



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
ΠΥΡΗΝΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΛΑΤΑΜΩΝΑΣ
ΕΡΓΟ ΜΑΛΙΑΚΟΣ – ΚΛΕΙΔΙ**

ΚΑΡΓΑΤΖΗΣ ΚΙΜΩΝ

A.M. 37966

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ ΑΛΕΞΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Diploma Thesis

**INVESTIGATING PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF A CLAY CORE SAMPLE
FROM PLATAMONAS AREA
PROJECT MALIAKOS - KLEIDI**

KARGATZIS KIMON

Registration Number: 37966

Supervisor: Dr Alexakis Dimitrios, Professor

Athens, October 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τίτλος εργασίας

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Αλεξάκης Δημήτριος	Καθηγητής	
2	Βρυζίδης Ισαάκ	Επίκουρος Καθηγητής	
3	Εξαρχάκος Γεώργιος	ΕΔΙΠ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κάργατζης Κίμων του Μιχαήλ, με αριθμό μητρώου 37966, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Εδαφομηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Σκοπός ήταν η πραγμάτωση μιας όσο το δυνατόν πιο ενδελεχή έρευνα, η οποία οδήγησε στην εμβάθυνση πάνω στο αντικείμενο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των αργιλικών εδαφών αλλά και των πολλών συνεπειών που αυτές έχουν στις υφιστάμενες και νέες κτιριακές κατασκευές που θεμελιώνονται πάνω σε τέτοια εδαφικά στρώματα . Οι ιδιότητες τους είναι ποικίλες και εκπορεύονται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Το δείγμα εδάφους που χρησιμοποιήθηκε, προέρχεται από γεώτρηση που διεξήχθη στην περιοχή του Πλαταμώνα, για το έργο Μαλιακός - Κλειδί. Υπάρχουν όμως, σήμερα διαθέσιμες στις επιστημονικές ομάδες που εργάζονται στους χώρους αυτούς, αρκετές δυνατότητες εξέτασης και μελέτης των δυνατοτήτων που έχουν τα πετρώματα αυτά. Αυτές πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους επιστήμονες γεωλόγους και μηχανικούς, ώστε να αποφεύγονται οι αρνητικές συνέπειες για τα αντίστοιχα δομικά έργα καθώς και τα έργα οδοποιίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των αργιλικών εδαφών, καθώς αυτά παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες των αντίστοιχων στρωμάτων εδάφους επάνω στα οποία θεμελιώνονται ποικίλες κτιριακές κατασκευές. Οι ιδιότητες τους είναι χαρακτηριστικές και εκπορεύονται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Η εργασία στηρίζεται σε αργιλικό αδιατάραχτο εδαφικό δείγμα, το οποίο προέρχεται από την περιοχή του Πλαταμώνα, όπου διεξήχθησαν γεωτρήσεις αναφορικά με το έργο Μαλιακός - Κλειδί. Πρόκειται για ένα πολύ απαιτητικό και ταυτόχρονα σημαντικό έργο, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν πολλές γεωτεχνικές μελέτες, με απώτερο σκοπό την κατασκευή ενός σταθμού διοδίων. Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μια σειρά από δοκιμές στο εργαστήριο Εδαφομηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και έγινε παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την επίδραση του εδαφικού δείγματος στην κατασκευή.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to study the physical and mechanical properties of a clay sample, since the mechanical properties of the soil layer in the study area are important for the decision of constructing the foundation in the studied building. The mechanical properties of the soil layer are controlled by various factors. The applied research is mainly based on the study of a core clay sample collected from the Platamonas area (Greece), where geotechnical drillings were constructed for the Maliakos –Kleidi project. The applied research combined site and laboratory tests which were essential for the decision of constructing the toll post station in the area. The findings of this study are demonstrated and evaluated according to the international literature.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή γεωλογίας, Δρ Αλεξάκη Δημήτριο του οποίου η συμβολή ήταν καθοριστική για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Επίσης ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Δρ Βρυζίδα Ι., Επίκουρο Καθηγητή και Δρ Εξαρχάκο Γ., ΕΔΙΠ, για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τα εποικοδομητικά τους σχόλια. Ειδική μνεία θα πρέπει να γίνει και στην επιστημονική συνεργάτιδα του Τμήματος, κα. Πλαστήρα Βιολέτα, για την πολύ καλή συνεργασία κατά την διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών και τις συμβουλές της. Κλείνοντας, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ προς την οικογένειά μου αλλά και φιλικά πρόσωπα, για τη μεγάλη στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ	11
1.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ.....	13
1.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	14
1.4 ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΕΔΑΦΩΝ	15
1.5 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΩΝ.....	17
1.6 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	18
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	19
2.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΡΓΟΥ.....	19
2.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΓΟΥ	21
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	25
3.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΩΝ (W)	25
3.1.1 Μεθοδολογία	25
3.2 ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΑ ΕΔΑΦΗ.....	26
3.2.1 Μεθοδολογία	26
3.3 ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ	26
3.3.1 Μεθοδολογία	27
3.4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	31
3.4.1 Μεθοδολογία	31
3.5 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	34
3.5.1 Μεθοδολογία	35
3.6 ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ.....	38
3.6.1 Μεθοδολογία	38
3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	41
3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	42
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	81

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ

Το έδαφος είναι ένα πολυφασικό υλικό, το οποίο δεν είναι συμπαγές και αποτελείται από διάφορους μικροσκοπικούς κόκκους. Οι τελευταίοι μπορεί να είναι ασύνδετοι, ή ελαφρά συνδεδεμένοι. Είναι επομένως σαφές ότι μεταξύ αυτών των χαλαρά συνδεδεμένων στοιχείων να δημιουργούνται μικρής έκτασης ασυνέχειες που καλούνται πόροι, μέσα στους οποίους συγκεντρώνονται ποσότητες υγρών και αερίων. Ως επί το πλείστον, στα υγρά που προαναφέρθηκαν συγκαταλέγεται το νερό και στα αέρια ο αέρας (Barnes 2014).

Από γεωλογικής σκοπιάς μπορεί να οριστεί επίσης ως έδαφος μέρος του αποσαθρωμένου μανδύα της Γης, το οποίο έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει ριζικό σύστημα φυτικών οργανισμών (Tchobanoglous, 1977). Η επίδραση των διαφόρων οργανικών διεργασιών, οι οποίες διαρκούν μεγάλα χρονικά διαστήματα, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς και η περιεκτικότητά του σε φυτικά συστατικά θεωρούνται πολύ σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα και τη γονιμότητα του εδάφους. Βέβαια σε εδάφη που καλλιεργούνται παίζουν ρόλο και τα χημικά λιπάσματα στην περιεκτικότητά τους σε οργανικά υλικά (Tchobanoglous, 1977).

Τα διάφορα συστατικά του εδάφους είναι αποτέλεσμα μηχανικής και χημικής αποσύνθεσης των πετρωμάτων. Ως κύρια αίτια μηχανικής αποσύνθεσης αποτελούν οι κλιματολογικές συνθήκες, και συγκεκριμένα οι διαρκείς αλλαγές θερμοκρασίας. Εδώ συμπεριλαμβάνονται η φθορά που προκαλεί το νερό και ο αέρας, καθώς και ο παγετός, οποίος είναι φαινόμενο που συμβάλλει στη ριζική αλλαγή των χαρακτηριστικών του εδάφους. Επίσης οι λειτουργίες της χλωρίδας, της πανίδας αλλά και οι ανθρώπινες επεμβάσεις είναι επιπλέον παράγοντες που επιδρούν στη μεταβολή της μορφολογίας του εδάφους (Βουβαλίδης, 2011).

Παράγοντες που δημιουργούν χημική αποσύνθεση των πετρωμάτων είναι φαινόμενα όπως αυτά της οξείδωσης ή άλλων χημικών διεργασιών. Αυτού του είδους η αποσύνθεση προκαλεί τη δημιουργία των λεπτόκοκκων εδαφών, σε αντίθεση με τη μηχανική η οποία είναι υπεύθυνη για τα χονδρόκοκκα εδάφη. (Βουβαλίδης, 2011).

Ανάλογα με τον τρόπο που έχουν μεταφερθεί και εναποτεθεί τα προϊόντα των προαναφερθέντων διεργασιών, τα εδάφη μπορούν να χαρακτηριστούν ως αυτόχθονα και ιζηματογενή (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016). Στην πρώτη κατηγορία τα προϊόντα εναποτίθενται επί τόπου χωρίς μετακίνηση από την περιοχή αποσάθρωσης.

Στην κατηγορία των ιζηματογενών εδαφών λαμβάνει χώρα η μεταφορά των προϊόντων από την περιοχή αποσάθρωσης μέσω του νερού και του αέρα. Η μεταφορά και κατ' επέκταση η απόθεση του εδαφών μέσω του νερού, είναι ένας τρόπος κατηγοριοποίησης τους με βάση τους κόκκους τους. Αυτά που απαντώνται

συνήθως κοντά σε ποτάμια και εκβολές τους είναι τα χονδρόκοκκα. Στον αντίποδα, τα λεπτόκοκκα ιζημάτα είναι αυτά που μέσω του αέρα απομακρύνονται από την περιοχή δημιουργίας τους (Παπαχαρίσης κ.α, 2010). Τελικά, καταλήγουν σταδιακά στον πυθμένα της θάλασσας ή κάποιου ποταμιού, σχηματίζοντας διάφορα στρώματα.

Πολλές φορές παρατηρείται στην ίδια περιοχή συνύπαρξη χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων, τα οποία εναλλάσσονται σε στρώσεις. Αυτό το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα της έντονης κινητικότητας των τεκτονικών πλακών του φλοιού της γης, αλλά και της εναλλαγής περιόδων έντονων βροχοπτώσεων και απορροών, με αντίστοιχες ήπιες. (Παπαχαρίσης κ.α, 2010).

Το μεγαλύτερο μέρος των ποικίλων εδαφών που έχουν σχηματιστεί εντάσσονται στα ιζηματογενή και χωρίζονται σε χονδρόκοκκα (χάλικες και άμμοι) και λεπτόκοκκα (ιλύες και άργιλοι). (Παπαχαρίσης κ.α, 1999). Υπάρχουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά τις διαστάσεις των κόκκων. Τα εδάφη των οποίων οι κόκκοι είναι μεγαλύτεροι από 2 mm εντάσσονται στους χάλικες, ενώ οι κόκκοι των αμμώδη εδαφών έχουν διαστάσεις από 2mm έως 0.06 mm. Από την άλλη πλευρά, οι κόκκοι στους ιλύς κυμαίνονται από 0.06 mm έως 0.002 mm και, τέλος, οι κόκκοι των αργίλων έχουν μέγεθος πιο μικρό από 0.002 mm (Λαγιώτη,1996).

Τα χονδρόκοκκα εδάφη (χάλικες και άμμοι) έχουν συνήθως σφαιρικό σχήμα κόκκων, η επιφάνεια των οποίων ποικίλλει σε μορφή (λεία ή με γωνίες). Το πως έχουν διαταχθεί οι κόκκοι τους εξαρτάται από παράγοντες όπως το βάρος, το μέγεθος, η μορφή της επιφάνειας και οι δυνάμεις που ασκούν μεταξύ τους. (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

Σε ότι αφορά τους κόκκους των λεπτόκοκκων εδαφών, αυτοί στην πλειοψηφία τους είναι πλατιοί και μοιάζουν με πλακίδια μικρού πάχους. Αντίθετα, όπως αναφέρει ο , στις άλλες δύο διαστάσεις, ο κρύσταλλος των αργιλικών πλακιδίων αναπτύσσεται κανονικά με τη διάταξη μεγάλου αριθμού μορίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του καολίνη, που έχει μικρό λόγο διαμέτρου προς πάχος ως αργιλικό ορυκτό, δηλαδή ένα από τα λιγότερο ενεργά αργιλικά ορυκτά. Παραδείγματα άλλων αργιλικών ορυκτών πιο ενεργών από το προαναφερθέν είναι ο ιλλίτης, με λόγο διαμέτρου προς πάχος του πλακιδίου ίσο με 10-30, και ο μοντμοριλλονίτης, με αντίστοιχο λόγο διαμέτρου προς πάχος περί το 100 (Craig, 2004).

Στα χονδρόκοκκα εδάφη ουσιαστικά δεν υπάρχουν επιφανειακές ηλεκτρικές ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις, όμως, στα λεπτόκοκκα κυριαρχούν, καθώς η έντασή τους είναι αρκετά πιο ισχυρή από τις δυνάμεις βαρύτητας. Το μέγεθος της ειδικής επιφάνειας, η οποία είναι το πηλίκο της επιφάνειας προς τη μάζα του εδάφους, διαφέρει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ αμμώδων και αργιλικών εδαφών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δομή και η μηχανική συμπεριφορά των δύο αυτών κατηγοριών να διαφέρουν αισθητά. Με βάση τα προηγούμενα σχετικά με τη δομή στο εσωτερικό τους, τα αργιλικά εδάφη χαρακτηρίζονται και ως συνεκτικά. Οι ισχυρές ελκτικές δυνάμεις

προσδίδουν μεγάλη συνοχή μεταξύ των κόκκων τους. Αντίθετα, τα χονδρόκοκκα έχουν μικρή συνοχή και έτσι χαρακτηρίζονται ως μη συνεκτικά (Barnes, 2014).

1.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Ο όρος γεωτεχνική έρευνα αναφέρεται στη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις εδαφικές ιδιότητες στην περιοχή κατασκευής ενός τεχνικού έργου, αλλά και στην ευρύτερη δομή του υπεδάφους (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

Περιπτώσεις κατά τις οποίες πραγματοποιούνται οι παρακάτω έρευνες είναι οι εξής (Καββαδάς, 2009):

- Για την εξέταση πιθανής ρύπανσης των εδαφών από ανθρώπινες παρεμβάσεις
- Για την εξεύρεση κατάλληλων τοποθεσιών απόθεσης αποβλήτων.
- Για τον σχεδιασμό μέτρων αποκατάστασης σε ήδη πληγείσες περιοχές ώστε αυτές να μπορέσουν να γίνουν ξανά λειτουργικές.
- Για την δημιουργία συστημάτων επίβλεψης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων δομικών έργων με σκοπό την αποτροπή πιθανής ρύπανσης. Αυτό πρακτικά συμβαίνει σε περιπτώσεις που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί έλεγχος διαφυγών από ταμιευτήρες υγρών αποβλήτων, καθώς επίσης και από χώρους απόθεσης στερεών αποβλήτων.
- Για τον σχεδιασμό μέτρων προληπτικών ή κατασταλτικών στην εμφάνιση μίας επικείμενης ρύπανσης.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, οι γεωτεχνικές έρευνες εκτελούνται χωρίς να λαμβάνονται σημαντικά μέτρα προστασίας αφού, τα προς εξέταση εδάφη δεν έχουν υποστεί κάποια μορφή ρύπανσης. Αντίθετα, κατά την εκτέλεση των γεωτεχνικών ερευνών, στις υπόλοιπες περιπτώσεις, είναι απολύτως αναγκαία η λήψη μέτρων για να αποκλειστούν τυχόν ανεπιθύμητες συνέπειες που θα προκύψουν από την συνεχή και αδιάλειπτη έκθεση του εργατικού δυναμικού σε επικίνδυνες χημικές ουσίες καθώς και από την επίδραση των ρύπων σε περιβάλλον και οικοσύστημα (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

Τα στάδια από τα οποία αποτελείται μια γεωτεχνική έρευνα πραγματοποιούνται σε τρεις φάσεις. Το πρώτο στάδιο αποτελεί τη διαδικασία αναγνώρισης. Περιλαμβάνει τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το εκάστοτε έργο και των ισχύων οικοδομικών κανονισμών καθώς και δεδομένα για την περιοχή της έρευνας όπως είναι οι γεωλογικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες κτλ. Το δεύτερο στάδιο αποτελεί η προκαταρκτική έρευνα κατά το οποίο δημιουργούνται ερευνητικά φρέατα ή εκτελούνται ορισμένος αριθμός γεωτρήσεων. Σκοπός του σταδίου είναι ο προσδιορισμός των εδαφικών στρώσεων και των χαρακτηριστικών τους. Το τρίτο και τελευταίο στάδιο είναι η λεπτομερής έρευνα, η έκταση της οποίας εξαρτάται από το

είδος της κατασκευής που πρόκειται να πραγματοποιηθεί και τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή (Καββαδάς 2009).

