφους.....	7
2.3	Επιτρεπόμενη Φέρουσα Ικανότητα	9
2.4	Εκτίμηση Φέρουσας Ικανότητας κατά Terzaghi	10
2.5	Εκτίμηση του Δείκτη Εδάφους C	10
2.6	Εκτίμηση της Φέρουσας Ικανότητας κατά Ευρωκώδικα 7	12
2.6.1	Σχεδιασμός οριακής κατάστασης - οριακές καταστάσεις	13
2.6.2	Τιμές σχεδιασμού.....	14
2.6.3	Χαρακτηριστικές τιμές	14
2.6.4	Επιμέρους συντελεστές.....	15
2.6.5	Εκτίμηση φέρουσας ικανότητας σε συνθήκες πλήρους στράγγισης	17
2.6.6	Αστοχία λόγω ολίσθησης.....	17
3	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	19
3.1	Γεωτεχνικός Σχεδιασμός προς Επιφανειακή Θεμελίωση ενός Έργου	19
3.1.1	Προκαταρκτική διερεύνηση του υπεδάφους	19
3.1.2	Προσέγγιση γεωτεχνικών παραμέτρων εδάφους με τη χρήση επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών	20
3.1.3	Κριτήρια σχεδιασμού θεμελίωσης και είδη θεμελιώσεων.....	22
3.2	Ευρωκώδικας 7 και Γεωτεχνική Έρευνα	22
3.2.1	Μοναξονική θλιπτική αντοχή και παραμορφωσιμότητα βραχωδών υλικών	23
3.2.2	Διατμητική αντοχή των διακλάσεων	23
3.2.3	Σχεδιασμός έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας – ολική ευστάθεια.....	24
4	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΗΜΙΒΡΑΧΟ.....	25
4.1	Κριτήριο Hoek & Brown	26
4.2	Γεωτεχνική Ταξινόμηση κατά GSI.....	26
4.3	Εκτίμηση των τιμών c και ϕ της Βραχομάζας.....	30
4.4	Περιορισμοί στην Εφαρμογή του Δείκτη GSI.....	34
4.5	Προτεινόμενη Μεθοδολογία Εκτίμησης Συνοχής και Γωνίας Εσωτερικής Τριβής Ημίβραχου	35
5	ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΑ.....	37
5.1	Πεδίο Έρευνας	37
5.2	Δειγματοληψία	41
5.3	Εργαστηριακές Δοκιμές.....	43

5.3.1	Κοκκομετρική ανάλυση.....	43
5.3.1.1	Διαδικασία πειράματος.....	44
5.3.1.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων - σχεδίαση κοκκομετρικής καμπύλης ...	47
5.3.1.3	Σχέση κοκκομετρικής καμπύλης και αντοχής εδαφών.....	49
5.3.2	Προσδιορισμός ορίων Atterberg.....	50
5.3.2.1	Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας.....	51
5.3.2.2	Προσδιορισμός ορίου πλαστικότητας.....	53
5.3.3	Δοκιμή άμεσης διάτμησης	53
5.3.3.1	Δοκιμή άμεσης διάτμησης αδιατάρακτου εδαφικού δείγματος.....	56
5.3.3.2	Δοκιμή άμεσης διάτμησης κορεσμένου εδαφικού δείγματος.....	57
5.3.4	Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης	58
6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	61
6.1	Λογισμικό Roclab - Παράμετροι Διατμητικής Αντοχής κατά Hoek & Brown	61
6.2	Φέρουσα Ικανότητα κατά Terzaghi	62
6.3	Φέρουσα Ικανότητα κατά Ευρωκώδικα 7	63
6.4	Δείκτης Εδάφους.....	63
6.5	Εκτίμηση Φέρουσας Ικανότητας με τη χρήση του Λογισμικού Loadcap	63
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	73

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υπόβαθρο και Στόχος της Εργασίας

Η εδαφομηχανική είναι ο κλάδος της εφαρμοσμένης μηχανικής που αφορά την συμπεριφορά και τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους (όπως η αντοχή του εδάφους, η συμπεριφορά του εδάφους ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία), τις μεθόδους σχεδιασμού τεχνικών έργων που εδράζονται και αλληλεπιδρούν με αυτό (όπως θεμελιώσεις κτιριακών έργων και γεφυρών, οδοστρώματα, σήραγγες) καθώς και των κατασκευών από έδαφος (όπως τα χωμάτινα φράγματα, επιχώματα οδοποιίας) (Σακελλάριου και Κοζάνης, 2003). Μια ιδιαιτερότητα της εδαφομηχανικής σε σχέση με άλλους κλάδους της εφαρμοσμένης μηχανικής, είναι η αδυναμία της προδιαγραφής των ιδιοτήτων των εδαφών πριν την ‘χρήση’ τους. Σαν παράδειγμα, στην περίπτωση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα υλικά κατασκευάζονται βιομηχανικά, με μεθοδολογίες τέτοιες ώστε να ελέγχονται οι ιδιότητες και να πληρούνται οι προδιαγραφές. Στην περίπτωση όμως των κατασκευών πάνω σε έδαφος ή και από έδαφος, ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού που θα συναντηθεί, και δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου λόγω δυσμενών εδαφοτεχνικών συνθηκών, έργα να έχουν αλλάξει θέση (όπως η μεταβολή της χάραξης οδού).

Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιώντας τις αρχές της εδαφομηχανικής, γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού των γεωτεχνικών παραμέτρων ενός μαργαϊκού ορίζοντα στην περιοχή της Χαλέπας. Η ιδιαιτερότητα του υπό μελέτη ορίζοντα είναι ότι έχει χαρακτηριστικά ημίβραχου (ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ βράχου και εδάφους). Για αυτόν τον λόγο εκτελέστηκε ένας αριθμός επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών ώστε να βρεθούν η συνοχή c , η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και κατ’ επέκταση η φέρουσα ικανότητα και ο δείκτης εδάφους του συγκεκριμένου ορίζοντα, στον οποίο θεμελιώνονται πολυώροφα κτίρια. Οι επί τόπου δοκιμές αφορούν μια δοκιμή περυγίου (για μια καταρχήν εκτίμηση της συνοχής του εδαφικού κλάσματος του σχηματισμού) και τιμές πρότυπης δοκιμής διείδυσης που είχαν πραγματοποιηθεί για γεωτεχνική έρευνα στην ευρύτερη περιοχή. Οι εργαστηριακές δοκιμές περιλάμβαναν κοκκομετρική ανάλυση, προσδιορισμό των ορίων Atterberg, δοκιμές άμεσης διάτμησης στο εδαφικό κλάσμα του σχηματισμού (κορεσμένου και ακόρεστου δείγματος) και δοκιμές μονοαξονικής θλίψης

στο ακέραιο πέτρωμα. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε χρήση των λογισμικών Roclab και Loadcap. Τέλος έγινε χρήση των προτύπων του Ευρωκώδικα 7 προς εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του ημίβραχου. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στο τι εμπεριέχει γενικά μια γεωτεχνική έρευνα καθώς και στο τι είναι οι Ευρωκώδικες και συγκεκριμένα ο Ευρωκώδικας 7.

1.2 Γενικευμένη Γεωτεχνική Έρευνα

Προκειμένου να γίνει ο γεωτεχνικός σχεδιασμός ενός έργου (όπως η μελέτη - διαστασιολόγηση των θεμελιώσεων, ο σχεδιασμός τοίχων αντιστήριξης, υπολογισμού των μέτρων υποστήριξης σιράγγων κ.α.) απαιτείται μία εκτενής γεωτεχνική έρευνα. Η έρευνα αυτή απαιτεί ανάλογα με την φύση του έργου, γεωλογική χαρτογράφηση, επιτόπου αναγνώριση ειδικών γεωτεχνικών συνθηκών, την διαδικασία της δειγματοληψίας και τον εργαστηριακό προσδιορισμό των απαραίτητων γεωτεχνικών παραμέτρων (Σακελλαρίου και Κοζάνης, 2003).

Η δειγματοληψία του εδάφους μπορεί να γίνει με απλή λήψη δειγμάτων από την επιφάνεια. Επειδή όμως τα εδαφικά υλικά διαφοροποιούνται έντονα κατά το βάθος, είναι προτιμότερη η χρήση των γεωτρύπανων ώστε με την διάτρηση εδαφικών στρωμάτων να είναι δυνατή η λήψη δειγμάτων από βαθos ενδιαφέροντος.

Η διαδικασία της διάτρησης διακόπτεται ανά διαστήματα (τα οποία αποφασίζονται επί τόπου από τον επιβλέποντα γεωλόγο ή μηχανικό) ώστε να γίνει η δειγματοληψία. Η συνηθισμένη πρακτική είναι η κατακόρυφη ή σχεδόν κατακόρυφη διάτρηση, δεν είναι λίγες όμως οι περιπτώσεις που η διάτρηση είναι οριζόντια ώστε να διερευνηθούν οι ιδιότητες του εδάφους κατά την έκταση του έργου. Η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται προσεκτικά ώστε το δείγμα που θα ληφθεί να αντιπροσωπεύει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα στο εργαστήριο. Η διερεύνηση του υπεδάφους θα γίνεται μέχρι το βάθος όπου η αλληλεπίδραση με το έργο κρίνεται σημαντική (Σακελλαρίου και Κοζάνης, 2003).

Σε περιπτώσεις που η δειγματοληψία είναι αδύνατη (όπως σε χαλαρά στρώματα άμμου), ο μηχανικός μπορεί να εκτελέσει, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του γεωτρύπανου, επί τόπου δοκιμές (S.P.T. ή C.P.T. κ.α βλέπε Ενότητα 3.3.2.). Επιπλέον, αν συναντηθεί βραχώδες στρώμα είναι δυνατή η χρήση ειδικών γεωτρύπανων για

βραχώδη υλικά (π.χ. διαμάντι, καρβίδια) και περιστροφική διάτρηση (σε συνδυασμό με την χρήση νερού για ψύξη του τρυπανιού προκειμένου για πολύ σκληρό βράχο). Στη συνήθη πρακτική η λήψη εδαφικών δειγμάτων γίνεται με έμπηξη ενός κυλινδρικού στελέχους στο εδαφικό υλικό, με απλή πίεση, χωρίς περιστροφική κίνηση. Το δείγμα το οποίο θα είναι μήκους έως 30-40 cm. εισέρχεται σε έναν πλαστικό σωλήνα (PVC) ο οποίος σφραγίζεται με παραφίνη ώστε να μη χάνεται η φυσική υγρασία και μεταφέρεται στο εργαστήριο για δοκιμές.

Επιπλέον, τα δείγματα από χαρακτηριστικές θέσεις τοποθετούνται σε ένα κασελάκι με την σειρά που συναντήθηκαν, ώστε να δίνουν μία εικόνα της γεώτρησης. Η εικόνα αυτή υποστηρίζεται από την σύνταξη ενός διαγράμματος που θα δείχνει την αλληλουχία των στρωμάτων με την περιγραφή τους.

Τέλος, συλλέγεται το διαταραγμένο εδαφικό υλικό το οποίο αφού προστατευτεί από την απώλεια φυσικής υγρασίας (βάζοντάς το σε νάιλον σακούλες), μεταφέρεται στο εργαστήριο για δοκιμές που δεν απαιτούν αδιατάραχτα δείγματα. Σε μια γεωτεχνική έρευνα συνήθως παρουσιάζονται, η περιγραφή των στρωμάτων και το βάθος που εναλλάσσονται, ο συμβολισμός, οι θέσεις των δειγματοληψιών, οι μετρήσεις διεύθυνσης S.P.T. (αριθμός χτύπων N), η κοκκομετρία (ποσοστά άμμου, αργίλου), το ειδικό βάρος των κόκκων, το φαινόμενο βάρος (υγρό και ξηρό), η φυσική υγρασία η οποία παρουσιάζεται μάλιστα σε σχέση με τα όρια Atterberg (Σακελλαρίου και Κοζάνης, 2003).

Οι εκτιμήσεις της αντοχής του εδάφους γίνονται με τις παρακάτω μεθόδους Προσδιορισμού της (Σακελλαρίου και Κοζάνης, 2003):

Εμπειρικές εκτιμήσεις, συνήθως σε συνδυασμό με μία μέθοδο ταξινόμησης και παρατήρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών. Δίνουν μία τάξη μεγέθους στην αντοχή των εδαφικών σχηματισμών. Τέτοιες είναι οι επί τόπου δοκιμές, όπως S.P.T. (πρότυπη δοκιμή διεύθυνσης) C.P.T., φορητή δοκιμή πτερυγίου, κλπ.

Εργαστηριακές δοκιμές. Απευθείας διάτμηση, μονοαξονική θλίψη, τριαξονική δοκιμή, CBR, κ.α. Η δοκιμή απευθείας διάτμησης είναι η πλέον απλή σε σύλληψη δοκιμή για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής. Βασίζεται στην απευθείας διάτμηση ενός εδαφικού όγκου σε συνδυασμό με την επιβολή της ορθής τάσης στην επιφάνεια διάτμησης. Άσκηση διαφορετικής ορθής τάσης έχει σαν αποτέλεσμα το έδαφος να

επιδεικνύει διαφορετική αντοχή. Τα αποτελέσματα οδηγούν σε μία προσέγγιση των παραμέτρων ϕ , c . Εντούτοις η δοκιμή απευθείας διάτμησης έχει τις ακόλουθες αδυναμίες που αφορούν τη μορφοποίηση του εδαφικού δείγματος, δυσκολία ελέγχου της πίεσης πόρων (η δοκιμή θα γίνει είτε σε πλήρως στραγγιζόμενες συνθήκες, είτε σε αστράγγιστες) και τέλος αδυναμία αναπαραγωγής του ιδανικού μοντέλου ορθής τάσης - διάτμησης καθώς η κατανομή των τάσεων κατά τη δοκιμή επηρεάζει τα αποτελέσματα).

1.3 Ευρωκώδικες

Στην ενότητα αυτή γίνεται αναφορά στο αντικείμενο των Ευρωκωδίκων και συγκεκριμένα στον Ευρωκώδικα 7 που αφορά τα πρότυπα που προτείνει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τις γεωτεχνικές κατασκευές.

Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (C.E.C) άρχισε το 1990 την εργασία θέσπισης ενός συνόλου εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων για το σχεδιασμό κτιριακών έργων και έργων πολιτικού μηχανικού, οι οποίοι επί του παρόντος χρησιμοποιούνται εναλλακτικά με τους διάφορους κανόνες που ισχύουν στις Χώρες Μέλη αλλά τελικώς θα τους αντικαθιστούσαν. Αυτοί οι τεχνικοί κανόνες έγιναν γνωστοί ως “Δομικοί Ευρωκώδικες”. Ιδιαίτερα για το γεωτεχνικό σχεδιασμό έχει θεσπισθεί ο EN 1997 Ευρωκώδικας 7.

Αφορά ένα πρότυπο που εφαρμόζεται στα γεωτεχνικά θέματα του σχεδιασμού κτιριακών και άλλων γεωτεχνικών έργων. Αναφέρεται στις απαιτήσεις αντοχής ευστάθειας λειτουργικότητας και διάρκειας ζωής των κατασκευών. Επίσης παρέχει κανόνες υπολογισμού δράσεων που προέρχονται από το έδαφος, όπως ωθήσεις γαιών.

Γενικότερα ο Ευρωκώδικας 7 είναι ένα σύνολο προτύπων το οποίο γίνεται προσπάθεια να αποτελέσει μια ευρωπαϊκή βάση αναφοράς για τους διάφορους γεωτεχνικούς σχεδιασμούς. Η πρώτη έκδοση του Ευρωκώδικα 7 εκδόθηκε το 1994 και η τελευταία έκδοση το 2004. Στις Ενότητες 2.6 και 3.4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα πρότυπα του Ευρωκώδικα 7 για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας καθώς και για την γεωτεχνική έρευνα αντίστοιχα.

2 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

2.1 Φέρουσα Ικανότητα

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η φέρουσα ικανότητα η οποία είναι η τιμή της μέσης πίεσης, στην επαφή της θεμελίωσης και του εδάφους που θα προκαλέσει αστοχία (Κούκης & Καλλέργης, 1985 κατά Αναγνωστόπουλο και Παπαδόπουλο, 1989).

Τα προβλήματα που παρουσιάζονται στη γεωτεχνική μηχανική μπορούν να χωριστούν στις δύο παρακάτω κυρίες κατηγορίες (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989):

- Προβλήματα ελαστικής ισορροπίας όπου οι τάσεις μέσα στο έδαφος βρίσκονται στην ελαστική περιοχή και είναι μικρότερες από αυτές που προκαλούν πλαστικές παραμορφώσεις (π.χ. προβλήματα καθιζήσεων, παραμορφώσεων εκσκαφών).
- Προβλήματα πλαστικής ισορροπίας όπου το έδαφος θεωρείται συνήθως ως ιδεατά πλαστικό υλικό. Το ιδεατό πλαστικό έδαφος κατά την αστοχία παραμορφώνεται με σταθερό ρυθμό κάτω από σταθερή τάση π.χ. προβλήματα ευστάθειας πρανών, ωθήσεις γαιών, φέρουσας ικανότητας κ.ά.

Έτσι τα προβλήματα της φέρουσας ικανότητας βασίζονται στην εξέταση των συνθηκών που επικρατούν στη κατάσταση "πλαστικής ισορροπίας" του εδάφους (θεωρώντας ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως ιδεατά πλαστικό υλικό). Στην κατάσταση της πλαστικής ισορροπίας, το έδαφος κάτω από ένα φορτιζόμενο πέδιλο, έχει πλήρη πλαστική συμπεριφορά, δηλαδή μπορούν να εκδηλωθούν μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις ακόμη και για μία απειροελάχιστη αύξηση του φορτίου του πεδίλου.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών οι παραμορφώσεις του εδαφικού υλικού πριν την κατάσταση πλαστικής ισορροπίας αγνοούνται σύμφωνα με τις βασικές εξισώσεις της θεωρίας της πλαστικότητας και, έχοντας ως βάση στο κριτήριο αστοχίας κατά Mohr – Coulomb προσδιορίζεται το μέγεθος της φόρτισης πάνω στο πέδιλο που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της κατάστασης της πλαστικής ισορροπίας μέσα στο έδαφος.

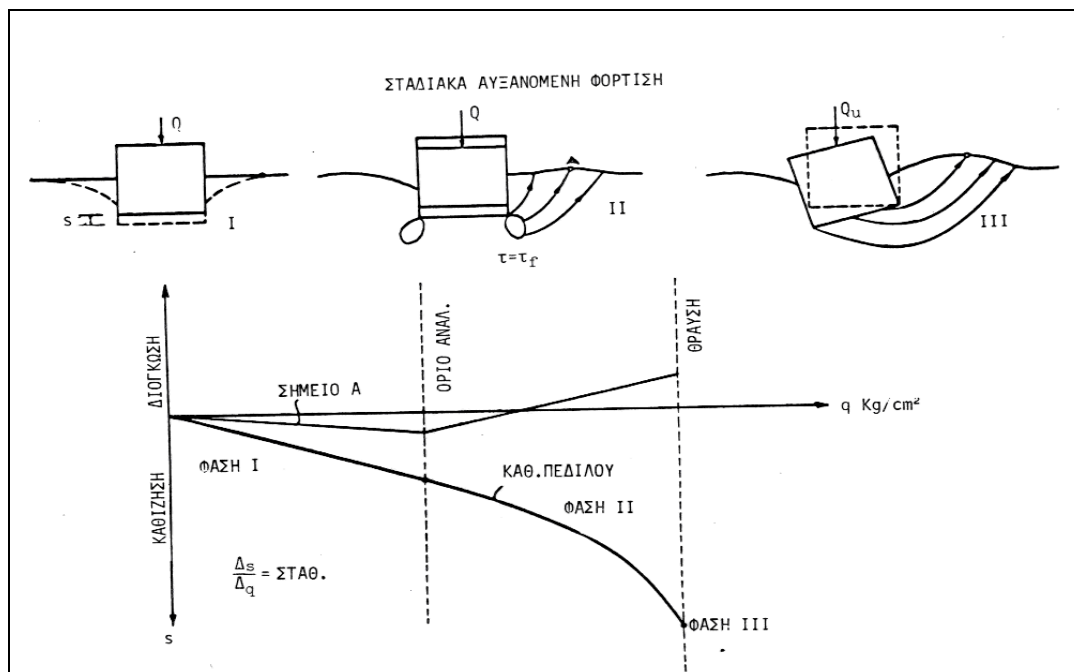
$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

όπου c συνοχή, ϕ γωνία εσωτερικής τριβής και σ η ορθή τάση

Η τάση αυτή είναι γνωστή ως οριακή φέρουσα ικανότητα του εδάφους

(Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Οι βασικές εξισώσεις της θεωρίας της πλαστικότητας εξάγονται με ταυτόχρονη θεώρηση των συνθηκών ισορροπίας και των συνθηκών αστοχίας, δηλαδή ενός κριτηρίου αστοχίας. Από το συνδυασμό των δύο ανωτέρω συνθηκών προσδιορίζονται οι τάσεις μέσα στην εδαφική μάζα κατά τη αστοχία. Η συγκεκριμένη παραδοχή (ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως ιδεατά πλαστικό υλικό) αποτελεί μία απλοποίηση με την οποία προσεγγίζονται ικανοποιητικά τα σύνθετα προβλήματα αντοχής της εδαφικής μάζας (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).



Σχήμα 2.1: Παραμόρφωση του εδάφους για μία σταδιακά αυξανόμενη κεντρική φόρτιση πάνω σε μεμονωμένο πέδιλο (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Με την αύξηση της φόρτισης του πέδιλου διακρίνονται 3 φάσεις (Σχήμα 2.1, Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989):

- Στη **φάση I**, η καθίζηση του πέδιλου είναι περίπου ανάλογη με τη φόρτιση.
- Στη **φάση II**, η καθίζηση αυξάνεται ταχύτερα από τη φόρτιση (το σημείο Α ανυψώνεται).
- Στη **φάση III**, η φόρτιση έχει φθάσει τη "φέρουσα ικανότητα" του εδάφους και παρατηρείται αφενός μεν η μετατόπιση (πλευρικά κυρίως) του εδάφους, αφετέρου δε στροφή του πέδιλου

Με την επιβολή ενός κατακόρυφου φορτίου Q πάνω σ' ένα πέδιλο παρατηρείται κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) s του πέδilu προς τα κάτω. Η αύξηση του φορτίου συνεπάγεται την αύξηση της καθίζησης s κι έτσι λαμβάνεται ένα διάγραμμα φορτίου – υποχώρησης (σχήμα 2.1) που έχει σχεδόν την ίδια μορφή με τα συνήθη διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων που προκύπτουν κατά τη φόρτιση εδαφικών δοκιμών ανάλογα με τον τύπο του φορτιζόμενου εδάφους.

Η μορφή του διαγράμματος φορτίσεων – υποχωρήσεων Q - s , εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τη μορφή του πέδilu, από τη σύσταση του υπεδάφους καθώς και την ένταση και το ρυθμό επιβολής της φόρτισης. Η μέγιστη μέση πίεση (τάση) που μπορεί να δεχτεί το πέδιλο είναι $q_u = Q_u / A$ όπου Q_u η οριακή μέση φόρτιση και A η επιφάνεια του πέδilu.

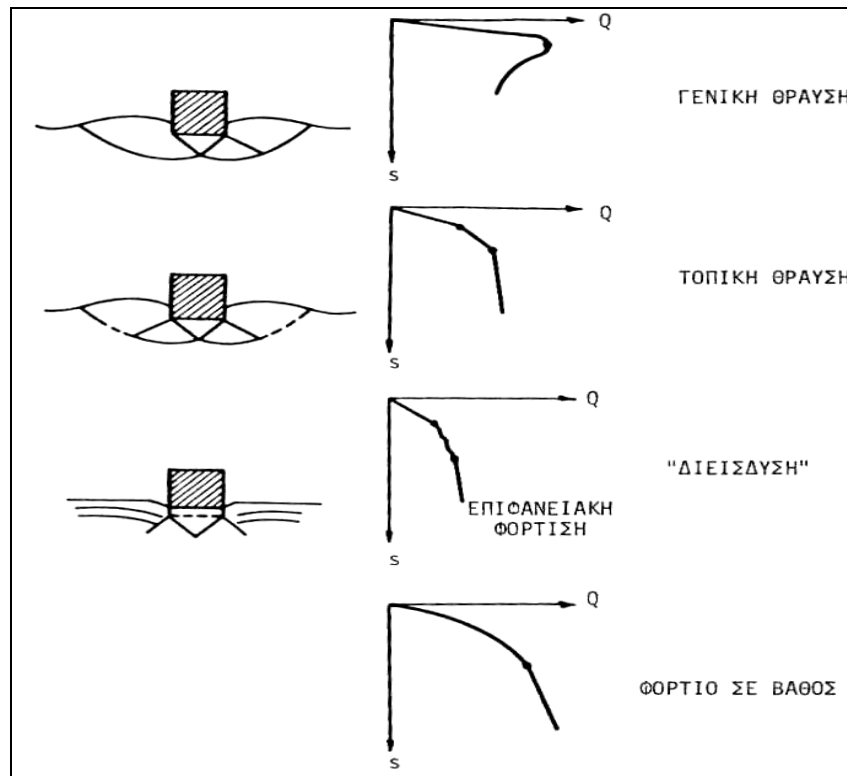
2.2 Μορφές Αστοχίας Εδάφους

Η θραύση που λαμβάνει χώρα στα πέδιλα είναι γνωστό πως χαρακτηρίζεται ως διατμητική θραύση. Οι βασικές μορφές της διατμητικής αστοχίας (Vesic, 1963 κατά Αναγνωστόπουλο και Παπαδόπουλο, 1989), είναι τρεις και ορίζονται ως εξής (Σχήμα 2.2):

- **Γενική θραύση:** η οποία χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη διόγκωση του εδάφους γύρω από το πέδιλο, π.χ. φόρτιση σε πυκνή άμμο ή στιφρή άργιλο.
- **Τοπική θραύση:** η οποία χαρακτηρίζεται από μικρή διόγκωση του εδάφους μόνο δίπλα από το πέδιλο, π.χ. φόρτιση σε κανονικά φορτισμένη άργιλο.
- **Διείσδυση:** η οποία χαρακτηρίζεται από διατμητική θραύση μόνο στην περίμετρο του πέδilu και καθόλου διόγκωση του περιβάλλοντος εδάφους, π.χ. φόρτιση σε πολύ μαλακή άργιλο ή χαλαρή άμμο.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι ο όρος 'θραύση' είναι παλιός και σήμερα έχει αντικατασταθεί με τον όρο 'αστοχία'.

Στα άκαμπτα πέδιλα που αποτελούν την πλέον συνήθη κατασκευή θεμελίωσης, έστω και για μικρή επιβαλλόμενη φόρτιση, παρατηρείται μία συγκέντρωση τάσεων στα άκρα τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πλαστικών ζωνών στα άκρα των πεδilu και κατά κάποιο τρόπο μικρομετατοπίσεις του εδάφους στις θέσεις αυτές.



Σχήμα 2.2: Διάφορες μορφές θραύσης και διαγράμματα φορτίου Q - καθίζησης s (Vesic, 1963 κατά Αναγνωστόπουλο και Παπαδόπουλο, 1989).

Με την αύξηση της φόρτισης οι πλαστικές αυτές ζώνες επεκτείνονται αρχικά στο χώρο έξω από το πέδιλο, και όσο η φόρτιση πλησιάζει το "κρίσιμο φορτίο" οι ζώνες αυτές αυξάνουν σε μέγεθος, αλληλεπικαλύπτονται και καταλαμβάνουν και το χώρο κάτω από το πέδιλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μίας συνεχόμενης μετατόπισης κάτω από το πέδιλο που συνεπάγεται τη δημιουργία μεγάλης καθίζησης και κλίσης του πέδilu.

Ως κρίσιμο (οριακό) (όχι φορτίο αστοχίας) ορίζεται το φορτίο για το οποίο το έδαφος κάτω από τα άκρα του πέδilu αρχίζει να πλαστικοποιείται, δηλ. αρχίζει η εμφάνιση των πλαστικών ζωνών (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989). Σ' αυτή την κατάσταση το έδαφος μέσα στις πλαστικές ζώνες βρίσκεται σε κατάσταση οριακής πλαστικής ισορροπίας και δεν δύναται να φέρει αντίσταση στην αύξηση των διατμητικών τάσεων. Είναι επομένως λογική η ανάγκη χρήσης κάποιου κριτηρίου για τον καθορισμό του φορτίου αστοχίας, διότι μόνο στην περίπτωση της γενικής αστοχίας είναι ευδιάκριτο το φορτίο αυτό. Θα πρέπει δηλαδή να καθοριστεί για ποιο μέγεθος της υποχώρησης του

πέδιλου ορίζεται η αστοχία του εδάφους. Είναι πολύ δύσκολο να δοθεί κάποιο γενικό κριτήριο για τον καθορισμό του φορτίου αστοχίας από το διάγραμμα φορτίσεων – υποχωρήσεων των πέδινων. Έχει όμως γίνει αποδεκτό από πολλούς ερευνητές ότι ένα όριο καθίζησης κοντά το 10% του πλάτους του θεμελίου, μπορεί να θεωρηθεί ως κριτήριο καθορισμού της αστοχίας.

2.3 Επιτρεπόμενη Φέρουσα Ικανότητα

Η ασφαλής (επιτρεπόμενη) πίεση που μπορεί να δεχτεί ένα πέδιλο ορίζεται ως $q_{\text{επιτρεπόμενο}} = q_u / F_s$ όπου F_s ο συντελεστής ασφαλείας. Γενικά ως επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα συνήθως λαμβάνεται το 1/3 έως 1/2 της φέρουσας ικανότητας. Πρέπει να αναφερθεί και ότι η φύση του εδάφους επιτρέπει, για τις μεν προ-φορτισμένες στιφρές αργίλους, η τιμή του F_s να λαμβάνεται ακόμα και λίγο κάτω από 2, ενώ για τις δε μαλακές, κανονικά φορτισμένες αργίλους ο συντελεστής ασφαλείας πρέπει να έχει τιμές 3-4 και άνω, για την αποφυγή σημαντικών παραμορφώσεων. Δηλαδή η φύση και η προϊστορία των φορτίσεων επί του εδάφους είναι καθοριστική για τη συμπεριφορά του κάτω από μία φόρτιση καθώς και για την επιλογή του καταλλήλου συντελεστή ασφαλείας (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Έχει αποδειχτεί από αποτελέσματα δοκιμών ότι καμία από τις υπάρχουσες θεωρίες υπολογισμού του οριακού φορτίου δεν δίνει εξίσου αξιόπιστα αποτελέσματα για τους διάφορους τύπους εδαφών και τις διάφορες μορφές θεμελιώσεων. Ο υπολογισμός του οριακού φορτίου είναι ένα πρόβλημα πλαστικής ισορροπίας το οποίο αυστηρά θεωρητικά μπορεί να λυθεί μόνο για ορισμένα προβλήματα με την θεώρηση επίπεδης παραμόρφωσης (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Γενικά υπάρχουν δυσκολίες στην εύρεση μαθηματικών προσομοιωμάτων που να εκφράζουν την καταστατική συμπεριφορά των εδαφών (τάσης - παραμόρφωσης - χρόνος), κάτω από μία φόρτιση. Με τη βοήθεια της θεωρίας της πλαστικότητας έχουν βρεθεί λύσεις για την περίπτωση "ασυμπίεστου" εδάφους που συμπεριφέρεται εντελώς πλαστικά. Οι παραπάνω δυσκολίες είχαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών προσεγγιστικών λύσεων από διάφορους ερευνητές.

2.4 Εκτίμηση Φέρουσας Ικανότητας κατά Terzaghi

Σύμφωνα με τον Terzaghi για θεμελιολωρίδα απείρου μήκους για συνθήκες πλήρους στράγγισης, η πίεση αστοχίας (φέρουσα ικανότητα) δίδεται από τον τύπο (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989):

$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma$$

ή αλλιώς:

$$q_u = c N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \quad (2.2)$$

όπου

q_u η πίεση αστοχίας,

c η συνοχή,

γ το φαινόμενο βάρος του εδάφους,

B το πλάτος της θεμελιολωρίδας,

D_f το βάθος θεμελίωσης.

Οι δείκτες N_c , N_q και N_γ καλούνται συντελεστές φέρουσας ικανότητας και υπολογίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας κατά Terzaghi (σύμφωνα με Αναγνωστόπουλο και Παπαδόπουλο, 1989).

ϕ (μοίρες)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
N_c	5,7	7,3	9,6	12,9	17,7	25,1	37,2	57,8	95,7	172	358
N_q	1	1,6	2,7	4,4	7,4	12,7	22,5	41,4	81,3	173	415
N_γ	0	0,5	1,2	2,5	5	9,7	19,7	42,4	100	298	1153

Η σχέση 2.2 είναι και η πιο διαδεδομένη και χρησιμοποιείται ευρύτατα στις γεωτεχνικές εφαρμογές. Πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση ισχύει μόνο όταν $D_f < B$.

2.5 Εκτίμηση του Δείκτη Εδάφους C

Ο δείκτης εδάφους C δηλώνει την συμπεριφορά (υποχώρηση) εδάφους υπό συγκεκριμένη φόρτιση. Για τον προσδιορισμό του C , (ή αλλιώς k) βάσει του ορισμού του

δείκτη εδάφους θα πρέπει να φορτισθεί επιφάνεια με εμβαδό A , η οποία εδράζεται πάνω στο έδαφος, υπό κατανεμημένο φορτίο $p=P/A$, να μετρηθεί η καθίζηση και από τη σχέση $C=p/s$ να προσδιορισθεί ο δείκτης εδάφους C .

Είναι γνωστή όμως η επιρροή της μορφής και των διαστάσεων της επιφάνειας, στο μέγεθος της καθίζησης s . Την τιμή του δείκτη εδάφους k , επηρεάζουν επίσης και άλλοι παράγοντες, όπως π.χ. το βάθος θεμελίωσης.