Οι γεωτεχνικές έρευνες χωρίζονται στις επιτόπου έρευνες και σε αυτές που πραγματοποιούνται σε εργαστηριακές συνθήκες. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι επιτόπου έρευνας είναι τα ερευνητικά φρέατα και οι γεωτρήσεις. Η μέθοδος με τα ερευνητικά φρέατα χρησιμοποιείται κυρίως για να λάβουμε δείγμα εδάφους μεγάλης ποσότητας ή υψηλής ποιότητας. Το μέγιστο βάθος που φτάνει αυτή η μέθοδος είναι τα 5m. (Καββαδάς 2009). Αντίθετα, η μέθοδος των γεωτρήσεων διερευνά τα εδαφικά στρώματα που βρίσκονται σε πιο μεγάλα βάθη. Μερικοί γνωστοί τύποι γεωτρήσεων κατά τον Barlaz (1989) είναι οι εξής:

- Η περιστροφική διάτρηση
- Η κρουστική διάτρηση
- Η υδραυλική διάτρηση
- Η ελικοειδής διάτρηση

1.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Τα εδαφικά δείγματα που λήφθηκαν κατά τις επιτόπου δοκιμές είναι απαραίτητο να ελεγχθούν εργαστηριακά ώστε να προκύψουν σωστά συμπεράσματα. Οι πιο συνηθισμένες δοκιμές εργαστηρίου που χρησιμοποιούνται στις γεωτεχνικές έρευνες κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Δοκιμές κατάταξης: Περιλαμβάνονται ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg, η κοκκομετρική ανάλυση εδαφών με χρήση κοσκίνων και πυκνόμετρου, η περιεχόμενη φυσική υγρασία και τα ειδικά βάρη εδαφών.
- Δοκιμή συμπικνωσιμότητας: Περιλαμβάνει τη δοκιμή συμπίεστομέτρου
- Δοκιμή συμπίεστότητας: Περιλαμβάνει τη δοκιμή Proctor και την
- Δοκιμές μηχανικής αντοχής: Περιλαμβάνονται η Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, η τριαξονική δοκιμή και η δοκιμή άμεσης διάτμησης (Παπαχαρίσης κ.α, 2010).

1.4 ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Τα διάφορα εδάφη είναι απαραίτητο να ταξινομηθούν σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά. Αυτή η διαδικασία κατηγοριοποίησής ονομάζεται κατάταξη. Είναι πολύ χρήσιμη για την υλοποίηση μεγάλων τεχνικών έργων αλλά και εδαφοτεχνικών ερευνών. Οι τρόποι που επιλέγονται για τη ταξινόμηση των εδαφών στις κατηγορίες τους είναι εύκολοι προς απομνημόνευση (π.χ. τα αργιλικά εδάφη συμβολίζονται με C και η άμμος με S), ενώ ταυτόχρονα δεν απαιτούν περίπλοκες και δαπανηρές δοκιμές. Αυτές είναι κυρίως η κοκκομετρική ανάλυση και τα όρια Atterberg (Χρηστάρας, 2002).

Επομένως, τα κριτήρια κατηγοριοποίησης εδαφών αφορούν τα ποσοστά της διέλευσης από τα ενδεδειγμένα κόσκινα, τα οποία διερχόμενα ποσοστά οπτικοποιούνται μέσω της κοκκομετρικής καμπύλης, και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα όρια Atterberg, συγκεκριμένα το όριο υδαρότητας (LL) καθώς και τον δείκτη πλαστικότητας (IP) (Πλαστήρα, 2011).

Με βάση το διάγραμμα Casagrande και την κοκκομετρική ανάλυση ακολουθούν Πίνακες με τα πιο συνηθισμένα συστήματα κατάταξης εδαφών.

Πίνακας 1.1 – Κατάταξη εδαφών κατά A.A.S.H.T.O.M (A.A.S.H.T.O.M 145-86)

Γενική Κατάταξη	Κοκκώδη Υλικά Π≤35%							Ιλυοαργιλώδη Υλικά Π>35%			
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7 A ₇₋₅ (IP≤LL-30) A ₇₋₆ (IP>LL-30)
Τάξη	A _{1-a}	A _{1-b}		A ₂₋₄	A ₂₋₅	A ₂₋₆	A ₂₋₇				
Ομάδα											
% Ποσοστό Διερχόμενο από το κόσκινο:											
No 10 (2mm)	<50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No 40 (0.42mm)	<30	<50	>51	...	...	...	...	...	...	...	...
No 200 (0.07mm)	<15	<25	<10	≤35	≤35	≤35	≤35	>36	>36	>36	>36
Χαρακτηριστικά του διερχόμενου από το κόσκινο No 40											
Όριο Υδαρότητας	...	...	...	<40	>41	<40	>41	<40	>41	<40	>41
Δείκτης πλαστικότητας Ip	≤6	NP	<10	<10	>11	>11	<10	<10	>11	>11	>11
Γενική ονομασία	Λίθοι, Χαλίκια, Αμμοχάλικο	Λεπτή Άμμος	Ιλυώδη ή Αργιλώδη Αμμοχάλικα				Ιλυώδη Εδάφη	Αργιλώδη Εδάφη			
Καταλληλότητα του υλικού για θεμελίωση Οδών	Τέλειο προς Καλό							Μέτριο προς Κακό			

- 1) Π = Ποσοστό % του διερχόμενου υλικού από το κόσκινο No 200.
- 2) Η τοποθέτηση της ομάδας A₃ πριν από την A₂ είναι αναγκαία για τη διαδικασία της απαλοιφής των ομάδων από αριστερά προς τα δεξιά και δεν σημαίνει ότι η A₃ υπερτερεί της A₂.
- 3) G.I. = Δείκτης Ομάδας (GROUP INDEX) και δίνεται από τη σχέση :

$$G.I. = (P - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (P - 15) * (Ip - 10)$$

Αν ο δείκτης ομάδας είναι αρνητικός, τότε G.I. = 0
 Για τις ομάδες A2-6 και A2-7 G.I. = 0.01 * (P-15) * (Ip-10)

Πίνακας 1.2 – Κατάταξη εδαφών κατά Α.Σ.Τ.Μ. (Α.Σ.Τ.Μ. D2487)



TABLE 1 Soil Classification Chart

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification		
				Group Symbol	Group Name ^B	
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	Clean Gravels (Less than 5 % fines ^C)	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^D$	GW	Well-graded gravel ^E	
			$Cu < 4$ and/or $[Cc < 1 \text{ or } Cc > 3]^D$	GP	Poorly graded gravel ^E	
	More than 50 % retained on No. 200 sieve	Gravels with Fines (More than 12 % fines ^G)	Fines classify as ML or MH		GM	Silty gravel ^{E,F,G}
			Fines classify as CL or CH		GC	Clayey gravel ^{E,F,G}
		Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	Clean Sands (Less than 5 % fines ^H)	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^D$	SW	Well-graded sand ^I
				$Cu < 6$ and/or $[Cc < 1 \text{ or } Cc > 3]^D$	SP	Poorly graded sand ^I
	Sands with Fines (More than 12 % fines ^H)	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{F,G,I}		
		Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand ^{F,G,I}		
FINE-GRAINED SOILS	Sils and Clays Liquid limit less than 50	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K,L,M}	
			$PI < 4$ or plots below "A" line ^J	ML	Silt ^{K,L,M}	
	50 % or more passes the No. 200 sieve		organic	$\frac{\text{Liquid limit} - \text{oven dried}}{\text{Liquid limit} - \text{not dried}} < 0.75$	CL	Organic clay ^{K,L,M,N} Organic silt ^{K,L,M,O}
					CH	Fat clay ^{K,L,M}
		Sils and Clays Liquid limit 50 or more	inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{K,L,M}
				PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{K,L,M}
		organic	$\frac{\text{Liquid limit} - \text{oven dried}}{\text{Liquid limit} - \text{not dried}} < 0.75$	OH	Organic clay ^{K,L,M,P} Organic silt ^{K,L,M,O}	
HIGHLY ORGANIC SOILS	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT	Peat	

^A Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve.

^B If field sample contained cobbles or boulders, or both, add "with cobbles or boulders, or both" to group name.

^C Gravels with 5 to 12 % fines require dual symbols:

GW-GM well-graded gravel with silt

GW-GC well-graded gravel with clay

GP-GM poorly graded gravel with silt

GP-GC poorly graded gravel with clay

^D $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$

^E If soil contains ≥ 15 % sand, add "with sand" to group name.

^F If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, or SC-SM.

^G If fines are organic, add "with organic fines" to group name.

^H Sands with 5 to 12 % fines require dual symbols:

SW-SM well-graded sand with silt

SW-SC well-graded sand with clay

SP-SM poorly graded sand with silt

SP-SC poorly graded sand with clay

^I If soil contains ≥ 15 % gravel, add "with gravel" to group name.

^J If Atterberg limits plot in hatched area, soil is a CL-ML, silty clay.

^K If soil contains 15 to < 30 % plus No. 200, add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant.

^L If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly sand, add "sand" to group name.

^M If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly gravel, add "gravelly" to group name.

^N $PI \geq 4$ and plots on or above "A" line.

^O $PI < 4$ or plots below "A" line.

^P PI plots on or above "A" line.

^Q PI plots below "A" line.

1.5 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΩΝ

Ο όρος καθίζηση αναφέρεται στην κατακόρυφη μεταφορά του εδάφους με κατεύθυνση προς τα κάτω και έχει ως απόρροια τη βύθιση ενός τμήματος της επιφάνειάς του. Ως φυσικά φαινόμενα, οι καθιζήσεις δεν είναι κάτι το ανησυχητικό, περισσότερο θα χαρακτηριζόταν ως κάτι φυσιολογικό. Η συσχέτισή τους όμως, με τεχνικά έργα και η εμφάνισή τους σε περιοχές που αυτά λαμβάνουν χώρα χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής (Καββαδάς, 2009).

Οι καθιζήσεις μπορεί να οφείλονται είτε σε έλλειψη στήριξης στη βάση (όπως οι υπόγειες εκσκαφές), είτε στην απουσία κάποιων συστατικών του υπεδάφους ή στη φόρτιση από υλοποίηση τεχνικών έργων. Στην τελευταία ειδικά, τα εδάφη με μεγάλες καθιζήσεις είναι τα αργιλικά και σε αυτά, μάλιστα, μπορεί να πραγματοποιηθούν σε βάθος χρόνου, ακόμη και εκατοντάδες. Αντίθετα, στα χονδρόκοκκα οι καθιζήσεις είναι μικρές και εκτελούνται άμεσα. (Πλαστήρα, 2011).

Οι καθιζήσεις χωρίζονται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες: σε άμεσες, από στερεοποίηση και από δευτερεύουσα συμπίεση. Ανάλογα με το είδος του εδάφους παρατηρείται και διαφορετική καθίζηση. Για παράδειγμα, στα μη συνεκτικά, όπως οι άμμοι, η καθίζηση είναι άμεση, ενώ στα συνεκτικά, όπως η άργιλος εμφανίζονται και τα τρία είδη (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

Με τη στερεοποίηση εννοούμε τη σταδιακή ελάττωση της ποσότητας νερού (στα κορεσμένα αργιλικά εδάφη), με την άσκηση σταθερού φορτίου, το οποίο προκαλεί την καταβύθιση του εδάφους. Συνεπώς, διαφαίνεται πως όταν υπάρχουν αργιλικές στρώσεις σε μία περιοχή όπου θα υλοποιηθεί ένα τεχνικό έργο, η παρουσία καθίζησης θα είναι αναπόφευκτη και ενδέχεται να δημιουργήσει πρόβλημα στην κατασκευή (Καββαδάς, 2009).

Η περίπτωση της άμεσης καθίζησης συμβαίνει με το που επιβληθεί φορτίο στο έδαφος και είναι αποτέλεσμα της ελαστικότητας των κόκκων του εδάφους. Πρόκειται για μία καθίζηση μικρού μεγέθους και ταχείας ολοκλήρωσης σε αντίθεση με της στερεοποίησης. Είναι και η μοναδική μορφή που παρατηρείται στα χονδρόκοκκα εδάφη. Στα αργιλικά εδάφη πρώτα συμβαίνει η άμεση καθίζηση και ακολουθεί η στερεοποίηση (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

1.6 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ως φέρουσα ικανότητα ορίζεται το οριακό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους που μπορεί να οδηγήσει στη θραύση του και στην μετέπειτα κατάρρευση της εκάστοτε θεμελίωσης πάνω σε αυτό. Μία κατασκευή έχει ως στόχο τη μετακίνηση της ανωδομής του εδάφους χωρίς κίνδυνο. Μια θεμελίωση μπορεί να καταστραφεί με δύο τρόπους, τη θραύση του εδάφους και τις υπερβολικές καθιζήσεις. (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

Θραύση συμβαίνει επειδή υπερβαίνεται η διατμητική αντοχή του εδάφους. Αυτό επιφέρει μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις και αισθητή παραμόρφωση του εδάφους με αποτέλεσμα την άμεση κατάρρευσή του. Από την άλλη, υπερβολικές καθιζήσεις γενικά συμβαίνουν λόγω εδαφικών παραμορφώσεων που, άλλοτε οφείλονται στη στερεοποίηση και άλλοτε στις διατμητικές τάσης (Παπαχαρίσης κ.α, 2010).

Οι θραύσεις που μπορούν να συμβούν στο έδαφος διακρίνονται στην γενική και την τοπική. Η πρώτη είναι απότομη καθώς το φορτίο ξεπερνά τη διατμητική αντοχή του εδάφους, ενώ ακολουθεί μεγάλη πτώση και στροφή του θεμελίου αλλά και συστολή των στρωμάτων της επιφάνειας. Στη δεύτερη μορφή, την τοπική, η βύθιση του θεμελίου έχει διάρκεια και το έδαφος κάτω από αυτό γίνεται πυκνότερο. (Βαλαλάς, 2001).

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΕΡΓΟΥ

Η τοποθεσία (Εικόνα 2.1) βρίσκεται στην περιοχή του Πλαταμώνα. Πιο συγκεκριμένα, σε απόσταση 1,2km νότια της πόλης του Πλαταμώνα, ενώ απέχει απόσταση 1,9km ΒΔ από την περιοχή των Νέων Πόρων.



Εικόνα 2.1 Περιοχή Έρευνας

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει την κατασκευή ενός κτιρίου διαχείρισης και διοίκησης του έργου, έναν ηλεκτρομηχανολογικό σταθμό, μια ευρεία περιοχή στάθμευσης, δύο εισόδων σε σταθμούς διοδίων και τρεις εξόδους από τους σταθμούς αυτούς. Όλες οι προαναφερθείσες κατασκευές θα είναι από μπετόν.