Επομένως η τιμή του δείκτη εδάφους, χαρακτηρίζει το έδαφος και αφορά την συμπεριφορά του για την άνω επιφάνεια A και μονό υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες της συγκεκριμένης δοκιμής (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Για τα αμμώδη εδάφη, πειραματικές έρευνες και επί τόπου παρατηρήσεις του Terzaghi έδειξαν ότι οι καθιζήσεις s_1 και s για λωρίδες πλάτους 0.305 m και b m αντιστοίχως, συνδέονται με την παρακάτω σχέση:

$$s_1/s = ((b+0.305)/2b)^2 \quad (b \text{ σε } m) \quad (2.3)$$

Με την παρατήρηση ότι η καθίζηση s_1 για λωρίδα πλάτους 0.305 (m) όταν φορτίζεται με πίεση p είναι περίπου ίση προς την αντίστοιχη δοκιμαστικής πλάκας διαστάσεων 0.305x0.305 (m²), όταν φορτίζεται υπό την ίδια πίεση p , ο δείκτης εδάφους C για λωρίδα πλάτους b , δίδεται συναρτήσει του αντίστοιχου C_{b30} (δείκτης εδάφους για την πλάκα διαστάσεων 0.305x0.305) από τη σχέση:

$$C = C_{b30} ((b+0.305)/2b)^2 \quad (b \text{ σε } m) \quad (2.4)$$

Για συγκεκριμένη επομένως περίπτωση υπολογισμού του δείκτη εδάφους C σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, πρέπει να προηγηθεί δοκιμαστική φόρτιση πλάκας διαστάσεων 0.305x0.305 (m²), να προσδιορισθεί ο δείκτης εδάφους C_{b30} όπου είναι ο δείκτης εδάφους για την πλάκα διαστάσεων 0.305x0.305. Εάν δεν έχει προσδιορισθεί από δοκιμαστική φόρτιση ο δείκτης C_{b30} , είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η μέση τιμή του, αναλόγως του τύπου του εδάφους, από τον Πίνακα 2.2.

Οι παραπάνω σχέσεις εφαρμόζονται για λωρίδα πλάτους b ανεξάρτητα από το μήκος L και της σχέσης L/b , επομένως έχουν άμεση εφαρμογή για πεδιλοδοκούς σε αμμώδη εδάφη, με πλάτος έδρασης b .

Πίνακας 2.2: Τιμές C_{b30} αμμωδών εδαφών σε kg/cm^2 (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Σχετική πυκνότητα άμμου	Χαλαρή	Μέσης πυκνότητας	Πυκνή
Τιμή γ_d (t/m^3)	1.3	1.6	1.9
Ακραίες τιμές ξηρής ή υγρής άμμου	0.64 έως 1.92	1.92 έως 9.6	9.6 έως 32
Προτεινόμενες τιμές	1.3	4.2	16
Εντός ύδατος	0.8	2.6	9.6

2.6 Εκτίμηση της Φέρουσας Ικανότητας κατά Ευρωκώδικα 7

Για τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της κατακόρυφης φέρουσας ικανότητας κατά τον Ευρωκώδικα 7 (EC7) επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές σχέσεις που προκύπτουν από τη θεωρία της πλαστικότητας και από πειραματικά αποτελέσματα. Θα πρέπει να παραχωρείται κάποιο περιθώριο για τις επιδράσεις των εξής παραγόντων (Ευρωκώδικας 7, 1994):

- της αντοχής του εδάφους, η οποία γενικώς αντιπροσωπεύεται από τις τιμές σχεδιασμού των c_u , c' και ϕ' ,
- της εκκεντρότητας και της κλίσης των φορτίων σχεδιασμού,
- του σχήματος, του βάθους και της κλίσης της θεμελίωσης,
- των πιέσεων των υπογείων υδάτων και των υδραυλικών κλίσεων,
- της μεταβλητότητας, και ειδικώς της διαστρωμάτωσης του εδάφους.

Για να αποδειχθεί ότι η θεμελίωση θα αναλάβει το φορτίο σχεδιασμού με επαρκή ασφάλεια έναντι αστοχίας λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας, πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη ανισότητα για όλες τις περιπτώσεις φορτίσεων και συνδυασμούς φορτίων στην οριακή κατάσταση αστοχίας:

$$V_d \leq R_d \quad (2.5)$$

όπου:

V_d = το φορτίο σχεδιασμού στη οριακή κατάσταση αστοχίας κάθετα στη βάση του θεμελίου το οποίο περιλαμβάνει το βάρος της θεμελίωσης και το βάρος τυχόν υλικού επανεπίχωσης (υπό στραγγισμένες συνθήκες, οι υδατικές πιέσεις γενικώς θα

περιλαμβάνονται ως δράσεις στον υπολογισμό του V_d).

R_d = η τιμή σχεδιασμού της φέρουσας ικανότητας του θεμελίου έναντι κάθετων φορτίων ως προς τη βάση του θεμελίου, λαμβανομένης υπόψη της επίδρασης κεκλιμένων ή έκκεντρων φορτίων εάν υπάρχουν. Το R_d υπολογίζεται από τις τιμές σχεδιασμού των σχετικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν.

Όταν οι υδατικές πιέσεις γύρω από το πέδιλο είναι υδροστατικές, ο υπολογισμός του V_d μπορεί να απλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα υπό άνωση βάρη των δομικών στοιχείων που βρίσκονται κάτω από τον υπόγειο ορίζοντα.

Κατά τον αναλυτικό υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της κατακόρυφης φέρουσας ικανότητας (R_d) μιας επιφανειακής θεμελίωσης, λαμβάνονται υπόψη τόσο οι βραχυχρόνιες όσο και οι μακροχρόνιες καταστάσεις, ιδιαιτέρως σε λεπτόκοκκα εδάφη όπου οι μεταβολές της υδατικής πίεσης πόρων μπορούν να οδηγήσουν σε μεταβολές της διατμητικής αντοχής.

Στις περιπτώσεις όπου το έδαφος ή η βραχομάζα κάτω από τη θεμελίωση έχει μια συγκεκριμένη στρωματογραφική δομή ή τύπο ασυνεχειών, ο θεωρούμενος μηχανισμός αστοχίας και οι επιλεγόμενες παράμετροι διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας λαμβάνουν υπόψη τα δομικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Κατά τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της φέρουσας ικανότητας μιας θεμελίωσης σε στρωσιγενείς αποθέσεις, προσδιορίζονται οι τιμές σχεδιασμού των παραμέτρων του εδάφους για κάθε στρώση.

Σε περιπτώσεις όπου ένας ανθεκτικός εδαφικός σχηματισμός υπόκειται ενός ασθενούς σχηματισμού, η φέρουσα ικανότητα μπορεί να υπολογίζεται με χρήση των διατμητικών παραμέτρων του ασθενούς σχηματισμού. Παρακάτω αναλύεται η εκτίμηση παραμέτρων απαραίτητων για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας κατά τον Ευρωκώδικα 7.

2.6.1 Σχεδιασμός οριακής κατάστασης - οριακές καταστάσεις

Είναι αναγκαίο να γίνεται διάκριση μεταξύ της οριακής κατάστασης αντοχής και της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας. Η οριακή κατάσταση αντοχής ορίζεται ως η κατάσταση που σχετίζεται με την κατάρρευση ή άλλους παρόμοιους τύπους δομικής αστοχίας και αφορά στην ασφάλεια των ανθρώπων και της κατασκευής.

2.6.2 Τιμές σχεδιασμού

Η τιμή σχεδιασμού μιας δράσης (φορτίου) λαμβάνεται με τον πολλαπλασιασμό της χαρακτηριστικής τιμής της δράσης με τους επιμέρους συντελεστές (Καββαδάς, 2001):

$$G_d = G_k \gamma_G \text{ (μόνιμη δράση)}$$

$$Q_d = Q_k \gamma_Q \text{ (μεταβλητή δράση)}$$

$$A_d = A_k \gamma_A \text{ (τυχηματική δράση – απρόβλεπτα φορτία)}$$

όπου ο δείκτης d αντιπροσωπεύει την τιμή σχεδιασμού και ο δείκτης k τη χαρακτηριστική τιμή, ενώ γ είναι ο επιμέρους συντελεστής. Οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων μπορούν να ληφθούν από τους σχετικούς δομικούς κανονισμούς.

Η τιμή σχεδιασμού μιας ιδιότητας υλικού λαμβάνεται με τη διαίρεση των χαρακτηριστικών τιμών με τον επιμέρους συντελεστή

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi_k}{\gamma_\phi} \quad (2.6)$$

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_{cu}} \quad (2.7)$$

όπου οι δείκτες d και k αντιπροσωπεύουν την τιμή σχεδιασμού και τη χαρακτηριστική τιμή αντίστοιχα, και γ είναι ο επιμέρους συντελεστής.

2.6.3 Χαρακτηριστικές τιμές

Οι χαρακτηριστικές τιμές αποτελούν μια συντηρητική εκτίμηση της τιμής της συγκεκριμένης παραμέτρου. Ο ορισμός αυτός εξειδικεύεται στις περιπτώσεις όπου τα διαθέσιμα στοιχεία είναι επαρκή για την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων, οπότε ως χαρακτηριστική τιμή μπορεί να ληφθεί η τιμή της παραμέτρου με πιθανότητα υπέρβασης ίση με 5% (Καββαδάς, 2001).

Ο Ευρωκώδικας 7 απαιτεί η χαρακτηριστική τιμή μιας παραμέτρου εδάφους ή βράχου να επιλέγεται ως μια προσεκτική εκτίμηση της τιμής η οποία επηρεάζει την πρόκληση της οριακής κατάστασης και ότι η επιλογή της τιμής πρέπει να λαμβάνει υπόψη (Καββαδάς, 2001):

- την προηγούμενη πείρα,
- τα χαρακτηριστικά της μάζας του εδάφους, τα οποία πιθανόν απαιτούν διορθώσεις των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών,

- τη μεταβολή των τιμών της ιδιότητας στο πεδίο με το βάθος, με τη θέση στην τοποθεσία, και στατιστικά,
- την έκταση της περιοχής του εδάφους που επηρεάζεται από την κατασκευή,
- τις μεταβολές που μπορούν να προκληθούν από την κατασκευαστική δραστηριότητα, όπως η διατάραξη, η διάβρωση και ο κακός τρόπος δόμησης,
- το είδος της οριακής κατάστασης που εξετάζεται για την αντοχή, το βαθμό ενεργοποίησης, δηλαδή τη μέγιστη, της κρίσιμης κατάστασης ή την παραμένονσα.

Πρέπει επίσης, στην επιλογή των χαρακτηριστικών τιμών και των επιμέρους συντελεστών, να λαμβάνονται υπόψη οι συνέπειες της αστοχίας, είτε αυτές είναι καταστρεπτικές είτε σοβαρές, είτε αντιμετωπίσιμες.

2.6.4 Επιμέρους συντελεστές

Η αρχή του σχεδιασμού σε οριακή κατάσταση και των επιμέρους συντελεστών είναι συνήθης στο σχεδιασμό δομικών έργων αλλά όχι στο γεωτεχνικό σχεδιασμό. Η συμβατική προσέγγιση στο γεωτεχνικό σχεδιασμό ακολουθεί μια αναλυτική μέθοδο, η οποία περιλαμβάνει λογικές εκτιμήσεις του φορτίου και των παραμέτρων των υλικών, με στόχο τον υπολογισμό μιας οριακής τιμής όπως η φέρουσα ικανότητα. Αυτή τότε πρέπει να μειωθεί με έναν ολικό συντελεστή για να εξασφαλίσει ασφάλεια και ευστάθεια. Αυτός ο συντελεστής έχει χωρίς καμιά πραγματική θεώρηση κριθεί επαρκής να λαμβάνει υπόψη την ενεργοποίηση των τιμών της αντοχής, να εξασφαλίζει αποδεκτές παραμορφώσεις, και πιθανόν ακόμη και απαιτήσεις ανθεκτικότητας και μη φθοράς.

Οι επιμέρους συντελεστές εισήχθησαν στη γεωτεχνική πρακτική της Δανίας από τον Hansen το 1953 και αποτελούν τη βάση για το σχεδιασμό οριακών καταστάσεων στον Ευρωκωδικά 7. Οι επιμέρους συντελεστές εφαρμόζονται για να αυξήσουν τα φορτία ή τις δράσεις και να μειώσουν τις αντοχές των υλικών, και είναι μικρότεροι από τους ολικούς συντελεστές. Όταν εφαρμόζονται στις χαρακτηριστικές τιμές, δίνουν τιμές σχεδιασμού οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αποτροπή υπέρβασης μιας οριακής κατάστασης.

Έχουν εισαχθεί τρεις περιπτώσεις A, B, και Γ για να εξασφαλίσουν ευστάθεια και επαρκή αντοχή στην κατασκευή και το έδαφος, και κατά το σχεδιασμό πρέπει να ελέγχονται και οι τρεις αυτές περιπτώσεις. Οι επιμέρους συντελεστές για την οριακή

κατάσταση αντοχής σε κάθε περίπτωση φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλες είναι προτεινόμενες τιμές. Κάθε χώρα - μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να τις εξετάσει και πιθανόν τις αντικαταστήσει με οριστικές τιμές στο δικό της Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής.

Πίνακας 3.1: Επιμέρους συντελεστές για την οριακή κατάσταση αντοχής (Ευρωκώδικας 7, 1994).

	Μόνιμες δράσεις		Μεταβλητές δράσεις	Ιδιότητες εδάφους			
Επιμέρους συντελεστές	γ_g		γ_q	γ_ϕ	$\gamma_{c'}$	γ_{cu}	γ_{qu}
Περίπτωση	Δυσμενής	Ευνοϊκή	Δυσμενής	$\tan\phi$	c'	c_u	q_u
Περίπτωση Α	[1.00]	[0.95]	[1.50]	[1.1]	[1.3]	[1.2]	[1.2]
Περίπτωση Β	[1.35]	[1.00]	[1.50]	[1.0]	[1.0]	[1.0]	[1.0]
Περίπτωση Γ	[1.00]	[1.00]	[1.30]	[1.25]	[1.6]	[1.4]	[1.4]

Η περίπτωση Α εξετάζει την ευστάθεια και αφορά μόνο προβλήματα άνωσης, όπου δυσμενείς πιέσεις νερού κάτω από υπόγειες κατασκευές μπορούν να τις ανυψώσουν. Όπου οι μόνιμες δράσεις είναι ευνοϊκές, μειώνονται με την εφαρμογή ενός συντελεστή μικρότερου από τη μονάδα. Όπου η αστοχία της κατασκευής ή του δομικού στοιχείου κυριαρχείται από την αντοχή των δομικών υλικών, όπως σε θεμέλια από σκυρόδεμα, πασσάλους, ή τοίχους αντιστήριξης, λαμβάνονται οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την περίπτωση Β. Οι δράσεις πολλαπλασιάζονται με συντελεστές ώστε να δώσουν τιμές σχεδιασμού, αλλά οι τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων των υλικών είναι οι χαρακτηριστικές τιμές, δηλαδή χωρίς συντελεστές. Οι επιμέρους συντελεστές οι οποίοι εφαρμόζονται στην αντοχή των δομικών υλικών λαμβάνονται από το σχετικό Ευρωκώδικα γι' αυτό το υλικό.

Η περίπτωση Γ ισχύει για την αστοχία του εδάφους, δεν περιλαμβάνει την αντοχή των δομικών στοιχείων. Οι μόνιμες δράσεις δεν πολλαπλασιάζονται με κανένα συντελεστή. Μερικά παραδείγματα είναι προβλήματα ευστάθειας πρανών, φέρουσα ικανότητα κάτω από θεμέλια, και ευστάθεια τοίχων αντιστήριξης έναντι ανατροπής.

Για τον έλεγχο της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας, ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τις μόνιμες και μεταβλητές δράσεις και για τις ιδιότητες του

εδάφους είναι ίσος με τη μονάδα. Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας αντιστοιχεί στις συνθήκες πέρα από τις οποίες δεν πληρούνται οι προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις λειτουργίας κατασκευής ή του δομικού στοιχείου και αφορά στην άνεση των ανθρώπων, στη λειτουργία του ακινήτου και στην εμφάνισή του.

2.6.5 Εκτίμηση φέρουσας ικανότητας σε συνθήκες πλήρους στράγγισης

Η τιμή σχεδιασμού της φέρουσας ικανότητας για θεμελιολωρίδα απείρου μήκους και ορθό φορτίο χωρίς κλίση υπολογίζεται από τον Ευρωκώδικα σύμφωνα με την εξίσωση:

$$q_u = c' N_c + q' N_q + 0.5 \gamma' B' N_\gamma \quad (2.9)$$

c' η τιμή σχεδιασμού συνοχής εδάφους σε συνθήκες πλήρους στράγγισης,

q' η τιμή σχεδιασμού της ενεργού πίεσης επιφόρτισης στη στάθμη της βάσης του θεμελίου,

γ' η τιμή σχεδιασμού του υπό άνωση (ενεργού) φαινόμενου βάρους του εδάφους, κάτω από τη στάθμη της θεμελίωσης

B' το ενεργό πλάτος σχεδιασμού του θεμελίου,

L' το ενεργό μήκος σχεδιασμού του θεμελίου,

$A' = B' L'$ η ενεργός επιφάνεια σχεδιασμού του θεμελίου, η οποία ορίζεται ως η βάση της θεμελίωσης ή, στην περίπτωση έκκεντρης φόρτισης, η μειωμένη επιφάνεια του θεμελίου της οποίας το κέντρο βάρους είναι το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται η συνισταμένη των φορτίων.

Οι δείκτες $N_c N_q$ και N_γ καλούνται συντελεστές φέρουσας ικανότητας

Η σχέση 2.9 είναι η ίδια με αυτή του Terzaghi (2.2). Η διαφορά της εύρεσης της φέρουσας ικανότητας κατά τον Ευρωκώδικα είναι ότι λαμβάνει υπόψη τους επιμέρους συντελεστές οι οποίοι απομειώνουν περαιτέρω την φέρουσα ικανότητα σε πιο ασφαλή επίπεδα

2.6.6 Αστοχία λόγω ολίσθησης

Οι θεμελιώσεις πρέπει να ελέγχονται έναντι αστοχίας λόγω ολίσθησης στις περιπτώσεις όπου η φόρτιση δεν είναι κάθετη στη βάση της θεμελίωσης. Για την ασφάλεια έναντι αστοχίας λόγω ολίσθησης κατά μήκος οριζόντιας βάσης, πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη ανισότητα (Ευρωκώδικας 7, 1994):

$$H_d \leq S_d + E_{pd} \quad (2.8)$$

όπου:

H_d είναι η οριζόντια συνιστώσα του φορτίου σχεδιασμού, που περιλαμβάνει και τις τιμές σχεδιασμού των ενεργών ωθήσεων γαιών

S_d είναι η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής μεταξύ της βάσης θεμελίωσης και του εδάφους

E_{pd} είναι η τιμή σχεδιασμού της ώθησης γαιών η οποία αντιδρά στην παρειά του πέδιλου και μπορεί να ενεργοποιείται με τη μετακίνηση που αντιστοιχεί στη θεωρούμενη οριακή κατάσταση και η οποία ώθηση είναι διαθέσιμη καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

Οι τιμές των S_d και E_{pd} πρέπει να είναι αντίστοιχες με το μέγεθος της μετακίνησης που αναμένεται κατά την οριακή κατάσταση της θεωρούμενης φόρτισης. Για μεγάλες μετακινήσεις, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πιθανή συμπεριφορά στον κατιόντα κλάδο μετά τη μέγιστη αντοχή (post-peak behavior).

Για κεκλιμένες εδράσεις εφαρμόζεται μια απαίτηση παρόμοια με την παραπάνω ανισότητα. Για θεμελιώσεις σε αργιλικά εδάφη που εδράζονται εντός της ζώνης των εποχικών μεταβολών, πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα η άργιλος να συρρικνωθεί και ως επομένως να απομακρυνθεί από τις κατακόρυφες παρειές των θεμελίων. Πρέπει να εξετάζεται επίσης η πιθανότητα να απομακρυνθεί το έδαφος μπροστά, στη θεμελίωση από διάβρωση ή ανθρώπινη δραστηριότητα.

3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

3.1 Γεωτεχνικός Σχεδιασμός προς Επιφανειακή Θεμελίωση ενός Έργου

Η θεμελίωση είναι το τμήμα μιας κατασκευής το οποίο χρησιμεύει για να μεταφέρει το βάρος της (μαζί με τα κινητά της φορτία) στο φυσικό έδαφος/βράχο. Ο σχεδιασμός της θεμελίωσης επιδιώκει την κατανομή των φορτιών σε μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με την επιφάνεια των φερόντων στοιχείων (π.χ. των υποστυλωμάτων της κατασκευής) με σκοπό τον υποβιβασμό των τάσεων στα επιτρεπόμενα όρια φόρτισης του εδάφους (Στειακάκης, 2005). Οι βασικές παράμετροι μιας γεωτεχνικής έρευνας για το σχεδιασμό της θεμελίωσης ενός έργου και οι φάσεις έρευνας είναι (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989):

- Η διερεύνηση του υπεδάφους.
- Ο προσδιορισμός της στρωματογραφίας και η εκτίμηση των χαρακτηριστικών εδαφοτεχνικών παραμέτρων.
- Η προσέγγιση της συμπεριφοράς «αντιπροσωπευτικών» εδαφικών στοιχείων καθώς και η επιλογή της κατάλληλης θεωρίας για το σχεδιασμό.
- Η συνεκτίμηση της ευαισθησίας της ανωδομής.
- Σύνθεση όλων των ανωτέρω και απόφαση για συγκεκριμένο τύπο θεμελίωσης.
- Σε σοβαρά έργα απαιτείται επιπλέον και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς του έργου μετά την κατασκευή του.

3.1.1 Προκαταρκτική διερεύνηση του υπεδάφους

Ο τρόπος διερεύνησης και η έκταση της έρευνας δεν μπορούν να ορισθούν από κάποια γενική μεθοδολογία διότι εξαρτώνται όχι μόνο από την έκταση, τη σημασία και την ευαισθησία του έργου, αλλά και από τη φύση του εδάφους. Σε κάθε περίπτωση, το προκαταρκτικό στάδιο μιας γεωτεχνικής έρευνας περιλαμβάνει την εξέταση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών, την εξέταση τυχόν υπαρχόντων εδαφοτεχνικών στοιχείων καθώς και την συλλογή παρατηρήσεων από τη συμπεριφορά κατασκευών στην περιοχή του προς μελέτη έργου. Μια συστηματική αξιολόγηση των ανωτέρω πληροφοριών βοηθά πολύ στον προγραμματισμό και στον καθορισμό της έκτασης της απαιτούμενης γεωτεχνικής έρευνας. Η στρωματογραφία της περιοχής μπορεί να προσδιοριστεί μέσω

γεωτρήσεων (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

3.1.2 Προσέγγιση γεωτεχνικών παραμέτρων εδάφους με τη χρήση επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών

Οι επί τόπου δοκιμές αναφέρονται συνήθως σε διάφορες μεθόδους επιβολής φορτίσεων αμέσως επί του εδάφους, επιφανειακά ή και σε διάφορα βάθη και υποκαθιστούν ή συμπληρώνουν αντίστοιχες εργαστηριακές δοκιμές, καθώς και την εν γένει εδαφοτεχνική τομή που προκύπτει από τις συνήθειες εδαφοτεχνικές έρευνες με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Με τις δοκιμές αυτές είναι δυνατή η εκτίμηση φυσικών παραμέτρων και παραμέτρων όπως π.χ. το φαινόμενο βάρος, η φυσική υγρασία, ο συντελεστής διαπερατότητας κ.λ.π. (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Η χρήση των επί τόπου δοκιμών σήμερα είναι πολύ διαδεδομένη και η εκτέλεση τουλάχιστον ενός ή δυο τύπων δοκιμών, συνήθως παράλληλα με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις αποτελεί τον κανόνα. Το πεδίο εφαρμογής κάθε τύπου επί τόπου δοκιμής, εξαρτάται καταρχήν από το συγκεκριμένο πρόβλημα καθώς και από άλλους παράγοντες, όπως η επιθυμητή ταχύτητα στην λήψη των αποτελεσμάτων και η οικονομία.

Περιορισμοί εφαρμογής αφορούν στη δυσκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων και στην εκτέλεση συγκεκριμένης δοκιμής, λόγω της φύσεως του εδάφους.

Συνήθειες και διαδεδομένοι τύποι επί τόπου δοκιμών είναι (Στειακάκης, 2004, Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989, Χρηστάρας, 2002):

- Η πρότυπος δοκιμή διεισδύσεως (S.P.T.). Πρότυπος δειγματολήπτης τοποθετείται στο άκρο της γεωτρητικής στήλης, στο πυθμένα της γεώτρησης και προωθείται με χτυπήματα που προκύπτουν από την πτώση πρότυπου βάρους 64 kg το οποίο πέφτει από ύψος 76 cm. Μετράται ο αριθμός κτύπων N για την προώθηση του δειγματολήπτη κατά 30 cm (αφού έχει εισχωρήσει τα πρώτα 15 cm). Εμπειρικές τιμές του N δίνουν τη δυνατότητα εκτίμησης της σχετικής πυκνότητας D_r και της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ των χαλαρών εδαφών αλλά και της συνοχής κάτω από αστράγγιστες συνθήκες c_u των συνεκτικών εδαφών.
- Οι πενетроμετρήσεις, στατικές (C.P.T) και δυναμικές. Ένας κώνος με αιχμή 60° και διατομή 10 cm^2 διεισδύει στο έδαφος με σταθερή διείσδυση. Κατά την διείσδυση του κώνου μετράται η αντίσταση στην προχώρηση της αιχμής και η αντίσταση (πλευρική τριβή) του πλευρικού μανδύα.

- Οι πρεσσιομετρήσεις. Με τη χρήση πρότυπου διασταλτού στελέχους, που οδηγείται στο επιθυμητό βάθος μέσα από γεώτρηση, προσδιορίζεται το μέτρο παραμόρφωσιμότητας και τη οριακής αστοχίας του εδάφους.
- Η δοκιμή περυγίου (vane test). Μετράται η ροπή στρέψης μιας διάταξης από τέσσερις λεπίδες σε σχήμα σταυρού αφού εισχωρήσει στο έδαφος στον πυθμένα της γεώτρησης. Με τη δοκιμή εκτιμάται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή αργιλικών εδαφών
- Η δοκιμαστική φόρτιση πλάκας. Προσδιορίζει το μέτρο ελαστικότητας στα επιφανειακά στρώματά του εδάφους και σε συνθήκες μερικής πλευρικής παρεμπόδισης των παραμορφώσεων.

Με την ευρεία έννοια του όρου “επί τόπου δοκιμή”, μπορούν να περιληφθούν και επί τόπου μετρήσεις συμπεριφοράς έργων, εδαφοκατασκευών θεμελιώσεων, όπως:

- Η δοκιμαστική φόρτιση πασσάλων.
- Τα δοκιμαστικά επιχώματα.
- Η αξιοποίηση μέτρησης συμπεριφοράς πραγματικών έργων.

Σε δείγματα, διαταραγμένα ή αδιατάρακτα, οι ιδιότητες του υπεδάφους προσδιορίζονται με τις εργαστηριακές δοκιμές. Καταρχήν υπάρχουν οι απλές δοκιμές κατάταξης οι οποίες παρά την απλότητα τους, δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών και ακόμη μας προειδοποιούν πολλές φορές για ιδιαιτερότητες στην συμπεριφορά του εδάφους. Με πιο πολύπλοκες εργαστηριακές δοκιμές όπως π.χ. τριαξονικής θλίψης, διάτμησης κ.τ.λ. εκτιμώνται κυρίως οι μηχανικές ιδιότητες και εδαφικές παράμετροι κάτω από εντατική κατάσταση και συνθήκες στράγγισης που να προσεγγίζουν τις αντίστοιχες πραγματικές συνθήκες του εκάστοτε προβλήματος (Αναγνωστόπουλος και Παπαδόπουλος, 1989).

Οι κυριότερες εργαστηριακές δοκιμές είναι η κοκκομετρική ανάλυση, η εύρεση των ορίων Atterberg, η δοκιμή άμεσης διάτμησης εδαφικού δείγματος και η δοκιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη αντιπροσωπευτικού δοκιμίου. Οι παραπάνω δοκιμές περιγράφονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 5.

3.1.3 Κριτήρια σχεδιασμού θεμελίωσης και είδη θεμελιώσεων

Ο κύριος σκοπός κατά το σχεδιασμό μιας θεμελίωσης είναι η αποφυγή κάτω από τους δυσμενέστερους συνδυασμούς φόρτισης (Στειακάκης, 2005):

1. του ενδεχομένου αστοχίας του εδάφους,
2. της εκδήλωσης υπερβολικών καθιζήσεων.

Οι θεμελιώσεις διακρίνονται σε επιφανειακές και σε βαθιές. Το κριτήριο με το οποίο γίνεται η επιλογή του είδους της θεμελίωσης είναι το βάθος όπου βρίσκεται ένας υγιής εδαφικός σχηματισμός ο οποίος μπορεί να υποφέρει της κατασκευής. Εάν το εδαφικό στρώμα υπάρχει σε μικρό βάθος τότε γίνεται επιφανειακή θεμελίωση. Σε αντίθετη περίπτωση η θεμελίωση γίνεται μέσω ειδικών φορέων (φρέατα – πασσάλους), που φτάνουν σε μεγαλύτερα βάθη.

Επιφανειακές ή αβαθείς ονομάζονται οι θεμελιώσεις που πραγματοποιούνται στην στάθμη της γενικής εκσκαφής ή πολύ κοντά σε αυτή, ασχέτου του βάθους της στάθμης αυτής από τη φυσική επιφάνεια του εδάφους (Λοΐζος, 1977 σύμφωνα με Στειακάκη, 2005). Έχει καθιερωθεί μια θεμελίωση να ονομάζεται επιφανειακή όταν το βάθος έδρασης είναι μικρότερο ή ίσο του πλάτους της. Διακρίνεται σε τρεις τύπους (Στειακάκης, 2005):

- Τα πέδιλα που αφορούν μεμονωμένες επιφάνειες έδρασης στις οποίες καταλήγουν τα διάφορα στοιχεία της ανωδομής.
- Τις πεδιλοδοκούς που δέχονται μια σειρά ευθυγραμμισμένων υποστυλωμάτων.
- Την κοιτόστρωση που θεμελιώνει όλα τα υποστυλώματα της οικοδομής ή τουλάχιστον ένα μεγάλο μέρος από αυτά, τοποθετημένα σε δυο διαστάσεις.

3.2 Ευρωκώδικας 7 και Γεωτεχνική Έρευνα

Παρακάτω θα γίνει μια μικρή αναφορά στα πρότυπα που θεσπίζει ο Ευρωκώδικας 7 σχετικά με (Ευρωκώδικας 7, 1994):

- Μοναξονική θλιπτική αντοχή και παραμορφωσιμότητα βραχυδών υλικών.
- Διατμητική αντοχή των διακλάσεων.
- Παράμετροι διαπερατότητας και στερεοποίησης.
- Σχεδιασμός έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας.
- Αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας.

- Αστοχία λόγω ολίσθησης.

3.2.1 Μοναξονική θλιπτική αντοχή και παραμορφωσιμότητα βραχωδών υλικών

Για την εκτίμηση της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας βραχωδών υλικών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής χαρακτηριστικά σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες (Ευρωκώδικας 7, 1994):

- ο προσανατολισμός του άξονα φόρτισης σε σχέση με την ανισοτροπία του δείγματος, επίπεδα στρώσης, σχιστότητα κ.λ.π.,
- η μέθοδος δειγματοληψίας, το ιστορικό και το περιβάλλον αποθήκευσης δειγμάτων,
- ο αριθμός των δειγμάτων που υποβλήθηκαν σε δοκιμή,
- η γεωμετρία των δειγμάτων που υποβλήθηκαν σε δοκιμή,
- το ποσοστό υγρασίας και ο βαθμός κορεσμού κατά το χρόνο της δοκιμής,
- η διάρκεια της δοκιμής και ο ρυθμός φόρτισης,
- η μέθοδος προσδιορισμού του μέτρου ελαστικότητας (Young) και το μέγεθος ή τα μεγέθη της αξονικής τάσης στην οποία τούτο προσδιορίσθηκε. Η μοναξονική θλιπτική αντοχή και η παραμορφωσιμότητα σε μοναξονική θλίψη προορίζονται κυρίως και τον χαρακτηρισμό του υγιούς βράχου.

3.2.2 Διατμητική αντοχή των διακλάσεων

Κατά την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής των διακλάσεων, λαμβάνονται υπόψη τα εξής χαρακτηριστικά:

- ο προσανατολισμός του δείγματος σε σχέση με τη βραχομάζα και τις θεωρούμενες δράσεις φορτίων,
- ο προσανατολισμός της δοκιμής διάτμησης,
- ο αριθμός των δειγμάτων που υποβλήθηκαν σε δοκιμή,
- οι διαστάσεις της επιφάνειας που διατμήθηκε,
- οι συνθήκες υδατικής πίεσης,
- η δυνατότητα προοδευτικής θραύσης η οποία διέπει τη συμπεριφορά της επιτόπου βραχομάζας.

Τα επίπεδα διάτμησης κανονικά συμπίπτουν με τα επίπεδα ελάχιστης αντοχής του βράχου (διακλάσεις, επίπεδα στρώσης, σχιστότητα) ή με τη διεπιφάνεια μεταξύ εδάφους

και βράχου ή σκυροδέματος και βράχου. Η μέτρηση της διατμητικής αντοχής των διακλάσεων χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση της οριακής ισορροπίας της βραχομάζας.

3.2.3 Σχεδιασμός έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας – ολική ευστάθεια

Για τις θεμελιώσεις, πρέπει να γίνεται έλεγχος έναντι αστοχίας λόγω απώλειας της ολικής ευστάθειας στις εξής περιπτώσεις (Ευρωκώδικας 7, 1994):

- κοντά ή πάνω σε κεκλιμένο έδαφος, φυσικό πρανές ή επίχωμα,
- κοντά σε εκσκαφή ή τοίχο αντιστήριξης,
- κοντά σε ποτάμι, διώρυγα, λίμνη, ταμειυτήρα ή θαλάσσια ακτή,
- κοντά σε ορυχεία ή υπόγειες κατασκευές.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να αποδεικνύεται με βάση τις αρχές που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 9 του Ευρωκώδικα 7 ότι είναι αρκετά μικρή η πιθανότητα να συμβεί απώλεια ευστάθειας της εδαφικής μάζας που περιέχει τη θεμελίωση.

Η αστοχία λόγω υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.

4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΗΜΙΒΡΑΧΟ

Η τεχνική γεωλογία διακρίνει τα γεωυλικά σε δυο βασικές κατηγορίες: τα εδάφη και τους βράχους. Έδαφος καλείται ένα φυσικό συσσωμάτωμα ορυκτών κόκκων, οι οποίοι μπορούν να αποχωρισθούν με ευχέρεια, ενώ βράχος ένα φυσικό συσσωμάτωμα ορυκτών κόκκων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με δυνάμεις συνοχής κατά τρόπο ισχυρό και μόνιμο. Από μηχανικής πλευράς, το όριο μεταξύ εδάφους και βράχου ορίζεται από την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη της τάξης του 1 MPa (Στειακάκης, 2005). Ως ημίβραχος χαρακτηρίζεται μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ εδάφους και πετρώματος.

Για τον χαρακτηρισμό αυτών των υλικών προτείνεται μια σειρά συστημάτων ταξινόμησης όπως, π.χ. για τα πετρώματα τα συστήματα RMR (Rock Mass Rating) και Q (Αγιουτάντης, 2002) και ενώ για τα εδάφη τα συστήματα USCS (Unified Soil Classification System) και AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials System) (Cooper, 2006). Τόσο τα συστήματα ταξινόμησης όσο και τα κριτήρια αστοχίας βασίζονται πάνω σε ορισμένες παραμέτρους των υλικών (μηχανικές ιδιότητες) τις οποίες είτε βαθμολογούν είτε συγκρίνουν με εντατικές καταστάσεις για να προκύψουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Δυο από τις βασικότερες παραμέτρους για εδάφη είναι η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής. Στα πετρώματα ο όρος συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής δεν είναι τόσο προφανής καθώς δεν έχουν πάντα διατμητικές αστοχίες και διατμητικές κινήσεις σε περιπτώσεις αστοχίας. Μπορεί όμως κανείς να αναφερθεί σε ‘ισοδύναμες τιμές’ διατμητικής συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής οι οποίες προσομοιάζουν αυτές των εδαφών

Στην συνέχεια παρατίθενται διεξοδικά το κριτήριο Hoek & Brown στην πιο πρόσφατη μορφή του και το σύστημα ταξινόμησης GSI όπως αυτό πρωτοεμφανίστηκε και στην συνέχεια εξελίχθηκε διαχρονικά.

4.1 Κριτήριο Hoek & Brown

Οι Hoek και Brown (1980a, b)¹ πρότειναν μια μέθοδο εκτίμησης της αντοχής ενωμένων βραχομάζων, που βασίστηκε σε μια αξιολόγηση της εμπλοκής των τεμαχίων μεταξύ τους και της κατάστασης των επιφανειών μεταξύ αυτών. Αυτή η μέθοδος τροποποιήθηκε κατά τη διάρκεια των ετών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των χρηστών που το εφάρμοζαν (Hoek, 1983; Hoek and Brown, 1988)¹.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε πολύ κακής ποιότητας βραχομάζα απαίτησε περαιτέρω αλλαγές (Hoek and Shah, 1992)¹ και τελικά την ανάπτυξη μιας νέας ταξινόμησης με βάση ένα γεωλογικό δείκτη αντοχής (Hoek et al., 1995; Hoek, 1995; Hoek and Brown, 1997)¹. Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει το κριτήριο Hoek και Brown σε μια μορφή που εφαρμόζεται ικανοποιητικά στον τομέα της βραχομηχανικής και που μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα όσο αφορά τη χρήση του στις μεθόδους ανάλυσης στην εφαρμοσμένη βραχομηχανική σήμερα (Hoek, 2000). Το 2002 δημιουργήθηκε πιο πρόσφατη έκδοση του κριτηρίου Hoek & Brown το οποίο ονομάζεται γενικευμένο κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown.

Το γενικευμένο κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown για τις βραχομάζες καθορίζεται από τη σχέση (Hoek and Brown, 2002):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (4.1)$$

όπου:

σ_1' και σ_3' η μέγιστη και ελάχιστη κύρια ενεργή τάση

m_b η μειωμένη τιμή κατά GSI της σταθεράς υλικού m , κατά Hoek & Brown

s και a σταθερές που εξαρτώνται από χαρακτηριστικά της βραχομάζας

σ_{ci} η αντοχή του άρρηκτου πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.

4.2 Γεωτεχνική Ταξινόμηση κατά GSI

Ο Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής (GSI) σχετίζεται με την εκτίμηση της αντοχής των βραχωδών μαζών με βάση τις παρατηρήσεις πεδίου, για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες (Hoek and Brown, 1980)². Ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας βασίζεται στην

¹ Σύμφωνα με Hoek (2000)

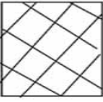
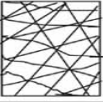
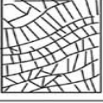

² Σύμφωνα με Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου (2006)

ταξινόμηση της δομής του πετρώματος όσον αφορά τους όγκους που σχηματίζονται εξαιτίας των διακλάσεων, καθώς και την επιφανειακή κατάσταση των ασυνεχειών. Οι τιμές του GSI δεν είναι ακριβείς για κάθε περίπτωση, είναι όμως ενδεικτικές και χρησιμοποιώντας (για λόγους ασφαλείας) την μικρότερη τιμή, δεν εισάγεται σημαντικό σφάλμα (Hoek, 1994; Chatziangelou et al., 2001 σύμφωνα με Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2006).

Ο δείκτης GSI, (Μαρίνος κ.ά., 2004) εισήχθη στο κριτήριο από τους Hoek et al, (1992) επεκτάθηκε ουσιαστικά για τις ασθενείς βραχομάζες από τους Hoek et al., (1998), Marinos and Hoek (2000) και για τον φλύσχη από τους Marinos and Hoek (2000)³. Ο δείκτης αυτός, εκτός από τη γεωτεχνική ταξινόμηση, εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού, ανάλογα με την ρωγμάτωση της βραχομάζας. Αποτελεί λοιπόν σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown και προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα του προσδιορισμού των πλέον αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των τεχνικών έργων σε περιβάλλον ρωγματομένων βράχων. Ο δείκτης GSI βασίζεται στην εκτίμηση της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών της βραχομάζας και επομένως αποτελεί ένα φιλικό, γεωλογικά, δείκτη, που μπορεί να εκτιμάται με ιδιαίτερη ευκολία.

Η διαδικασία της ταξινόμησης με το GSI βασίζεται σε έναν απλό εικονογραφημένο πίνακα (Σχήμα 4.1, 4.2) και έχει επιπλέον το πλεονέκτημα πως είναι «φιλική μέθοδος» για τον ενδιαφερόμενο που θα ασχοληθεί με τη γεωλογική χαρτογράφηση και την ταξινόμηση. Ο δείκτης GSI λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 100. Επίσης μπορεί να παράσχει τις παραμέτρους αντοχής m_b , s , a για το κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown (βλέπε Σχέση 4.1). Συνεκτιμά επιπλέον τους παράγοντες της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος (μέσω της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και της παραμέτρου m_i του πετρώματος) καθώς και της επί τόπου εντατικής κατάστασης για την εξαγωγή των παραμέτρων αντοχής τύπου Mohr-Coulomb, των παραμέτρων υποστήριξης, του μέτρου ελαστικότητας κ.α.. Ο δείκτης GSI φαίνεται να ταιριάζει πολύ καλά στα πετρώματα που απαντώνται στον Ελλαδικό χώρο. Η εύρεση του επιτυγχάνεται από τα Σχήματα 4.1, 4.2.

³ Σύμφωνα με Μαρίνο κ.α. (2004)

GSI		1	2	3	4	5
	A	80	70	60	50	40
	B	70	60	50	40	30
	C	60	50	40	30	20
	D	50	40	30	20	10
	E	N/A	N/A			5

Σχήμα 4.1: Αξιολόγηση δείκτη εδάφους GSI (Μαρίνος, 1979 σύμφωνα με Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2006).







Η δομή της βραχομάζας περιγράφεται καθέτως, ενώ το είδος των επιφανειών των ασυνεχειών περιγράφεται οριζοντίως. Τα σύμβολα που αναφέρονται στο σχήμα 4.1 περιγράφονται όπως παρακάτω.

1. Πολύ καλή ποιότητα: Μη αποσαθρωμένες επιφάνειες.
 2. Καλή ποιότητα: Τραχείες ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες. Εμφανείς κηλίδες οξείδωσης.
 3. Μέτρια ποιότητα: Ομαλές, μέτρια αποσαθρωμένες επιφάνειες.
 4. Πτωχή ποιότητα: Επιφάνειες με λεία τοιχώματα ή έντονα αποσαθρωμένες. Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών αποτελείται από γωνιώδη θραύσματα.
 5. Πολύ πτωχή ποιότητα: Επιφάνειες επικαλυμμένες με αργιλικό υλικό και λεία τοιχώματα, έντονα αποσαθρωμένες. Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών είναι αργιλικό.
- A. Τεμαχισμένη βραχομάζα: Μη διακοπτόμενη βραχομάζα αποτελούμενη από

κυβικούς όγκους βράχου που σχηματίζονται από τρεις ορθογωνικές ομάδες ασυνεχειών.

- B.** Πολύ τεμαχισμένη βραχομάζα: Μερικώς διακοπτόμενη βραχομάζα αποτελούμενη από πολλαπλά στρώματα γωνιωδών βραχωδών όγκων που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες ομάδες ασυνεχειών.
- C.** Κατακερματισμένη βραχομάζα: Ρηγματωμένη και πτυχωμένη βραχομάζα με γωνιώδεις βραχώδεις όγκους που σχηματίζονται από πλήθος ομάδων ασυνεχειών.
- D.** Εξαλλοιωμένη βραχομάζα: Τελείως κατεστραμμένη βραχομάζα με μίξη γωνιωδών και στρογγυλών βραχωδών κομματιών.
- E.** Φολιδωμένη/σχιστοποιημένη βραχομάζα: Λεπτά φολιδωμένη ή σχιστοποιημένη, τεκτονικά διατμημένα ασθενή πετρώματα. Η έντονη σχιστοποίηση υπερισχύει σε οποιαδήποτε άλλη ομάδα ασυνεχειών, έχοντας ως αποτέλεσμα την πλήρη έλλειψη τεμαχών.

Με το πέρασμα των χρόνων ο πίνακας GSI έχει τροποποιηθεί και η σημερινή του μορφή παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχομάζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι $GSI=35$. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχομάζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχομάζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>		<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p> <p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσβεσμένες επιφάνειες</p> <p>ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρώς αποσβεσμένες και οξείδωμένες επιφάνειες</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσβεσμένες και εξογκωμένες επιφάνειες</p> <p>ΠΤΩΧΗ Επιφανείες ολισθητής, πολύ αποσβεσμένες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με βράχια</p> <p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφανείες ολισθητής, πολύ αποσβεσμένες με μαλακό οργανικό υλικό πλήρωσης</p>				
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>  <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>  <p>VERY BLOCKY - Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>  <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Ερμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>  <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρογγυλωμένων τεμαχίων</p>  <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχομάζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδιζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΧΚΟ ΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ</p>	90				
		80				N/A
		70				
		60				
		50				
		40				
		30				
		20				
		10				
		N/A	N/A			

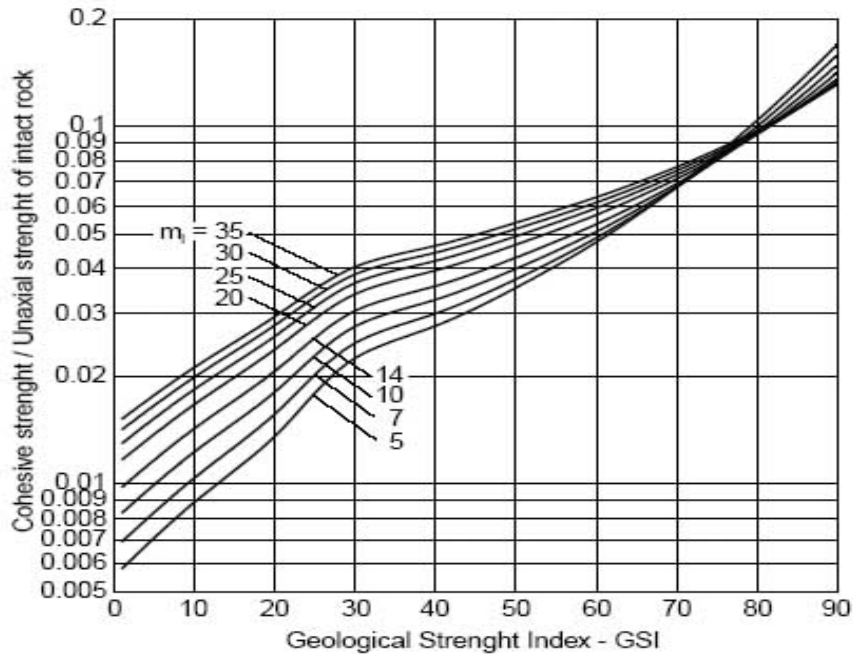
Σχήμα 4.2: Τροποποιημένο σύστημα ταξινόμησης GSI (Μαρίνος κ.α., 2000)

4.3 Εκτίμηση των τιμών c και ϕ της Βραχομάζας

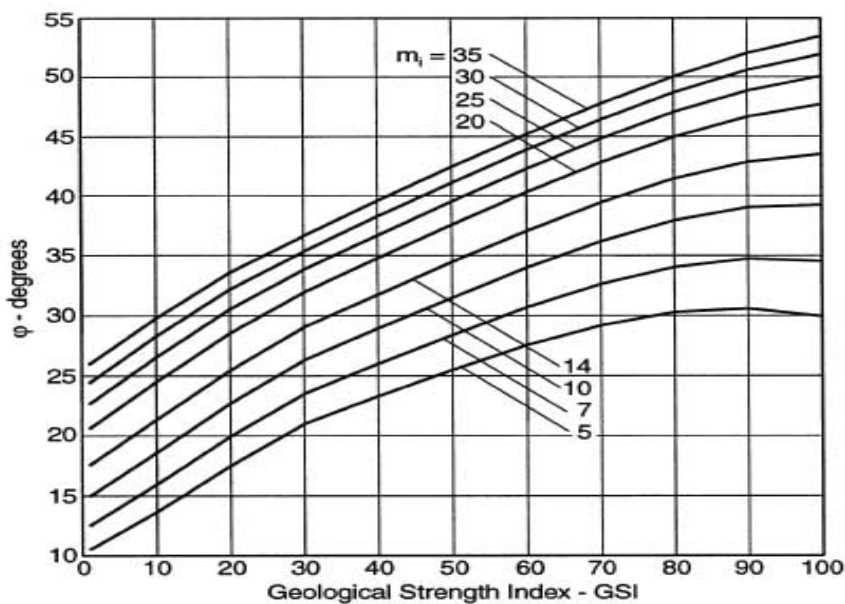
Ένας από τους τρόπους εκτίμησης των ισοδύναμων τιμών c και ϕ για τα πετρώματα είναι μέσω των Διαγραμμάτων 4.1 και 4.2 που προτείνουν οι Hoek et al. (1998) όπου γίνεται μια συσχέτιση των c και ϕ με τον δείκτη GSI καθώς και με σταθερές του πετρώματος τις οποίες χρησιμοποιεί το κριτήριο αστοχίας κατά Hoek & Brown (μονοαξονική αντοχή σ_{ci} , και σταθερά υλικού m_i)

Η **μονοαξονική αντοχή** σ_{ci} μπορεί να υπολογιστεί με εργαστηριακές δοκιμές μέσω του δείκτη σημειακής φόρτισης και με τη βοήθεια του Πίνακα 4.1 (Hoek et al.,

1998)⁴ ή με τη βοήθεια της σταθεράς του υλικού m_i , η οποία λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.2 (Hoek et al., 1998)⁴.



Διάγραμμα 4.1: Συσχέτιση GSI με την συνοχή c του υλικού (Hoek et al., 1998 κατά Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2006).



Διάγραμμα 4.2: Συσχέτιση GSI με την γωνία εσωτερικής τριβής ϕ του υλικού (Hoek et al., 1998 κατά Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2006).

⁴ κατά Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου (2006)

Πίνακας 4.1: Εκτίμηση της μονοαξονικής αντοχής ακεραίου πετρώματος στο πεδίο (Brown, 1980 σύμφωνα με Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2006).

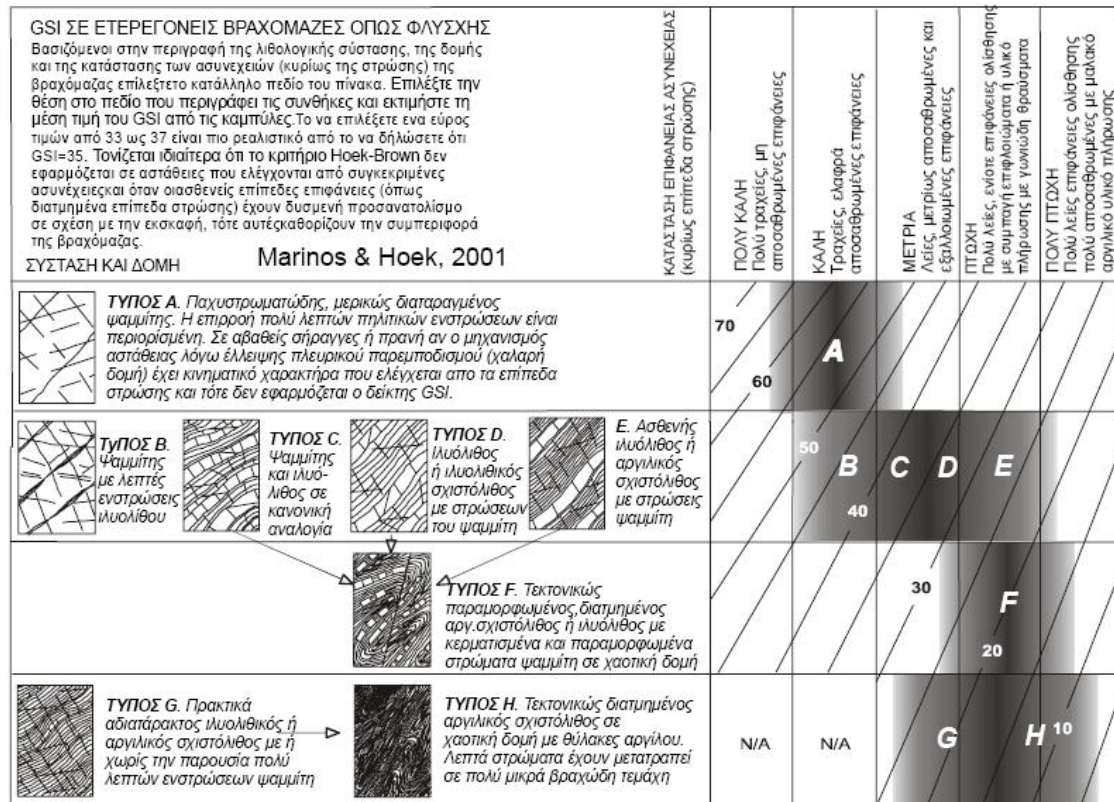
Χαρακτηρισμός	Μονοαξονική αντοχή (MPa)	Δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)	Εκτίμηση αντοχής στο πεδίο	Παραδείγματα
Εξαιρετικά σκληρό	>250	>10	Τα δείγματα μόνο επιφανειακά χαράσσονται με το γεωλογικό σφυρί	Υγής βασάλτης, διαβάσης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζίτης
Πολύ σκληρό	100-250	4-10	Χρειάζονται αρκετά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τα δείγματα	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιορίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ρυόλιθος, υφαιστειακός τόφος
Σκληρό	50-100	2-4	Χρειάζονται πολλά περισσότερα κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τα δείγματα	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, φυλλίτης, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
Μέσης σκληρότητας	25-50	1-2	Το δείγμα δεν μπορεί να απολεπιθεί με μαχαιρίδιο τσέπης, μπορεί όμως να σπάσει με μια σφυριά.	Αργιλικός σχηματισμός, ιλυόλιθος, λιγνίτης, σκυρόδεμα, αργιλικός σχιστόλιθος
Μαλακό	5-25		Μπορεί να απολεπιθεί, δύσκολα, με μαχαιρίδιο τσέπης. Σημάδι μικρού βάθους με σταθερό κτύπημα με την αιχμηρή πλευρά του γεωλογικού σφυριού	Κιμωλία, ορυκτό άλας
Πολύ μαλακό	1-5		Τσαλάκωμα, με σταθερό κτύπημα με το γεωλογικό σφυρί. Μπορεί να απολεπιθεί με μαχαιρίδιο τσέπης.	Πολύ αποσαθρωμένα και διαβρωμένα πετρώματα
Εξαιρετικά μαλακό	0.25-1		Χαράσσεται με τον αντίχειρα	Βαθύ αυλάκι με σκαρπέλο

Πίνακας 4.2 Τιμές σταθεράς m_i αμέραιου πετρώματος κατά κατηγορία πετρωμάτων. Οι τιμές σε παρένθεση είναι εκτιμήσεις. (Hoek et. al., 1998 κατά Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2006).

Πετρολογικός τύπος	Κατηγορία	Ομάδα	Υφή			
				Αδρόκοκκα	Μεσόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Ιζηματογενή	Κλαστικά		Κροκαλοπαγή (22)	Ψαμμίτες 19 Γραουβάκης (18)	Ιλιόλιθος 19	Πολύ λεπτόκοκκα Συνεκτική άργιλος 4
	Μη κλαστικά οργανικά			Κιμωλία 7 Ανθρακας (8-21)		
	Ανθρακικά		Τεκτονικό λατυποπαγές (20)	Σπαρτικός ασβεστόλιθος (10)	Μικριτικός ασβεστόλιθος 8	
	Χημικά			Γύψος 16	Ανυδρίτης 13	
Μεταμορφωμένα	Μη φυλλόμορφα		Μάρμαρο 9	Κερατόλιθος (19)	Χαλαζίτης 24	
	Ελαφρά φυλλόμορφα		Μιγματίτης (30)	Αμφιβολίτης 25-31	Μυλονίτης (6)	
	Φυλλόμορφα		Γνεύσιος 33	Σχιστόλιθος 4-8	Ρυόλιθος (10)	Αργιλ.σχιστ 9
Πυρηγενή	Ανοιχτόχρωμα		Γρανίτης 33		Ρυόλιθος (16)	Οψιδιανός(19)
			Γρανодиוריτης (30)		Δακίτης (17)	
			Διορίτης (28)		Ανδεσίτης (19)	
	Σκουρόχρωμα		Γάββρος 27	Δολερίτης (19)	Βασάλτης (17)	
	Πυροκλαστικοί τύποι		Λατυποπαγές (20)	Τεκτ. Λατυποπ. (18)	Ηφ. Τόφος (15)	

Τέλος για την περίπτωση ετερογενών βραχομαζών όπως ο φλύσχης υιοθετείται διαφορετικός πίνακας GSI, τροποποιημένος κατάλληλα για τις συγκεκριμένες βραχομάζες (Σχήμα 4.3).

4 Αξιολόγηση ημίβραχου και ταξινόμηση του



Σχήμα 4.3: Εύρεση δείκτη GSI για ετερογενείς βραχομάζες όπως ο φλύσχος (Μαρίνος, 2004).

4.4 Περιορισμοί στην Εφαρμογή του Δείκτη GSI

Με βάση την εμπειρία της μέχρι σήμερα εφαρμογής του προέκυψαν συστάσεις και ορισμένοι περιορισμοί στην χρήση του δείκτη (Μαρίνος κ.ά., 2004).

Γεωλογική Περιγραφή: Συνιστάται η χρήση του Σχήματος 4.2 να μη περιορίζεται στα εικονίδια αλλά να διαβάζονται οι περιγραφές και να αναζητείται αυτή που ταιριάζει περισσότερο. Αυτή μπορεί να βρίσκεται και ανάμεσα στα διατυπωμένα εικονίδια.

Ανισοτροπία: Το κριτήριο Hoek & Brown (όπως και ανάλογα κριτήρια) προϋποθέτει ότι η βραχομάζα συμπεριφέρεται ισοτροπικά, και δεν υπάρχουν προτιμητέες διευθύνσεις αστοχίας. Αναλόγως λοιπόν περιορίζεται και η χρήση του GSI. Μπορεί όμως να εφαρμοσθεί με παραδεκτή ανοχή και σε ανισότροπα μέσα αν η αστοχία δεν ελέγχεται από την ανισοτροπία. Τέλος, το δίλημμα ισότροπη ή όχι πρακτικώς δεν τίθεται στις βραχομάζες με δομή σαν αυτή της 6^{ης} (τελευταίας) σειράς του διαγράμματος GSI (Σχήμα 4.2), επειδή εκεί, η διαφορά της αντοχής μεταξύ θεμελιώδους μάζας και ασυνέχειας είναι μικρή.

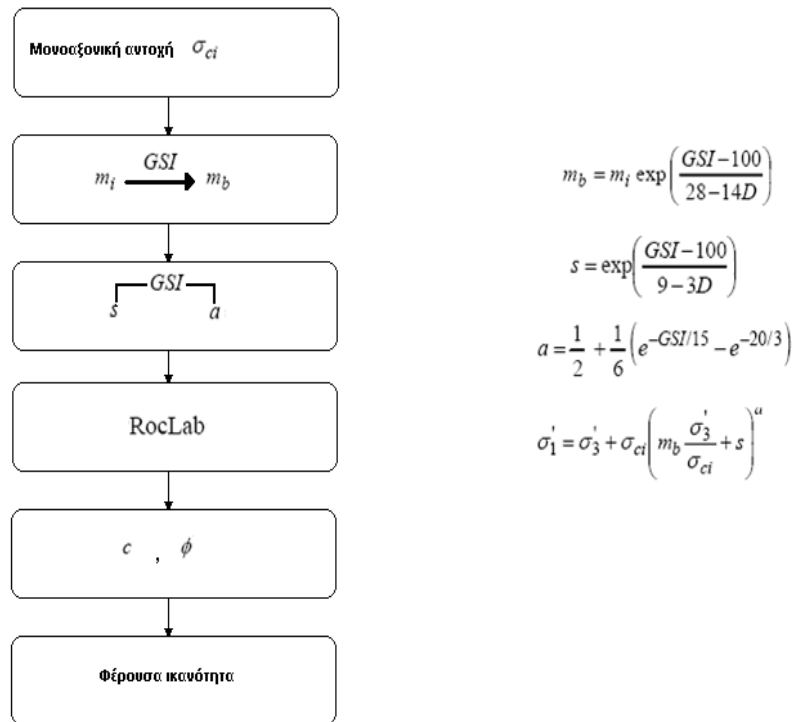
4.5 Προτεινόμενη Μεθοδολογία Εκτίμησης Συνοχής και Γωνίας Εσωτερικής Τριβής Ημίβραχου

Επειδή υπάρχουν συγκεκριμένες εξισώσεις που μπορούν να δώσουν τις ιδιότητες του ημίβραχου (γωνία εσωτερικής τριβής και συνοχή) με βάση τις οποίες να μπορεί να προκύψει η φέρουσα ικανότητα και ο δείκτης εδάφους, δεδομένου ότι οι συνήθεις εξισώσεις υπολογισμού αναφέρονται είτε σε έδαφος είτε σε βράχο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κριτήριο Hoek & Brown και η ταξινόμηση κατά GSI προκειμένου να προκύψουν ‘ισοδύναμες τιμές’ c και φ του ημίβραχου με την θεώρηση ότι ένας τέτοιος σχηματισμός όπως ο ημίβραχος αφορά στην ουσία ένα εξαιρετικά αποσαθρωμένο πέτρωμα.

Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης των παραμέτρων αυτών από πειραματικά δεδομένα και συγκεκριμένα από την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ενός ακεραίου τεμάχους μαργαϊκού ψαμμίτη (βλέπε Ενότητα 5.3.4) ο οποίος εμπεριέχεται στον υπό μελέτη ημίβραχο. Στην συνέχεια, με βάση το ακέραιο αυτό υλικό θεωρούνται τιμές της σταθεράς m_i κατά Hoek & Brown (βλέπε Σχέση 4.1) η οποία απομειώνεται μέσω του συντελεστή GSI σε m_b (βλέπε Ενότητα 4.1). Οι σταθερές s και a του πετρώματος προκύπτουν από το GSI (Hoek and Brown, 2002) (βλέπε Σχήμα 4.4).

Τέλος επιχειρείται μια συσχέτιση του κριτηρίου Hoek & Brown με το κριτήριο Mohr-Coulomb (το οποίο είναι ένα κριτήριο που κατεξοχήν περιγράφει διατμητικές καταπονήσεις και διατμητικές αστοχίες σε εδαφικούς σχηματισμούς). Η συσχέτιση αυτή γίνεται μέσω του λογισμικού Roclab (βλέπε Ενότητα 6.1) το οποίο έχει την δυνατότητα να σχεδιάζει ταυτόχρονα, επάνω στο ίδιο διάγραμμα, το κριτήριο Hoek & Brown και το ισοδύναμο κριτήριο Mohr-Coulomb όπως αυτά υπολογίζονται από το πρόγραμμα. Ταυτίζοντας, μέσω παραμετρικής ανάλυσης, τις δυο αυτές καμπύλες των κριτηρίων αστοχίας μπορούν να προκύψουν ισοδύναμες τιμές c και φ οι οποίες θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν τις τιμές του ημίβραχου ο οποίος περιγράφει παραπάνω.

Στη συνέχεια οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εξίσωση της εκτίμησης φέρουσας ικανότητας κατά Terzaghi (βλέπε Ενότητα 2.4), ή και άλλες για να υπολογιστεί η φέρουσα ικανότητα του ημίβραχου.



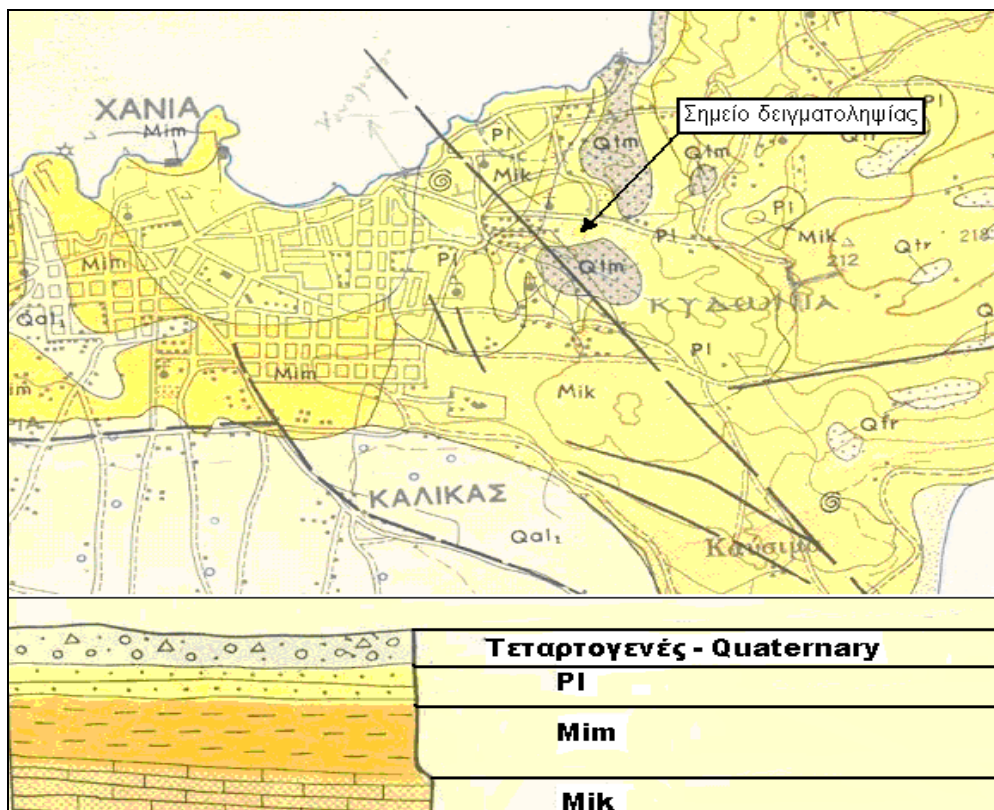
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ροής εργασίας για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του ημίβραχου. D= disturbance factor όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίσο με μηδέν.

5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

5.1 Πεδίο Έρευνας

Η υπό μελέτη θέση βρίσκεται στην περιοχή Χαλέπα της πόλης των Χανίων. Η περιοχή καλύπτεται από Τεταρτογενείς σχηματισμούς (θαλάσσιες αναβαθμίδες) (Q) που υπέρκεινται μαργαϊκών ψαμμιτών του Πλειόκαινου (Pl). Το υπόβαθρο, όπως προκύπτει από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (εικόνα 5.1), αποτελείται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους (Mik) του Μειόκαινου. Η τεκτονική φαίνεται να μην επηρεάζει το πεδίο εφαρμογής.

Στην Εικόνα 5.1 παρατίθεται ο γεωλογικός χάρτης με τη στρωματογραφική στήλη της περιοχής και το σημείο δειγματοληψίας.



Εικόνα 5.1: Η ευρύτερη περιοχή, η περιοχή δειγματοληψίας και η αντίστοιχη στρωματογραφική στήλη
Qtm = Τεταρτογενές, Pl = Πλειόκαινο(μαργαϊκός ψαμμίτης), Mim =Μειόκαινο(μάργες),
Mik =Μειόκαινο(μαργαϊκός ασβεστόλιθος).