Οι γεωτεχνικές μελέτες περιλάμβαναν τη διαδοχική εξέταση των δειγμάτων που πρόκυπταν από τις γεωτρήσεις με σκοπό τη διαλεύκανση των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του υπεδάφους της συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Οι λεπτομέρειες της γεώτρησης αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες γεώτρησης

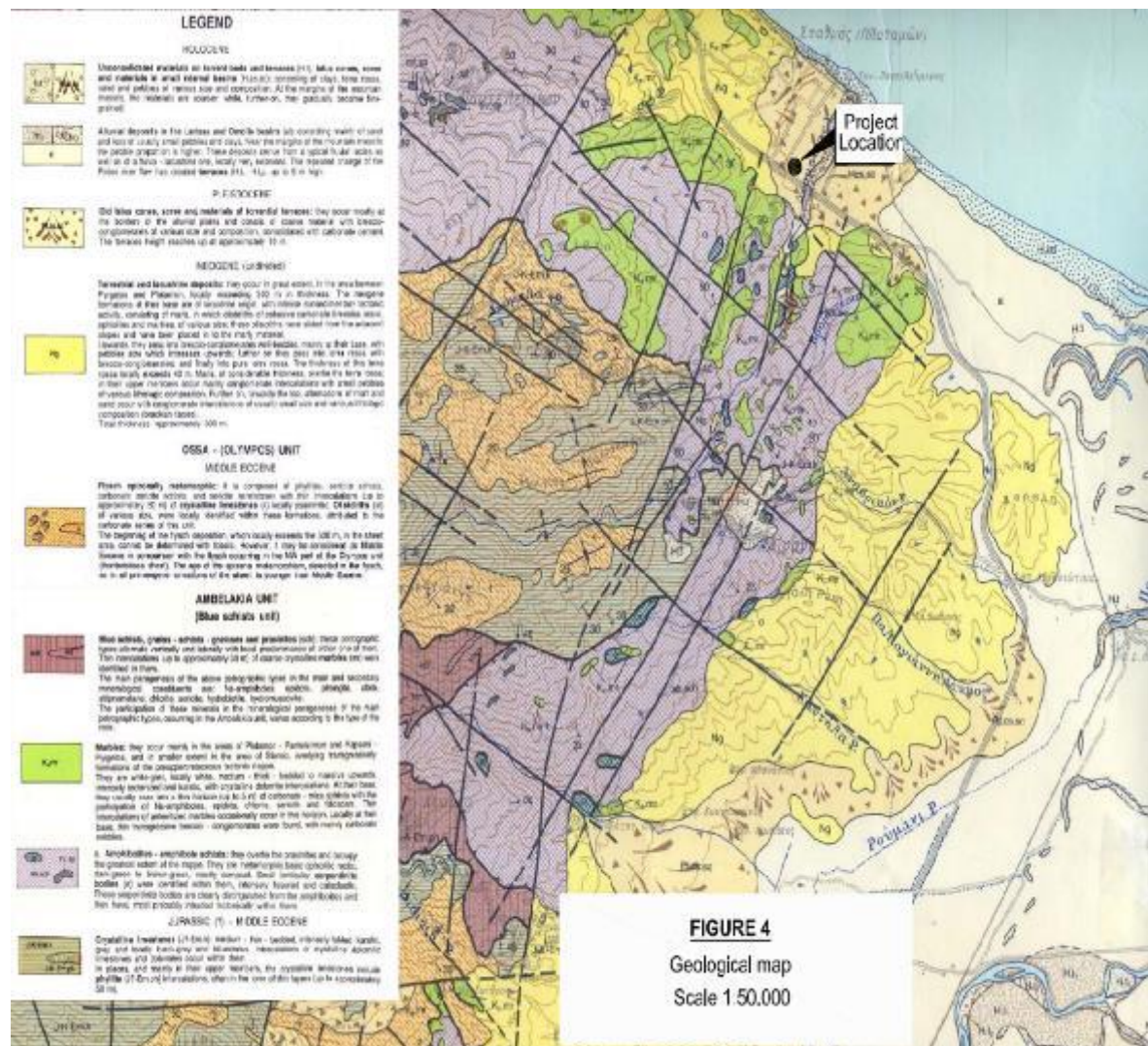
Συντεταγμένες		Επίπεδο πυθμένα γεώτρησης (m)	Βάθος Γεώτρησης (m)
X (m)	Y (m)		
382.42	4.426.344	-11.37	10.27

Η γεώτρηση εκτελέστηκε από μια σταθερή εξέδρα. Η αρχική διάμετρος της γεώτρησης ήταν 117mm και προοδευτικά, όσο μεγάλωνε το βάθος γεώτρησης μειώθηκε στα 101mm. Παράλληλα είχαν ληφθεί και ειδικά προσωρινά μέτρα τα οποία είχαν το ανάλογο και απαραίτητο μήκος, προκειμένου να υποστηριχθούν οι πλευρές της γεώτρησης και να συγκρατηθούν οι ποσότητες του εδάφους σταθερές. Από την γεώτρηση ελήφθησαν δείγματα εδάφους, προκειμένου αυτά να εξεταστούν στο εργαστήριο και να διαπιστωθούν τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους.

2.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΓΟΥ

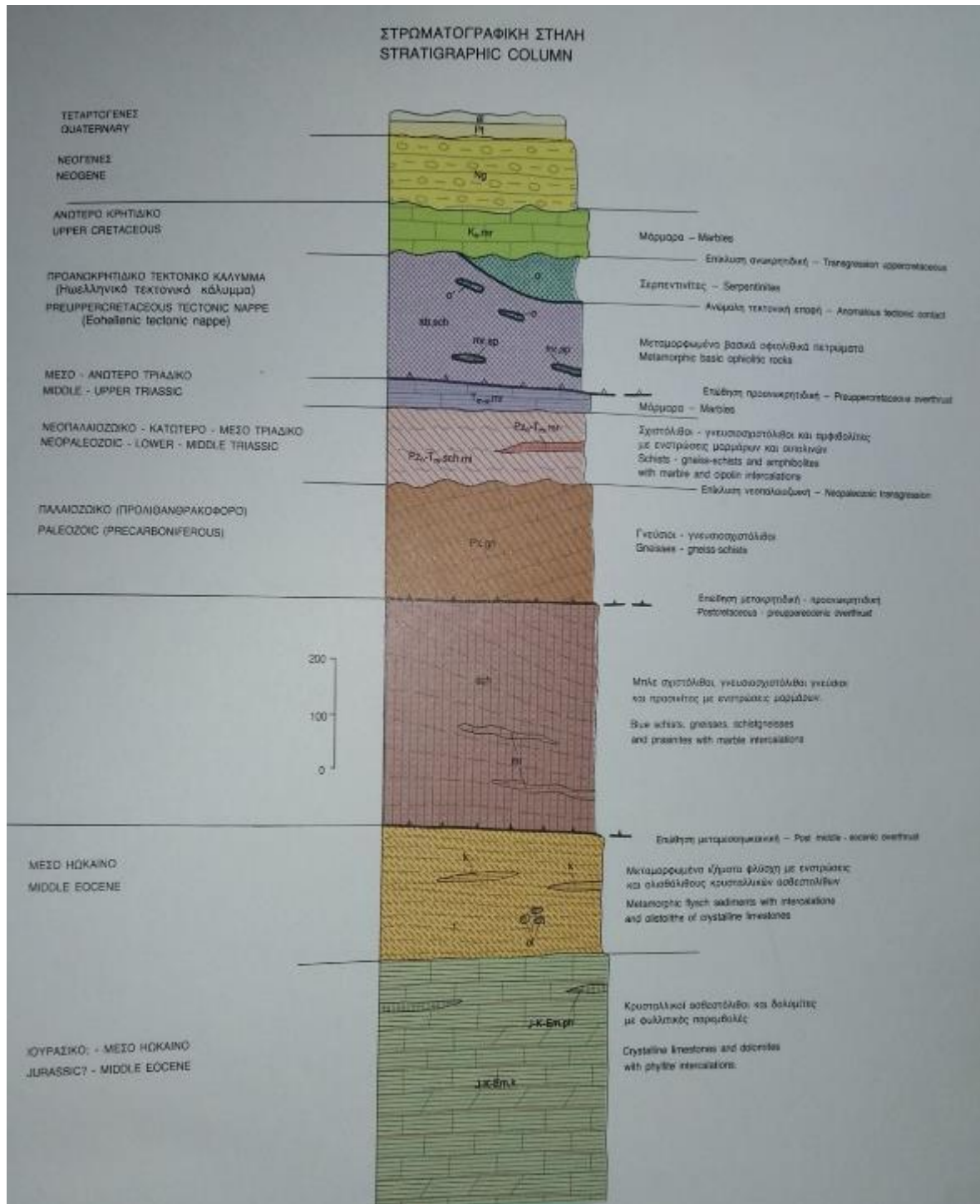
Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής έρευνας απεικονίζεται στην Εικόνα 2.2 και περιλαμβάνει τις παρακάτω ενότητες (Ι.Γ.Μ.Ε., 1982):

- ΩΣΣΑ (ΟΛΥΜΠΟΣ)
- ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ (ΚΥΑΝΟ-ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ)
- ΝΕΟΓΕΝΗ ΚΑΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ



Εικόνα 2.2 Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας (Ι.Γ.Μ.Ε. 1982)

Οι παραπάνω ενότητες περιλαμβάνουν τα εξής στρώματα εδαφών όπως βλέπουμε στη στρωματογραφική στήλη της Εικόνας 2.3 (Ι.Γ.Μ.Ε., 1982)

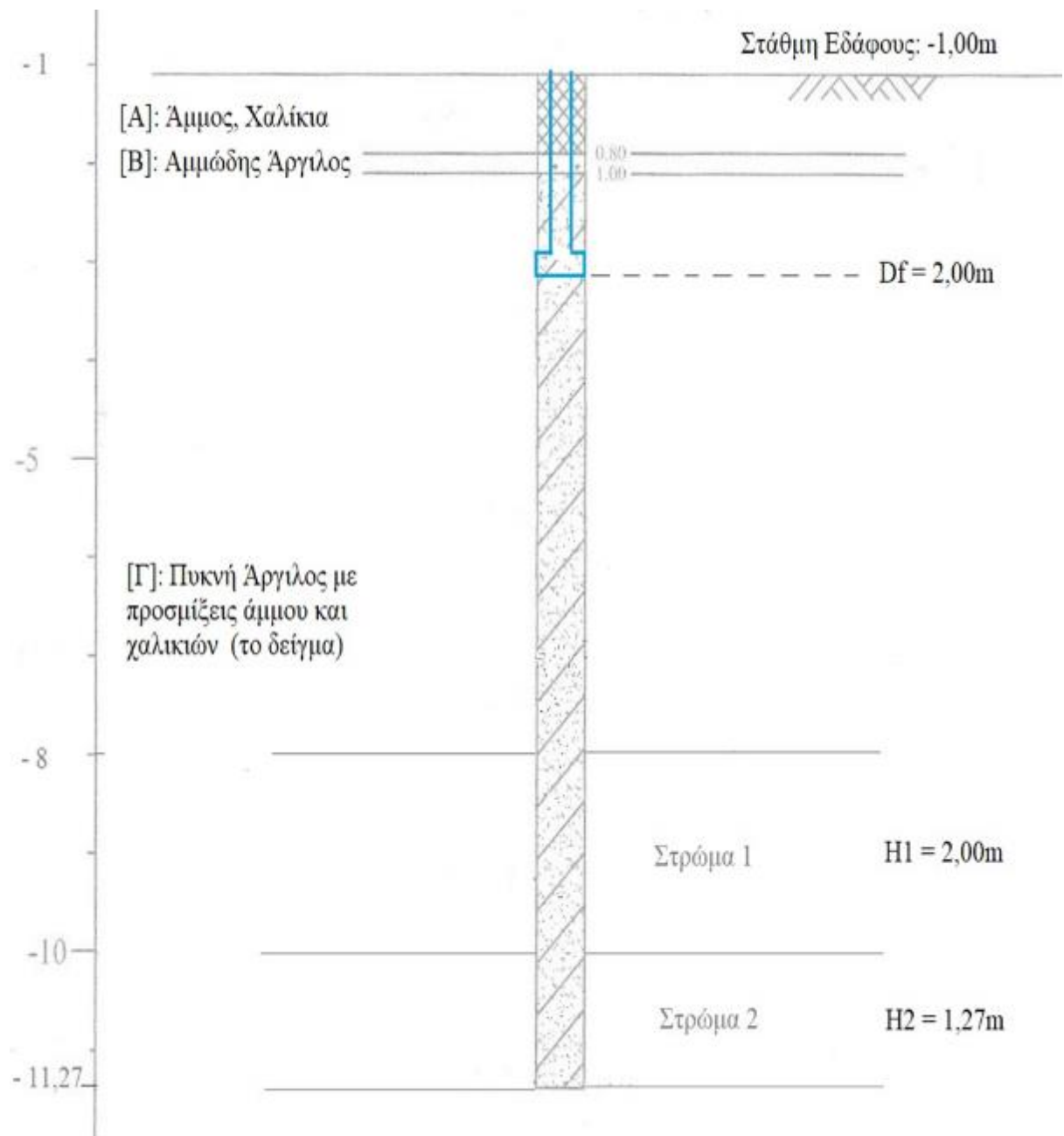


Εικόνα 2.3 Στρωματογραφική Στήλη Περιοχής Έρευνας (Ι.Γ.Μ.Ε., 1982)

Γεωλογικά η συγκεκριμένη περιοχή στην οποία εκπονήθηκε το πρόγραμμα γεώτρησης ανήκει στο εδαφικό τύπο του Πλειστόκαινου. Περιλαμβάνει τμήματα αργιλώδους άμμου και χάλικων, όπως φαίνεται στον γεωγραφικό χάρτη. Η στρωματογραφία του εδάφους καταγράφηκε και μελετήθηκε με ειδική έρευνα που διεξήχθη σε βάθος 10,27 μέτρων (σημειώνεται ότι το βαθύτερο επίπεδο εδάφους στο οποίο μπορεί να εκτελεστεί η συγκεκριμένη έρευνα είναι 11,37 μέτρα). Ως σημείο αναφοράς για τη μέτρηση του βάθους της γεώτρησης ορίζεται το επίπεδο του εθνικού δρόμου από την περιοχή του Πλαταμώννα.

Η στήλη γεώτρησης της περιοχής όπως παρατηρούμε παρακάτω (Εικόνα 2.4) περιλαμβάνει τις εξής κατηγορίες εδαφών:

- Ένα στρώμα που αποτελείτο από ανοιχτή καφέ άμμο, χάλικες και πέτρες. Το στρώμα αυτό είχε πάχος 0.80 m.
- Κάτω από το προηγούμενο στρώμα υπήρχε ένα δεύτερο στρώμα από καφέ αμμώδη άργιλο, του οποίου το πάχος προσδιορίστηκε στα 0,2 m.
- Βαθύτερα από τα δύο προαναφερθέντα στρώματα υπήρχε ένα τρίτο στρώμα το οποίο είχε χρωματική χροιά που κυμαινόταν μεταξύ των καφέ - γκρι και καφέ - μπεζ χρωμάτων. Το στρώμα αυτό είχε από μέτρια έως μεγάλη πυκνότητα και εκτεινόταν μέχρι το βάθος στο οποίο εκτελέστηκε η έρευνα δηλαδή τα 10,27 m. Το στρώμα αυτό εκτεινόταν ακόμα βαθύτερα από το επίπεδο αυτό. Αποτελείτο από αργιλώδη άμμο και χάλικες.