5 Πεδίο εφαρμογής – διερεύνηση γεωτεχνικών παραμέτρων του υπό μελέτη ορίζοντα

Τα δεδομένα από δυο γεωτεχνικές γεωτρήσεις (Σχήματα 5.1 και 5.2) που έχουν εκτελεστεί στην υπό μελέτη περιοχή, έδωσαν τη δυνατότητα καθορισμού της γεωλογικής δομής, στη συγκεκριμένη θέση με μεγαλύτερη ακρίβεια και τον καθορισμό των δυο στρωματογραφικών οριζόντων μέχρι το βάθος ενδιαφέροντος.

1. ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ:		Γ - 1		10. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟΥ:		BOYLES BBS 17A					
4. ΟΛΙΚΟ ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m):		20,20		11. ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ (m):		ΟΧΙ					
2. ΟΝΟΜΑ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΙΣΤΗ:				12. ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΕΝΑΡΞΗ	ΛΗΞΗ				
3. ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ: ΚΑΤΑΚΟΡ. <input checked="" type="checkbox"/> ΚΕΚΛΙΜ. <input checked="" type="checkbox"/> ΑΠΟΚΛ. ΑΠΟ ΚΑΤΑΚ. <input type="checkbox"/> 0°				ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ:		29/1/2003	30/1/2003				
5. ΜΕΓΕΘΟΣ & ΤΥΠΟΣ ΚΟΡΩΝΑΣ:		T - 101 (W)		13. ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ :		+8,50					
ΒΑΘΟΣ m	ΔΙΟΒΟΛΟΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ		ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡ. ΣΤΑΘΜΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΔΕΓΜΑΤΩΝ	ΠΤΗ	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ	N _{SPT}	TCR %	RQD %	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ Είδος Δεγματοληψίας Βάθος
0,00		Ερυθρού - καστανού χρώματος άργιλος, λ - άμμος, φυτικές γαίες.									Φ 0,00-1,00
1,00											Φ 1,00-1,60
2,00		Καστανού χρώματος αμμώδης ΙΛΥΣ με χαλίκια ψαμμικής σύστασης, απολιθώματα, σκληρή.		104/113			100				SPT 1,60-1,84
3,00		(ML)									Φ 1,84-2,30 Φ 2,30-2,70
4,00		Καστανού χρώματος αμμώδης ΙΛΥΣ, σκληρή.									Φ 2,70-3,20
5,00		1ος στρωματογραφικός ορίζοντας (ML)					100				Φ 3,20-3,70 SPT 3,70-4,06 Φ 4,06-4,30
6,00		Ανοιχτού καστανού χρώματος μαργαϊκός ΨΑΜΜΙΤΗΣ ελαφρώς αποσθρωμένος, κερματισμένος έως κατακερματισμένος.						45	30	Δ	Φ 4,30-5,00 Φ 5,00-5,40 5,40-6,50
7,00		2ος στρωματογραφικός ορίζοντας (WS)									
8,00											
9,00								60	---	Δ	6,50-9,10
10,00		Ανοιχτού καστανού χρώματος μαργαϊκός ΨΑΜΜΙΤΗΣ ισχυρά αποσθρωμένος, χαλαρά έως μέτρια συνδεδεμένος.						100	---	Δ	9,10-10,10
11,00		(WH)									
12,00								85	0	Δ	10,10-12,10
13,00		Ανοιχτού καστανού χρώματος μαργαϊκός ΨΑΜΜΙΤΗΣ με τεμάχια απολιθωματοφόρου μαργαϊκού ασβεστολίθου θαλάσσια απολιθώματα, ισχυρά αποσθρωμένος, χαλαρά έως μέτρια συνδεδεμένος.						90	30	Δ	12,10-13,90
14,00		(WH)									
15,00											

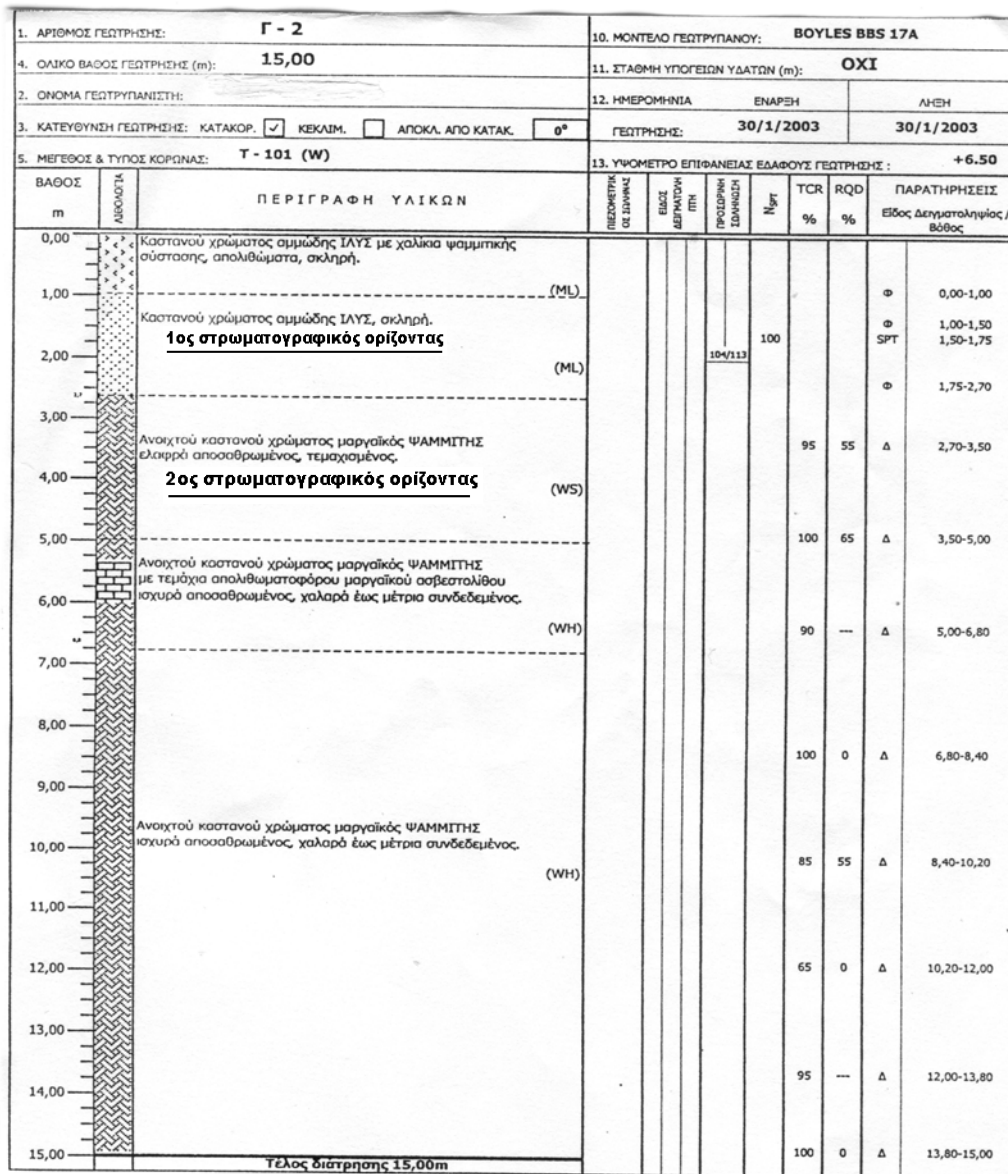
Σχήμα 5.1: Γεώτρηση Γ-1.

5 Πεδίο εφαρμογής – διερεύνηση γεωτεχνικών παραμέτρων του υπό μελέτη ορίζοντα

1. ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ: Γ - 1			10. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟΥ: BOYLES BBS 17A								
4. ΟΛΙΚΟ ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m): 20,20			11. ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ (m): ΟΧΙ								
2. ΟΝΟΜΑ ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΙΣΤΗ:			12. ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΝΑΡΞΗ		ΛΗΞΗ						
3. ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ: ΚΑΤΑΚΟΡ. <input checked="" type="checkbox"/> ΚΕΚΛΙΜ. <input checked="" type="checkbox"/> ΑΠΟΚΛ. ΑΠΟ ΚΑΤΑΚ. <input type="checkbox"/> 0°			ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ: 29/1/2003		30/1/2003						
5. ΜΕΓΕΘΟΣ & ΤΥΠΟΣ ΚΟΡΩΝΑΣ: T - 101 (W)			13. ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ : +8,50								
ΒΑΘΟΣ m	ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ	ΠΙΕΣΜΕΤΡΙΚ ΟΙ ΣΩΛΗΝΑΣ	ΕΙΔΟΣ ΔΕΓΜΑΤΩΝ	ΠΤΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΣΩΛΗΝΙΣΗΣ	N ₆₀	TCR %	RQD %	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ Είδος Δεγματοληψίας Βάθος	
16,00		Ανοιχτού καστανού χρώματος μαργαϊκός ΨΑΜΜΙΤΗΣ ισχυρά αποσπασθρμένος, χαλαρά έως μέτρια συνδεδεμένος. (WH)						85	—	Δ	13,90-15,70
17,00								70	—	Δ	15,70-17,30
19,00								70	40	Δ	17,30-19,00
20,00								50	0	Δ	19,00-20,20
Τέλος διάτρησης 20,20 m.											
21,00											
22,00											
23,00											
24,00											
25,00											
26,00											
27,00											
28,00											
29,00											
30,00											

Σχήμα 5.2: Γεώτρηση Γ-1 συνέχεια.

5 Πεδίο εφαρμογής – διερεύνηση γεωτεχνικών παραμέτρων του υπό μελέτη ορίζοντα



Σχήμα 5.3: Γεώτρηση Γ-2.

Με βάση τα αποτελέσματα της γεωτρητικής έρευνας οροθετήθηκαν στη θέση ενδιαφέροντος, εκτός από το επιφανειακό στρώμα φυτικής γης, δυο στρωματογραφικοί ορίζοντες.

Ο 1^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας αποτελείται από καστανού χρώματος αμμώδη ιλύ, σκληρή και έχει πάχος 1.5 - 2 m. Ο δεύτερος στρωματογραφικός ορίζοντας αφορά τον ανοικτού καστανού χρώματος μαργαϊκό ψαμμίτη ο οποίος είναι ελαφρά

αποσαθρωμένος και τεμαχισμένος. Έχει πάχος 3 – 4 m και φτάνει μέχρι βάθος 7-8 m από την επιφάνεια του εδάφους.

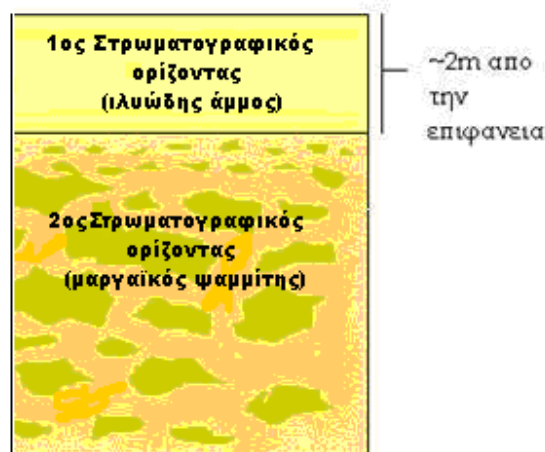
Δεδομένου ότι οι εκσκαφές για τη θεμελίωση των κτιρίων στην περιοχή αφαιρούν το επιφανειακό στρώμα του τεταρτογενούς (σχήμα 5.1, 5.3) το γεωτεχνικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον στρωματογραφικό ορίζοντα της καστανού χρώματος αμμώδους ιλύος (1^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας) και στον υποκείμενο μαργαϊκό ψαμμίτη (2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας).

Το στρώμα το οποίο επικεντρώθηκε η έρευνα αφορά τον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα. Είναι ο ανοικτού καστανού χρώματος ψαμμίτης ο οποίος φαίνεται στα αποτελέσματα των γεωτρήσεων. Αναφέρεται ότι είναι κατακερματισμένος και αποσαθρωμένος.

Τα αποτελέσματα των πρότυπων δοκιμών διεύθυνσης που έγιναν στην καστανού χρώματος αμμώδη ιλύ (1^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας, N=100) δίνουν τις εξής τιμές ϕ , c_u και επιτρεπόμενης τάσης: $>40^\circ$, 608 kPa και 834 kPa. Οι τιμές αυτές προέκυψαν με βάση τα αντίστοιχα διαγράμματα (Χρηστάρας, 2002). Αποτελέσματα προτύπου δοκιμής διεύθυνσης για τον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα δεν υπάρχουν.

5.2 Δειγματοληψία

Η θέση από την οποία πάρθηκαν τα δείγματα παρουσιάζει την στρωμάτωση που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.2:



Εικόνα 5.2: Στρωματογραφικός ορίζοντας στη θέση δειγματοληψίας

Τα δείγματα πάρθηκαν από μια εκσκαφή της περιοχής της οποίας η βάση βρίσκεται στον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα. Το πρώτο στρώμα της εικόνας 5.2 (μελετώντας από τα ανώτερα προς τα κατώτερα) πρόκειται για ένα ιλυοαμμώδες υποκίτρινο πέτρωμα με ελάχιστες ψαμμιτικές κροκάλες (1^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας) και διακρίνεται από έλλειψη πλαστικότητας και εύκολο θρυμματισμό (καθώς αποξύνεται χωρίς δυσκολία με το γεωλογικό σφυρί). Η δοκιμή πτερυγίου (εικόνα 5.3) στο εδαφικό υλικό του 1^{ου} στρωματογραφικού ορίζοντα έδωσε τιμή διατμητικής αντοχής ίση με 129 kPa.



Εικόνα 5.3: Πρότυπο hand held vane test.

Το δεύτερο στρώμα αρχίζει περίπου στα 2 μέτρα από την επιφάνεια, το χρώμα του είναι ελαφρώς πιο σκούρο από το υπερκείμενό του και πρόκειται για εδαφικό υλικό, ανάλογο του υπερκείμενου στρωματογραφικού ορίζοντα, με παρεμβολές μαργαϊκού ψαμμίτη, γεγονός το οποίο παρατηρείται και στις γεωτρήσεις. Όσον αφορά τη στρωμάτωση της περιοχής, το 2^ο στρώμα είναι μαργαϊκός ψαμμίτης με εγκλείσματα θαλάσσιων απολιθωμάτων). Από την επί τόπου παρατήρηση διακρίνεται μια σταδιακή μετάβαση από το 1^ο στο 2^ο, με τον μαργαϊκό ψαμμίτη να παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή από το

υπερκείμενό του στρώμα. Επίσης παρουσιάζει δυσκολία στην εσκαψιμότητα. Γενικότερα το πέτρωμα παρουσίαζε στοιχεία αποσάθρωσης, και απολιθώματα του νεογενούς. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην θεμελιώδη μάζα του ενώ συμπαγή ψαμμιτικά τεμάχια που είχαν προκύψει με την εκσκαφή, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της αντοχής του σχηματισμού, θεωρώντας και την συμμετοχή τους στο σύνολο της μάζας.

Χρησιμοποιήθηκαν δυο δειγματολήπτες διαστάσεων 45cm μήκους και 10cm διαμέτρου με τους οποίους πήραμε τα αδιατάρακτα δείγματα. Οι δειγματολήπτες τοποθετήθηκαν στο δάπεδο της εκσκαφής και με την βοήθεια ειδικού σφυριού ελήφθησαν δυο δείγματα, τα οποία στην συνέχεια καλύφθηκαν με ζελατίνα προς αποφυγή αλλαγής της εδαφικής τους υγρασίας. Τα διαταραγμένα δείγματα ελήφθησαν από τα τρίματα που δημιουργήθηκαν κατά τη λήψη των αδιατάρακτων δειγμάτων, και τοποθετήθηκαν σε δειγματοληπτικές σακούλες.

Επίσης πάρθηκαν δυο μεγάλοι όγκοι μαργαϊκού ψαμμίτη μήκους περίπου 50 cm και πλάτους 20 cm έκαστος για την δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Όλα τα δείγματα ανήκουν στον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα και αφορούν τον μαργαϊκό ψαμμίτη καθόσον στον ορίζοντα αυτό γίνεται η θεμελίωση των κτιρίων της περιοχής.

5.3 Εργαστηριακές Δοκιμές

Οι εργαστηριακές δοκιμές, που πραγματοποιήθηκαν αφορούν:

- 1) Δοκιμή εύρεσης κοκκομετρίας με υγρή κοσκίνιση – Δοκιμή εύρεσης κοκκομετρίας με αραιόμετρο για κοκκομετρία <No 200
- 2) Δοκιμή εύρεσης ορίων Atterberg (πλαστικότητα – υδαρότητας)
- 3) Δοκιμή άμεσης διάτμησης αδιατάρακτου δείγματος
- 4) Δοκιμή άμεσης διάτμησης κορεσμένου (σε νερό) δείγματος
- 5) Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης στα ψαμμιτικά τεμάχια

5.3.1 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική διαβάθμιση ενός εδαφικού δείγματος αποτελεί μέθοδο ταυτοποίησης και ταυτόχρονα ταξινόμησης του εδαφικού υλικού. Στο εργαστήριο γίνεται με τις εξής μεθόδους:

- α) τη μηχανική μέθοδο (χρήση κόσκινων) - για εδάφη με κόκκους >0.075 mm,
- β) την υδρομετρική μέθοδο (καθίζηση σε υγρό περιβάλλον) - για εδάφη με κόκκους

που διέρχονται από το κόσκινο No 200 ($<0.075\text{mm}$) και μέχρι διαμέτρου 0.001mm περίπου.

5.3.1.1 Διαδικασία πειράματος

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μηχανική μέθοδο (κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα). Η μέθοδος αφορά στον προσδιορισμό της κατανομής του μεγέθους των κόκκων σε λεπτόκοκκα ή χονδρόκοκκα εδάφη με τη χρησιμοποίηση κόσκινων τετραγωνικών ή κυκλικών οπών. Ξηρό δείγμα εδάφους κοσκινίζεται μέσα από μια σειρά κόσκινων και καταγράφεται το βάρος που συγκρατείται ή διέρχεται από κάθε κόσκινο.

Στην περίπτωση των δειγμάτων που εξετάστηκαν, χρησιμοποιήθηκε υγρή κοσκίνιση λόγω της συνεκτικότητας του υλικού και της υψηλής περιεκτικότητας σε λεπτομερή. Τα δείγματα αποτελούν τα τρίματα που προέκυψαν κατά τη λήψη των αδιατάρακτων δειγμάτων και εντάσσονται στον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα.

Λήφθηκε ποσότητα (περίπου 500 g) αντιπροσωπευτικού δείγματος ξηρού εδάφους. Η ποσότητα ζυγίστηκε και διήλθε από μία σειρά κόσκινων που ήταν διαβαθμισμένα από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα μεγέθη σε μέγεθος βρογχίδος. Η σειρά που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εξής (πίνακας 5.1):

Πίνακας 5.1: Ταξινόμηση κόσκινων.

ΚΟΣΚΙΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	
Αριθμ. Κοσκίνου	Άνοιγμα οπής
6	3.55 mm
10	2.00 mm
40	425 μm
60	250 μm
100	150 μm
140	106 μm
200	75 μm

Τελευταίο τοποθετείται πάντα το κόσκινο No 200 (0.075 mm) και κάτω απ' αυτό ο συλλέκτης του κλάσματος που διέρχεται από το κόσκινο αυτό. Το υλικό που καταλήγει

στον συλλέκτη κρατείται για κοκκομετρική ανάλυση με χρήση υδρομέτρου.

Κατά την ανάλυση ποσότητα 40 g (W_d) του υλικού τοποθετείται σε ογκομετρικό κύλινδρο 1000 ml μαζί με απιονισμένο νερό και αντικροκιδωτικό. Κατά τη διάρκεια της καθίζησης των εδαφικών κόκκων και ανά τακτά χρονικά διαστήματα προσδιορίζεται η μάζα των εδαφικών κόκκων που βρίσκονται στο διάλυμα εν αιωρήσει. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιείται το υδρόμετρο το οποίο επιπλέει στο διάλυμα με ένα τμήμα του βυθισμένο σε αυτό. Όσο συνεχίζεται η καθίζηση η πυκνότητα του άνω μέρους του διαλύματος μειώνεται και το υδρόμετρο κατέρχεται τείνοντας να βυθιστεί πλήρως. Το υδρόμετρο είναι κατάλληλα βαθμονομημένο προκειμένου να επιτρέπει την καταγραφή της μάζας των αιρουμένων εδαφικών κόκκων.

Η ένδειξη R του υδρομέτρου αφορά μάζα (g) εδαφικών κόκκων που βρίσκονται εν αιωρήσει στα 1000 ml και συνδέεται με την ολική πυκνότητα του διαλύματος, ρ (g/cm^3), με τη σχέση 5.1:

$$R = (\rho - 1) \cdot 1000 \quad (5.1)$$

Η μονάδα αντιπροσωπεύει την πυκνότητα του απιονισμένου νερού (διαλύτης). Σύμφωνα με τα παραπάνω το ποσοστό w_d (%) των εδαφικών κόκκων που βρίσκονται εν αιωρήσει στο διάλυμα υπολογίζεται από τη σχέση 5.2:

$$w_d = \frac{R \cdot 100}{W_d} \quad (5.2)$$

Όπου W_d μάζα (g) του ξηρού δείγματος που συμμετέχει στο διάλυμα. Ο νόμος του Stokes δίνει την ταχύτητα καθίζησης των κόκκων (σχέση 5.3):

$$u = d^2 \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{1800 \cdot \eta} \quad (5.3)$$

όπου:

u ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών κόκκων (cm/sec)

d διάμετρος των εδαφικών κόκκων (mm)

ρ_s πυκνότητα των εδαφικών κόκκων (g/cm^3)

ρ_f πυκνότητα του απιονισμένου νερού (g/cm^3)

η ιξώδες ρευστού ($\text{g} \cdot \text{sec/cm}^2$)

Θεωρώντας γραμμική ταχύτητα καθίζησης, θα ισχύει $u = H_r/t$ όπου H_r η απόσταση από το κέντρο βάρους του υδρομέτρου μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του διαλύματος και

t ο χρόνος (sec). Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει η διάμετρος των κόκκων (σχέση 5.4) (Κλειδοπούλου και Βαβαδάκης, 2005).

$$d = \left(\frac{1800 \cdot \eta}{\rho_s - \rho_F} \cdot \frac{H_r}{t} \right)^{1/2} \quad (5.4)$$

Τα αποτελέσματα της υδρομετρικής μεθόδου παρατίθενται στον πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα υδρομέτρου.

t	R ₀	T	η	C _T	R _I	H _r	R	D	w _d	w
(min)	(g)	(°C)	(g*sec/cm ²)	(g)	(g)	(cm)	(g)	(mm)	(%)	(%)
1	37	19,5	1,04E-05	1,695	37,5	10,31475	31,275	0,0435	77,251	19,313
2	34	19,5	1,04E-05	1,695	34,5	10,74285	28,275	0,0314	69,841	17,460
4	30	19,5	1,04E-05	1,695	30,5	11,31365	24,275	0,0228	59,961	14,990
8	27	19,4	1,04E-05	1,664	27,5	11,74175	21,244	0,0164	52,474	13,118
15	24	19,4	1,04E-05	1,664	24,5	12,16985	18,244	0,0122	45,064	11,266
30	22	19,4	1,04E-05	1,664	22,5	12,45525	16,244	0,0087	40,124	10,031
60	19	19,5	1,04E-05	1,695	19,5	12,88335	13,275	0,0063	32,790	8,198
120	16	19,5	1,04E-05	1,695	16,5	13,31145	10,275	0,0045	25,380	6,345
240	14	19,9	1,03E-05	1,819	14,5	13,59685	8,399	0,0032	20,746	5,187
1478	10	20,1	1,03E-05	1,881	10,5	14,16765	4,461	0,0013	11,019	2,755
1887	9	20,7	1,01E-05	2,067	9,5	14,31035	3,647	0,0012	9,008	2,252

όπου:

t ο χρόνος μέτρησης,

R_0 η ένδειξη υδρομέτρου (αρχική, χωρίς διορθώσεις),

η το ιξώδες,

C_T η διόρθωση θερμοκρασίας,

R_I ένδειξη υδρομέτρου + διόρθωση μηνίσκου (0.5 g),

H_r απόσταση από το κέντρο βάρους του αραιομέτρου μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του διαλύματος,

R διορθωμένη μέτρηση αραιόμετρου (με όλες τις διορθώσεις),

D διάμετρος κόκκων,

w_d ποσοστά % κόκκων εν αιωρήσει στο υδρόμετρο,

w ποσοστά % διερχόμενων (αιωρούμενων) κόκκων στο δείγμα.

Στη συνέχεια, ζυγίστηκε το κλάσμα που συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο αφού πρότινος ξηράθηκαν (τα κοσκινά με το υλικό) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος υπολογίστηκε το ποσοστό (%) που συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο διαιρώντας το βάρος

α που συγκρατήθηκε στο κόσκινο με το αρχικό βάρος του δείγματος καθώς και το ποσοστό (%) που διήλθε από κάθε κόσκινο, αφαιρώντας από το διερχόμενο ποσοστό (%) του προηγούμενου κόσκινου, το ποσοστό που συγκρατήθηκε στο αναφερόμενο κόσκινο και σχεδιάστηκε η κοκκομετρική καμπύλη σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (διάγραμμα 5.1) όπως περιγράφεται παρακάτω.

5.3.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων - σχεδίαση κοκκομετρικής καμπύλης

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης παραστάθηκαν με βάση τα ολικά ποσοστά (%) διερχόμενων από κάθε κόσκινο (διάγραμμα 5.1).

Η κοκκομετρική καμπύλη σχεδιάστηκε σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα όπου τα ολικά (αθροιστικά) ποσοστά % διερχομένων απεικονίζονται στον κατακόρυφο άξονα και το μέγεθος των εδαφικών κόκκων στον λογαριθμικό άξονα των τετμημένων.

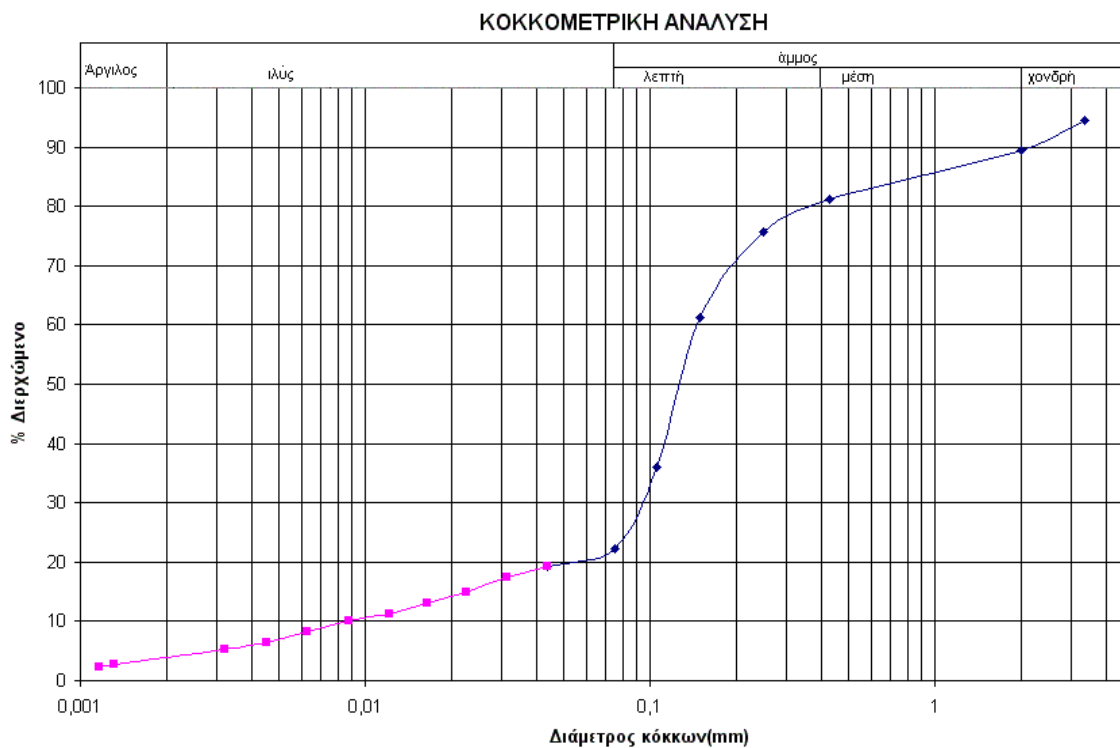
Καμπύλη με ισχυρή κλίση υποδεικνύει ομοιόμορφο έδαφος με κόκκους περίπου του ίδιου μεγέθους. Όταν η καμπύλη έχει ήπια κλίση αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ευρεία σειρά μεγέθους κόκκων και το έδαφος είναι καλά διαβαθμισμένο.

Σε περίπτωση που η καμπύλη εμφανίζει τμήματα διαφορετικής καμπυλότητας τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται σαν μείγμα δύο ή περισσότερων ομοιόμορφων γεωυλικών (Στειακάκης, 2004). Το υπό μελέτη εδαφικό υλικό παρουσιάζει τμήματα διαφορετικής καμπυλότητας επομένως μπορεί να χαρακτηριστεί ως μείγμα ομοιομόρφων γεωυλικών.

Γενικότερη έκφραση της διαβάθμισης των εδαφών αποτελεί το ενεργό μέγεθος και ο συντέλεσης ομοιομορφίας. Το ενεργό μέγεθος των κόκκων (d_{10}), ορίζεται σαν η μέγιστη διάμετρος των μικρότερων από 10 % κατά βάρος εδαφικών κόκκων και το μέγεθος της συνδέεται με την διαπερατότητα του εδάφους. Ο λόγος της μέγιστης διαμέτρου των μικρότερων από 60% κατά βάρος εδαφικών κόκκων (d_{60}) προς το ενεργό μέγεθος (d_{10}) καλείται συντελεστής ομοιομορφίας. Οι παραπάνω όροι είναι αυθαίρετοι και εκφράζουν χαρακτηριστικά διαβάθμισης του γεωυλικού.

Μικρή τιμή του ενεργού μεγέθους (d_{10}) υποδεικνύει ότι το έδαφος περιέχει σημαντικό ποσοστό λεπτών κόκκων. Μεγάλη τιμή του συντελεστή ομοιομορφίας υποδεικνύει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά κατανεμημένα από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο μέγεθος και υποδεικνύει το μέγιστο μέγεθος των κόκκων. Εδάφη που έχουν τιμές συντελεστή ομοιομορφίας μικρότερες του 4 ή 5 καλούνται ομοιόμορφα ενώ τα εδάφη με τιμές μεγαλύτερες του 10 χαρακτηρίζονται σαν καλά διαβαθμισμένα.

Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρείται ότι το έδαφος περιέχει περίπου 4-5% άργιλο, 16% ιλύς και το υπόλοιπο 75% είναι άμμος από την οποία το 75% είναι λεπτόκοκκη, το 16% μέση και 8% χονδρή. Το υπόλοιπο 2% ανήκει στην κατηγορία των χάλικων. Επομένως το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιλυώδης άμμος (SM) λόγω του μεγάλου ποσοστού του σε αυτή σύμφωνα με το ενοποιημένο σύστημα ταξινόμησης εδαφών (USCS).



Διάγραμμα 5.1: Κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού δείγματος του 2^{ου} στρωματογραφικού ορίζοντα.



Εικόνα 5.4: Κόσκινα διαφορετικών διαμέτρων οπών που χρησιμοποιήθηκαν για την κοκκομετρική ανάλυση.

5.3.1.3 Σχέση κοκκομετρικής καμπύλης και αντοχής εδαφών

Στα χονδρόκοκκα μη συνεκτικά εδάφη (π.χ. χάλικες, άμμος) η αντοχή σε διάτμηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην τριβή μεταξύ των κόκκων. Επομένως, όσο λιγότερα είναι τα κενά μεταξύ των κόκκων, τόσο μεγαλύτερες είναι οι δυνάμεις τριβής που συνεπάγεται αύξηση της διατμητικής αντοχής. Ένα καλά διαβαθμισμένο γεωυλικό είναι σχετικά σταθερό ενώ με κατάλληλη συμπύκνωση μπορεί να αυξηθεί η πυκνότητα του, να αυξηθεί ακόμα περισσότερο η αντοχή του σε διάτμηση και κατά συνέπεια η φέρουσα ικανότητα του. Αντίθετα στα λεπτόκοκκα εδάφη (π.χ. άργιλοι, ιλύς), η κοκκομετρία έχει δευτερεύουσα σημασία στην αντοχή επειδή εξαρτάται κυρίως από τη συνοχή που προκύπτει εξαιτίας των μοριακών δυνάμεων έλξης μεταξύ των επιφανειών των κόκκων και του νερού (Στειακάκης, 2004).

5.3.2 Προσδιορισμός ορίων Atterberg

Για να βρεθεί το όριο υδαρότητας (δηλαδή η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το έδαφος αρχίζει να εμφανίζει διατμητική αντοχή) και το όριο πλαστικότητας του υλικού (το ποσοστό υγρασίας το οποίο αν μειωθεί περαιτέρω, το υλικό σταματά να επιδεικνύει πλαστική συμπεριφορά), ώστε να γίνει επιπλέον χαρακτηρισμός, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαστηριακά πρότυπα εύρεσης ορίων Atterberg.

Ένα από τα χαρακτηριστικά διάκρισης των συνεκτικών εδαφών είναι ότι μπορούν να υποστούν πλαστική παραμόρφωση χωρίς θραύση. Φυσικά, η πλασιμότητα που επιδεικνύουν εξαρτάται μεταξύ άλλων από την περιεκτικότητά τους σε νερό.

Στην περίπτωση που ένα αργιλικό (συνεκτικό) εδαφικό υλικό αναμειχθεί ομοιόμορφα με επαρκή ποσότητα νερού, θα συμπεριφερθεί σαν υγρό, γεγονός που σημαίνει ότι δεν θα έχει διατμητική αντοχή και θα παραμορφώνεται ελεύθερα (*υδαρής κατάσταση*). Εάν η ποσότητα του νερού μειωθεί, ο όγκος θα ελαττωθεί και το έδαφος θα αρχίσει (μετά από ένα συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας) να παρουσιάζει διατμητική αντοχή (*πλαστική κατάσταση*).

Η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το έδαφος αρχίζει να εμφανίζει διατμητική αντοχή καλείται όριο υδαρότητας W_L και εκφράζει το όριο μεταξύ της υδαρούς και της πλαστικής κατάστασης του εδάφους.

Επειδή είναι αδύνατο να προσδιορισθεί εργαστηριακά το σημείο στο οποίο το έδαφος αρχίζει να παρουσιάζει διατμητική αντοχή, το όριο υδαρότητας θεωρείται σαν η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το έδαφος παρουσιάζει μια συγκεκριμένη αντοχή σε διάτμηση. Αυτή η αυθαίρετη και οριακή τιμή της διατμητικής αντοχής, χαρακτηρίζει το έδαφος το οποίο εάν τοποθετηθεί στο κύπελλο της συσκευής Casagrande και διαιρεθεί με ένα συγκεκριμένων διαστάσεων εργαλείο αυλάκωσης, απαιτεί 25 κτυπήματα (πτώσεις του κυπέλλου της συσκευής) για να εκδηλωθεί ροή του εδάφους και να ενωθεί η αυλάκωση στη βάση της σε μήκος 12.7 mm.

Στο εργαστήριο επαναλαμβάνονται διάφορες δοκιμές σε δείγματα από το ίδιο έδαφος αλλά με διαφορετική περιεκτικότητα σε νερό και με βάση τα αποτελέσματα, προσδιορίζεται ο αριθμός των κτυπημάτων που απαιτούνται για να ενωθεί η αυλάκωση στη βάση της σε μήκος 12.7 mm.

Από το ημιλογαριθμικό διάγραμμα της περιεχόμενης υγρασίας (τεταγμένη, σε

γραμμική κλίμακα) προς τον αντίστοιχο αριθμό κτυπημάτων (τετμημένη, σε λογαριθμική κλίμακα) προκύπτει μία γραμμική σχέση που προσδιορίζει την *καμπύλη ροής*. Το ποσοστό της υγρασίας που αντιστοιχεί στην τετμημένη των 25 κτυπημάτων και την καμπύλη ροής προσδιορίζει το όριο υδαρότητας.

Στην περίπτωση που η υγρασία του εδάφους μειώνεται σταδιακά κατά τις διάφορες εργαστηριακές δοκιμές και κάτω από το όριο υδαρότητας, τότε ο όγκος και η πλασιμότητά του μειώνονται αντίστοιχα. Σε κάποιο ποσοστό υγρασίας, το έδαφος θα σταματήσει να επιδεικνύει πλαστική συμπεριφορά και θα προκληθεί θραύση. Αυτή η περιεκτικότητα σε νερό καλείται όριο πλαστικότητας w_p και εκφράζει το όριο μεταξύ της πλαστικής και ημιστερεής κατάστασης.

Το όριο πλαστικότητας προσδιορίζεται αυθαίρετα στο εργαστήριο σαν το ελάχιστο ποσό νερού στο οποίο ένα έδαφος μπορεί να πλαθεί, σχηματίζοντας ραβδίσκους με διάμετρο 3mm χωρίς να θρυμματιστεί.

Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας πραγματοποιούνται σε εδαφικό υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No 40 (425 mm).

Αμμώδη εδάφη επιδεικνύουν όρια υδαρότητας της τάξης του 20% και δείκτη πλαστικότητας από 0 μέχρι 5. Ιλείς και άργιλοι είναι δυνατόν να εμφανίσουν όρια υδαρότητας 80 - 100% ενώ άργιλοι υψηλής περιεκτικότητας σε οργανικά υλικά μπορεί να παρουσιάσουν ακόμα υψηλότερες τιμές (Στειακάκης, 2004).

5.3.2.1 Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας

Για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Λήφθηκε δείγμα βάρους 100 g από εδαφικό υλικό του 2^{ου} στρωματογραφικού ορίζοντα που αναμίχθηκε καλά και διήλθε από κόσκινο ανοίγματος 425 μ m (No 40). Τοποθετήθηκε το υλικό στην κάψα, προστέθηκε μικρή ποσότητα νερού (15-20 ml) και αναμίχθηκε καλά με τη σπάτουλα μέχρι που δημιουργήθηκε μία ομοιόμορφη (χωρίς συσσωματώματα) παχύρρευστη μάζα (πάστα). Η πάστα τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο στο κύπελλο της συσκευής Cassagrande έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα στρώμα με ομαλή επιφάνεια. Το μέγιστο πάχος του πρέπει να είναι περίπου 1 cm. Το επιπλέον έδαφος απομακρύνθηκε.

Το εδαφικό δείγμα στη συνέχεια χωρίστηκε σε δύο ίσα μέρη σύροντας το

εργαλείο αυλάκωσης κατά μήκος του άξονα συμμετρίας του κυπέλλου. Με την βοήθεια της σπάτουλας το τυχόν υλικό που προεξείχε του κυπέλλου απομακρύνθηκε χωρίς να διαταραχθεί η πάστα. Ο χειροκίνητος στρόφαλος της συσκευής περιστράφηκε με ρυθμό 2 περιστροφών/sec και μετρηθήκαν οι κτύποι (πτώσεις του κυπέλλου) που απαιτήθηκαν έως ότου οι δύο πλευρές του δείγματος να ενωθούν στη βάση της χαραγής και σε μήκος 12.7 mm.

Ο αριθμός των περιστροφών-κτυπημάτων που απαιτήθηκαν ήταν μεταξύ 5 και 40, επομένως ελήφθησαν με τη σπάτουλα 35- 40 % δείγματος, από την περιοχή της επαφής (της κλειστής πλέον αύλακας) και τοποθετήθηκε σε γυάλινο υποδοχέα πραγματοποιώντας τις απαραίτητες ζυγίσεις για την εκτίμηση της υγρασίας και στη συνέχεια στο ξηραντήριο (σε θερμοκρασία 110° C). Μετά από 24 ώρες καταγραφόταν το ξηρό βάρος και προσδιορίζονταν η υγρασία.

Στη συνέχεια μεταβλήθηκε η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, προσθέτοντας νερό στο ίδιο δείγμα και επαναλήφθηκε η διαδικασία μέχρις ότου να προσδιορισθούν τέσσερις (4) μετρήσεις περιεκτικότητας σε νερό για τις οποίες ο αριθμός των πτώσεων του κυπέλλου που απαιτούνται για να κλείσει η αύλακα είναι μεταξύ 5 και 40 (πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα προσδιορισμού ορίου υδαρότητας 2^{ου} στρωματογραφικού ορίζοντα.

Δείγμα	Εδαφικό δείγμα υπό μελέτη ορίζοντα		
Αριθμός δείγματος	1ο	2ο	3ο
Αριθμός χτύπων	25	12	8
Βάρος υγρού δείγματος (g)	12,8	17,94	21,12
Βάρος ξηρού δείγματος (g)	10,31	13,67	15,75
Περιεκτικότητα σε νερό w _c %	24,1	31,2	34,0

5.3.2.2 Προσδιορισμός ορίου πλαστικότητας

Ελήφθησαν περίπου 20 g εδαφικού υλικού που είχε αναμειχθεί καλά και διερχόταν από κόσκινο 425 μm (No 40). Το δείγμα τοποθετήθηκε μέσα στην κάψα και προστέθηκε νερό ενώ αναμειγνυόταν με την σπάτουλα, ώστε να αποκτήσει πλασιμότητα (να μορφώνεται εύκολα σε βόλο). Η εδαφική μάζα χωρίστηκε σε τρία μέρη και ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία για κάθε ένα από αυτά.

Η μάζα μορφοποιήθηκε σε ελλειψοειδές σχήμα. και στην συνέχεια έγινε προσπάθεια να σχηματισθεί ραβδίσκος ομοιόμορφης διαμέτρου 3 mm. Εάν το έδαφος διαμόρφωνε ραβδίσκο με διάμετρο μικρότερη των 3mm, θα αναπλάθονταν σε βόλο και η διαδικασία κυλίνδρωσης θα επαναλαμβανόταν σε ομαλή επιφάνεια που καλύπτεται από τραχείας υφής χαρτί (το χαρτί θα απορροφήσει αργά-αργά, κάποια ποσότητα νερού από το έδαφος). Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία, θα προσεγγίζονταν τελικά μια περιεκτικότητα σε νερό κατά την οποία ο ραβδίσκος θρυμματίζεται στην προσπάθεια να μειωθεί η διάμετρος του κάτω των 3 mm.

Τα θρύμματα θα τοποθετούνταν σε ένα υποδοχέα Petri, θα καταγραφόταν το υγρό βάρος και το δείγμα θα ξηραινόταν σε θερμοκρασία 110°C, όπου το ξηρό βάρος θα μετριοτάνε μετά από 24 ώρες παραμονής του δείγματος στο ξηραντήριο. Η απώλεια του βάρους αναφέρεται σαν το βάρος του ύδατος.

Το δείγμα όμως δεν φέρει πλαστική συμπεριφορά. Αυτό το γεγονός ήταν ευδιάκριτο κατά την εκτέλεση του πειράματος καθώς η δημιουργία ραβδίσκου ήταν πρακτικά αδύνατη για την ζητούμενη διάμετρο των 3 mm. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι το υπό μελέτη υλικό είναι εξαιρετικά αμμώδες.

5.3.3 Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Η παραμόρφωση μιας εδαφικής μάζας οφείλεται στη σχετική ολίσθηση των σωματιδίων που την αποτελούν, γεγονός το οποίο συνεπάγεται η αντίσταση του εδάφους σε διατμητική παραμόρφωση να εξαρτάται από τη διατμητική αντίσταση που αναπτύσσεται στα σημεία επαφής των εδαφικών κόκκων. Η μικρότερη δυνατή δύναμη που απαιτείται για τη σχετική μετακίνηση των κόκκων προσδιορίζει τη διατμητική αντοχή του εδάφους η οποία οφείλεται στους παρακάτω λογούς:

- α) Στις ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των επιφανειών των εδαφικών κόκκων οι οποίες δυνάμεις εξαρτώνται από τους δεσμούς που έχουν αναπτυχθεί

μεταξύ των κόκκων (συγκόλληση). Το αίτιο αυτό εκδήλωσης διατμητικής αντοχής ονομάζεται "συνοχή" του εδάφους.

- β) Στην τριβή που αναπτύσσεται στα σημεία επαφής των εδαφικών κόκκων και στη αλληλεμπλοκή των κόκκων όπου οφείλεται στον τρόπο που είναι σχηματισμένοι. Αυτό το εσωτερικό αίτιο, η "εσωτερική τριβή" όπως ονομάζεται οδηγεί σε διατμητική αντοχή που είναι συνάρτηση του κάθετου φορτίου στην επιφάνεια ολίσθησης.

Από τους παραπάνω παράγοντες συνεπάγεται ότι η διατμητική αντοχή του εδάφους ισούται με το άθροισμα της διατμητικής αντοχής που οφείλεται στη συνοχή και αυτής που οφείλεται στην εσωτερική τριβή.

Η διατμητική αντίσταση του εδάφους, τη στιγμή της αστοχίας του κατά ολίσθηση, δίδεται από τη σχέση του Coulomb (σχέση 2.1, $\tau = S_o + \sigma \tan \phi$).

Στην περίπτωση που θεωρούνται ενεργές τάσεις η διατμητική αντοχή του εδάφους δίνεται από την σχέση Coulomb – Terzaghi:

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (5.1)$$

όπου:

σ' : η ενεργή κάθετη τάση που ασκείται στο επίπεδο διάτμησης

c' και ϕ' : οι παράμετροι του εδάφους που αναφέρονται στις ενεργές τάσεις.

Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και η συνοχή c προσδιορίζονται εργαστηριακά με συσκευές οι οποίες προκαλούν στο εδαφικό δοκίμιο μία από τις παρακάτω μορφές διάτμησης:

- απ' ευθείας διάτμηση
- διάτμηση με τριαξονική φόρτιση

Η πλέον χρησιμοποιούμενη δοκιμή είναι αυτή της άμεσης διάτμησης κατά την οποία ασκείται στο έδαφος μια σταθερή κατακόρυφη τάση και συγχρόνως υποβάλλεται σε διάτμηση σε προδιαγεγραμμένη επίπεδη επιφάνεια (κάθετη στην εφαρμοζόμενη κατακόρυφη τάση). Κατά την δοκιμή μετράται η απαιτούμενη για τη διάτμηση δύναμη.

Η διάτμηση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με αύξηση της διατμητικής δύναμης κατά βαθμίδες σε ίσα χρονικά διαστήματα (συσκευές ελεγχόμενων τάσεων), είτε με μετακίνηση κινητού τμήματος της συσκευής με σταθερή ταχύτητα (συσκευές ελεγχόμενης παραμόρφωσης).

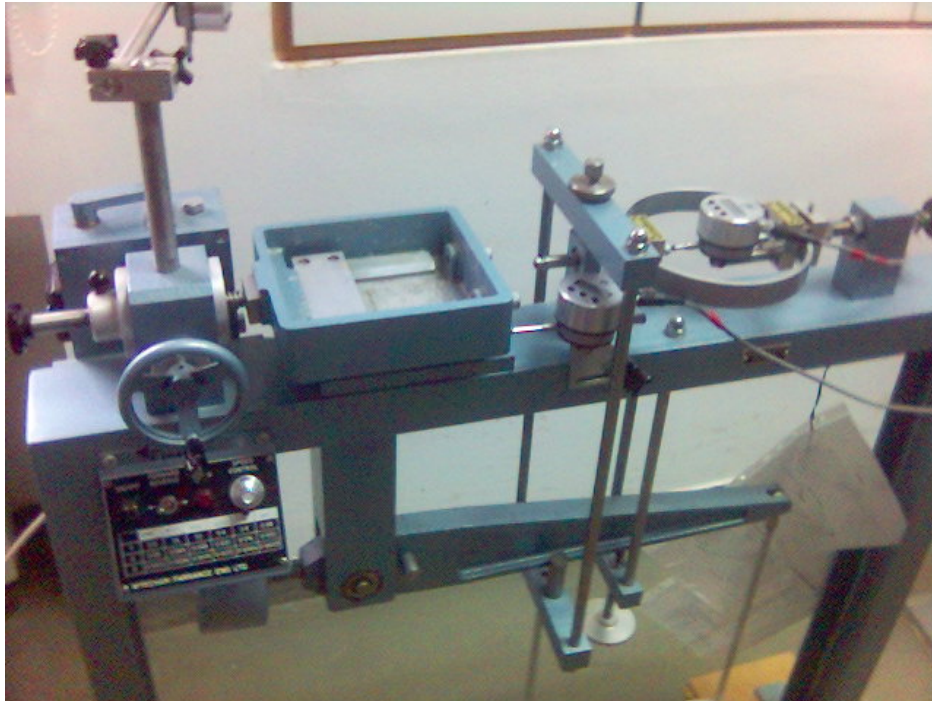
Η δεύτερη μέθοδος είναι η συνηθέστερη και σύμφωνα με αυτή λειτουργεί η μηχανή εργαστηρίου που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων της παρούσας εργασίας.

Η κίνηση του κατώτερου τμήματος του κυτίου διάτμησης (μέσα στο οποίο τοποθετείται εδαφικό δοκίμιο) γίνεται με ηλεκτροκίνητο τρόπο και με δεδομένο ρυθμό. Το ανώτερο τμήμα του κυτίου φέρεται από οριζόντιο στέλεχος στο οποίο είναι προσαρμοσμένος ένας δυναμομετρικός δακτύλιος για τη μέτρηση της διατμητικής δύναμης που αναπτύσσεται κατά την δοκιμή (Σχήμα 5.5).

Για την επεξεργασία των μετρήσεων σχεδιάζονται: α) οι καμπύλες της διατμητικής δύναμης συναρτήσει της οριζόντιας μετατόπισης προκειμένου να προσδιορισθεί η τιμή της οριακής διατμητικής δύναμης και β) το διάγραμμα της διατμητικής αντοχής σε σχέση με την κατακόρυφη τάση για τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιούνται. Η κλίση της ευθείας που προκύπτει από το διάγραμμα αυτό, προσδιορίζει τη γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) ενώ η τομή της ευθείας με τον άξονα των τεταγμένων προσδιορίζει τη συνοχή (c) του εδάφους.

Άμεση διάτμηση μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη με τρεις διαφορετικούς τύπους δοκιμής (Στειακάκης, 2004): α) Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου, β) Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου, γ) Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε αδιατάρακτο εδαφικό δείγμα από τον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα καθώς και σε κορεσμένο με νερό δείγμα, από τον ίδιο ορίζοντα. Ο λόγος για τον οποίο έγινε αυτό είναι η διερεύνηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή (το αδιατάρακτο δείγμα δεν περιέχει σημαντική υγρασία) καθώς και των χείριστων συνθηκών κατά τις οποίες υποθετικά υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας στον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα, γεγονός που μειώνει εξαιρετικά τις γεωτεχνικές ιδιότητες του υπό μελέτη ορίζοντα.



Εικόνα 5.5: Η συσκευή διάτμησης που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα.

5.3.3.1 Δοκιμή άμεσης διάτμησης αδιατάρακτου εδαφικού δείγματος

Για αυτή τη δοκιμή δημιουργήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια, συγκεκριμένων διαστάσεων χρησιμοποιώντας τα αδιατάρακτα δείγματα που ελήφθησαν από τον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα. Χρησιμοποιήθηκαν 3 δοκίμια ύψους 50 mm και διαμέτρου 60 mm τα οποία φορτίστηκαν υπό διαφορετικές ορθές δυνάμεις (30, 60 και 120 kg αντίστοιχα) που επιβάλλουν στο δοκίμιο τάσεις το μέγεθος των οποίων είναι της τάξης της πίεσης που ασκεί μια τετραώροφη πολυκατοικία σε επιφάνεια ίση με το εμβαδόν της βάσης του δοκιμίου (περίπου 2 kg/cm^2 ή αλλιώς 200 kPa).

Τα δοκίμια, αφού μορφοποιήθηκαν καταλλήλως τοποθετήθηκαν στην συσκευή διάτμησης όπου διατμήθηκαν με σταθερό ρυθμό ο οποίος θεωρήθηκε ίσος με 0,048mm/min. Στόχος της δοκιμής είναι η εύρεση της εσωτερικής γωνίας τριβής και της συνοχής του αδιατάρακτου υλικού για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής στο αδιατάρακτο δείγμα από το 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα παρουσιάζονται στο παράρτημα και συγκεντρωτικά στον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα δοκιμής διάτμησης για ακόρεστο δείγμα.

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ								
ΒΑΘΟΣ: 2m από επιφάνεια ΔΕΙΓΜΑ: ΙΛΥΩΔΗΣ ΑΜΜΟΣ								
Κατακόρυφο Βάρος (επί του δοκιμίου)	Ορθό Φορτίο	Διατμ. Φορτίο	Οριζόντια Μετατόπιση	Διορ/νη Επιφάνεια	Ορθή Τάση	Διατμ. τάση	Γωνία εσωτ. τριβής	Συνοχή
(kg)	(N)	(N)	(mm)	(mm ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(φ°)	(kN/m ²)
34,98	343,11	349,07	4,16	2826,00	121,41	123,52	33,94	23,81
64,98	637,41	419,43	3,28	2826,00	225,55	148,42		
124,98	1226,01	917,33	7,77	2826,00	433,83	324,61		

5.3.3.2 Δοκιμή άμεσης διάτμησης κορεσμένου εδαφικού δείγματος

Στη δοκιμή αυτή διαμορφώθηκαν τρία κυλινδρικά δοκίμια όμοια με τα παραπάνω. Τα συγκεκριμένα δοκίμια παρέμειναν σε νερό για 24 ώρες, πριν τη διάτμηση, για κορεσμό. Κατά τη διάρκεια του κορεσμού είχαν σταθερή κάθετη φόρτιση 30, 60 και 120 kg αντιστοίχως ώστε να επιτευχθεί στερεοποίηση. Υστέρα υπέστησαν διάτμηση με την ίδια μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για το ακόρεστο εδαφικό δείγμα, υπό τις ίδιες κάθετες φορτίσεις και υπό σταθερό ρυθμό (0,048mm/min) ο οποίος παρέμεινε ίδιος από την πρώτη δοκιμή με το ακόρεστο υλικό.

Στόχος της δοκιμής αυτής είναι η εύρεση της γωνίας εσωτερικής τριβής και της συνοχής του υλικού που βρίσκεται στην χειρότερη εντατικά κατάσταση λόγω του κορεσμού του σε νερό, γεγονός που συνεπάγεται μείωση των μηχανικών παραμέτρων του. Τα αποτελέσματα της δοκιμής του κορεσμένου δοκιμίου από τον ορίζοντα 2 παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα δοκιμής διάτμησης για κορεσμένο υλικό.

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ								
ΒΑΘΟΣ: 2m από επιφάνεια ΔΕΙΓΜΑ: ΙΛΥΩΔΗΣ ΑΜΜΟΣ								
Κατακόρυφο Βάρος (επί του δοκιμίου)	Ορθό Φορτίο	Διατμ. Φορτίο	Οριζόντια Μετατόπιση	Διορ/νη Επιφάνεια	Ορθή Τάση	Διατμ. τάση	Γωνία εσωτ. τριβής	Συνοχή
(kg)	(N)	(N)	(mm)	(mm ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(φ°)	(kN/m ²)
34,98	343,11	254,36	3,80	2826,00	121,41	90,01	34,56	0,00
64,98	637,41	401,84	3,26	2826,00	225,55	142,19		
124,98	1226,01	851,04	3,12	2826,00	433,83	301,15		

5.3.4 Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η εύρεση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας του μαργαϊκού ψαμμίτη που παρευρίσκεται μαζί με τη ιλυώδη άμμο που μελετήθηκε πρωτύτερα και τοποθετείται στον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα.

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του ακέραιου πετρώματος στο εργαστήριο, διαμορφώνονται δοκίμια σύμφωνα με διεθνείς προδιαγραφές. Τα δοκίμια είναι κυλινδρικά με μήκος συνήθως διπλάσιο και τριπλάσιο της διαμέτρου τους και τοποθετούνται ανάμεσα σε δυο μεταλλικές πλάκες σε κατάλληλη μηχανή φόρτισης. Στη συνέχεια φορτίζονται είτε με έλεγχο φορτίου, είτε με έλεγχο μετατόπισης κατά τον διαμήκη άξονα (στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η μέθοδος της ελεγχόμενης μετατόπισης για καλύτερα αποτελέσματα) και συγχρόνως καταγράφεται η αντίστοιχη αξονική παραμόρφωση. Οι παραμορφώσεις αυτές προκύπτουν μετά από μετρήσεις διαστολής ή και συστολής των υλικών οι οποίες επιτυγχάνονται είτε με μηχανικά είτε με ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα κατά τη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση του δοκιμίου, είτε μετρώντας την σύγκλιση των πλακών από τις οποίες εφαρμόζεται η θλιπτική τάση στο δοκίμιο (Αγιουτάντης, 2002). Στην παρούσα περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η τρίτη περίπτωση για τον προσδιορισμό της παραμόρφωσης στον διαμήκη άξονα του δοκιμίου.



Εικόνα 5.6: Η συσκευή μονοαξονικής θλίψης που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα (MTS 1600).

Τα δοκίμια που προήλθαν από το εξεταζόμενο δείγμα μαργαϊκού ψαμμίτη, προερχόμενα από τον 2^ο στρωματογραφικό ορίζοντα, παρουσίαζαν σαθρές επιφάνειες και πολλές ασυνέχειες κατά μήκος του άξονα του δοκιμίου. Πιθανώς για αυτό το λόγο τα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης που παρατίθενται στο Παράρτημα περιέχουν ανωμαλίες. Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, μετά από τη θραύση έξι δοκιμίων θεωρείται ίση με 15 MPa περίπου. Για τη θεώρηση αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των αντοχών των δοκιμίων αλλά και το γεγονός ότι δυο από τα δοκίμια (3^ο και 4^ο) παρουσίασαν παραπλήσια αντοχή (16 MPa) και η καμπύλη τάσης – παραμόρφωσής τους (Παράρτημα) βαίνει πιο ομαλά, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία της μέτρησης. Τα δοκίμια που παρουσιάζουν υψηλές τιμές αντοχής (1^ο και 2^ο) παρουσιάζουν ταυτόχρονα και διακυμάνσεις στην καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης (Παράρτημα) γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη μικρών εγκοίλων τα οποία συρρικνώνονται κατά τη φόρτιση του δοκιμίου, επομένως η αυξημένη αντοχή που παρουσιάζουν είναι πιθανόν μη αντιπροσωπευτική. Επίσης, με βάση τη βιβλιογραφία ο μαργαϊκός ψαμμίτης έχει αντοχή της τάξης των 12 MPa επομένως η τιμή αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπό μελέτη μαργαϊκό ψαμμίτη κρίνεται ικανοποιητική.

Πίνακας 5.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμής μονοαξονικής θλίψης.

1 ^ο δοκίμιο	2 ^ο δοκίμιο	3 ^ο δοκίμιο	4 ^ο δοκίμιο	5 ^ο δοκίμιο	6 ^ο δοκίμιο
Αντοχή (MPa)	Αντοχή (MPa)	Αντοχή (MPa)	Αντοχή (MPa)	Αντοχή (MPa)	Αντοχή (MPa)
33.3	29,3	16.7	16.9	10.5	7



Σχήμα 5.7: Τα δοκίμια μετά την θραύση τους υπό μονοαξονική φόρτιση. Τα επίπεδα αστοχίας είναι εμφανή

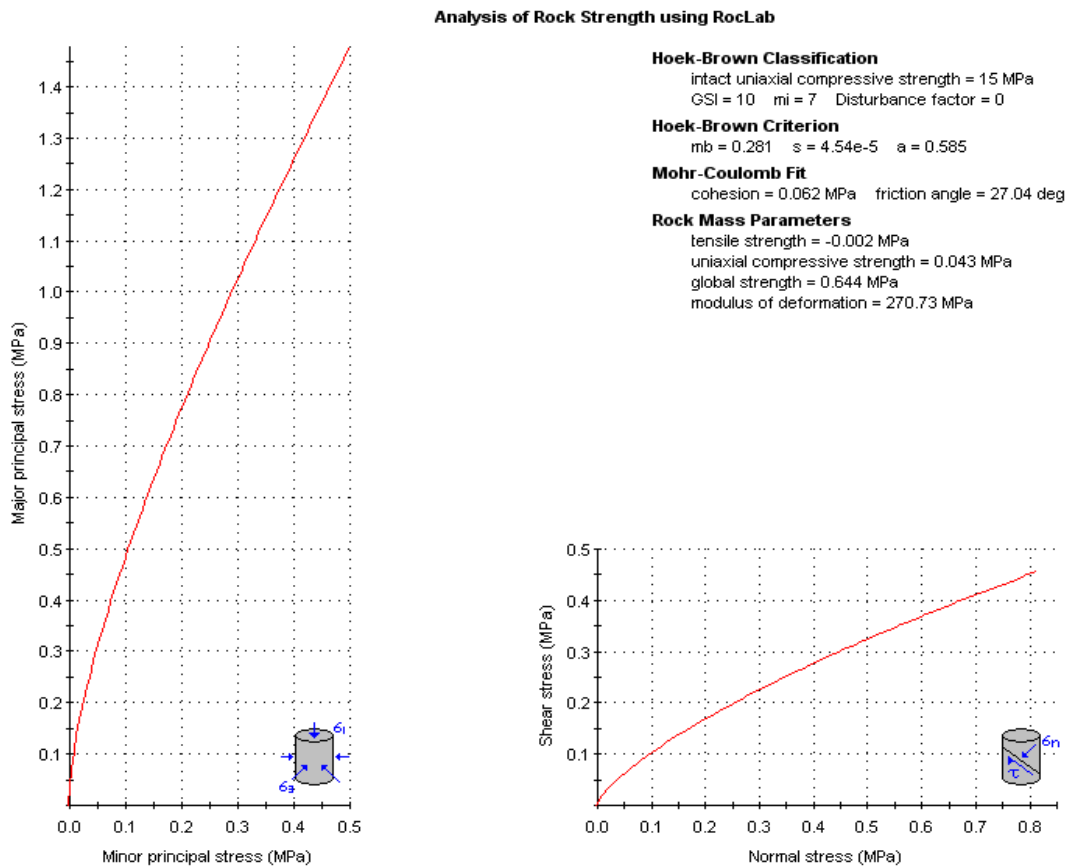
6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Λογισμικό Roclab - Παράμετροι Διατμητικής Αντοχής κατά Hoek & Brown

Για την εύρεση των τιμών c και ϕ του ημίβραχου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Roclab το οποίο έχει ενσωματωμένο το κριτήριο Hoek & Brown. Λαμβάνοντας τιμές του δείκτη GSI (βλέπε κεφ. 4), τη μέγιστη μονοαξονική τάση αντοχής του άρρηκτου πετρώματος και το δείκτη m_i εκτιμά 'ισοδύναμες' τιμές συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής του σχηματισμού σύμφωνα με το κριτήριο Mohr Coulomb. Αυτές είναι απαραίτητες για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν ενδείξεις πως το κριτήριο Hoek & Brown δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ημίβραχο (Marinos & Hoek, 2001), λόγω της ανισοτροπίας που επιδεικνύει. Κρίθηκε όμως σκόπιμη η χρήση του για την προσέγγιση του προβλήματος της φέρουσας ικανότητας θεωρώντας τον σχηματισμό θεμελίωσης ως 'ισοδύναμο' εδαφικό στρώμα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του έδωσε η χρήση του προγράμματος Roclab για το ημίβραχο, η συνοχή έχει εκτιμηθεί $c=62$ kPa και γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=27.04^\circ$. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή ότι ο υπό μελέτη ημίβραχος θεωρήθηκε παραπλήσιος ενός φλύσχη κακής ποιότητας, θεώρηση η οποία προσομοιάζει καλύτερα την υπό μελέτη κατάσταση. Επίσης θεωρήθηκε ότι οι τάσεις που αναμένονται στην θεμελίωση είναι κοντά στα 200 kPa, όσο δηλαδή η τάση που ασκεί μια τετραώροφη πολυκατοικία. Στο Σχήμα 6.1 παρατίθεται το φύλλο εργασίας που δημιου-ργήθηκε από το πρόγραμμα με περαιτέρω πληροφορίες. Χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες τιμές: $GSI=10$, $\sigma_l=15$ MPa, $m_i=7$ όπου σ_l η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του ακεραίου πετρώματος (μαργαϊκός ψαμμίτης) και m_i σταθερά ακέραίου πετρώματος (πίνακας 4.2).



Σχήμα 6.1: Αποτελέσματα λογισμικού Roclab – διαγράμματα τάσεων.

6.2 Φέρουσα Ικανότητα κατά Terzaghi

Με την υπόθεση ότι ο 2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας είναι ημίβραχος και αποτελείται κατά 70% από ιλυώδη άμμο και κατά 30% από μαργαϊκό ψαμμίτη, εκτιμηθήκαν οι ‘ισοδύναμες εδαφικές τιμές’ συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της εξίσωσης του Terzaghi για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας και του δείκτη εδάφους. Οι μετρήσεις για την συνοχή και την γωνία εσωτερικής τριβής προήλθαν από το λογισμικό Roclab και είναι οι αντίστοιχες του ημίβραχου επομένως $c=62$ kPa και $\varphi=27.04^\circ$.

Με βάση ότι η συνήθης θεμελίωση στην περιοχή είναι του τύπου θεμελιολωρίδας με $B = 2$ m (πλάτος θεμελιολωρίδας) και $D_F=1.5$ m (βάθος θεμελίωσης) και θέτοντας στην εξίσωση του Terzaghi για θεμελιολωρίδα απείρου μήκους με $D_F < B$ ($q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$), $N_q = 16$, $N_c = 29$, $N_\gamma = 13$ (πίνακας 2.1) και ως $\gamma = 16$ kN/m³ προκύπτει η φέρουσα ικανότητα $q_u = 2390$ kPa. Η επιτρεπόμενη φέρουσα

ικανότητα θα είναι $2390/3=796$ kPa.

6.3 Φέρουσα Ικανότητα κατά Ευρωκώδικα 7

Ο τύπος της φέρουσας ικανότητας για συνθήκες πλήρους στράγγισης, που είναι και οι ζητούμενες, καθώς και για θεμελιολωρίδα απείρου μήκους της οποίας η κυρία τάση δεν αποκλίνει από την κάθετο στην επιφάνεια έδρασης, είναι ίδιος με αυτόν του Terzaghi. Ακολουθώντας τις υποδείξεις του Ευρωκώδικα 7 για εύρεση ασφαλέστερων τιμών, οι τιμές για c και φ διαιρέθηκαν με τους επιμέρους συντελεστές του Ευρωκώδικα 7 και προέκυψαν οι νέοι συντελεστές $N_q=9$, $N_c=19$, $N_\gamma=6$ για την περίπτωση Γ (πίνακας 3.1). Λόγω έλλειψης ικανοποιητικού αριθμού μετρήσεων για στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (c και φ) χρησιμοποιήθηκε ένας συντελεστής ασφάλειας ίσος με 3 και η επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα εκτιμάται σε 349.3 kPa. Για το πλήρως εδαφικό, ανάλογη διαδικασία έδωσε επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα περίπου ίση με 320 kPa χρησιμοποιώντας τις τιμές c και φ του εδαφικού ακόρεστου κλάσματος του σχηματισμού που προέκυψαν από την δοκιμή διάτμησης (βλέπε Πίνακα 5.4) δηλαδή $c=23.81$ kPa και $\varphi=33.94^\circ$.

6.4 Δείκτης Εδάφους

Έχοντας υπόψη, όπως παραπάνω ότι το υπό μελέτη πέτρωμα συνιστάται κατά 70% από αμμώδη υλικό και κατά 30% από μαργαϊκό ψαμμίτη, τέθηκε $\gamma_d=1.9$ t/m³ ή 0.019 MN/m³ και $C_{b30}=25$ (πίνακας 2.2) στην εξίσωση 2.4. Επομένως: $C=8.3$ kg/cm³ ή 83 MN/m³.