Εικόνα 2.4. Στήλη Γεώτρησης Αργιλικού Δείγματος

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΩΝ (W)

Ως περιεχόμενη υγρασία εδαφών ορίζεται ο λόγος του βάρους του περιεχόμενου νερού ως προς το βάρος του εδάφους επί ξηρού (Γκαζέτας, 2004):

$$W = \frac{\text{Βάρος}_{\text{νερού}}}{\text{Βάρος}_{\text{ξηρού εδάφους}}}$$

Οι μορφές νερού που απαντώνται σε εδαφικά δείγματα είναι α) το νερό βαρύτητας (απομακρύνεται από το έδαφος στους ~20°C), β) το τριχοειδές νερό (απομακρύνεται από το έδαφος στους ~20°C), και γ) το υγροσκοπικό νερό (Barnes 2014). Για τα συνεκτικά εδάφη, όπως τα αργιλικά του δείγματός μας, η περιεχόμενη υγρασία έχει σημαντική επίδραση στις μηχανικές τους ιδιότητες (Barnes 2014).

3.1.1 Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας, λήφθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά δείγματα του εδάφους και ακολουθήθηκε η μέθοδος των διαδοχικών ζυγίσεων χρήσει του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κάψες αλουμινίου και στη συνέχεια ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας, ακρίβειας 0,01g. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην ταχύτητα των ζυγίσεων ώστε να αποφευχθεί πιθανή επιφανειακή ξήρανση των δειγμάτων. Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον κλίβανο ξήρανσης σε θερμοκρασία 110±5°C. Ακολούθησαν διαδοχικές ζυγίσεις ανά δύο ώρες μέχρις ότου δύο διαδοχικές ζυγίσεις να είναι ίδιες. Κάνοντας την παραδοχή ότι η τελευταία ζύγιση αποτελεί το άθροισμα του βάρους της κάψας και του ξηρού δείγματος (Πλαστήρα, 2011), αφαιρώντας τη από την τιμή της αρχικής ζύγισης προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία.

3.2 ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ

Ως ειδικό βάρος στερεών συστατικών για λεπτόκοκκα εδάφη ορίζεται ο λόγος του βάρους του εδάφους επί ξηρού ως προς το βάρος των κόκκων του (Παπαχαρίσης κ.α, 2010):

$$\gamma_s = \frac{\text{Βάρος ξηρού εδάφους}}{V_{\text{στερεών συστατικών}}}$$

3.2.1 Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους στερεών συστατικών, λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους. Η ποσότητα του εδάφους υπολογίστηκε κατάλληλα έτσι ώστε μετά την απομάκρυνση της περιεχόμενης υγρασίας το βάρος επί ξηρού του να είναι περίπου 50g. Το δείγμα ζυγίστηκε σε κάψα αλουμινίου και στη συνέχεια τοποθετήθηκε στον κλίβανο ξήρανσης σε θερμοκρασία $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Μετά την απομάκρυνση της περιεχόμενης υγρασίας το δείγμα κονιορτοποιήθηκε χρήσει γουδιού και στη συνέχεια κοσκινίστηκε σε κόσκινο No 10 (2mm). Ο υπολογισμός του όγκου των στερεών συστατικών θα γίνει χρήσει πυκνόμετρου 100ml. Το κοσκινισμένο ξηρό εδαφικό δείγμα τοποθετείται εντός του πυκνόμετρου, το οποίο έχει ήδη καθαριστεί, ξηρανθεί και ζυγιστεί. Το πυκνόμετρο με το περιεχόμενο ξηρό έδαφος ξαναζυγίζονται. Κατόπιν, προστίθεται απεσταγμένο νερό περί τα $\frac{3}{4}$ του πυκνόμετρου και ο αέρας που έχει παγιδευτεί εντός απομακρύνεται με τη βοήθεια αντλίας κενού. Στη συνέχεια προστίθεται εκ νέου απεσταγμένο νερό μέχρι την ένδειξη των 100ml και το σύστημα μας ζυγίζεται ξανά. Τέλος, το πυκνόμετρο ξεπλένεται και πληρώνεται με απιονισμένο νερό μέχρι την ένδειξη των 100ml και ξαναζυγίζεται. Ο όγκος των στερεών συστατικών ισούται με το άρθροισμα του βάρους του εδάφους επί ξηρού και της διαφοράς βάρους των συστημάτων πυκνομέτρου-απεσταγμένου νερού και πυκνομέτρου-ξηρού εδάφους-απεσταγμένου νερού (Πλαστήρα, 2011).

3.3 ΟΡΙΑ ATTERBERG

Όπως προαναφέρθηκε, η περιεχόμενη υγρασία έχει σημαντική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες των συνεκτικών εδαφών (Καββαδάς, 2009). Βάσει της περιεχόμενης υγρασίας, τα συνεκτικά εδάφη απαντώνται σε τέσσερις καταστάσεις συνεκτικότητας: υδαρή, πλαστική, ημιστερεή και στερεή. Ως όρια Atterberg ορίζονται οι κρίσιμες τιμές περιεχόμενης υγρασίας στις οποίες τα συνεκτικά εδάφη μεταπίπτουν ανάμεσα στις τέσσερις αυτές καταστάσεις (Barnes, 2014).

Όριο Υδαρότητας

Το όριο υδαρότητας (Liquid Limit) είναι η κρίσιμη τιμή περιεχόμενης υγρασίας στην οποία τα συνεκτικά εδάφη μεταπίπτουν από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση. Ο προσδιορισμός του πραγματοποιήθηκε με την πρότυπη μέθοδο ASTM 4318 (Barnes, 2014).

Όριο Πλαστικότητας

Το όριο πλαστικότητας (Plastic Limit) είναι η κρίσιμη τιμή περιεχόμενης υγρασίας στην οποία τα συνεκτικά εδάφη μεταπίπτουν από την ημιστερεή στην πλαστική κατάσταση. Ο προσδιορισμός του πραγματοποιήθηκε με την πρότυπη μέθοδο ASTM 4318 (Barnes, 2014).

Όριο Συρρίκνωσης

Το όριο συρρίκνωσης (Shrinkage Limit) είναι η κρίσιμη τιμή περιεχόμενης υγρασίας στην οποία τα συνεκτικά εδάφη μεταπίπτουν από την στερεή στην ημιστερεή κατάσταση. Στα περιθώρια αυτής της έρευνας, το όριο συρρίκνωσης δεν προσδιορίστηκε.

3.3.1 Μεθοδολογία

Όριο Υδαρότητας

Για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας, λήφθηκε αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους και ακολουθήθηκε η πρότυπη μέθοδος ASTM 4318 χρήσει του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής. Το δείγμα τοποθετήθηκε σε κάψα αλουμινίου και στη συνέχεια στον κλίβανο ξήρανσης σε θερμοκρασία $60\pm 5^{\circ}\text{C}$. Η ποσότητα δείγματος υπολογίστηκε κατάλληλα έτσι ώστε μετά το κοσκίνισμα με κόσκινο No 40 (425 μm) να προκύψει ποσότητα περίπου 150g. Μετά την ξήρανση, συσσωματώματα εδάφους κονιορτοποιήθηκαν χρήσει γουδιού με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μη μειωθεί το μέγεθος των κόκκων του υπόλοιπου δείγματος. Κατόπιν, το δείγμα κοσκινίστηκε με κόσκινο No 40 (425 μm) και τοποθετήθηκε εντός πορσελάνινου δοχείου διαμέτρου 12cm. Στο δοχείο ανάμιξης προστέθηκε απιονισμένο νερό με ταυτόχρονη διεξοδική ανάμιξη με σπάτουλα διαστάσεων 8x2cm ώστε να προσεγγιστεί, αλλά να μην ξεπεραστεί, το όριο υδαρότητας των εδαφικών δειγμάτων. Μετά πέρας της ανάδευσης, το ομοιογενές πλέον μίγμα τοποθετήθηκε σε υγραντήρα για 30min. Κατόπιν το δείγμα απομακρύνθηκε από τον υγραντήρα και αναδεύτηκε διεξοδικά. Ποσότητα περίπου 20g απομονώθηκε ώστε να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του Ορίου Πλαστικότητας. Χρησιμοποιώντας τη σπάτουλα κατάλληλη ποσότητα δείγματος τοποθετήθηκε στη συσκευή Casagrande (Εικόνα 3.1), έτσι ώστε να έχει βάθος 10mm στο βαθύτερο σημείο και να σχηματίζει κατά προσέγγιση μια οριζόντια επιφάνεια. Κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο να εξαλειφθούν φυσαλίδες αέρα στο μάζα του υλικού, πιέζοντας με τη σπάτουλα όσο δυνατό λιγότερες φορές. Το υπόλοιπο υλικό σκεπάστηκε με μια βρεγμένη πετσέτα

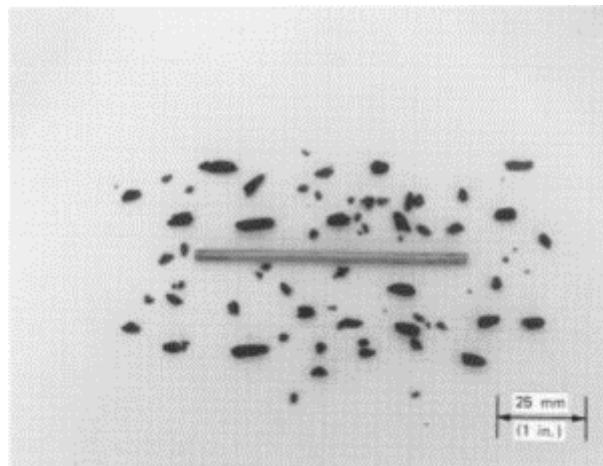
ώστε να διατηρήσει την υγρασία του. Χρήσει του οργάνου χάραξης, δημιουργήθηκε μια αυλάκωση που ένωνε το υψηλότερο σημείο με το χαμηλότερο σημείο στο χείλος του κυπέλλου της συσκευής. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο να διατηρείται το όργανο χάραξης κάθετο στην επιφάνεια του κυπέλου κατά τη διάρκεια της χάραξης και να αποτραπεί ολίσθηση του δείγματος ως προς την επιφάνεια της συσκευής. Στη συνέχεια η συσκευή τέθηκε σε λειτουργία περιστρέφοντας τη μανιβέλα με ρυθμό δύο φορές το δευτερόλεπτο, μέχρις ότου τα δύο τμήματα του δείγματος να έρθουν σε επαφή στο κάτω μέρος της αυλάκωσης σε απόσταση 13mm, καταγράφοντας τον συνολικό αριθμό περιστροφών ($25 \leq N_1 \leq 35$) που απαιτήθηκαν. Μετά το πέρας της δοκιμής, παραλήφθηκε εδαφικό δείγμα κάθετο στην αυλάκωση, πλάτους ίσου με τη σπάτουλα και με βάθος έως τον πυθμένα του κυπέλλου της συσκευής και τοποθετήθηκε σε κάψα αλουμινίου γνωστού βάρους. Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε η μέθοδος των διαδοχικών ζυγίσεων για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας του δείγματος. Η υπόλοιπη ποσότητα εδάφους επιστράφηκε στο δοχείο ανάμειξης όπου προστίθεται μικρή ποσότητα (1-3ml) απιονισμένου νερού έτσι ώστε να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία και να μειωθεί ο αριθμός των απαιτούμενων περιστροφών στη συσκευή Casagrande. Πραγματοποιήθηκαν δύο ακόμα επαναλήψεις της μεθόδου με αριθμούς περιστροφών $20 \leq N_2 \leq 30$ και $15 \leq N_3 \leq 25$. Κατόπιν, ακολουθήθηκε η μέθοδος των διαδοχικών ζυγίσεων για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων. Μετά το πέρας των μετρήσεων, για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας, αποτυπώθηκε η συσχέτιση αριθμού περιστροφών (“κτύπων”) και περιεχόμενης υγρασίας (W) σε ημιλογαριθμικούς άξονες και σχεδιάστηκε η γραμμή τάσης. Η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στο σημείο εκείνο της γραμμής τάσης με τετμημένη $N = 25$ κτύποι είναι το όριο υδαρότητας του εδαφικού δείγματος (Χρηστάρας, 2001; Πλαστήρα, 2011).



Εικόνα 3.1 – Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας στη συσκευή Casagrande

Όριο Πλαστικότητας

Για τον υπολογισμό του ορίου πλαστικότητας ακολουθήθηκε η μέθοδος η πρότυπη μέθοδος ASTM 4318. Η ποσότητα περίπου 20g που απομονώθηκε κατά τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας τοποθετήθηκε σε πορσελάνινο δοχείο 12cm και αναδεύτηκε διεξοδικά έως ότου να μειωθεί η περιεχόμενη υγρασία σε βαθμό που το εδαφικό δείγμα να μπορεί να πλαστεί χωρίς να κολλάει στα χέρια. Στη συνέχεια, η ποσότητα χωρίστηκε σε δύο ίσα μέρη περίπου 10g. Το πρώτο δείγμα 10g πλάστηκε χειροκίνητα (80-90 κυλινδρώσεις/min) σε κύλινδρο ομοιόμορφης διαμέτρου, σε όλο του το μήκος, μέχρι η διάμετρός του να φτάσει τα 3,2mm (Εικόνα 3.2). Ο κύλινδρος στη συνέχεια χωρίστηκε σε 8 κομμάτια που συσσωματώθηκαν σε μια ελλειψοειδή μάζα και πλάστηκαν επανειλημμένα σε κύλινδρο μέχρι η διάμετρός του να φτάσει τα 3,2mm και να χωριστεί ξανά σε 8 κομμάτια έως ότου να θρυμματιστεί. Τα κομμάτια του θρυμματισμένου κυλίνδρου τοποθετήθηκαν σε αλουμινένια κάψα γνωστής μάζας και στη συνέχεια προσδιορίστηκε η περιεχόμενη υγρασία με τη μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων. Κατόπιν, η μέθοδος επαναλήφθηκε και για το δεύτερο δείγμα 10g. Ο μέσος όρος των δύο περιεχόμενων υγρασιών που προσδιορίστηκαν αντιστοιχεί στο όριο πλαστικότητας του εδαφικού δείγματος (Χρηστάρας, 2001; Πλαστήρα, 2011).



Εικόνα 3.2 – Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας με την πρότυπη μέθοδο ASTM4318

Βάσει των ορίων Atterberg δύνανται να προσδιοριστούν οι παράγωγοι δείκτες υδαρότητας (Liquidity Index), και πλαστικότητας (Plasticity Index).

Δείκτης Πλαστικότητας

Ως δείκτης πλαστικότητας (Plasticity Index) ορίζεται η διαφορά των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας, αντιπροσωπεύει λοιπόν το εύρος περιεχόμενων υγρασιών στο οποίο τα εδαφικά δείγματα παρουσιάζουν πλαστική συμπεριφορά (Barnes, 2014).

$$\begin{aligned} \text{Δείκτης Πλαστικότητας (PI)} \\ = \text{Όριο Υδαρότητας (LL)} - \text{Όριο Πλαστικότητας (PL)} \end{aligned}$$

Βάσει του δείκτη πλαστικότητας, τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως

Πίνακας 3.1 – Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με το Δείκτη Πλαστικότητας (S. Prakash and P.K. Jain, Engineering Soil Testing, Nem Chand & Bros, Roorkee, 2002)

Plasticity index (%)	Soil type	Degree of plasticity	Degree of cohesiveness
0	Sand	Non-plastic	Non-cohesive
<7	Silt	Low plastic	Partly cohesive
7-17	Silt clay	Medium plastic	Cohesive
>17	Clay	High plastic	cohesive

Δείκτης Υδαρότητας

Ως δείκτης υδαρότητας (Liquidity Index) ορίζεται ο λόγος της διαφοράς της περιεχόμενης υγρασίας (W) και του ορίου πλαστικότητας ως προς τον δείκτη πλαστικότητας (Barnes, 2014). Ο δείκτης υδαρότητας συσχετίζει την περιεχόμενη υγρασία του εδαφικού δείγματος ως προς τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας.

$$\text{Δείκτης Υδαρότητας (LI)} = \frac{\text{Περιεχόμενη Υγρασία (W)} - \text{Όριο Πλαστικότητας (PL)}}{\text{Δείκτης Πλαστικότητας (PI)}}$$

3.4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Με την κοκκομετρική ανάλυση προσδιορίζεται η συσχέτιση του διερχόμενου ποσοστού εδαφικού δείγματος από μια αλληλουχία κοσκίνων και της διαμέτρου των οπών τους (Παπαχαρίσης κ.α, 2010). Η διαδικασία αυτή έχει ως τελικό στόχο την κατάταξη του εδάφους σε κατηγορίες, που θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα.

3.4.1 Μεθοδολογία

Γενικά

Η διαδικασία βασίζεται στη χρήση μιας στήλης πρότυπων κοσκίνων, όπου προοδευτικά μειώνεται το άνοιγμα των οπών τους μέσα από τις οποίες διέρχεται το δείγμα. Αποτελείται από τρεις φάσεις, όπου σε κάθε μια από αυτές αναλύεται το έδαφος που συγκρατείται ή διέρχεται από συγκεκριμένα κόσκινα. Η φάση κοσκίνισης χονδρόκοκκου υλικού αφορά υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο No 10 (2mm), η φάση κοσκίνισης λεπτόκοκκου αφορά την άμμο, η οποία διέρχεται μεταξύ των κοσκίνων No 10 (2mm) έως No 200 (7,4 μm) (Εικόνα 3.3) και τέλος η φάση της καθίζησης, ή αλλιώς ανάλυση με πυκνόμετρο, εξετάζει τα υλικά που διέρχονται από το κόσκινο No 200 (74μm) όπως είναι η άργιλος της περίπτωσης μας (Πλαστήρα, 2011).

Προετοιμασία Δείγματος

Το πείραμα ξεκίνησε με την κατάλληλη προετοιμασία και λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος. Πραγματοποιήθηκε ξήρανση στους $60^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ και χρησιμοποιήθηκε ποσότητα τόση ώστε να διέρχονται 60g από το κόσκινο No 10 (2mm) αφού μελετάται αργλικό δείγμα (Πλαστήρα, 2011). Η ποσότητα που διέρχεται από το κόσκινο τρίβεται ώστε να διαχωριστούν οι κόκκοι του και ζυγίζεται, έχοντας όμως υγρασκοπική υγρασία αφού δεν έχει μπει σε κλίβανο ξήρανσης. Το κοσκίνισμα επαναλαμβάνεται επάνω στο ίδιο κόσκινο. Η ποσότητα που θα συγκρατηθεί αποτελεί το χονδρόκοκκο υλικό προς διερεύνηση ($W_{\chi.u.}$), ενώ το υλικό που διέρχεται από αυτό αποτελεί το λεπτόκοκκο ($W_{\lambda.u.}$). Επειδή η υγρασκοπική υγρασία στα λεπτόκοκκα εδάφη δεν είναι αμελητέα όπως στην περίπτωση των χονδρόκοκκων, αφαιρέθηκε η τιμή της μέσω του κλίβανου ξήρανσης στους $110^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ και προέκυψε η ξηρή ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού ($W_{\xi.\lambda.u.}$). (Πλαστήρα, 2011).



Εικόνα 3.3 – Κόσκινα No 200 (74µm) και No 10 (2mm)



Εικόνα 3.4 – Συσκευή κοσκίνισης



Εικόνα 3.5 - Εξοπλισμός κοκκομετρικής ανάλυσης με πικνόμετρο

Κοσκίνισμα Χονδρόκοκκου Υλικού

Επειδή το ποσοστό του δείγματος που συγκρατήθηκε στο κόσκινο No 10 (2mm) ήταν μηδενικό, δεν πραγματοποιήθηκε η διαδικασία.

Ανάλυση με Πυκνόμετρο

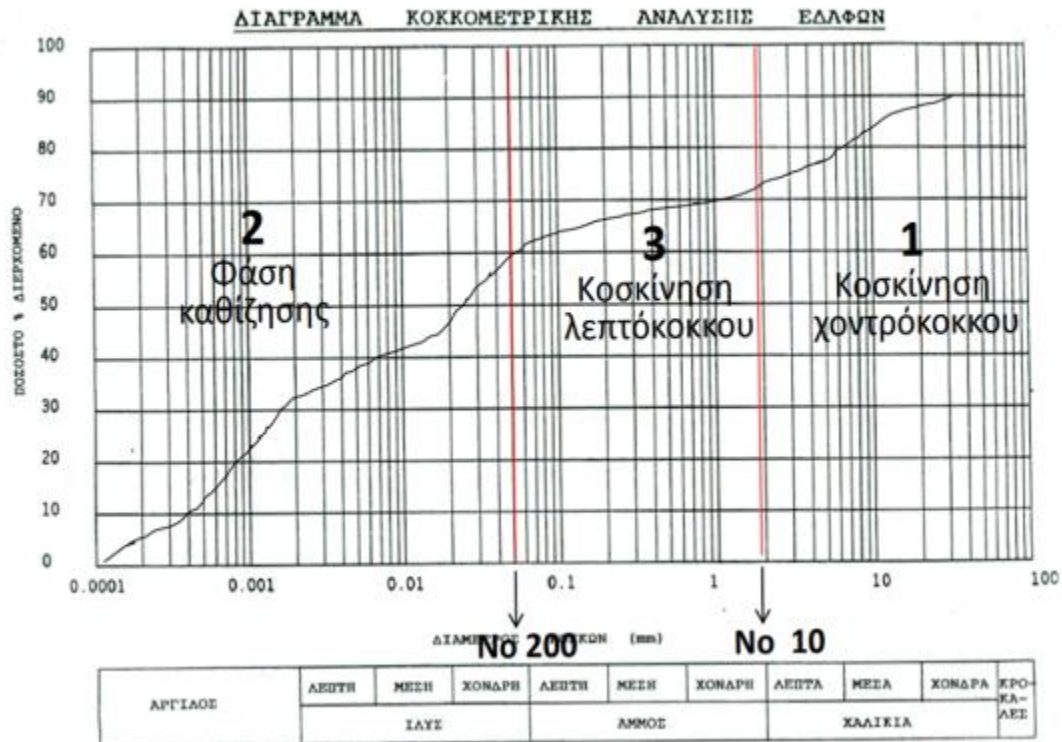
Στο στάδιο αυτό προσδιορίστηκε η κατά μέγεθος κατανομή των κόκκων στην ιλύ και την άργιλο. Αρχικά λήφθηκε ποσότητα διερχόμενου από το κόσκινο No 10 (2mm) αντιπροσωπευτικού δείγματος. Η ποσότητα αυτή είναι περί τα 50g για τα περισσότερα εδάφη και 100g για τα αμμώδη (Πλαστήρα, 2011). Αφού ζυγίστηκε, το δείγμα τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως 250ml και αναμείχθηκε με διάλυμα 125ml απιονισμένου νερού/ $\text{Na}_{12}\text{P}_{10}\text{O}_{31}$.

Το διάλυμα αναδεύτηκε με χρήση γυάλινης ράβδου και αφέθηκε για 12 και πλέον ώρες ώστε να διαβραχεί το εδαφικό δείγμα. Μετά το πέρας του χρονικού αυτού διαστήματος πραγματοποιήθηκε μεταφορά του περιεχομένου από το ποτήρι σε ένα κύπελλο διασποράς με προσθήκη απιονισμένου νερού, μέχρι να ξεπεράσουμε το μέσον του κυπέλλου και πραγματοποιήθηκε μηχανική ανάδευση του διαλύματος για 60sec με σκοπό να πραγματοποιηθεί διασπορά των κόκκων. Στη συνέχεια το διάλυμα μεταφέρθηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο 1L, συμπληρώθηκε εκ νέου απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή, τοποθετήθηκε διάταξη καταγραφής της θερμοκρασίας και τοποθετήθηκε σε υδατόλουτρο. Όταν η θερμοκρασία του διαλύματος εξισώθηκε με την θερμοκρασία του υδατόλουτρου, ο ογκομετρικός κύλινδρος απομακρύνθηκε και ανακινήθηκε για 60s με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να αποφευχθούν απώλειες διαλύματος. Στη συνέχεια, ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετήθηκε εκ νέου στο υδατόλουτρο με τη διάταξη καταγραφής της θερμοκρασίας και μετά από 2min, χρήσει πυκνομέτρου, λήφθηκε το πρώτο ζεύγος μετρήσεων πυκνότητας/θερμοκρασίας. Τα υπόλοιπα ζεύγη μετρήσεων (σύνολο 7) καταγράφηκαν για χρόνους 5, 15, 30, 60, 250 και 1440 min. Ανάμεσα σε διαδοχικές μετρήσεις, το πυκνόμετρο αφαιρούταν, καθαριζόταν με απιονισμένο νερό και επανατοποθετούταν στη διάταξη τουλάχιστον 30 sec πριν την καταγραφή της μέτρησης ώστε η διατάραξη του διαλύματος να είναι αμελητέα. Μετά το πέρας της ανάλυσης, το διάλυμα περάστηκε από κόσκινο No 200 (74 μm) ώστε να απομακρυνθεί η υγρή φάση και στη συνέχεια ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό για το διαχωρισμό και την απομάκρυνση των κλασμάτων ιλύος και άργιλου από το κλάσμα άμμου που συγκρατήθηκε. (Χρηστάρας, 2001).

Κοσκίνισμα Λεπτόκοκκου Υλικού

Το κλάσμα άμμου που συγκρατήθηκε από το κόσκινο No 200 (74μm) μετά το πέρας της ανάλυσης με πυκνόμετρο ξηράνθηκε σε κλίβανο και αναλύθηκε με συσκευή κοσκίνισης (Εικόνα 3.4), χρησιμοποιώντας κόσκινα No 10 (2mm), No 30 (590μm), No 40 (425μm), No 50 (297μm), No 100 (149 μm) και No 200 (74μm). Για κάθε κόσκινο καταγράφηκε το βάρος του συγκρατούμενου υλικού και υπολογίστηκαν τα ποσοστά διερχόμενου υλικού $P_{\xi, \lambda, \nu}$, τα οποία ανάχθηκαν σε διερχόμενα% του συνολικού ξηρού δείγματος W_{ξ} . Κατόπιν, σε ημιλογαριθμικού άξονες σχεδιάστηκε η κοκκομετρική καμπύλη (Διάγραμμα 3.1), (Πλαστήρα, 2011).

Διάγραμμα 3.1 – Διάγραμμα Κοκκομετρικής Καμπύλης
(Παπαχαρίσης κ.α, 2010)



3.5 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Η πειραματική διαδικασία της ανεμπόδιστης θλίψης αποτελεί μια ταχεία μέθοδο εξεύρεσης της συνοχής, ως αναφορά τα συνεκτικά εδάφη. Αυτή υπολογίζεται μέσω της αντοχής σε θλίψη q_u του δοκιμίου μέσω της παρακάτω σχέσης (Πλαστήρα, 2011):

$$\text{Συνοχή } (c) = \frac{\text{Αντοχή σε θλίψη } (q_u)}{2}$$

Αντοχή σε θλίψη q_u του εδαφικού δοκιμίου είναι η τιμή της τάσης που ασκείται κατακόρυφα προς τον άξονα του κατά την οποία πραγματοποιείται θραύση του ή παραμορφώνεται σε ποσοστό τουλάχιστον 20% χωρίς πραγματοποίηση θραύσης. Ως αναφορά την ανηγμένη αξονική παραμόρφωση (ε) που υφίσταται το δοκίμιο υπολογίζεται βάση του παρακάτω τύπου (Πλαστήρα, 2011):

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_o}$$

όπου H_0 ορίζεται το αρχικό ύψος του δοκιμίου και ΔH η βράχυνση – σμίκρυνση που έχει υποστεί από την κατακόρυφη φόρτιση τη χρονική στιγμή της μέτρησης. Προϋποθέσεις για την πραγματοποίηση της δοκιμής που πρέπει να τηρούνται είναι οι εξής:

- Το εδαφικό δοκίμιο να προέρχεται από συνεκτικό έδαφος, καθώς κατά την εκτέλεση του πειράματος αυτό πλευρικά είναι ελεύθερο
- Η χρονική διάρκεια να είναι σύντομη, συγκεκριμένα έως 15min. Με αυτό τον τρόπο διατηρείται η φυσική υγρασία του δοκιμίου και παραμένει κορεσμένο
- Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ του εδάφους να είναι ίση με 0° , όπως άλλωστε συμβαίνει στα κορεσμένα συνεκτικά εδάφη (Χρηστάρας, 2001).

3.5.1 Μεθοδολογία

Χρησιμοποιήθηκε συσκευή διάτμησης, η οποία ασκούσε φόρτιση κάθετα προς την επιφάνεια του δοκιμίου. Στη συσκευή ήταν εγκατεστημένος δυναμομετρικός δακτύλιος για την ανάγνωση των τιμών των ασκούμενων φορτίων, καθώς και μηκυνσιόμετρο με ικανότητα μέτρησης της ανηγμένης αξονικής παραμόρφωσης του δοκιμίου 0,01mm. Πριν την εκκίνηση της πειραματικής διαδικασίας το αργιλικό δείγμα διαμορφώθηκε κατάλληλα σε κυλινδρικό δοκίμιο το οποίο είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η ελάχιστη διάμετρος του ήταν 3,30 cm
- Η σχέση μεταξύ της διαμέτρου και του αρχικού ύψους του να βρίσκεται μεταξύ των ορίων που δίνονται από τη σχέση $2 \leq \frac{H_0}{D} \leq 3$, ώστε να μην εμφανίζεται κατά τη φόρτιση φαινόμενο λυγισμού
- Η αναλογία μέγιστου μέγεθος κόκκου του εδαφικού δοκιμίου και της διαμέτρου του να είναι μικρότερη από 1/10 (Πλαστήρα, 2011).

Στη συνέχεια το κυλινδρικό δοκίμιο μεταφέρθηκε στη συσκευή θλίψης (Εικόνα 3.6). Κατά τη διαδικασία ασκήθηκε φορτίο από τη συσκευή στο δοκίμιο, προσδίδοντας του ανηγμένη αξονική παραμόρφωση από 0,5 έως 2% / min. Λήφθηκαν μετρήσεις σχετικά με το ασκούμενο κατακόρυφο φορτίο P και την παραμόρφωση ϵ κάθε 30sec. Η ταχύτητα με την οποία είχε ρυθμιστεί να πραγματοποιείται η παραμόρφωση είχε ως σκοπό να ολοκληρωθεί η θραύση εντός 10 min, καθώς οι βάσεις του δοκιμίου ήταν ακάλυπτες. Η ολοκλήρωση της δοκιμής πραγματοποιείται μόλις παρατηρηθεί η θραύση του (Εικόνα 3.7), ή όταν η τιμή της ανηγμένης αξονικής παραμόρφωσης είναι ίση με 20%.