6.5 Εκτίμηση Φέρουσας Ικανότητας με τη χρήση του Λογισμικού Loadcap

Με το λογισμικό Geostru Loadcap υπολογίζεται η φέρουσα ικανότητα και ο δείκτης εδάφους. Οι εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν με διάφορες μεθόδους όπως του Vesic και του Terzaghi για τη φέρουσα ικανότητα, ή του Bowles και του Terzaghi για τον δείκτη εδάφους. Ο χειρισμός του λογισμικού είναι ιδιαίτερα απλός και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για διαφόρους τύπους εδαφών.

Αρχικά στο λογισμικό εισάγονται οι παράμετροι του εδάφους ή των εδαφών όταν πρόκειται για περισσότερα από ένα. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν :

- Μοναδιαίο βάρος εδαφικού ορίζοντα

- Απόσταση εδαφικού ορίζοντα από την επιφάνεια
- Συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής εδαφικού ορίζοντα

Περαιτέρω παράμετροι που χρησιμοποιούνται αφορούν κυρίως το είδος θεμελίωσης (σχήμα και διαστάσεις του θεμελίου καθώς και απόσταση του από την επιφάνεια) καθώς και η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα. Όσον αφορά την εκπόνηση των αποτελεσμάτων είναι δυνατό να ορισθούν συντελεστές ασφαλείας διαφόρων τύπων και διορθώσεις της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής. Τέλος το πρόγραμμα Loadcap δύναται να υπολογίσει καθιζήσεις καθώς και την επίδραση σεισμικής δραστηριότητας αλλά τα δεδομένα αυτά δεν εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.

Στο συγκεκριμένο λογισμικό, στα πλαίσια της εργασίας, ορίστηκαν δυο στρώματα, το επιφανειακό (1^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας συν τη φυτική γη) και το υποκείμενο με τις παρεμβολές μαργαϊκού ψαμμίτη (2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας, ημίβραχος)

Στο 2^ο στρώμα, αρχικά ορίστηκαν τιμές c και ϕ που προέκυψαν από τις εργαστηριακές μετρήσεις του καθαρά εδαφικού υλικού (θεμελιώδης μάζα του σχηματισμού) του στρώματος και στην συνέχεια δόθηκαν οι τιμές του ημίβραχου που προέκυψαν από το λογισμικό Roclab.

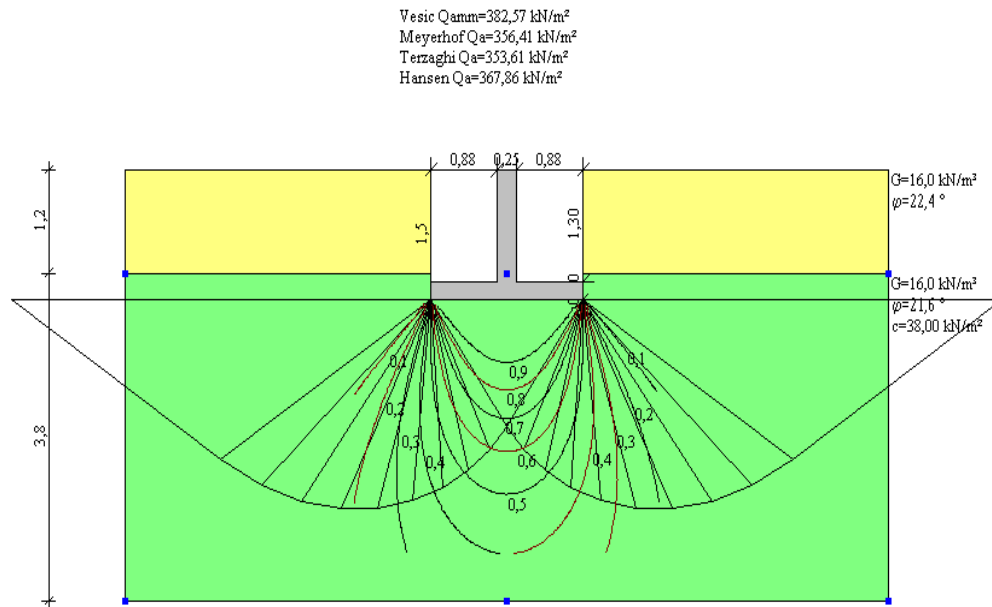
Τα αποτελέσματα της φέρουσας ικανότητας προσδιορίστηκαν με το λογισμικό Loadcap. Χρησιμοποιώντας τις τιμές c και ϕ 'ισοδύναμου σχηματισμού' από το πρόγραμμα Roclab (με την χρησιμοποίηση του κριτηρίου Hoek & Brown) προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας, χρησιμοποιώντας μεθόδους από διάφορους ερευνητές (Terzaghi, Hansen, Vesic κ.τ.λ.).

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η επίλυση θεωρώντας ότι:

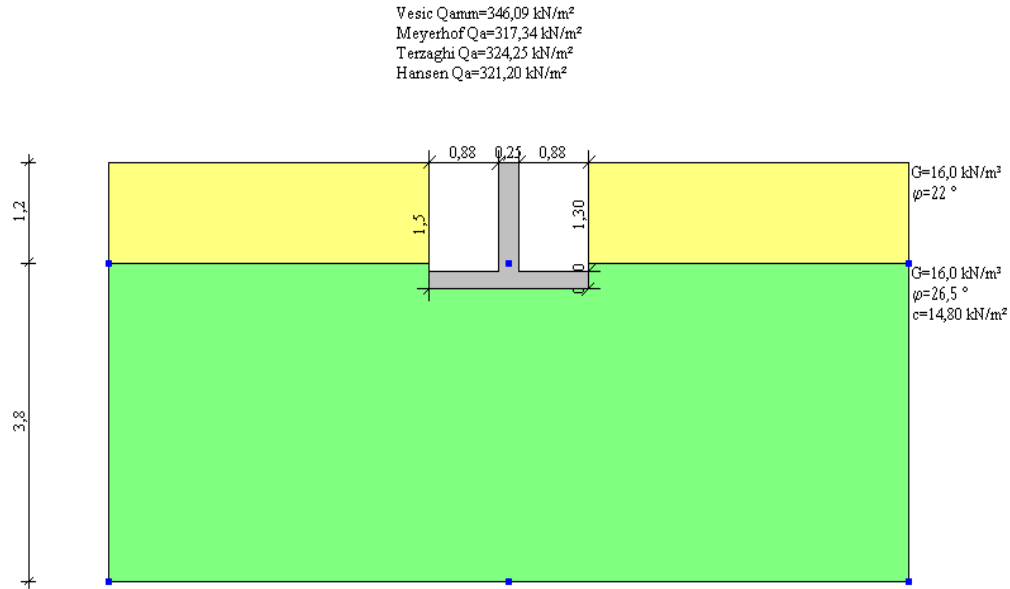
- Ο 2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας είναι ημίβραχος (με 'ισοδύναμες τιμές' c και ϕ από το πρόγραμμα Loadcap)
- Ο 2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας συντελείται από εδαφικό υλικό (με τιμές c και ϕ από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης)
- Ο 2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας είναι κορεσμένος σε νερό (θεωρώντας την παρουσία υδροφόρου ορίζοντα)

Η τελευταία περίπτωση θεωρείται η χειρότερη, εντατικά κατάσταση, όσον αφορά θεμελίωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.1

- Θεώρηση σχηματισμού προς θεμελίωση ως ημίσβραχος

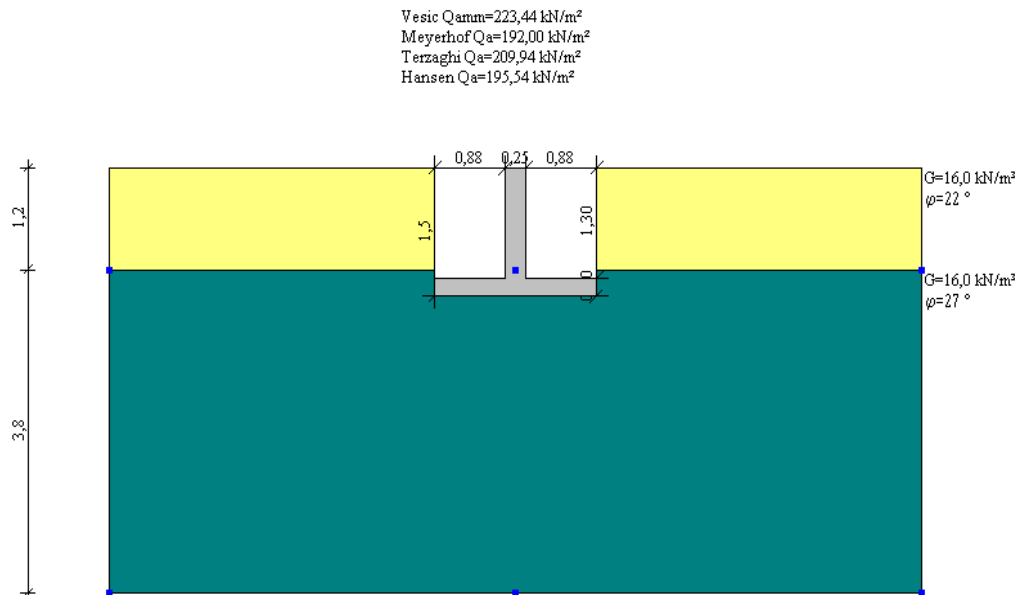


- Θεώρηση σχηματισμού θεμελίωσης ως έδαφος



Σχήμα 6.4: Θεώρηση του σχηματισμού θεμελίωσης ως εδαφικό υλικό ακόρεστο σε νερό.

- Θεώρηση σχηματισμού προς θεμελίωση ως κορεσμένο έδαφος



Σχήμα 6.5: Θεμελίωση σε κορεσμένο εδαφικό σχηματισμό.

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

Σχηματισμός	Συνοχή c (kPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής ϕ°	Επιτρεπόμενη Φέρουσα Ικανότητα			
Ημίσβραχος	62	27.04	Μέθοδος εκτίμησης	Θεώρηση ημίσβραχου (kPa)	Θεώρηση ξηρού εδαφικού υλικού (kPa)	Θεώρηση εδαφικού υλικού κορεσμένου σε νερό (kPa)
Ξηρό εδαφικό υλικό	23.81	33.94	Vesic	382.59	346.09	223.44
Εδαφικό υλικό κορεσμένο σε νερό	0	34.56	Meyerhof	356.41	317.34	192
Χαρακτηριστικά Θεμελίωσης			Terzaghi	353.61	324.25	209.94
Βάθος θεμελίωσης:	1.5 m		Hansen	367.86	321.20	195.54
Πλάτος θεμελίου:	2 m					
Πάχος θεμελίου:	0.2 m					
Μήκος θεμελίου:	20 m					
Εφαρμοσμένη τάση:	200 kPa					

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το εδαφικό υλικό αυτό αποτελεί τη θεμελιώδη μάζα του 2^{ου} στρωματογραφικού ορίζοντα, και συνυπάρχει με βραχώδη τεμάχια μαργαϊκού ψαμμίτη. Από την κοκκομετρική καμπύλη προκύπτει ότι το έδαφος περιέχει περίπου 4-5% άργιλο, 16% ιλύς, 75% άμμο (από την οποία το 75% είναι λεπτόκοκκη, το 16% μέση και το 8% χονδρόκοκκη) και 2% χάλικες. Το υπόλοιπο σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά πρόκειται για μια ιλυώδη άμμο.

Σύμφωνα με τις τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις πλαστικότητας και υδαρότητας το έδαφος εντάσσεται στα μη πλαστικά. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο υψηλό ποσοστό συμμετοχής της άμμου.

Όσον αφορά την μονοαξονική αντοχή σε θλίψη του μαργαϊκού ψαμμίτη που συνυπάρχει στον ορίζοντα θεμελίωσης που μελετήθηκε, παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Το εύρος των τιμών αυτών κυμαίνεται από 8000 kPa μέχρι 33000 kPa. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε ως μέση αντοχή του πετρώματος μια τιμή της τάξης των 15000 kPa. Στα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης παρουσιάζονται έντονες διακυμάνσεις λόγω των πολλαπλών κενών εγκλεισμάτων που περιέχονται στον υπό μελέτη μαργαϊκό ψαμμίτη, τα οποία αστοχούν σταδιακά κατά την πορεία της δοκιμής.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα που έγιναν στο εργαστήριο εδαφομηχανικής στο εδαφικό κλάσμα του υπό μελέτη ορίζοντα και στο άρρηκτο πέτρωμα (βραχώδη τεμάχια που εμπεριέχονται στο σχηματισμό) και συγκρίνοντάς τα με τα αποτελέσματα του λογισμικού Roclab (εκτιμά 'ισοδύναμες' c και ϕ του κριτηρίου Mohr-Coulomb χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του κριτηρίου Hoek & Brown), διακρίνονται μεγάλες αποκλίσεις στις εκτιμήσεις των παραμέτρων c και ϕ . Για την ακριβεία τα c και ϕ του ακορεστού εδαφικού κλασματος είναι 23.81 kPa και 33.94° αντιστοιχα ενώ κατά το Roclab είναι $c=62$ kPa και $\phi=27.04^\circ$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εργαστηριακά, προσδιορίστηκαν τιμές είτε του εδάφους, είτε του ακεραίου πετρώματος, αλλά όχι της ενδιάμεσης, υπό εξέτασης κατάστασης, σε αντίθεση με το Roclab στο οποίο θεωρήθηκε ότι ο γεωλογικός σχηματισμός είναι ημίβραχος.

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση του προγράμματος Roclab εξαρτώνται άμεσα από την εμπειρία του χρήστη, καθώς

παράμετροι όπως ο δείκτης GSI και m_i βασίζονται σε παρατηρήσεις.

Σχετικά με την διαφορά των τιμών c και ϕ του 1^{ου} στρωματογραφικού ορίζοντα που προέκυψαν με βάση τις τιμές S.P.T ($\phi > 40^\circ$, $c = 608$ kPa), που έχει πραγματοποιηθεί από προηγούμενη γεωτεχνική έρευνα στην ευρύτερη περιοχή, και της εργαστηριακής δοκιμής διάτμησης ($\phi = 33.94$, $c = 23.81$ kPa), ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η δοκιμή πρότυπης διείδυσης συνάντησε συμπαγές τέμαχος βράχου με αποτέλεσμα να προσδίδει αυξημένες τιμές c , ϕ και επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας.

Με βάση την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας προκύπτει η ύπαρξη του μαργαϊκού ψαμμίτη στο εδαφικό υλικό ($q_u = 349$ kPa), όπως ήταν αναμενόμενο, προσδίδει καλύτερες ιδιότητες αυξάνοντας την φέρουσα ικανότητα, πάντα σε σχέση με την φέρουσα ικανότητα του εδαφικού κλάσματος (320 kPa). Αυτό προκύπτει και στην σύγκριση των αποτελεσμάτων του ημίβραχου και του καθαρά εδαφικού που προέκυψαν από το λογισμικό Loadcap (353 kPa και 324 kPa αντίστοιχα). Τέλος πρέπει να αναφερθεί πως όλες οι παράμετροι που δόθηκαν στο ημίβραχο ήταν αρκετά συντηρητικές για λόγους ασφάλειας.

Από την εργασία προέκυψαν και ορισμένες προτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν ίσως να χρησιμοποιηθούν και σε περαιτέρω μελέτες. Αρχικώς θα μπορούσε να γίνει χρήση πιο πρόσφατου Ευρωκώδικα (υπάρχει έκδοση του 2004 στην αγγλική γλώσσα) ο οποίος, πρέπει να περιέχει πιο πρόσφατα πρότυπα και αρκετές διορθώσεις. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κάποιο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων, όπως το PLAXIS για την προσομοίωση του υπό μελέτη στρωματογραφικού ορίζοντα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Ελληνική:

Αγιουτάντης, Ζ., 2002. *Στοιχεία Εδαφομηχανικής – Μηχανική Πετρωμάτων*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Αναγνωστόπουλος, Α.Γ. και Β.Π. Παπαδόπουλος, 1989. *Επιφανειακές Θεμελιώσεις*, Έκδοση 1^η, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

Ευρωκώδικας 7, 1994. *Γεωτεχνικός Σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες*, Έκδοση 1^η, Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης, Βρυξέλλες.

Καββαδάς, Μ., 2001. «Εφαρμογές των μεθόδων ανάλυσης γεωτεχνικών έργων μέσω οριακών καταστάσεων κατά τον Ευρωκώδικα 7», Πρακτικά 4^{ου} Πανελλήνιο Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Τόμος 1, Αθήνα 30/05-01/06/2001.

Κλειδοπούλου, Μ. και Δ. Βαβαδάκης, 2005. Εργαστηριακές ασκήσεις μαθήματος «Υδρογεωλογία και Υδροτεχνικά Έργα», Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μαρίνος, Β., Μαρίνος Π., και Hoek E., 2004. 'Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής, GSI: Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος', 10^ο Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη.

Παπαχαρίσης, Ν., Ν. Μάνου-Ανδρεάδη και Ι. Γραμματικόπουλος, 1999. *Γεωτεχνική Μηχανική*, Εκδόσεις Αδερφών Κυριακίδη Α.Ε. Αθήνα.

Σακελλαρίου, Μ.Γ. και Μ. Κοζάνης, 2003. Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής, Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π, Αθήνα.

Στειακάκης, Ε., 2004. 'Εργαστηριακές Ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας – Εδαφομηχανικής', Εργαστηριακές σημειώσεις μαθήματος «Τεχνική Γεωλογία – Εδαφομηχανική» Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Στειακάκης, Ε., 2005. 'Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας – Εδαφομηχανικής' Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Χρηστάρας, Β., 2002. *Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής*, Έκδοση 1^η, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.

Ι.Γ.Μ.Ε., Γεωλογικός Χάρτης Χανίων

Λιθινός:

Marinos, P. and E. Hoek, 2001. 'Estimating the Geotechnical Properties Of Heterogeneous Rock Masses Such As Flysch', *Bulletin of the Engineering Geology & the Environment*, IAEG 60, pp. 85-92.

Hoek, E., C., Carranza-Torres and B. Corkum, 2002. 'Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition' from Roclab's manual.

Craig, R.F., 1999. *Soil Mechanics*, E. and F.N. Spon, London.

Manual book of ASTM Standards 2004 section four: Construction volume 04.08 soil and rock, 2004, International Standards Worldwide.

Πηγές διαδικτύου

Σελίδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου – ιστοσελίδα του Παύλου Γ. Μαρίνου (<http://users.civil.ntua.gr/marinos>)

Σελίδα Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης – Τμήμα Γεωλογίας-Ταξινόμηση
Βραχομάζας, Β. Χρηστάρας και Μ. Χατζηαγγέλου, 2006.

(http://www.geo.auth.gr/883/Rock_Class.htm)

Hoek, E., 2000. Practical rock engineering (e-book)

(<http://www.roscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>)

Web page of University of Minnesota - Basic Soil Science & The Soil Resource Web
Pages - AASHTO and USCS Classifications (instructor: Dr. Cooper, T., 2006)

(<http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil2125/doc/s6chp2b.htm>)

Αποτελέσματα δοκιμών εργαστηρίου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

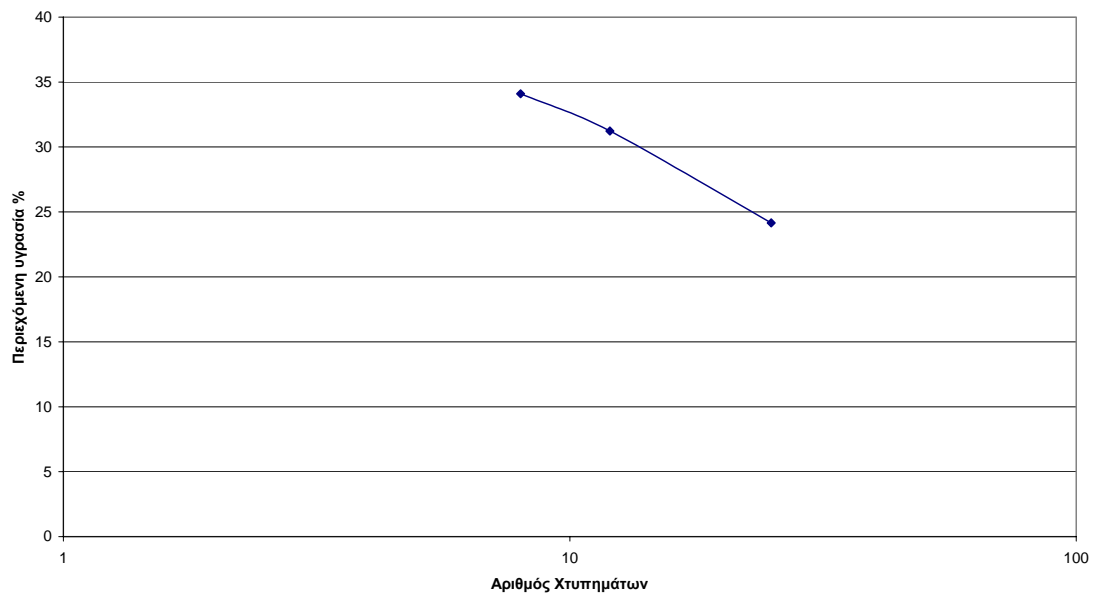
ΏΡΙΑ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ – ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ακολουθούν οι μετρήσεις που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εργαστηριακής δοκιμής.

Πίνακας 1: Μετρήσεις υδαρότητας δείγματος.

Δείγμα	Εδαφικό δείγμα υπό μελέτη ορίζοντα		
Αριθμός δείγματος	1ο	2ο	3ο
Αριθμός χτύπων	25	12	8
Βάρος υγρού δείγματος (g)	12,8	17,94	21,12
Βάρος ξηρού δείγματος (g)	10,31	13,67	15,75
Περιεκτικότητα σε νερό $w_c\%$	24,1	31,2	34,0

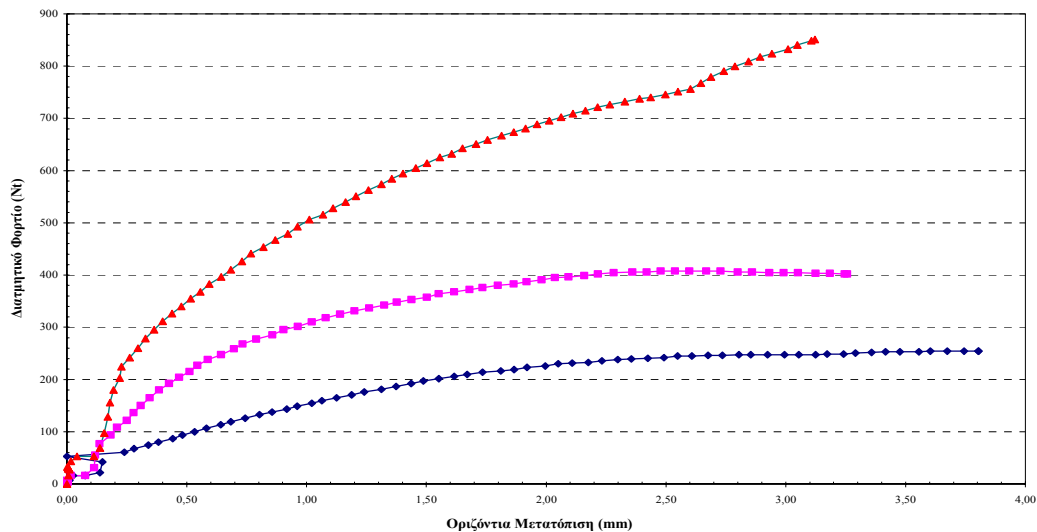
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



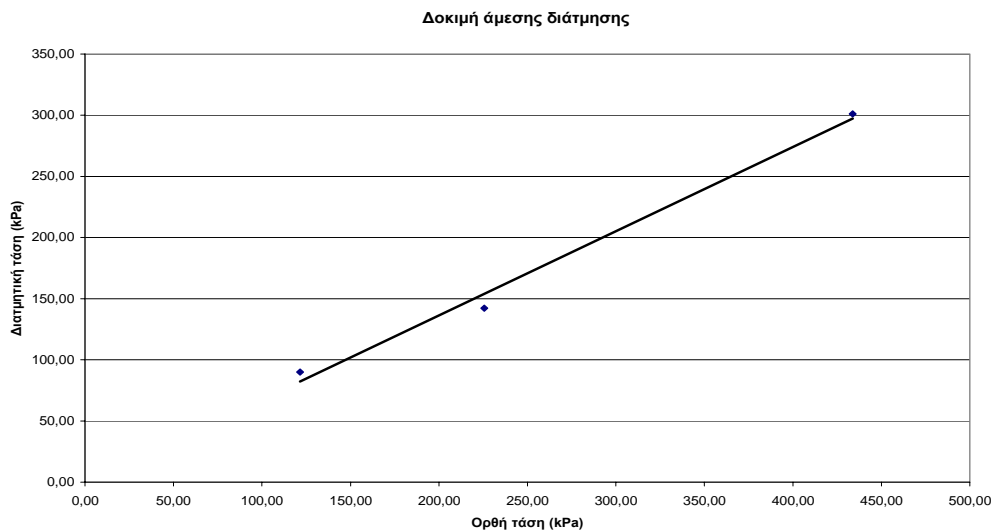
Διάγραμμα 1: Περιεχόμενη υγρασία w_c – αριθμός χτύπων.

Δοκιμή διάτμησης κορεσμένου υλικού

Δείγμα : ιλυώδης άμμος (2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας)



Διάγραμμα 2: Διατμητικό φορτίο συναρτήσει της μετατόπισης στον x.



$$c=0 \text{ kPa} \quad \varphi=34.5^\circ$$

Διάγραμμα 3: Διατμητική τάση συναρτήσει ορθής τάσης

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ																					
Στρ. ορίζοντας : 2 ^{ος}				<div>Πλήρως κορεσμένο σε νερό</div> <table><tr><td>Ορθό Φορτίο</td><td>Υγρασία</td></tr><tr><td>kN/m²</td><td>(%)κ.β.</td></tr><tr><td>121,41</td><td>37,94</td></tr><tr><td>225,55</td><td>13,17</td></tr><tr><td>433,83</td><td>24,37</td></tr></table>								Ορθό Φορτίο	Υγρασία	kN/m ²	(%)κ.β.	121,41	37,94	225,55	13,17	433,83	24,37
Ορθό Φορτίο	Υγρασία																				
kN/m ²	(%)κ.β.																				
121,41	37,94																				
225,55	13,17																				
433,83	24,37																				
Δείγμα : ΙΛΥΩΔΗΣ ΑΜΜΟΣ																					
Βάθος : ~2m Από την επιφάνεια																					
Διάμετρος δοκιμίου : 60 (mm)																					
Ύψος δοκιμίου : 50 (mm)																					
Επιφάνεια δοκιμίου: 2826,00 (mm ²)																					
Όγκος δοκιμίου: 180000,00 (mm ³)																					
Ρυθμός Φόρτισης : 0,048 (mm/min)																					
Σταθερά δύναμι δακτυλίου : 1,353 (N/div)																					
Ορθό Φορτίο (kg) : 34,976				Ορθό Φορτίο (kg): 64,976				Ορθό Φορτίο (kg): 124,976													
Απόλυτη Οριζόντια Μετατόπιση	Ένδειξη Δυν/κού Δακτυλίου	Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση	Διατμητικό Φορτίο	Απόλυτη Οριζόντια Μετατόπιση	Ένδειξη Δυν/κού Δακτυλίου	Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση	Διατμητικό Φορτίο	Απόλυτη Οριζόντια Μετατόπιση	Ένδειξη Δυν/κού Δακτυλίου	Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση	Διατμητικό Φορτίο										
(mm)		(mm)	(N)	(mm)		(mm)	(N)	(mm)		(mm)	(N)										
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
0,01	10,00	0,00	6,77	0,00	4,00	0,00	2,71	0,03	24,00	0,01	16,24										
0,02	10,00	0,01	6,77	0,00	4,00	0,00	2,71	0,05	40,00	0,01	27,06										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,00	4,00	0,00	2,71	0,05	42,00	0,01	28,41										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,00	4,00	0,00	2,71	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,00	4,00	0,00	2,71	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77										
0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77										

0,02	12,00	0,01	8,12	0,01	6,00	0,00	4,06	0,05	44,00	0,01	29,77
0,02	14,00	0,01	9,47	0,01	10,00	0,00	6,77	0,05	46,00	0,00	31,12
0,05	24,00	0,03	16,24	0,04	24,00	0,02	16,24	0,05	48,00	0,00	32,47
0,10	24,00	0,08	16,24	0,10	24,00	0,08	16,24	0,08	64,00	0,02	43,30
0,17	32,00	0,14	21,65	0,16	46,00	0,11	31,12	0,12	78,00	0,04	52,77
0,21	62,00	0,15	41,94	0,20	82,00	0,12	55,47	0,19	78,00	0,11	52,77
-0,26	78,00	0,00	52,77	0,25	114,00	0,14	77,12	0,24	102,00	0,14	69,00
0,33	90,00	0,24	60,89	0,32	138,00	0,18	93,36	0,30	144,00	0,16	97,42
0,38	100,00	0,28	67,65	0,37	160,00	0,21	108,24	0,36	190,00	0,17	128,54
0,45	110,00	0,34	74,42	0,43	180,00	0,25	121,77	0,41	230,00	0,18	155,60
0,50	118,00	0,38	79,83	0,48	202,00	0,28	136,65	0,46	266,00	0,19	179,95
0,57	128,00	0,44	86,59	0,53	222,00	0,31	150,18	0,52	300,00	0,22	202,95
0,62	138,00	0,48	93,36	0,59	244,00	0,35	165,07	0,56	332,00	0,23	224,60
0,68	148,00	0,53	100,12	0,65	266,00	0,38	179,95	0,62	358,00	0,26	242,19
0,74	158,00	0,58	106,89	0,71	284,00	0,43	192,13	0,68	384,00	0,30	259,78
0,81	168,00	0,64	113,65	0,77	302,00	0,47	204,30	0,74	412,00	0,33	278,72
0,86	176,00	0,68	119,06	0,83	318,00	0,51	215,13	0,80	436,00	0,36	294,95
0,93	186,00	0,74	125,83	0,88	336,00	0,54	227,30	0,86	460,00	0,40	311,19
1,00	196,00	0,80	132,59	0,94	352,00	0,59	238,13	0,92	482,00	0,44	326,07
1,06	204,00	0,86	138,01	1,01	366,00	0,64	247,60	0,98	502,00	0,48	339,60
1,13	212,00	0,92	143,42	1,08	382,00	0,70	258,42	1,04	524,00	0,52	354,49
1,18	220,00	0,96	148,83	1,13	396,00	0,73	267,89	1,10	544,00	0,56	368,02
1,25	228,00	1,02	154,24	1,20	410,00	0,79	277,37	1,16	566,00	0,59	382,90
1,30	236,00	1,06	159,65	1,28	422,00	0,86	285,48	1,23	586,00	0,64	396,43
1,37	244,00	1,13	165,07	1,34	436,00	0,90	294,95	1,29	606,00	0,68	409,96
1,44	252,00	1,19	170,48	1,41	446,00	0,96	301,72	1,36	630,00	0,73	426,20
1,50	260,00	1,24	175,89	1,48	458,00	1,02	309,84	1,42	652,00	0,77	441,08
1,58	268,00	1,31	181,30	1,55	470,00	1,08	317,96	1,49	670,00	0,82	453,26
1,65	276,00	1,37	186,71	1,62	480,00	1,14	324,72	1,56	690,00	0,87	466,79

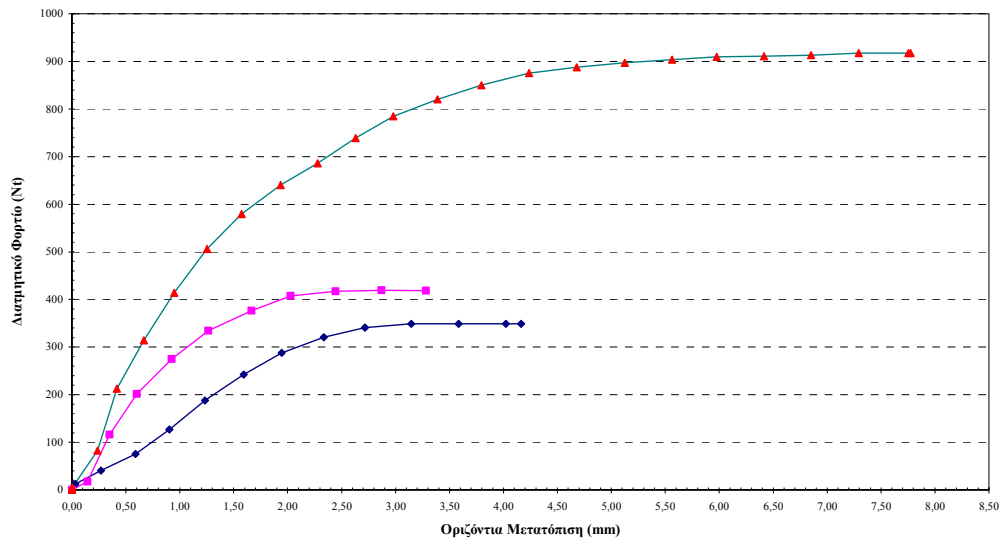
1,72	284,00	1,44	192,13	1,69	490,00	1,20	331,49	1,63	708,00	0,92	478,96
1,78	292,00	1,49	197,54	1,76	498,00	1,26	336,90	1,69	728,00	0,96	492,49
1,85	298,00	1,55	201,60	1,83	506,00	1,32	342,31	1,76	748,00	1,01	506,02
1,92	304,00	1,62	205,66	1,89	514,00	1,38	347,72	1,83	762,00	1,07	515,49
1,98	310,00	1,67	209,72	1,96	522,00	1,44	353,13	1,89	780,00	1,11	527,67
2,05	316,00	1,73	213,77	2,03	528,00	1,50	357,19	1,96	798,00	1,16	539,85
2,13	320,00	1,81	216,48	2,09	538,00	1,55	363,96	2,02	814,00	1,21	550,67
2,19	324,00	1,87	219,19	2,16	544,00	1,62	368,02	2,09	832,00	1,26	562,85
2,25	330,00	1,92	223,25	2,23	550,00	1,68	372,08	2,16	848,00	1,31	573,67
2,33	334,00	2,00	225,95	2,29	556,00	1,73	376,13	2,22	864,00	1,36	584,50
2,39	340,00	2,05	230,01	2,36	562,00	1,80	380,19	2,28	878,00	1,40	593,97
2,45	342,00	2,11	231,36	2,43	566,00	1,86	382,90	2,35	894,00	1,46	604,79
2,52	344,00	2,18	232,72	2,49	572,00	1,92	386,96	2,41	908,00	1,50	614,26
2,58	348,00	2,23	235,42	2,56	578,00	1,98	391,02	2,48	924,00	1,56	625,09
2,65	352,00	2,30	238,13	2,62	584,00	2,04	395,08	2,54	934,00	1,61	631,85
2,71	354,00	2,36	239,48	2,68	586,00	2,09	396,43	2,60	950,00	1,65	642,68
2,78	356,00	2,42	240,83	2,75	590,00	2,16	399,14	2,67	962,00	1,71	650,79
2,85	358,00	2,49	242,19	2,81	594,00	2,22	401,84	2,73	974,00	1,76	658,91
2,91	362	2,55	244,89	2,88	598	2,28	404,55	2,8	986	1,81	667,03
2,97	362	2,61	244,89	2,96	600	2,36	405,90	2,86	996	1,86	673,79
3,04	364	2,68	246,25	3,02	600	2,42	405,90	2,92	1006	1,91	680,56
3,1	364	2,74	246,25	3,08	602	2,48	407,25	2,98	1018	1,96	688,68
3,17	366	2,80	247,60	3,14	602	2,54	407,25	3,04	1028	2,01	695,44
3,22	366	2,85	247,60	3,2	602	2,60	407,25	3,1	1038	2,06	702,21
3,29	366	2,92	247,60	3,27	602	2,67	407,25	3,16	1048	2,11	708,97
3,36	366	2,99	247,60	3,33	602	2,73	407,25	3,22	1056	2,16	714,38
3,42	366	3,05	247,60	3,4	600	2,80	405,90	3,28	1066	2,21	721,15
3,49	366	3,12	247,60	3,46	600	2,86	405,90	3,34	1074	2,27	726,56
3,54	368	3,17	248,95	3,53	598	2,93	404,55	3,41	1082	2,33	731,97
3,61	368	3,24	248,95	3,59	598	2,99	404,55	3,48	1090	2,39	737,39

3,66	370	3,29	250,31	3,65	598	3,05	404,55	3,53	1094	2,44	740,09
3,73	372	3,36	251,66	3,72	596	3,12	403,19	3,6	1102	2,50	745,50
3,79	374	3,42	253,01	3,78	596	3,18	403,19	3,66	1110	2,55	750,92
3,85	374	3,48	253,01	3,84	594	3,25	401,84	3,72	1118	2,60	756,33
3,93	374	3,56	253,01	3,85	594	3,26	401,84	3,78	1134	2,65	767,15
3,98	376	3,60	254,36					3,84	1152	2,69	779,33
4,05	376	3,67	254,36					3,91	1168	2,74	790,15
4,12	376	3,74	254,36					3,97	1182	2,79	799,62
4,18	376	3,80	254,36					4,04	1196	2,84	809,09
4,18	376	3,80	254,36					4,1	1208	2,89	817,21
								4,16	1218	2,94	823,98
								4,24	1230	3,01	832,10
								4,29	1242	3,05	840,21
								4,36	1254	3,11	848,33
								4,38	1258,00	3,12	851,04

Σχήμα 1: Φύλλο εργασίας κορεσμένου δείγματος.