Εικόνα 3.6 –Συσκευή θλίψης



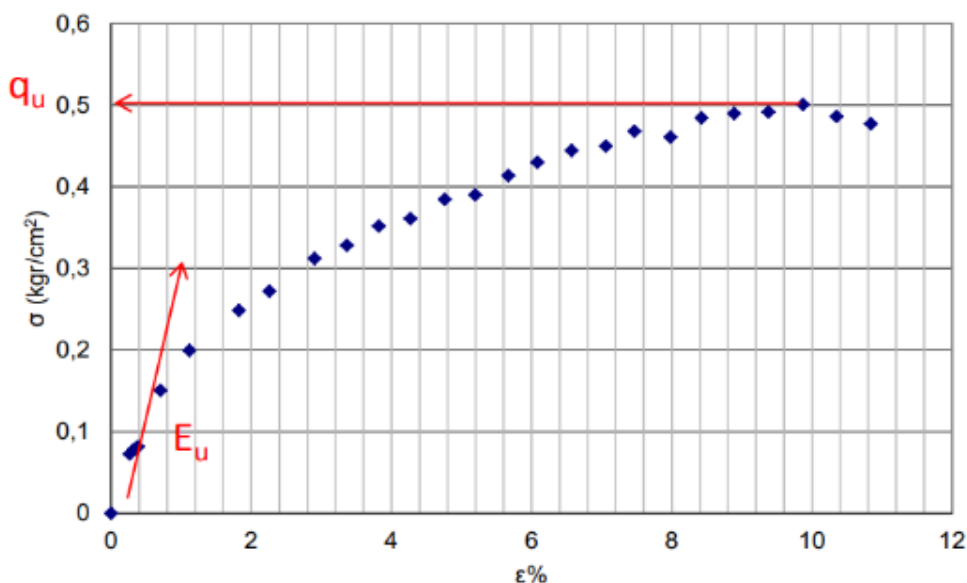
Εικόνα 3.7 – Θραύση κυλινδρικού δοκιμίου

Οι τιμές των φορτίων P που αναγνώστηκαν πρέπει να μετατραπούν σε τιμές ορθής τάσης σ , ώστε να τοποθετηθούν στην συνέχεια μαζί με τις αναγνώσεις ανηγμένης αξονικής παραμόρφωσης ϵ σε διάγραμμα ($\epsilon\%$ – σ) με σκοπό τον υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη του δοκιμίου q_u και κατ' επέκταση της συνοχής του c .

Γενικά η τιμή της ορθής τάσης δίνεται από τη σχέση $\sigma = \frac{P}{A}$, όπου P το κατακόρυφο φορτίο και A_0 η επιφάνεια του κυλινδρικού δοκιμίου κάθετη προς το φορτίο. Θεωρώντας ότι κατά την πειραματική διαδικασία ο όγκος του δοκιμίου V δεν μεταβάλλεται, καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση ως αναφορά την επιφάνεια A' στην οποία ασκείται το φορτίο P για κάθε μέτρηση που λαμβάνουμε (Πλαστήρα, 2011):

$$A' = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$$

όπου A_0 η αρχική επιφάνεια του κυλίνδρου και ϵ η ανάγνωση της ανηγμένης αξονικής παραμόρφωσης του κάθε χρονική στιγμή. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι τιμές της ορθής τάσεις σ και κατασκευάζουμε το παρακάτω διάγραμμα τοποθετώντας σε αυτό τα σημεία ($\epsilon\%$, σ).



Διάγραμμα 3.2 – Διάγραμμα υπολογισμού Αντοχής σε θλίψη (Barnes, 2014)

Η τιμή αντοχής σε θλίψη q_u του δοκιμίου αντιστοιχεί στην τιμή της ορθής τάσης για την οποία πραγματοποιήθηκε θραύση ή η $\epsilon\%$ ήταν 20 (Διάγραμμα 3.2). Επιλέγεται η τιμή για το γεγονός που προηγήθηκε χρονικά. Από την κλίση του ευθύγραμμου τμήματος στην αρχή του διαγράμματος υπολογίζεται επίσης το μέτρο ελαστικότητας του δείγματος E . Τέλος, μέσω της αντοχής σε θλίψη υπολογίζουμε την συνοχή του δοκιμίου από τη σχέση που αναφέρθηκε αρχικά. Συμπεράσματα ως αναφορά τη συνοχή εξάγουμε από Πίνακα 3.5 σε σχέση με την αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη q_u .

Πίνακας 3.5 – Χαρακτηρισμός συνεκτικότητα εδάφους συναρτήσει της αντοχής σε θλίψη (Πλαστήρα, 2011)

ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΤΟ ΧΕΡΙ	ΑΝΤΟΧΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΕΩΣ (kgf/cm^2)
ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΗ	ΕΥΚΟΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΗΣ ΠΥΓΜΗΣ ΤΟΥ ΧΕΡΙΟΥ	< 0,25
ΜΑΛΑΚΗ	ΕΥΚΟΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΟΣ	0,25 - 0,5
ΜΕΣΗ	ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΟΣ	0,5 - 1
ΣΚΛΗΡΗ	ΕΥΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ ΑΛΛΑ ΔΙΕΙΣΔΥΕΙ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ	1 - 2
ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΗ	ΕΥΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΝΥΧΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	2 - 4
ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΗ	ΔΥΣΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΝΥΧΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	> 4

Στο συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιήθηκε ακόμα μια δοκιμή με αναζυμωμένο δοκίμιο. Κατά την αναζύμωση το δείγμα περικλείεται από μεμβράνη ώστε να μην χαθεί η φυσική του υγρασία και αναταράσσεται με το χέρι πραγματοποιώντας κυλινδρικές κινήσεις. Ύστερα πραγματοποιήθηκε όλη η προαναφερθείσα διαδικασία και για το αναζυμωμένο δοκίμιο. Σκοπός της επιπλέον αυτής δοκιμής ήταν να βρεθεί ο βαθμός ευαισθησίας του εδαφικού δείγματος, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Βαθμος ευαισθησίας } St = \frac{q_{\text{υ αδιατάρχατου}}}{q_{\text{υ αναζυμωμένου}}}$$

Με το βαθμό ευαισθησίας εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το πόσο ευαίσθητο ή όχι είναι ένα έδαφος. Ανάλογα με την ευαισθησία του μπορεί εύκολα ή δύσκολα μετά από αναζύμωση ή ανατάραξη να ανακτήσει ένα μέρος ή και τη συνολική του διατμητική αντοχή (Χρηστάρας, 2001).

3.6 ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Σκοπός της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός των μεγεθών γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) και συνοχής (c) του εδάφους. Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής το εδαφικό δείγμα θραύεται υπό την επίδραση μιας σταθερής ορθής τάσης σ και μιας αυξανόμενης διατμητικής τάσης τ , οι οποίες εφαρμόζονται σε μια προδιαγεγραμμένη επιφάνεια που καλείται επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή ολοκληρώνεται μόλις πραγματοποιηθεί θραύση του δείγματος ή όταν επέλθει σχετική μετατόπιση 10%. Για μη συνεκτικά εδάφη ο χρόνος ολοκλήρωσης είναι 3 έως 5 min, ενώ για μη συνεκτικά είναι 5 έως 10 min. Η τιμή της διατμητικής τάσης για την οποία συμβαίνει πρώτα μια από τις δύο συνθήκες αποτελεί την διατμητική αντοχή του δοκιμίου (τ_{\max}) (Γραμματικόπουλος κ.α, 2016).

3.6.1 Μεθοδολογία

Το εδαφικό δείγμα διαμορφώνεται κατάλληλα και τοποθετείται στον υποδοχέα (Εικόνα 3.9). Αυτός αποτελείται από ένα ζευγάρι τετραγωνικών μεταλλικών πλαισίων εσωτερικής διάστασης πλευράς 6cm. Η διαμόρφωση του δοκιμίου ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:

Λαμβάνεται ποσότητα δείγματος τόση ώστε να πραγματοποιηθούν τρεις δοκιμές. Η διάσταση της πλευράς του δοκιμίου D είναι 6cm και ως αναφορά το ύψος του H ακολουθείται γενικά η σχέση $H_{\min} = D/2$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ύψος του ήταν $H = 1\text{cm}$ για κάθε μια από τις δοκιμές.



Εικόνα 3.8 – Συσκευή Διάτμησης



Εικόνα 3.9 – Υποδοχέας Δοκιμίου

Στη συνέχεια αφού εφαρμόστηκαν πωρόλιθοι στην κάτω και πάνω πλευρά του δοκιμίου (Εικόνα 3.10), ώστε να μπορεί να γίνει αποστράγγισή του κατά τη δοκιμή, τοποθετήθηκε μέσα στον υποδοχέα και συνδέθηκαν με τις βίδες τα δύο πλαίσια του υποδοχέα στη συσκευή της διάτμησης (Εικόνα 3.8). Η συσκευή ήταν εξοπλισμένη με κατάλληλα μέσα ώστε α) για κάθε μια από τις 3 δοκιμές προσδίδεται ορθή τάση στο δοκίμιο, εφαρμόζοντας προοδευτικά αυξανόμενο ανά δοκιμή κατακόρυφο φορτίο. Συγκεκριμένα η ορθή τάση για κάθε μια από τις δοκιμές ήταν $0,56\text{kg/cm}^2$, $1,11\text{kg/cm}^2$ και $2,22\text{kg/cm}^2$ αντίστοιχα, β) μέσω στροφάλου προσδιδόταν οριζόντια ώθηση στο σύστημα υποδοχέας-δοκίμιο. Η εφαρμογή της ώθησης πραγματοποιούνταν αφού είχαν αποσυνδεθεί τα δύο τμήματα του υποδοχέα από τις βίδες, ώστε να ολισθαίνουν πάνω στην επιφάνεια διάτμησης. Η ταχύτητα της ώθησης ήταν τέτοια ώστε να προσδίδεται στο δοκίμιο οριζόντια μετατόπιση από 0,5 έως 2 mm / min, και γ) μέσα από 3 ηλεκτρονικά μηκυσιόμετρα, αφού τα έχουμε μηδενίσει πριν ξεκινήσει η φόρτιση του δοκιμίου, παίρνουμε αναγνώσεις για την οριζόντια μετατόπιση (Δd), τη βράχυνση του δυναμομετρικού δακτυλίου (τιμές RT) και τις καθιζήσεις του δοκιμίου. Αφού αναγάγαμε μέσω κατάλληλων τύπων τις ενδείξεις Δd και RT σε τιμές ανηγμένης αξονικής παραμόρφωσης ϵ και διατμητικής τάσης τ , κατασκευάστηκε για κάθε μια από τις δοκιμές το διάγραμμα (ϵ - τ). Μέσω του διαγράμματος υπολογίστηκε η διατμητική αντοχή του δοκιμίου τ_{max} , η οποία είναι η τιμή της τάσης για την οποία πραγματοποιήθηκε θραύση (Εικόνα 3.11) ή είχαμε ανηγμένη αξονική παραμόρφωση ίση με 10%. (Πλαστήρα, 2011).

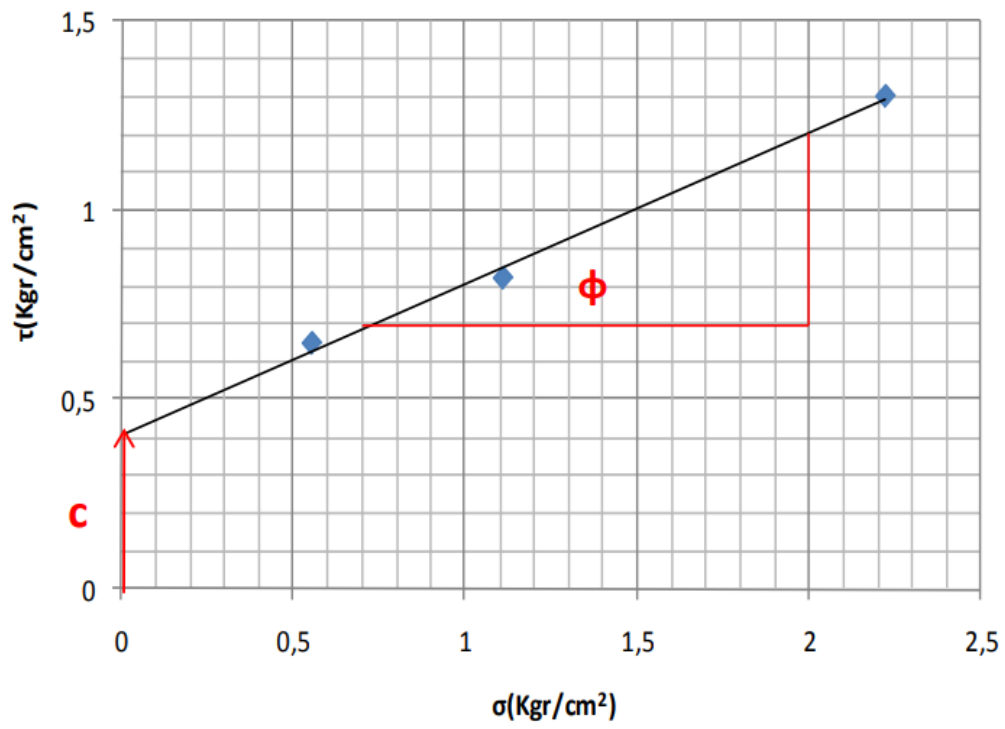
Τέλος κατασκευάστηκε το διάγραμμα του Mohr (Διάγραμμα 3.3), τοποθετώντας στον οριζόντιο άξονα τις τιμές της ορθής τάσης σ για κάθε μια από τις τρεις δοκιμές που εκτελέστηκαν και στον κατακόρυφο τις τιμές που προέκυψαν για τη διατμητική τάση τ_{max} . Από το διάγραμμα Mohr και μέσω της εξίσωσης της ευθείας περιβάλλουσας θραύσης υπολογίστηκαν οι τιμές της συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής, που ήταν και ο τελικός στόχος της δοκιμής άμεσης διάτμησης. (Barnes, 2014).



Εικόνα 3.10 - Διαμόρφωση Δοκιμίου



Εικόνα 3.11 – Θραύση Δοκιμίου



Διάγραμμα 3.3 – Διάγραμμα Mohr ($\sigma - \tau_{\max}$)

3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ως φέρουσα ικανότητα εδάφους ορίζεται η αντοχή σε θραύση του εδαφικού δείγματος λόγω διατμητικών τάσεων. Είναι το φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας που θα προκαλέσει θραύση του εδάφους θεμελίωσης. Αντίστοιχα ορίζεται η επιτρεπόμενη τάση ως το φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας που δεν οδηγεί σε απαράδεκτες παραμορφώσεις, ή σε θραύση του εδάφους. Υπάρχουν τρεις μορφές θραύσης του εδάφους που είναι η γενική θραύση, η τοπική θραύση και η βύθιση θεμελίου (Bowels, 2009).

Η γενική θραύση του εδάφους λαμβάνει χώρα σε εδάφη με υψηλή πυκνότητα και χαμηλή συμπίεστικότητα και συνοδεύεται από μεγάλη ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους και σοβαρή παραμόρφωση. Αντίθετα, η τοπική θραύση συμβαίνει σε εδάφη με μέση τιμή πυκνότητας και συμπίεστικότητας, ενώ παρατηρείται πολύ μικρότερη ανύψωση της επιφάνειας του εδάφους. Τέλος, η βύθιση θεμελίου πραγματοποιείται σε χαλαρά εδαφικά δείγματα με χαμηλή πυκνότητα, αλλά μεγάλης συμπίεστικότητας, στα οποία δεν παρατηρείται ανύψωση της εδαφικής επιφάνειας.