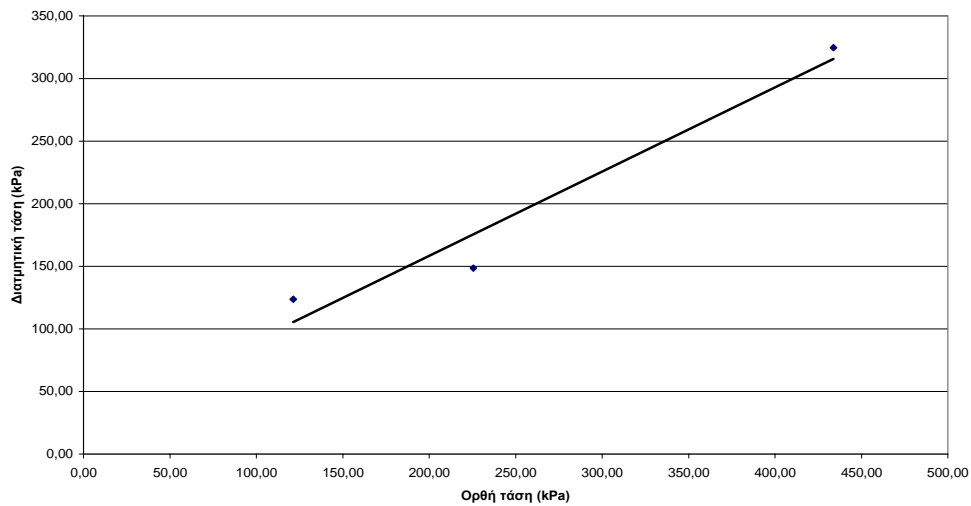
Δοκιμή διάτμησης ακόρεστου υλικού

Δείγμα : ιλυώδης άμμος (2^{ος} στρωματογραφικός ορίζοντας)



Διάγραμμα 4: Διατμητικό φορτίο συναρτήσει της μετατόπισης στον χ.

Δοκιμή άμεσης διάτμησης



$$c=23.81 \text{ kPa} \quad \Phi=33.94^\circ$$

Διάγραμμα 5: Διατμητική τάση συναρτήσει ορθής τάσης.

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ																					
Στρ. ορίζοντας : 2ος				<div>Δείγμα : ΙΛΥΩΔΗΣ ΑΜΜΟΣ</div> <div>Βάθος : ~2m Από την επιφάνεια</div> <div>Διάμετρος δοκιμίου : 60 (mm)</div> <div>Ύψος δοκιμίου : 50 (mm)</div> <div>Επιφάνεια δοκιμίου: 2826,00 (mm²)</div> <div>Όγκος δοκιμίου: 180000,00 (mm³)</div> <div>Ρυθμός Φόρτισης : 0,048 (mm/min)</div> <div>Σταθερά δυνάμ δακτυλίου : 1,353 (N/div)</div> <div>Ακόρεστο σε νερό</div> <table><tr><td>Ορθό φορτίο</td><td>Υγρασία</td></tr><tr><td>kN/m²</td><td>(%)κ.β</td></tr><tr><td>121,41</td><td>0,00</td></tr><tr><td>225,55</td><td>0,00</td></tr><tr><td>433,83</td><td>0,00</td></tr></table>								Ορθό φορτίο	Υγρασία	kN/m ²	(%)κ.β	121,41	0,00	225,55	0,00	433,83	0,00
Ορθό φορτίο	Υγρασία																				
kN/m ²	(%)κ.β																				
121,41	0,00																				
225,55	0,00																				
433,83	0,00																				
Ορθό Φορτίο(kg): 34,976				Ορθό Φορτίο(kg): 64,976				Ορθό Φορτίο(kg): 124,976													
Απόλυτη Οριζόντια Μετατόπιση	Ένδειξη Δυν/κού Δακτυλίου	Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση	Διατμητικό Φορτίο	Απόλυτη Οριζόντια Μετατόπιση	Ένδειξη Δυν/κού Δακτυλίου	Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση	Διατμητικό Φορτίο	Απόλυτη Οριζόντια Μετατόπιση	Ένδειξη Δυν/κού Δακτυλίου	Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση	Διατμητικό Φορτίο										
(mm)		(mm)	(N)	(mm)		(mm)	(N)	(mm)		(mm)	(N)										
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
0,04	16,00	0,02	10,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
0,05	18,00	0,03	12,18	0,17	26,00	0,14	17,59	0,01	8,00	0,00	5,41										
0,33	60,00	0,27	40,59	0,52	172,00	0,35	116,36	0,36	122,00	0,24	82,53										
0,70	112,00	0,59	75,77	0,90	298,00	0,60	201,60	0,73	314,00	0,42	212,42										
1,09	188,00	0,90	127,18	1,33	406,00	0,92	274,66	1,13	464,00	0,67	313,90										
1,51	278,00	1,23	188,07	1,76	494,00	1,27	334,19	1,56	612,00	0,95	414,02										
1,95	358,00	1,59	242,19	2,22	556,00	1,66	376,13	2,00	748,00	1,25	506,02										
2,37	426,00	1,94	288,19	2,63	602,00	2,03	407,25	2,43	856,00	1,57	579,08										
2,81	474,00	2,34	320,66	3,06	616,00	2,44	416,72	2,88	946,00	1,93	639,97										
3,22	504,00	2,72	340,96	3,49	620,00	2,87	419,43	3,29	1014,00	2,28	685,97										

3,66	516,00	3,14	349,07	3,90	618,00	3,28	418,08	3,72	1092,00	2,63	738,74
4,10	516,00	3,58	349,07					4,14	1160,00	2,98	784,74
4,54	516,00	4,02	349,07					4,60	1212,00	3,39	819,92
4,68	516,00	4,16	349,07					5,05	1256,00	3,79	849,68
								5,53	1294,00	4,24	875,39
								5,99	1312,00	4,68	887,57
								6,45	1326,00	5,12	897,04
								6,90	1336,00	5,56	903,80
								7,32	1344,00	5,98	909,22
								7,76	1346,00	6,41	910,57
								8,20	1350,00	6,85	913,28
								8,65	1356,00	7,29	917,33
								9,11	1356,00	7,75	917,33
								9,13	1356,00	7,77	917,33

Σχήμα 2: Φύλλο εργασίας ακόρεστου δείγματος.

ΔΟΜΙΚΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Τα δοκίμια μαργαϊκού ψαμμίτη διαμορφώθηκαν από 2 τεμάχια που ελήφθησαν στον τόπο εκσκαφής για θεμελίωση νεόκτιστης πολυκατοικίας της περιοχής. Τα δείγματα ανήκουν στον στρωματογραφικό ορίζοντα 2.

Δοκίμιο 1

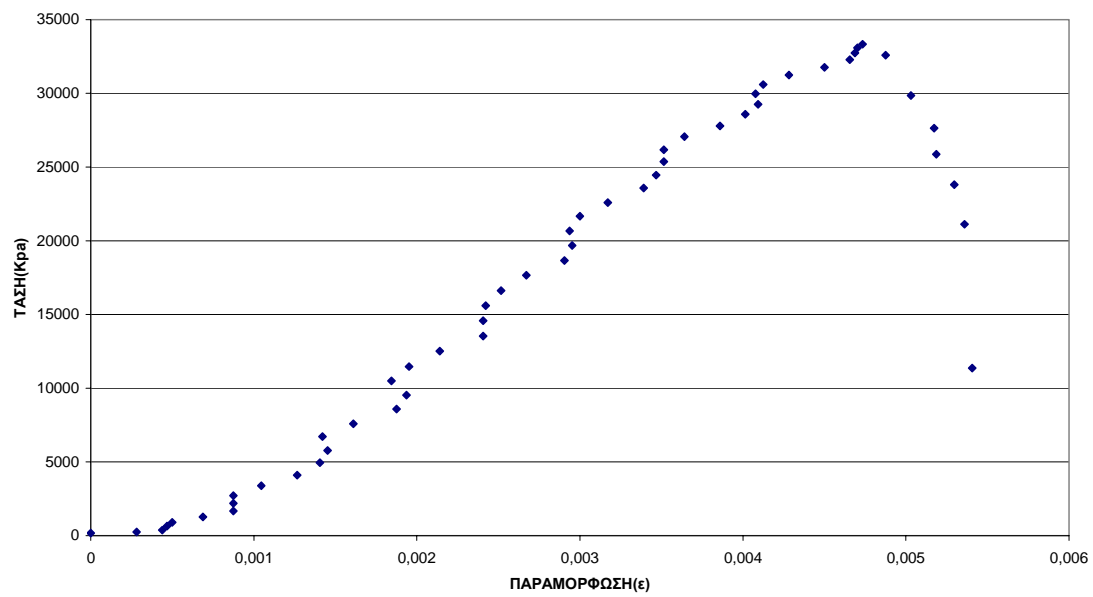
Μετατόπιση Δy (mm)	Ανηγμένη Παραμόρφωση ε	Τάση σ (kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
2,75E-02	2,81E-04	240,01	853,42
4,27E-02	4,37E-04	379,37	867,22
4,58E-02	4,69E-04	642,61	1371,02
4,88E-02	5,00E-04	905,85	1811,85
6,71E-02	6,87E-04	1269,74	1847,07
8,55E-02	8,75E-04	1656,86	1893,72
8,55E-02	8,75E-04	2183,33	2495,46
8,55E-02	8,75E-04	2717,55	3106,06
1,02E-01	1,05E-03	3391,13	3239,58
1,24E-01	1,27E-03	4095,69	3236,40
1,37E-01	1,41E-03	4939,60	3512,93
1,42E-01	1,45E-03	5775,77	3975,08
1,39E-01	1,42E-03	6712,59	4721,38
1,57E-01	1,61E-03	7595,21	4719,81
1,83E-01	1,87E-03	8578,49	4575,64
1,89E-01	1,94E-03	9515,31	4911,59
1,80E-01	1,84E-03	10506,32	5698,87
1,91E-01	1,95E-03	11474,11	5875,30
2,09E-01	2,14E-03	12503,84	5841,78
2,35E-01	2,41E-03	13533,57	5624,89
2,35E-01	2,41E-03	14571,04	6056,08
2,37E-01	2,42E-03	15600,77	6442,23
2,46E-01	2,52E-03	16622,75	6608,45
2,61E-01	2,67E-03	17667,97	6613,21
2,84E-01	2,91E-03	18651,24	6418,26
2,88E-01	2,95E-03	19688,71	6667,72
2,87E-01	2,94E-03	20671,98	7037,96
2,93E-01	3,00E-03	21678,49	7226,85
3,10E-01	3,17E-03	22576,59	7118,44
3,31E-01	3,39E-03	23575,35	6953,77
3,39E-01	3,47E-03	24457,98	7051,63
3,43E-01	3,52E-03	25379,31	7219,70
3,43E-01	3,52E-03	26169,03	7444,35
3,56E-01	3,64E-03	27059,40	7433,34
3,77E-01	3,86E-03	27787,17	7200,62
3,92E-01	4,02E-03	28592,37	7120,97

4,00E-01	4,09E-03	29250,47	7145,85
3,98E-01	4,08E-03	29985,99	7353,61
4,03E-01	4,12E-03	30589,89	7416,45
4,18E-01	4,28E-03	31240,25	7297,70
4,39E-01	4,50E-03	31766,72	7059,96
4,55E-01	4,66E-03	32285,46	6934,47
4,58E-01	4,69E-03	32726,77	6982,40
4,59E-01	4,70E-03	33075,17	7033,29
4,62E-01	4,73E-03	33330,67	7040,83
4,76E-01	4,87E-03	32587,41	6685,25
4,91E-01	5,03E-03	29854,37	5934,37
5,05E-01	5,17E-03	27624,58	5341,83
5,07E-01	5,19E-03	25882,56	4989,90
5,17E-01	5,30E-03	23807,62	4495,09
5,23E-01	5,36E-03	21121,04	3941,34
5,28E-01	5,41E-03	11373,46	2103,97
5,42E-01	5,55E-03	8261,05	1489,46
5,69E-01	5,83E-03	7502,30	1287,38
5,86E-01	6,00E-03	7285,52	1214,37
5,87E-01	6,02E-03	7130,67	1185,48
5,86E-01	6,00E-03	7037,77	1173,08
5,91E-01	6,05E-03	6906,15	1142,21
6,10E-01	6,25E-03	6851,95	1096,42
6,27E-01	6,42E-03	6697,10	1042,96
6,48E-01	6,64E-03	6596,45	993,45
6,58E-01	6,73E-03	6472,58	961,22
6,58E-01	6,73E-03	6379,67	947,42
6,65E-01	6,81E-03	6217,08	912,69
6,71E-01	6,87E-03	6170,63	897,63
6,82E-01	6,98E-03	6008,04	860,30
6,87E-01	7,03E-03	5907,39	840,25
7,10E-01	7,26E-03	5752,54	791,83
7,25E-01	7,42E-03	5698,34	767,85
7,37E-01	7,55E-03	5636,41	746,93
7,39E-01	7,56E-03	5605,44	741,29
7,32E-01	7,50E-03	5528,01	737,14
7,45E-01	7,62E-03	5473,82	717,95
7,51E-01	7,69E-03	5419,62	705,06
7,63E-01	7,81E-03	5334,46	682,88
7,92E-01	8,11E-03	5288,00	652,15
8,03E-01	8,22E-03	5249,29	638,76
8,13E-01	8,33E-03	5226,06	627,58
8,18E-01	8,37E-03	5179,61	618,52
8,19E-01	8,39E-03	5187,35	618,29
8,33E-01	8,53E-03	5117,67	599,93
8,38E-01	8,58E-03	5117,67	596,65

Δοκίμιο 1

Μήκος δοκιμίου (mm)	Εμβαδό επιφάνειας δοκιμίου (m ²)
97,66	0,00197
Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Αντοχή δοκιμίου (kPa)
50,106	33330

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΗΣ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (δοκίμιο 1ο)



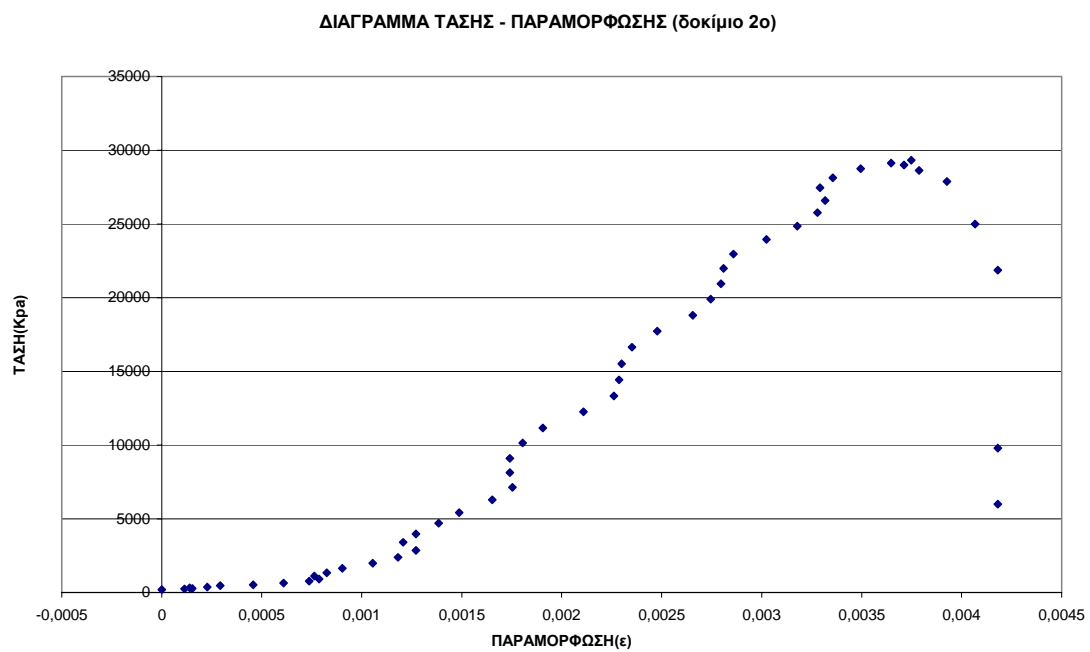
Δοκίμιο 2

Μετατόπιση Δy (mm)	Ανηγμένη Παραμόρφωση ε	Τάση σ (kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
-2,00E-06	-1,67E-08	200,99	-12065965,26
1,37E-02	1,14E-04	245,65	2148,03
1,83E-02	1,52E-04	275,43	1806,30
1,68E-02	1,40E-04	334,98	2396,61
2,75E-02	2,29E-04	372,20	1627,24
3,51E-02	2,92E-04	461,53	1579,06
5,49E-02	4,57E-04	513,64	1122,73
7,32E-02	6,10E-04	647,63	1061,69
8,85E-02	7,37E-04	766,74	1040,23
9,46E-02	7,88E-04	923,06	1171,52
9,16E-02	7,62E-04	1116,61	1464,41
9,92E-02	8,26E-04	1347,37	1631,11
1,08E-01	9,02E-04	1645,13	1823,27
1,27E-01	1,05E-03	1980,11	1877,24
1,42E-01	1,18E-03	2396,98	2028,10
1,53E-01	1,27E-03	2851,07	2243,45
1,45E-01	1,21E-03	3401,93	2817,79
1,53E-01	1,27E-03	3982,56	3133,79
1,66E-01	1,39E-03	4704,63	3396,30
1,79E-01	1,49E-03	5434,15	3654,71
1,98E-01	1,65E-03	6290,21	3807,39
2,11E-01	1,75E-03	7146,28	4074,79
2,09E-01	1,74E-03	8143,78	4677,46
2,09E-01	1,74E-03	9096,61	5224,73
2,17E-01	1,80E-03	10146,22	5622,40
2,29E-01	1,91E-03	11166,06	5857,52
2,53E-01	2,11E-03	12275,22	5818,70
2,72E-01	2,26E-03	13332,27	5893,70
2,75E-01	2,29E-03	14433,99	6309,83
2,76E-01	2,30E-03	15520,82	6747,44
2,82E-01	2,35E-03	16652,31	7082,83
2,98E-01	2,48E-03	17731,70	7155,16
3,19E-01	2,66E-03	18811,08	7082,25
3,30E-01	2,75E-03	19912,80	7254,08
3,36E-01	2,80E-03	20947,52	7492,26
3,37E-01	2,81E-03	21982,24	7826,77
3,43E-01	2,86E-03	22972,30	8033,88
3,63E-01	3,02E-03	23947,47	7917,45
3,81E-01	3,18E-03	24855,64	7823,27
3,94E-01	3,28E-03	25778,70	7862,21
3,98E-01	3,32E-03	26582,66	8014,21
3,95E-01	3,29E-03	27461,06	8342,96

4,03E-01	3,36E-03	28131,02	8384,63
4,20E-01	3,49E-03	28748,87	8226,04
4,38E-01	3,65E-03	29121,08	7984,13
4,50E-01	3,75E-03	29322,07	7821,22
4,46E-01	3,71E-03	28994,53	7813,32
4,55E-01	3,79E-03	28629,77	7559,68
4,71E-01	3,93E-03	27885,37	7101,01
4,88E-01	4,07E-03	24997,08	6146,69
5,02E-01	4,18E-03	21855,70	5227,22
5,02E-01	4,18E-03	9811,24	2346,55
5,02E-01	4,18E-03	5992,45	1433,21
5,20E-01	4,33E-03	5054,50	1166,34
5,43E-01	4,52E-03	4719,52	1043,16
5,55E-01	4,63E-03	4607,86	996,09
5,51E-01	4,59E-03	4503,64	981,65
5,65E-01	4,70E-03	4444,09	945,11
5,72E-01	4,77E-03	4406,87	924,70
5,97E-01	4,97E-03	4354,76	876,37
6,06E-01	5,05E-03	4317,54	855,75
6,12E-01	5,10E-03	4310,10	845,75
6,13E-01	5,11E-03	4317,54	845,11
6,32E-01	5,26E-03	4324,99	822,03
6,48E-01	5,40E-03	4369,65	809,02
6,65E-01	5,54E-03	4399,43	793,98
6,64E-01	5,53E-03	4473,87	809,27
6,67E-01	5,55E-03	4481,31	806,91
6,82E-01	5,68E-03	4548,31	800,65
7,00E-01	5,83E-03	4555,75	781,00
7,14E-01	5,95E-03	4607,86	774,74
7,14E-01	5,95E-03	4607,86	774,74
7,13E-01	5,93E-03	4652,52	783,92
7,37E-01	6,14E-03	4607,86	750,68
7,58E-01	6,32E-03	4645,08	735,42
7,60E-01	6,33E-03	4563,20	721,01
7,58E-01	6,32E-03	4592,97	727,18
7,64E-01	6,37E-03	4592,97	721,37
7,78E-01	6,48E-03	4615,30	712,08
8,00E-01	6,66E-03	4630,19	695,29
7,98E-01	6,65E-03	4682,30	704,46
8,01E-01	6,67E-03	4682,30	701,78
8,18E-01	6,81E-03	4734,41	695,03
8,42E-01	7,02E-03	4734,41	674,88
8,56E-01	7,13E-03	4771,63	669,28
8,47E-01	7,05E-03	4793,96	679,68

Δοκίμιο 2

Μήκος δοκιμίου (mm)	Εμβαδό επιφάνειας δοκιμίου (m ²)
120,06	0,00200
Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Αντοχή δοκιμίου (kPa)
51,1	29322



Δοκίμιο 3

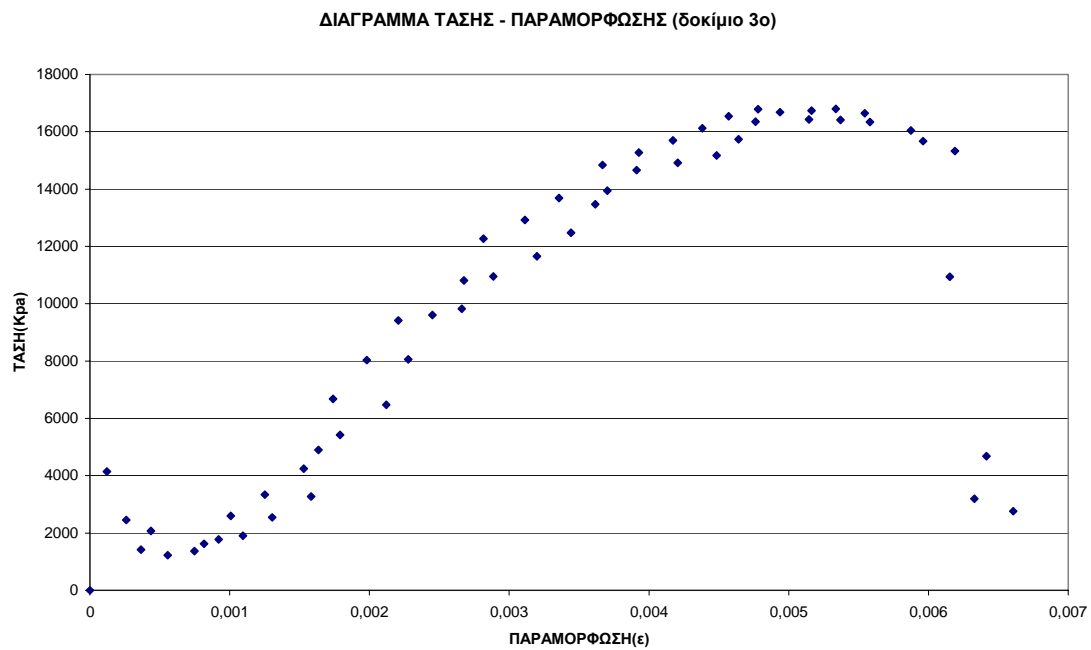
Μετατόπιση Δy (mm)	Ανηγμένη Παραμόρφωση ε	Τάση σ (kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
0,011	0,0001	4139,56	34031,02
0,032	0,0004	1421,36	3894,11
0,023	0,0003	2458,27	9429,49
0,049	0,0006	1234,53	2219,57
0,038	0,0004	2071,84	4768,05
0,066	0,0007	1367,84	1830,10
0,072	0,0008	1624,97	1989,08
0,081	0,0009	1772,28	1923,80
0,096	0,0011	1908,98	1743,26
0,088	0,0010	2603,31	2582,27
0,114	0,0013	2539,92	1948,32
0,110	0,0013	3340,73	2669,39
0,139	0,0016	3270,23	2067,46
0,134	0,0015	4249,57	2778,18
0,143	0,0016	4902,86	3000,68
0,157	0,0018	5420,47	3027,59
0,153	0,0017	6680,41	3843,28
0,186	0,0021	6468,71	3050,39
0,174	0,0020	8031,52	4053,14
0,200	0,0023	8061,42	3540,28
0,194	0,0022	9421,25	4267,77
0,215	0,0025	9606,45	3919,59
0,233	0,0027	9828,36	3695,60
0,235	0,0027	10813,38	4039,57
0,253	0,0029	10951,85	3795,55
0,247	0,0028	12262,64	4354,75
0,281	0,0032	11655,21	3644,16
0,273	0,0031	12927,26	4154,77
0,302	0,0034	12475,95	3624,96
0,294	0,0034	13690,63	4080,94
0,317	0,0036	13471,43	3726,02
0,325	0,0037	13946,51	3766,87
0,322	0,0037	14844,18	4047,32
0,343	0,0039	14657,93	3747,86
0,345	0,0039	15280,57	3889,78
0,369	0,0042	14923,22	3547,65
0,366	0,0042	15691,34	3761,34
0,394	0,0045	15178,40	3384,54
0,385	0,0044	16125,01	3681,23
0,407	0,0046	15741,86	3391,86
0,401	0,0046	16538,71	3617,76
0,418	0,0048	16348,89	3432,66
0,420	0,0048	16784,22	3511,25
0,433	0,0049	16678,87	3378,63

Αποτελέσματα δοκιμών εργαστηρίου

0,452	0,0051	16432,74	3193,83
0,453	0,0052	16732,08	3241,06
0,471	0,0054	16411,82	3055,56
0,468	0,0053	16793,25	3146,95
0,490	0,0056	16331,57	2926,96
0,487	0,0055	16640,33	3000,98
0,523	0,0060	15667,93	2627,91
0,516	0,0059	16037,37	2729,67
0,543	0,0062	15325,12	2476,55
0,540	0,0062	10933,26	1776,80
0,563	0,0064	4677,02	729,18
0,555	0,0063	3195,41	505,03
0,580	0,0066	2762,87	418,28
0,578	0,0066	2712,25	411,70
0,600	0,0068	2613,40	382,56
0,601	0,0068	2564,44	374,45
0,612	0,0070	2504,34	359,29
0,621	0,0071	2452,33	346,64
0,630	0,0072	2399,70	334,27
0,638	0,0073	2356,29	324,30
0,652	0,0074	2298,40	309,66
0,671	0,0076	2234,49	292,16
0,674	0,0077	2200,54	286,42
0,693	0,0079	2094,04	265,35
0,694	0,0079	2027,70	256,38
0,714	0,0081	1935,73	237,95
0,708	0,0081	1920,26	238,09
0,728	0,0083	1858,73	224,18
0,728	0,0083	1845,84	222,62
0,755	0,0086	1778,72	206,73
0,751	0,0086	1769,94	206,96
0,777	0,0088	1693,58	191,42
0,769	0,0088	1675,55	191,26
0,792	0,0090	1613,59	178,86
0,787	0,0090	1585,54	176,77
0,806	0,0092	1522,91	165,93
0,806	0,0092	1479,68	161,22
0,830	0,0095	1408,73	148,98
0,819	0,0093	1371,51	146,93
0,847	0,0096	1276,42	132,31
0,853	0,0097	1226,45	126,22
0,871	0,0099	1182,23	119,11
0,874	0,0100	1156,66	116,13
0,891	0,0102	1121,34	110,46
0,891	0,0102	1116,83	110,02
0,912	0,0104	1080,41	103,94
0,914	0,0104	1052,23	101,06
0,928	0,0106	999,11	94,54

Δοκίμιο 3

Μήκος δοκιμίου (mm)	Εμβαδό επιφάνειας δοκιμίου (m ²)
87,783	0,00204
Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Αντοχή δοκιμίου (kPa)
51,066	16784



Δοκίμιο 4

Μετατόπιση Δy (mm)	Ανηγγμένη Παραμόρφωση ϵ	Τάση σ (kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
2,59E-02	2,96E-04	1156,09	3905,18
3,51E-02	4,01E-04	1618,52	4040,85
3,05E-02	3,48E-04	2155,54	6188,93
4,73E-02	5,40E-04	2737,32	5070,39
8,24E-02	9,40E-04	3416,05	3632,49
7,63E-02	8,71E-04	4139,54	4754,00
7,48E-02	8,53E-04	4930,15	5777,54
1,01E-01	1,15E-03	5728,23	4983,69
1,11E-01	1,27E-03	6541,22	5145,30
1,05E-01	1,20E-03	7354,21	6120,12
1,16E-01	1,32E-03	8182,12	6181,94
1,42E-01	1,62E-03	8987,65	5549,26
1,50E-01	1,71E-03	9793,18	5738,13
1,48E-01	1,69E-03	10561,42	6252,02
1,68E-01	1,92E-03	11277,45	5886,93
1,94E-01	2,21E-03	12038,23	5442,88
1,89E-01	2,16E-03	12687,13	5875,06
1,85E-01	2,11E-03	13395,70	6356,96
2,14E-01	2,44E-03	13984,93	5735,92
2,29E-01	2,61E-03	14589,08	5584,78
2,30E-01	2,63E-03	15111,18	5746,34
2,35E-01	2,68E-03	15692,96	5851,31
2,50E-01	2,86E-03	16103,18	5638,17
2,62E-01	3,00E-03	16550,70	5525,32
2,64E-01	3,01E-03	16901,25	5609,74
2,73E-01	3,12E-03	17251,81	5534,14
3,01E-01	3,43E-03	17453,19	5087,19
2,98E-01	3,40E-03	17602,36	5183,28
2,94E-01	3,36E-03	17714,24	5270,28
3,07E-01	3,50E-03	17781,37	5079,70
3,36E-01	3,83E-03	17714,24	4623,47
3,37E-01	3,85E-03	17609,82	4575,42
3,37E-01	3,85E-03	17483,03	4542,47
3,51E-01	4,01E-03	17386,06	4340,53
3,74E-01	4,27E-03	17326,40	4060,79
3,71E-01	4,23E-03	17221,97	4069,54
3,69E-01	4,21E-03	17169,76	4073,96
3,89E-01	4,44E-03	17102,64	3851,16
4,10E-01	4,68E-03	17110,10	3652,31
4,12E-01	4,70E-03	17057,89	3627,68
4,17E-01	4,75E-03	17072,80	3590,96
4,32E-01	4,93E-03	17005,67	3450,45