Για την ανάλυσή μας έγινε η παραδοχή τετραγωνικού θεμελίου και επιφανιακής θεμελίωσης μέχρι 2m βάθος. Με βάση τη θεωρία του Terzaghi η φέρουσα ικανότητα υπολογίζεται ως (Bowels, 2009):

$$\text{Φέρουσα Ικανότητα } (q) = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma_\alpha \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot B \cdot \gamma_\kappa \cdot N_\gamma$$

Όπου:

Συνιστώσα συνοχής

c : συνοχή, N_c : συντελεστής συνοχής

Συνιστώσα βάρους εδάφους πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης

γ_α : φαινόμενο βάρος εδάφους πάνω από στάθμη θεμελίωσης, D_f : βάθος θεμελίωσης,

N_q : συντελεστής βάθους θεμελίωσης

Συνιστώσα τριβής κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης

γ_κ : φαινόμενο βάρος εδάφους κάτω από στάθμη θεμελίωσης,

B : πλάτος δοκιμίου,

N_γ : συντελεστής επιφάνειας αντοχής ψαθυρού εδάφους

Πίνακας 3.6 – Συντελεστές φέρουσας ικανότητας συναρτήσει της γωνίας εσωτερικής τριβής (Bowels, 2009)

ϕ'	N_c	N_q	N_{γ}^a	ϕ'	N_c	N_q	N_{γ}^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.1	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ο υπολογισμός της καθίζησης λόγω στερεοποίησης είναι απαραίτητος για τον έλεγχο της αντοχής του εδάφους. Οι παραδοχές είναι ότι το εδαφικό υλικό θεωρείται ισότροπο και ομογενές. Η τιμή της καθίζησης του αργιλικού στρώματος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (Terzaghi, 1967):

$$\text{Καθίζηση (S)} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{e_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}$$

Όπου:

C_c : δείκτης συμπίεστότητας εδάφους, H : ύψος αργιλικού στρώματος,

e_0 : αρχικός δείκτης κενών εδάφους, σ_0 : αρχική εντατική κατάσταση,

$\Delta\sigma$: επιφόρτιση από την κατασκευή

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το πέρας της παρούσας έρευνας εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Σε ότι αφορά την περιεχόμενη φυσική υγρασία (W), η τιμή της υπολογίστηκε 26,23%. Η τιμή αυτή βρίσκεται σε καλή συμφωνία με βιβλιογραφικές αναφορές αντίστοιχων αργιλικών δοκιμών από τις περιοχές του Ηρακλείου Κρήτης ($W = 25,68\%$) και της Ομβριάς του νομού Αχαΐας ($W = 25,68\%$).

Η τιμή του ειδικού βάρους στερεών συστατικών (γ_s) υπολογίστηκε $2,27 \text{ gr/cm}^3$, βρίσκεται έστω και οριακά εντός του συνήθους εύρους τιμών των λεπτόκοκκων εδαφών το οποίο είναι μεταξύ $2,2 \text{ gr/cm}^3 - 2,9 \text{ gr/cm}^3$. Μας δείχνει επίσης πως πρόκειται για λεπτό αργιλικό δείγμα. Το αποτέλεσμα είναι σε συμφωνία και με αντίστοιχα αργιλικά δοκίμια από τις περιοχές Ηρακλείου Κρήτης ($\gamma_s = 2,54\%$) και Ομβριάς του νομού Αχαΐας ($\gamma_s = 2,72\%$).

Σχετικά με τις τιμές των Ορίων Atterberg υπολογίστηκαν: α) Όριο Υδαρότητας $LL = 47,62\%$, β) Όριο Πλαστικότητας $LP = 28,62\%$, γ) Δείκτης Πλαστικότητας $IP = 19,00\%$ και δ) Δείκτης Υδαρότητας $IL = - 0,13$.

Σύμφωνα με την κατάταξη εδαφών κατά Atterberg, το έδαφος που εξετάστηκε ανήκει στην κατηγορία μέσης πλαστικότητας. Επιπρόσθετα, εφόσον η τιμή του δείκτη υδαρότητας IL υπολογίστηκε αρνητική, συμπεραίνουμε ότι το δείγμα κατά τη διάρκεια της δοκιμής βρισκόταν στην ημιστερεή κατάσταση. Η τιμές που μετρήθηκαν για το όριο υδαρότητας LL βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία, ενώ οι τιμές για το όριο πλαστικότητας είχαν απόκλιση περί το 10% από τις τιμές για τα δοκίμια από τις περιοχές Ηρακλείου Κρήτης ($LL = 51,20\%$ & $LP = 29,3\%$) και της Ομβριάς του νομού Αχαΐας ($LL = 51,79\%$ & $LP = 32,67\%$).

Αναφορικά με την κοκκομετρική ανάλυση του εδαφικού δείγματος, βάση της κοκκομετρικής καμπύλης προκύπτουν τα παρακάτω ποσοστά: α) Άμμος: 8,26%, β) Ιλύς: 33%, γ) Άργιλος: 58,74%.

Σε συνδυασμό με τις τιμές των Ορίων Atterberg και του συστήματος κατάταξης κατά την American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.), καταλήγουμε ότι το έδαφος που εξετάσαμε είναι αργιλώδης, κατηγορίας A7-6 με μέτρια προς κακή καταλληλότητα για θεμελίωση οδών. Αντίστοιχα χρησιμοποιώντας το σύστημα κατάταξης κατά την American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), το έδαφος μας ανήκει στην κατηγορία CL η οποία χαρακτηρίζεται ως ανόργανη λεπτή άργιλος μέσης προς χαμηλής πλαστικότητας, κάτι που έρχεται κοντά με το συμπέρασμα που βγάλαμε από τα όρια Atterberg προηγουμένως.

Σχετικά τις μηχανικές ιδιότητες του εδαφικού δείγματος, κατά τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, η αντοχή q_u υπολογίστηκε $0,40 \text{ kg/cm}^2$ για το αδιατάραχτο και $0,31 \text{ kg/cm}^2$ για το αναζυμωμένο δοκίμιο αντίστοιχα. Η συνοχή c υπολογίστηκε $0,20 \text{ kg/cm}^2$ και $0,155 \text{ kg/cm}^2$ για το αδιατάραχτο και το αναζυμωμένο δείγμα. Από

πλευράς συνεκτικότητας λοιπόν η άργιλος χαρακτηρίζεται πολύ μαλακή. Κατά τον επί τόπου έλεγχο με την πυγμή του χεριού παρατηρήθηκε ότι διείσδυσε αρκετές ίντσες και με ευκολία στο έδαφος οπότε έχει πολύ μικρή θλιπτική αντοχή. Ο βαθμός ευαισθησίας S_t υπολογίστηκε 1,29. Η μικρή αυτή τιμή χαρακτηρίζει το δείγμα όχι ιδιαίτερα ευαίσθητο, με αποτέλεσμα να ανακτά εύκολα τις μηχανικές του αντοχές. Αυτό είναι φανερό και από τη μικρή απόκλιση της αντοχής σε θλίψη μεταξύ του αδιατάραχτου και του αναζυμωμένου δοκιμίου.

Κατά τη δοκιμή άμεσης διάτμησης, υπολογίσθηκε η τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi = 11,77^\circ$ και η συνοχή $c = 0,60 \text{ kg/cm}^2$. Η συνοχή όπως και στη δοκιμή ανεμπόδισης θλίψης παρατηρείται αρκετά μικρή, η δε τιμή της γωνίας ϕ παρουσιάζεται εκτός των ορίων 14-20 μοιρών που έχουν τεθεί για αργιλικό δοκίμιο που θραύεται σε ταχεία δοκιμή διάτμησης. Συμπεραίνουμε ότι κατά τη δοκιμή το δείγμα ήταν σχεδόν κορεσμένο, καθώς οι εντελώς κορεσμένες άργιλοι έχουν $\phi = 0^\circ$.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν παραμετρικοί υπολογισμοί των καθιζήσεων καθώς και της φέρουσας ικανότητας. Μέσω των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι για τα διάφορα σενάρια φόρτισης και διαστάσεων τετραγωνικών θεμελίων, οι καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης S_c που υπολογίσθηκαν είναι πολύ μικρές, από 0,76 - 1,58cm. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο αρκετά μεγάλο βάθος το οποίο βρίσκεται το στρώμα που εξετάστηκε σε σχέση με την επιφάνεια θεμελίωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση λοιπόν, το μέγεθος και το είδος του θεμελίου που θα επιλεγεί δεν επηρεάζει τις καθιζήσεις που δύναται να δώσει το εδαφικό στρώμα από το οποίο προέρχεται το δείγμα, οπότε προτείνεται η πιο οικονομική λύση θεμελίωσης.

Τέλος, η μέγιστη τιμή φέρουσας ικανότητας που υπολογίστηκε ήταν $q = 170,652 \text{ kPa}$. Εάν λάβουμε υπόψη μας και συντελεστή ασφαλείας για αργιλικά εδάφη $v=2,5$, η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση είναι $q_{all} = 68,26 \text{ kPa}$. Η τιμή χαρακτηρίζεται αρκετά μικρή σε σχέση με αντίστοιχες τιμές πιο πυκνών αργιλικών δειγμάτων όπως ήταν αυτό στο Ηράκλειο της Κρήτης $q = 753.77 \text{ kPa}$. Παρατηρείται ωστόσο αύξηση της τιμής όσο αυξήσαμε την επιφάνεια θεμελίωσης, οπότε στην περίπτωση μιας υπερκείμενης κατασκευής προτείνεται η επιλογή φαρδύτερων πέδων ή μιας εφαρμογής γενικής κοιτόστρωσης για ασφαλέστερη στήριξη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (W)

B_K	Βάρος Κάψας
$B_{K+υγρ}$	Βάρος Κάψας + Βάρος Υγρού Δείγματος
$B_{K+ξ}$	Βάρος Κάψας + Βάρος Ξηρού δείγματος
$B_ξ = B_{K+ξ} - B_K$	Βάρος Ξηρού Δείγματος
$B_V = B_{K+υγρ} - B_{K+ξ}$	Βάρος Περιεχόμενου Νερού Δείγματος

$$w = B_V / B_ξ$$

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	B_K (gr)	$B_{K+υγρ}$ (gr)	$B_{K+ξ}$ (gr)	$B_ξ$ (gr)	B_V (gr)	w (gr)	w (%)
41	21,26	48,36	42,71	21,45	5,65	0,2634	26,34
45	22,66	49,43	43,86	21,2	5,57	0,2627	26,27
55	21,97	36,45	33,5	11,53	2,95	0,2558	25,58
53	22,22	44,61	39,89	17,67	4,72	0,2671	26,71
M.O						0,2623	26,23

2 ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ – ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΓΙΛΟΥ

2.1 ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ (γ_s)

B_{π}	Βάρος Πυκνόμετρου
$B_{\pi+\xi}$	Βάρος Πυκνόμετρου+ Βάρος Ξηρού Δείγματος
$B_{\pi+\xi+v}$	Βάρος Πυκνόμετρου + Βάρος Ξηρού Δείγματος + Βάρος Νερού
$B_{\pi+v}$	Βάρος Πυκνόμετρου + Βάρος Νερού
$B_{\xi} = B_{\pi+\xi} - B_{\pi}$	Βάρος Ξηρού Δείγματος

Μέθοδος Α)

$$\gamma_s = B_{\xi} / [(B_{\xi} + B_{\pi+v}) - B_{\pi+\xi+v}]$$

Μέθοδος Β)

$V_w = B_{\pi+\xi+v} - B_{\pi+\xi}$	Όγκος Συνολικού Νερού
$V_{\pi} = B_{\pi+v} - B_{\pi}$	Όγκος Πυκνόμετρου
V_s	Όγκος Δείγματος

$$\gamma_s = B_{\xi} / V_s$$

B_{π}	gr	90,78
$B_{\pi+\xi}$	gr	140,50
$B_{\pi+\xi+v}$	gr	368,02
$B_{\pi+v}$	gr	340,24
B_{ξ}	gr	49,72
V_w	cm³	227,52
V_{π}	cm³	249,46
V_s	cm³	21,94
γ_s	gr/cm³	2,27

2.2 ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (γ)

Για την παραπάνω φυσική παράμετρο δεν πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία. Ως εκ τούτου ο υπολογισμός έγινε με βάση τον παρακάτω εμπειρικό τύπο, σε συνδυασμό με στοιχεία που λήφθηκαν από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης. Οι διαστάσεις του τετραγωνικού πλαισίου της δοκιμής έχουν μετρηθεί εσωτερικά, οπότε οι διαστάσεις όσον αφορά το αργλικό δοκίμιο ταυτίζονται με αυτές του πλαισίου.

$B_{\text{πλ}}$	Βάρος Τετραγωνικού Πλαισίου
H	Ύψος Τετραγωνικού Πλαισίου
D	Πλευρά Τετραγωνικού Πλαισίου
$V = V_{\text{ολ}}$	Όγκος Τετραγωνικού Πλαισίου
$B_{\text{πλ+υγρ}}$	Βάρος Τετραγωνικού Πλαισίου + Βάρος Υγρού Δείγματος
$B_{\text{υγρ}}$	Βάρος Υγρού Δείγματος

$$\gamma = B_{\text{υγρ}} / V$$

H	cm	2,1
D	cm	6
V	cm ³	75,6
$B_{\text{πλ}}$	gr	76,46
$B_{\text{πλ+υγρ}}$	gr	237,68
$B_{\text{υγρ}}$	gr	161,22
γ	gr / cm ³	2,13

2.3 ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (γ_d)

Για την παραπάνω φυσική παράμετρο δεν πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία. Ως εκ τούτου ο υπολογισμός έγινε με βάση τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$\gamma_d = \gamma / (1+w)$$

$$\gamma_d = 2,13(\text{gr/cm}^3) / (1+0,2623) = 1,69 \text{ gr/cm}^3$$

2.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΕΝΩΝ (e)

Για την παραπάνω φυσική παράμετρο δεν πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία.