4,53E-01	5,17E-03	16953,46	3277,71
4,52E-01	5,15E-03	16863,96	3271,42
4,50E-01	5,14E-03	16938,55	3297,02
4,67E-01	5,33E-03	16886,34	3168,71
5,00E-01	5,71E-03	16908,71	2960,08
5,07E-01	5,78E-03	16893,80	2921,84
5,05E-01	5,76E-03	16938,55	2938,44
5,16E-01	5,89E-03	16908,71	2872,51
5,39E-01	6,15E-03	16856,50	2741,95
5,45E-01	6,22E-03	16737,16	2692,04
5,45E-01	6,22E-03	16722,25	2689,64
5,46E-01	6,23E-03	16670,04	2673,75
5,72E-01	6,53E-03	16677,49	2553,68
5,86E-01	6,69E-03	16677,49	2493,83
5,84E-01	6,67E-03	16662,58	2498,11
5,87E-01	6,70E-03	16640,20	2481,79
6,04E-01	6,90E-03	16573,07	2403,12
6,27E-01	7,16E-03	16297,10	2276,86
6,30E-01	7,19E-03	15924,17	2213,98
6,29E-01	7,18E-03	15588,53	2172,58
6,42E-01	7,33E-03	15342,40	2092,56
6,68E-01	7,63E-03	15215,60	1994,72
6,76E-01	7,72E-03	15051,51	1950,94
6,77E-01	7,73E-03	14969,47	1935,93
6,84E-01	7,80E-03	14827,76	1900,49
7,02E-01	8,01E-03	14820,30	1849,98
7,26E-01	8,29E-03	14708,42	1774,30
7,25E-01	8,27E-03	14700,96	1777,13
7,26E-01	8,29E-03	14618,91	1763,50
7,40E-01	8,45E-03	14618,91	1730,77
7,66E-01	8,74E-03	14551,79	1664,48
7,77E-01	8,86E-03	14574,16	1644,12
7,75E-01	8,85E-03	14492,12	1638,08
7,77E-01	8,86E-03	14529,41	1639,07
7,95E-01	9,07E-03	14484,66	1596,39
8,21E-01	9,37E-03	14477,20	1545,15
8,27E-01	9,44E-03	14439,91	1529,79
8,32E-01	9,49E-03	14432,45	1520,59
8,35E-01	9,53E-03	14387,70	1510,33
8,44E-01	9,63E-03	14313,11	1486,20
8,67E-01	9,89E-03	14260,90	1441,67
8,71E-01	9,94E-03	14208,69	1428,85
8,79E-01	1,00E-02	14141,56	1409,75
8,76E-01	1,00E-02	14074,43	1407,95
8,90E-01	1,02E-02	14044,60	1383,27
9,16E-01	1,04E-02	13955,10	1335,51
9,23E-01	1,05E-02	13910,34	1320,23
9,12E-01	1,04E-02	13835,76	1328,52

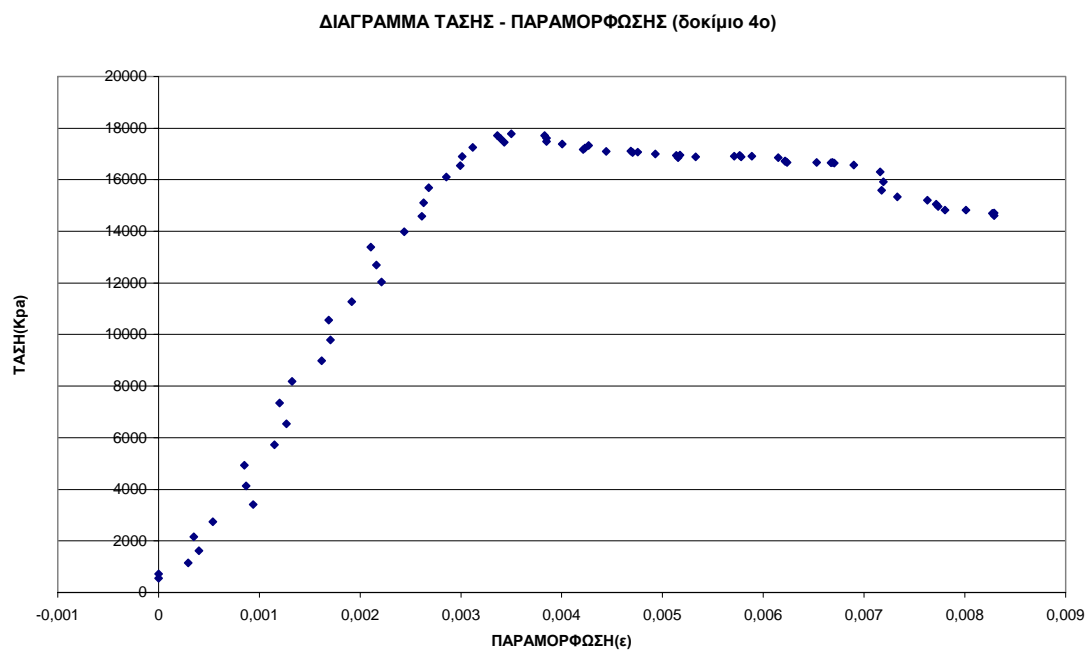
9,22E-01	1,05E-02	13820,84	1313,91
9,32E-01	1,06E-02	13746,25	1291,84
9,66E-01	1,10E-02	13731,34	1245,59
9,72E-01	1,11E-02	13656,75	1231,05
9,77E-01	1,11E-02	13656,75	1225,28
9,83E-01	1,12E-02	13582,16	1211,02
9,95E-01	1,14E-02	13559,79	1194,19
1,02E+00	1,16E-02	13492,66	1161,55
1,03E+00	1,18E-02	13500,12	1148,42
1,03E+00	1,18E-02	13432,99	1141,02
1,03E+00	1,18E-02	13432,99	1142,71
1,04E+00	1,19E-02	13373,32	1125,96
1,06E+00	1,21E-02	13388,24	1104,54
1,08E+00	1,23E-02	13313,65	1082,83
1,08E+00	1,24E-02	13261,44	1072,51
1,08E+00	1,24E-02	13127,19	1061,65
1,09E+00	1,24E-02	12970,56	1043,10
1,10E+00	1,26E-02	12813,93	1019,09
1,12E+00	1,28E-02	12739,34	996,59
1,14E+00	1,30E-02	12672,21	978,02
1,14E+00	1,30E-02	12612,54	972,11
1,14E+00	1,30E-02	12567,79	967,36
1,15E+00	1,31E-02	12493,20	953,94
1,16E+00	1,33E-02	12463,37	939,18
1,18E+00	1,35E-02	12403,70	917,82
1,20E+00	1,37E-02	12373,87	905,11
1,20E+00	1,37E-02	12284,36	896,28
1,20E+00	1,37E-02	12269,45	896,33
1,21E+00	1,38E-02	12224,69	885,18
1,23E+00	1,40E-02	12224,69	874,16
1,25E+00	1,42E-02	12157,57	855,51
1,26E+00	1,44E-02	12165,02	846,69
1,26E+00	1,44E-02	12082,98	842,00
1,26E+00	1,44E-02	12105,36	840,50
1,27E+00	1,45E-02	12053,14	832,85
1,28E+00	1,46E-02	12068,06	825,93
1,30E+00	1,49E-02	12000,93	805,96
1,32E+00	1,51E-02	12000,93	796,65
1,32E+00	1,51E-02	11933,81	789,45
1,33E+00	1,52E-02	11941,27	785,42
1,33E+00	1,52E-02	11889,06	781,09
1,34E+00	1,53E-02	11866,68	774,31
1,36E+00	1,56E-02	11829,39	760,64
1,38E+00	1,58E-02	11792,09	748,19
1,39E+00	1,59E-02	11747,34	738,81
1,39E+00	1,59E-02	11672,75	734,12
1,40E+00	1,59E-02	11628,00	729,71
1,40E+00	1,59E-02	11531,04	723,63

1,41E+00	1,60E-02	11516,12	717,98
1,43E+00	1,63E-02	11449,00	702,36
1,45E+00	1,65E-02	11434,08	693,29
1,46E+00	1,66E-02	11366,95	683,45
1,46E+00	1,67E-02	11359,49	680,86
1,47E+00	1,67E-02	11277,45	673,84
1,47E+00	1,68E-02	11247,61	670,66
1,48E+00	1,69E-02	11135,73	659,88
1,50E+00	1,71E-02	11135,73	651,80
1,51E+00	1,73E-02	11053,69	639,83
1,53E+00	1,74E-02	11053,69	634,07
1,54E+00	1,76E-02	10971,64	625,00
1,54E+00	1,75E-02	10964,18	625,81
1,54E+00	1,76E-02	10889,60	619,10
1,55E+00	1,77E-02	10919,43	618,34
1,56E+00	1,78E-02	10837,39	610,09
1,57E+00	1,80E-02	10852,31	604,41
1,59E+00	1,81E-02	10837,39	597,21
1,60E+00	1,83E-02	10837,39	592,66
1,61E+00	1,84E-02	10800,10	586,70
1,62E+00	1,85E-02	10815,01	584,20
1,63E+00	1,86E-02	10807,55	580,52
1,64E+00	1,87E-02	10800,10	577,42
1,65E+00	1,88E-02	10785,18	573,95
1,66E+00	1,89E-02	10740,43	567,36
1,68E+00	1,92E-02	10695,67	557,81
1,69E+00	1,93E-02	10471,92	543,18
1,70E+00	1,94E-02	10397,33	535,44
1,71E+00	1,95E-02	10330,20	530,56
1,71E+00	1,95E-02	10345,12	530,38
1,72E+00	1,96E-02	10285,45	523,58
1,73E+00	1,97E-02	10292,91	522,57
1,75E+00	1,99E-02	10240,70	514,01
1,75E+00	2,00E-02	10240,70	511,33
1,77E+00	2,02E-02	10158,65	502,42
1,79E+00	2,05E-02	10151,19	495,65
1,79E+00	2,05E-02	10076,61	492,01
1,80E+00	2,05E-02	10061,69	490,03
1,81E+00	2,06E-02	9972,19	483,21
1,81E+00	2,07E-02	9972,19	481,59
1,82E+00	2,07E-02	9890,14	476,82
1,82E+00	2,08E-02	9867,77	474,95
1,83E+00	2,09E-02	9778,26	467,89
1,85E+00	2,11E-02	9740,97	460,73
1,87E+00	2,14E-02	9681,30	453,43
1,88E+00	2,15E-02	9658,92	449,45
1,89E+00	2,16E-02	9621,63	445,55
1,90E+00	2,17E-02	9547,05	440,32

1,90E+00	2,17E-02	9487,38	437,57
1,91E+00	2,18E-02	9435,17	433,42
1,91E+00	2,18E-02	9390,41	429,99
1,93E+00	2,20E-02	9353,12	425,23
1,94E+00	2,22E-02	9315,83	420,20
1,95E+00	2,23E-02	9263,62	415,24
1,97E+00	2,24E-02	9241,24	411,67
1,99E+00	2,27E-02	9166,66	404,58
2,00E+00	2,28E-02	9166,66	402,10
2,01E+00	2,29E-02	9106,99	397,66
2,02E+00	2,30E-02	9092,07	395,21
2,02E+00	2,31E-02	9039,86	391,16
2,03E+00	2,32E-02	9054,78	390,34
2,04E+00	2,33E-02	8965,27	384,17
2,05E+00	2,34E-02	8987,65	384,84
2,05E+00	2,34E-02	8935,44	381,19
2,07E+00	2,36E-02	8957,81	379,04
2,06E+00	2,36E-02	8890,69	377,32
2,08E+00	2,38E-02	8920,52	375,25
2,10E+00	2,40E-02	8883,23	370,16
2,12E+00	2,42E-02	8868,31	367,14
2,13E+00	2,43E-02	8831,02	363,50
2,14E+00	2,45E-02	8816,10	360,56
2,14E+00	2,45E-02	8629,63	352,93
2,16E+00	2,46E-02	8383,50	340,20
2,16E+00	2,46E-02	8241,79	334,69
2,17E+00	2,47E-02	8174,66	330,79
2,17E+00	2,48E-02	8122,45	327,75
2,18E+00	2,49E-02	8085,15	324,65
2,20E+00	2,51E-02	8047,86	321,13
2,20E+00	2,51E-02	7988,19	317,87
2,21E+00	2,52E-02	7973,27	316,18
2,22E+00	2,54E-02	7928,52	312,46
2,23E+00	2,54E-02	7943,44	312,19
2,24E+00	2,56E-02	7876,31	307,66
2,26E+00	2,58E-02	7906,15	306,53
2,28E+00	2,60E-02	7831,56	301,20
2,29E+00	2,62E-02	7809,18	298,14
2,31E+00	2,63E-02	7749,52	294,49
2,32E+00	2,64E-02	7779,35	294,26

Δοκίμιο 4

Μήκος δοκιμίου (mm)	Εμβαδό επιφάνειας δοκιμίου (m ²)
87,616	0,00204
Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Αντοχή δοκιμίου (kPa)
51,05	16938



Δοκίμιο 5

Μετατόπιση Δy (mm)	Ανηγμένη Παραμόρφωση ε	Τάση σ (kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
0,000	0,00000	0,00	0,00
0,020	0,00021	3298,16	15497,62
0,037	0,00039	2019,25	5138,76
0,046	0,00049	2143,47	4363,80
0,055	0,00059	2045,03	3469,38
0,056	0,00061	2644,65	4365,43
0,061	0,00065	2865,63	4375,37
0,069	0,00074	3313,45	4496,99
0,076	0,00082	3615,75	4416,46
0,092	0,00098	3758,59	3825,73
0,107	0,00115	3887,28	3391,47
0,117	0,00126	4211,57	3340,33
0,134	0,00144	4373,44	3035,12
0,146	0,00157	4707,87	2994,94
0,145	0,00156	5512,74	3543,88
0,157	0,00169	5826,42	3454,60
0,163	0,00175	6409,82	3658,42
0,174	0,00187	6768,25	3625,79
0,185	0,00198	7131,43	3599,33
0,200	0,00215	7305,48	3405,70
0,218	0,00234	7389,66	3155,85
0,229	0,00246	7690,89	3131,22
0,235	0,00252	8162,80	3237,03
0,240	0,00257	8594,41	3343,06
0,241	0,00259	9182,87	3549,35
0,253	0,00272	9251,15	3403,41
0,272	0,00291	9177,17	3148,59
0,288	0,00309	9126,21	2948,86
0,299	0,00321	9299,48	2897,53
0,307	0,00329	9503,92	2887,56
0,311	0,00334	9834,66	2944,12
0,320	0,00344	9984,10	2903,46
0,325	0,00349	10263,46	2942,65
0,330	0,00354	10483,28	2963,93
0,346	0,00372	10328,33	2778,62
0,360	0,00386	10242,42	2650,42
0,371	0,00398	10231,15	2571,24
0,391	0,00419	9948,18	2373,16
0,391	0,00419	10162,94	2424,39
0,383	0,00411	10543,61	2565,31
0,397	0,00426	10246,73	2406,78
0,406	0,00436	10061,12	2309,87

Αποτελέσματα δοκιμών εργαστηρίου

0,423	0,00454	9325,18	2055,90
0,435	0,00467	8890,13	1904,96
0,461	0,00495	8337,23	1685,92
0,470	0,00504	8135,47	1613,07
0,467	0,00501	8039,43	1604,45
0,468	0,00503	7870,58	1565,64
0,478	0,00513	7532,15	1469,59
0,494	0,00531	7112,49	1340,60
0,510	0,00547	6712,62	1227,35
0,528	0,00567	6323,60	1116,12
0,537	0,00576	6051,68	1049,92
0,540	0,00580	5920,09	1021,29
0,545	0,00585	5716,34	977,85
0,551	0,00591	5549,75	938,83
0,572	0,00614	5223,29	850,62
0,586	0,00629	4984,38	792,69
0,591	0,00634	4815,72	759,93
0,604	0,00648	4595,67	708,72
0,606	0,00650	4462,04	686,38
0,609	0,00653	4348,59	665,57
0,620	0,00665	4184,10	629,36
0,633	0,00680	4028,24	592,77
0,656	0,00704	3816,21	541,98
0,671	0,00720	3674,41	509,98
0,679	0,00729	3589,16	492,55
0,677	0,00727	3546,87	487,85
0,684	0,00734	3467,36	472,65
0,694	0,00745	3360,77	451,07
0,714	0,00766	3225,60	420,91
0,735	0,00789	3073,91	389,46
0,745	0,00799	2990,29	374,21
0,749	0,00804	2911,29	362,10
0,752	0,00807	2856,00	353,78
0,764	0,00820	2756,46	336,00
0,786	0,00843	2659,81	315,40
0,801	0,00860	2578,98	299,99
0,813	0,00873	2531,53	290,05
0,810	0,00870	2512,98	289,01
0,809	0,00868	2501,90	288,28
0,821	0,00881	2442,18	277,21
0,838	0,00899	2384,76	265,27
0,858	0,00920	2309,70	250,98
0,870	0,00933	2274,01	243,63
0,868	0,00932	2266,55	243,26
0,871	0,00935	2245,55	240,16
0,883	0,00948	2204,87	232,55
0,900	0,00966	2155,86	223,15
0,919	0,00986	2097,41	212,77

Αποτελέσματα δοκιμών εργαστηρίου

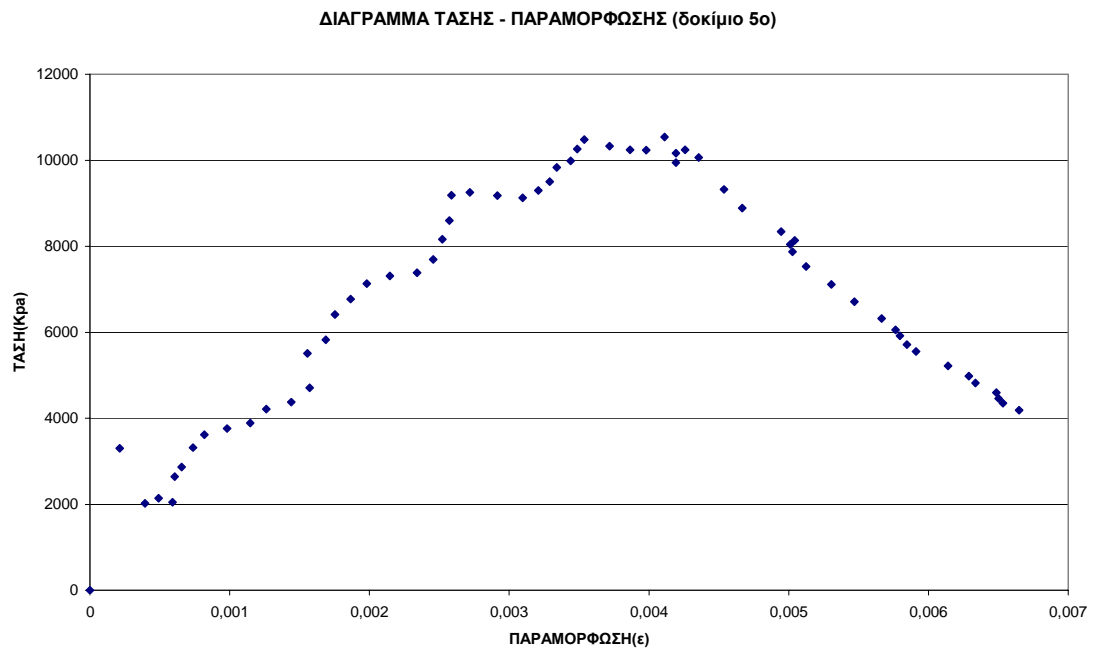
0,926	0,00994	2069,39	208,20
0,923	0,00991	2068,53	208,80
0,926	0,00994	2049,43	206,19
0,941	0,01010	2007,15	198,66
0,964	0,01035	1946,25	188,06
0,986	0,01058	1904,06	180,00
0,984	0,01056	1891,13	179,05
0,980	0,01051	1899,96	180,73
0,990	0,01063	1867,98	175,77
1,004	0,01077	1839,60	170,73
1,019	0,01094	1800,90	164,64
1,035	0,01110	1775,71	159,94
1,031	0,01107	1767,18	159,65
1,035	0,01110	1759,22	158,46
1,050	0,01127	1721,46	152,80
1,067	0,01145	1690,37	147,68
1,088	0,01168	1648,03	141,15
1,093	0,01172	1641,13	139,97
1,093	0,01172	1629,41	138,98
1,096	0,01176	1620,98	137,87
1,111	0,01192	1587,20	133,14
1,134	0,01217	1543,87	126,89
1,146	0,01230	1513,77	123,09
1,132	0,01215	1520,83	125,17
1,140	0,01223	1498,18	122,48
1,164	0,01249	1459,43	116,81
1,184	0,01271	1420,57	111,79
1,196	0,01284	1401,32	109,15
1,193	0,01281	1403,71	109,62
1,198	0,01285	1391,23	108,23
1,216	0,01305	1373,79	105,26
1,234	0,01325	1346,50	101,64
1,241	0,01331	1339,87	100,65
1,239	0,01330	1330,05	100,03
1,244	0,01335	1322,87	99,12
1,266	0,01359	1283,24	94,42
1,286	0,01380	1263,45	91,53
1,292	0,01387	1246,48	89,87
1,288	0,01382	1254,23	90,75
1,294	0,01389	1234,02	88,87
1,314	0,01410	1217,56	86,36
1,340	0,01438	1181,25	82,16
1,346	0,01444	1172,72	81,20
1,344	0,01443	1166,65	80,87
1,353	0,01452	1157,71	79,71
1,366	0,01466	1149,44	78,43
1,382	0,01484	1172,51	79,03
1,387	0,01488	1201,44	80,72

Αποτελέσματα δοκιμών εργαστηρίου

1,387	0,01488	1243,47	83,54
1,401	0,01503	1260,72	83,87
1,427	0,01531	1267,70	82,80
1,443	0,01549	1281,52	82,73
1,439	0,01544	1315,24	85,18
1,442	0,01547	1343,03	86,79
1,456	0,01562	1360,64	87,10
1,480	0,01588	1370,86	86,31
1,489	0,01598	1388,21	86,86
1,486	0,01595	1420,72	89,08
1,503	0,01613	1425,66	88,39
1,520	0,01631	1437,98	88,17
1,534	0,01646	1445,51	87,84
1,534	0,01646	1471,47	89,41
1,540	0,01652	1482,26	89,71
1,561	0,01675	1475,64	88,09
1,584	0,01700	1461,49	85,98
1,579	0,01695	1486,44	87,71
1,576	0,01692	1502,85	88,85
1,588	0,01705	1513,67	88,80
1,605	0,01723	1513,79	87,88
1,620	0,01739	1518,84	87,34
1,617	0,01736	1535,77	88,48
1,633	0,01752	1541,45	87,98
1,654	0,01775	1534,43	86,44
1,665	0,01787	1536,55	86,01
1,657	0,01778	1552,20	87,28
1,665	0,01787	1552,78	86,92
1,683	0,01806	1540,95	85,32
1,700	0,01824	1055,63	57,87

Δοκίμιο 5

Μήκος δοκιμίου (mm)	Εμβαδό επιφάνειας δοκιμίου (m ²)
93,183	0,00204
Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Αντοχή δοκιμίου (kPa)
51,033	10543



Δοκίμιο 6

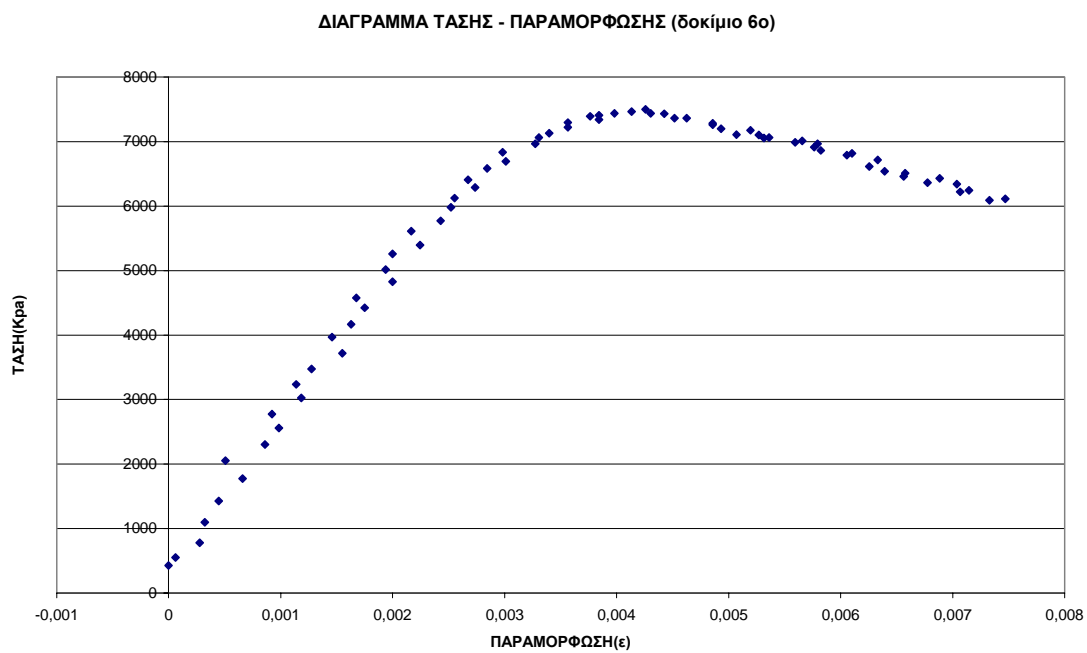
Μετατόπιση Δy (mm)	Ανηγμένη Παραμόρφωση ε	Τάση σ (kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (MPa)
6,10E-03	6,14E-05	553,74	9015,71
2,75E-02	2,77E-04	778,24	2814,03
3,20E-02	3,23E-04	1100,01	3409,30
4,42E-02	4,46E-04	1429,26	3207,65
6,56E-02	6,61E-04	1773,48	2684,18
5,04E-02	5,07E-04	2050,35	4043,69
8,54E-02	8,60E-04	2304,78	2678,50
9,77E-02	9,83E-04	2559,20	2602,39
9,15E-02	9,22E-04	2776,21	3011,25
1,17E-01	1,18E-03	3023,15	2555,12
1,13E-01	1,14E-03	3232,67	2842,99
1,27E-01	1,28E-03	3472,13	2722,45
1,54E-01	1,55E-03	3719,07	2396,36
1,45E-01	1,46E-03	3966,01	2716,89
1,62E-01	1,63E-03	4168,05	2558,98
1,74E-01	1,75E-03	4422,48	2524,64
1,66E-01	1,67E-03	4579,62	2734,27
1,98E-01	2,00E-03	4826,56	2416,20
1,92E-01	1,94E-03	5013,64	2589,52
1,98E-01	2,00E-03	5260,58	2633,47
2,23E-01	2,24E-03	5395,27	2404,91
2,15E-01	2,17E-03	5612,28	2590,34
2,41E-01	2,43E-03	5769,42	2376,36
2,50E-01	2,52E-03	5978,95	2372,56
2,53E-01	2,55E-03	6121,12	2399,71
2,72E-01	2,74E-03	6285,75	2298,12
2,65E-01	2,67E-03	6405,48	2395,73
2,82E-01	2,84E-03	6585,07	2316,46
2,99E-01	3,01E-03	6689,84	2221,24
2,96E-01	2,98E-03	6832,01	2291,83
3,25E-01	3,27E-03	6966,71	2128,54
3,28E-01	3,30E-03	7063,99	2138,19
3,37E-01	3,40E-03	7131,33	2099,97
3,54E-01	3,56E-03	7221,13	2025,59
3,54E-01	3,56E-03	7295,96	2046,58
3,81E-01	3,84E-03	7340,86	1910,91
3,74E-01	3,76E-03	7393,24	1963,83
3,81E-01	3,84E-03	7408,21	1928,44
4,10E-01	4,13E-03	7468,07	1806,72
3,95E-01	3,98E-03	7438,14	1868,95
4,23E-01	4,26E-03	7498,00	1761,57
4,27E-01	4,30E-03	7438,14	1728,78
4,39E-01	4,43E-03	7430,66	1679,07
4,59E-01	4,63E-03	7363,31	1591,99

4,49E-01	4,52E-03	7363,31	1629,89
4,82E-01	4,86E-03	7281,00	1499,46
4,82E-01	4,86E-03	7258,55	1494,84
4,90E-01	4,93E-03	7198,68	1459,42
5,16E-01	5,19E-03	7176,23	1381,70
5,04E-01	5,07E-03	7108,89	1401,91
5,23E-01	5,27E-03	7101,40	1347,36
5,28E-01	5,32E-03	7056,50	1327,23
5,33E-01	5,36E-03	7063,99	1317,22
5,62E-01	5,65E-03	7011,61	1239,94
5,55E-01	5,59E-03	6989,16	1249,56
5,75E-01	5,79E-03	6966,71	1202,59
5,72E-01	5,76E-03	6914,33	1199,92
5,78E-01	5,82E-03	6861,95	1178,26
6,06E-01	6,10E-03	6817,05	1117,47
6,01E-01	6,05E-03	6787,12	1121,04
6,29E-01	6,33E-03	6712,28	1060,24
6,21E-01	6,25E-03	6615,01	1057,71
6,35E-01	6,39E-03	6540,17	1023,12
6,53E-01	6,58E-03	6510,24	989,89
6,52E-01	6,56E-03	6457,86	984,22
6,84E-01	6,88E-03	6427,93	933,74
6,73E-01	6,78E-03	6360,58	938,62
6,99E-01	7,04E-03	6338,13	900,59
7,10E-01	7,15E-03	6240,85	873,42
7,02E-01	7,07E-03	6218,40	879,74
7,42E-01	7,47E-03	6113,64	818,64
7,28E-01	7,33E-03	6091,19	831,03
7,55E-01	7,61E-03	6001,40	789,00
7,57E-01	7,62E-03	6001,40	787,41
7,55E-01	7,61E-03	5904,12	776,21
7,80E-01	7,85E-03	5919,08	753,82
7,71E-01	7,76E-03	5844,25	753,13
8,03E-01	8,08E-03	5821,80	720,28
8,01E-01	8,07E-03	5754,46	713,31
8,13E-01	8,19E-03	5717,04	698,03
8,33E-01	8,39E-03	5664,66	675,17
8,33E-01	8,39E-03	5619,76	669,82
8,54E-01	8,61E-03	5582,35	648,72
8,41E-01	8,47E-03	5529,96	653,13
8,73E-01	8,79E-03	5462,62	621,49
8,73E-01	8,79E-03	5417,72	616,38
8,74E-01	8,80E-03	5387,79	611,91
8,94E-01	9,00E-03	5327,92	591,69
8,96E-01	9,02E-03	5290,51	586,53
9,23E-01	9,30E-03	5223,16	561,84
9,09E-01	9,16E-03	5185,75	566,23
9,34E-01	9,40E-03	5118,40	544,27

9,34E-01	9,40E-03	5095,95	541,88
9,52E-01	9,59E-03	5021,12	523,66
9,67E-01	9,74E-03	4998,67	513,09
9,67E-01	9,74E-03	4901,39	503,11
9,96E-01	1,00E-02	4893,91	487,72
9,86E-01	9,93E-03	4819,08	485,47
1,02E+00	1,02E-02	4796,63	467,99
1,01E+00	1,02E-02	4706,83	462,00
1,03E+00	1,04E-02	4661,93	447,47
1,04E+00	1,05E-02	4579,62	436,99
1,05E+00	1,05E-02	4579,62	434,45
1,07E+00	1,08E-02	4497,31	418,10
1,06E+00	1,07E-02	4444,92	416,21
1,09E+00	1,09E-02	4347,64	397,38
1,08E+00	1,08E-02	4295,26	395,93
1,10E+00	1,11E-02	4227,92	380,03
1,10E+00	1,11E-02	4153,09	373,82
1,13E+00	1,14E-02	4093,22	359,97
1,14E+00	1,15E-02	4048,32	353,16
1,14E+00	1,15E-02	3966,01	345,98
1,16E+00	1,16E-02	3876,21	332,79
1,15E+00	1,16E-02	3816,35	329,39
1,18E+00	1,19E-02	3719,07	311,89
1,18E+00	1,19E-02	3674,17	308,92
1,20E+00	1,21E-02	3584,38	297,15
1,19E+00	1,20E-02	3524,51	294,44
1,22E+00	1,22E-02	3419,75	279,23
1,22E+00	1,23E-02	3367,37	274,61
1,23E+00	1,24E-02	3255,12	262,82
1,25E+00	1,25E-02	3217,71	256,62
1,25E+00	1,25E-02	3105,46	247,67
1,27E+00	1,28E-02	3045,60	237,93
1,26E+00	1,27E-02	2940,83	231,70
1,29E+00	1,30E-02	2918,38	224,49
1,28E+00	1,29E-02	2813,62	217,72
1,31E+00	1,32E-02	2761,24	208,95
1,31E+00	1,32E-02	2693,89	204,56
1,33E+00	1,34E-02	2693,89	201,05
1,33E+00	1,34E-02	2604,10	194,12
1,34E+00	1,35E-02	2581,65	190,92
1,35E+00	1,36E-02	2529,27	185,57
1,36E+00	1,37E-02	2491,85	182,41
1,38E+00	1,39E-02	2439,47	175,61
1,37E+00	1,38E-02	2409,54	174,81

Δοκίμιο 6

Μήκος δοκιμίου (mm)	Εμβαδό επιφάνειας δοκιμίου (m ²)
99,3	0,00204
Διάμετρος δοκιμίου (mm)	Αντοχή δοκιμίου (kPa)
50,966	7011



Οι απότομες διακυμάνσεις που παρουσιάζουν τα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης πιθανώς να οφείλονται στο υλικό καθώς είναι ιδιαίτερα αποσαθρωμένο με πολλά κενά εγκλείσματα τα οποία σπανέ σταδιακά κατά την πορεία της δοκιμής.