Ως εκ τούτου ο υπολογισμός έγινε με βάση τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$e = (\gamma_s/\gamma_d) - 1$$

$$e = [2,27(\text{gr/cm}^3)/[1,69(\text{gr/cm}^3)]-1 = 0,34$$

2.5 ΠΟΡΩΔΕΣ (n)

Για την παραπάνω φυσική παράμετρο δεν πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία. Ως εκ τούτου ο υπολογισμός έγινε με βάση τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$n = 1 - (\gamma_d/\gamma_s)$$

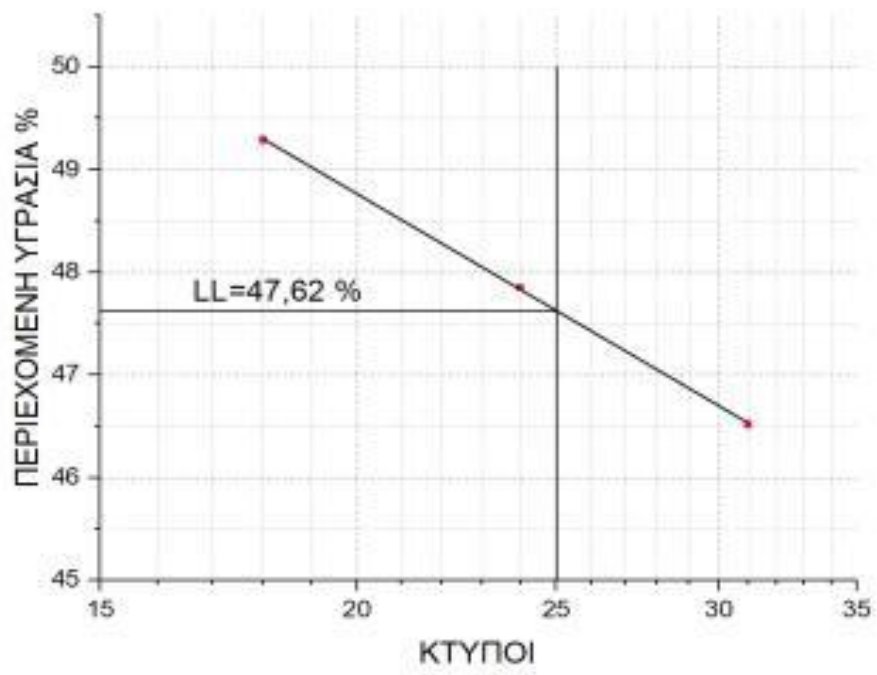
$$n = 1 - [1,69(\text{gr/cm}^3) / 2,27(\text{gr/cm}^3)] = 0,26$$

3 ΟΡΙΑ ATTERBERG

3.1 ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)

B_K	Βάρος Κάψας
$B_{K+υγρ}$	Βάρος Κάψας + Βάρος Υγρού Δείγματος
$B_{K+ξ}$	Βάρος Κάψας + Βάρος Ξηρού δείγματος
$B_ξ = B_{K+ξ} - B_K$	Βάρος Ξηρού Δείγματος
$B_v = B_{K+υγρ} - B_{K+ξ}$	Βάρος Περιεχόμενου Νερού Δείγματος
$W (\%)$	Υγρασία Δείγματος

A/A Δοκιμής	1	2	3
Αριθμός Κάψας	46	48	49
Αριθμός Κτύπων Μηχανής Casagrande	31	24	18
B_K (gr)	21,14	22,96	21,43
$B_{K+υγρ}$ (gr)	31,88	31,89	32
$B_{K+ξ}$ (gr)	28,47	29	28,51
$B_ξ$ (gr)	7,33	6,04	7,08
B_v (gr)	3,41	2,89	3,49
$W \%$	46,52	47,85	49,29



Για $X = 25$ Κτύποι από το διάγραμμα ισχύει:

LL = 47, 62%

3.2 ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (LP)

B_K	Βάρος Κάψας
$B_{K+υγρ}$	Βάρος Κάψας + Βάρος Υγρού Δείγματος
$B_{K+ξ}$	Βάρος Κάψας + Βάρος Ξηρού δείγματος
$B_ξ = B_{K+ξ} - B_K$	Βάρος Ξηρού Δείγματος
$B_v = B_{K+υγρ} - B_{K+ξ}$	Βάρος Περιεχόμενου Νερού Δείγματος
$W (\%)$	Υγρασία Δείγματος

$$LP = (W_1 + W_2) / 2$$

A/A Δοκιμής	1	2
Αριθμός Κάψας	50	52
B_K (gr)	22,1	22,51
$B_{K+υγρ}$ (gr)	24,66	25,99
$B_{K+ξ}$ (gr)	24,08	25,23
$B_ξ$ (gr)	1,98	2,72
B_v (gr)	0,58	0,76
$W \%$	29,29	27,94
LP	28,62%	

Δείκτης Πλαστικότητας (IP)	IP = LL-LP = 19,00
Δείκτης Υδαρότητας (IL)	IL = (W-LP) / (LL-LP) = - 0,13
Δείκτης Συμπιεστότητας (Cc)	Cc = 0,007*(LL-10) = 0,26

4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ (ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ)

<u>Ποσότητα ξηρού δείγματος:</u>	W_{λξ} 50gr
<u>Τύπος πυκνόμετρου:</u>	151 H
<u>Παράγοντας Διασποράς:</u>	NaPO₃
(Εξαμεταφωσφορικό νάτριο με Ανθρακικό Νάτριο ως ρυθμιστικό)	

D'	Μέγιστη Θεωρητική Διάμετρος Κόκκων από Νόμο του Stokes
Ri	Ένδειξη πυκνόμετρου
c	Σύνθετη διόρθωση ένδειξης πυκνόμετρου
R = Ri + c	Διορθωμένη ένδειξη πυκνόμετρου
a	Σταθερά συναρτήσεως του γ_s
P = [1606*(R-1)*a]/W_{λξ}	Ποσοστό κόκκων σε αιώρηση
P%	Ποσοστό κόκκων σε αιώρηση επί τις %

D = D' * K_L * K_G * K_N	Διορθωμένη Μέγιστη Διάμετρος Κόκκων
K_L	Συντελεστής Διορθώσεως συναρτήσεως Ri
K_G	Συντελεστής συναρτήσεως γ_s
K_N	Συντελεστής Διορθώσεως συναρτήσεως °C

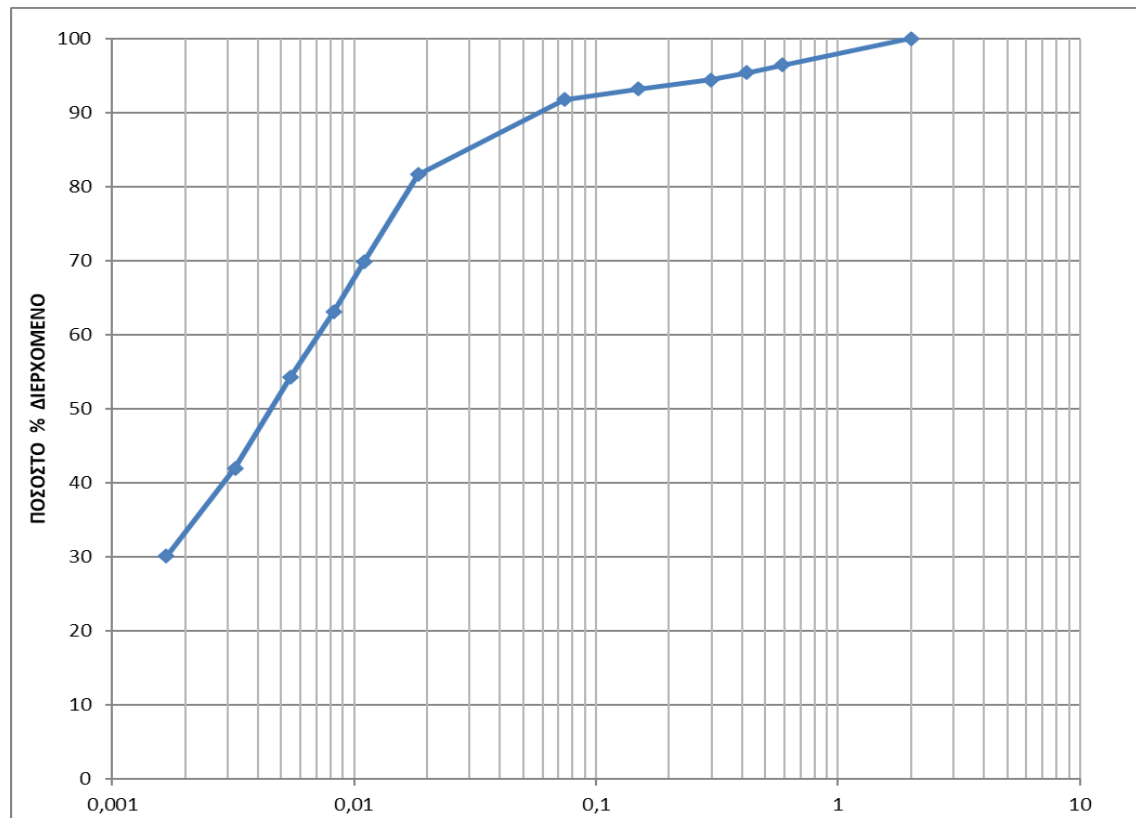
ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ								
Χρόνος (min)	D' (mm)	Θερμοκρασία (°C)	Ri	c	R = (Ri+c)	R-1	P	P%
0	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,026	26	1,027	-0,0028	1,0242	0,0242	0,8161692	81,61692
15	0,015	26	1,0235	-0,0028	1,0207	0,0207	0,6981282	69,81282
30	0,011	26	1,0215	-0,0028	1,0187	0,0187	0,6306762	63,06762
60	0,007	25,5	1,019	0,00292	1,01608	0,01608	0,54231408	54,231408
250	0,004	27	1,015	0,00255	1,01245	0,01245	0,4198887	41,98887
1140	0,002	29	1,011	0,00207	1,00893	0,00893	0,30117318	30,117318

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΟΥ D ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΥΠΟ: $D = D' * K_L * K_G * K_N$					
Χρόνος (min)	D'	K _L	K _G	K _N	D (mm)
0	-	-	-	-	-
5	0,026	0,752	1,016	0,925	0,018375
15	0,015	0,778	1,016	0,925	0,010967
30	0,011	0,796	1,016	0,925	0,008229
60	0,007	0,825	1,016	0,93	0,005457
250	0,004	0,86	1,016	0,92	0,003215
1140	0,002	0,896	1,016	0,92	0,001675

4.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Νο Κόσκινου	Μέγεθος οπής κόσκινου (mm)	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο Ρ (gr)	Διερχόμενο Ρ (%)
10	2	0	50	100
30	0,59	1,79	48,21	96,42
40	0,42	0,53	47,68	95,36
50	0,297	0,49	47,19	94,38
100	0,149	0,61	46,58	93,16
200	0,074	0,71	45,87	91,74

4.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ



Άργιλος (< 0,005mm)	Ιλύς (0,074 – 0,005mm)	Άμμος (2 – 0,074mm)
58,74%	33%	8,26%

5 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

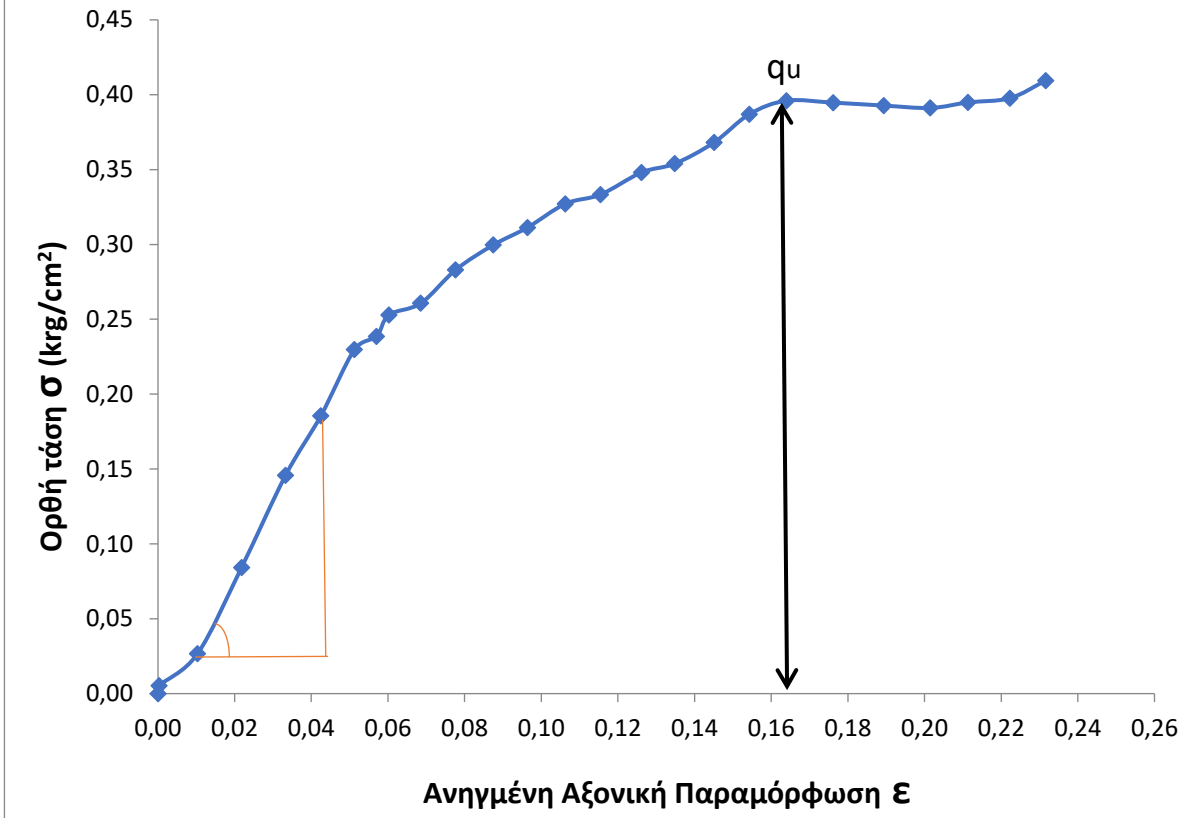
H₀	Αρχικό ύψος δοκιμίου
D	Διάμετρος δοκιμίου
A	Επιφάνεια δοκιμίου
ΔH	Μεταβολή ύψους κυλινδρικού δοκιμίου
RP	Αναγνώσεις μηκυνσιομέτρου βράχυνσης Διαμέτρου δυναμομετρικού δακτυλίου
CRP	Συντελεστής βράχυνσης διαμέτρου δυναμομετρικού δακτυλίου
$\epsilon = \Delta H / H_0$	Ανηγμένη αξονική παραμόρφωση
$A' = A / (1 - \epsilon)$	Επιφάνεια δοκιμίου ανά χρονική στιγμή
$P = RP * CRP$	Κατακόρυφο αξονικό φορτίο
$\sigma = P / A'$	Ορθή τάση

H₀	80mm
D	38mm
A	11, 34 cm ²
CRP	40 kg/ mm

5.1 ΑΔΙΑΤΑΡΑΧΤΟ ΔΟΚΙΜΙΟ

ΔH (mm)	RP (mm)	ϵ	P (kgr)	A' (cm ²)	$\sigma = P/A'$ (kgr/cm ²)
0	0	0,00	0	11,34	0,00
0,024	0,002	0,00	0,061	11,34	0,01
0,825	0,008	0,01	0,305	11,46	0,03
1,744	0,024	0,02	0,977	11,59	0,08
2,661	0,043	0,03	1,709	11,73	0,15
3,399	0,055	0,04	2,198	11,84	0,19
4,102	0,069	0,05	2,747	11,95	0,23
4,561	0,072	0,06	2,869	12,03	0,24
4,819	0,076	0,06	3,053	12,07	0,25
5,485	0,079	0,07	3,175	12,18	0,26
6,212	0,087	0,08	3,480	12,30	0,28
6,998	0,093	0,09	3,724	12,43	0,30
7,713	0,098	0,10	3,907	12,55	0,31
8,502	0,104	0,11	4,151	12,69	0,33
9,236	0,107	0,12	4,274	12,82	0,33
10,090	0,113	0,13	4,518	12,98	0,35
10,787	0,116	0,13	4,640	13,11	0,35
11,608	0,122	0,15	4,884	13,27	0,37
12,343	0,130	0,15	5,189	13,41	0,39
13,120	0,134	0,16	5,372	13,57	0,40
14,092	0,136	0,18	5,433	13,77	0,39
15,148	0,137	0,19	5,495	13,99	0,39
16,120	0,139	0,20	5,556	14,20	0,39
16,907	0,142	0,21	5,678	14,38	0,39
17,783	0,145	0,22	5,800	14,58	0,40
18,533	0,151	0,23	6,044	14,76	0,41

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ σ-ε (Αδιατάραχτο)

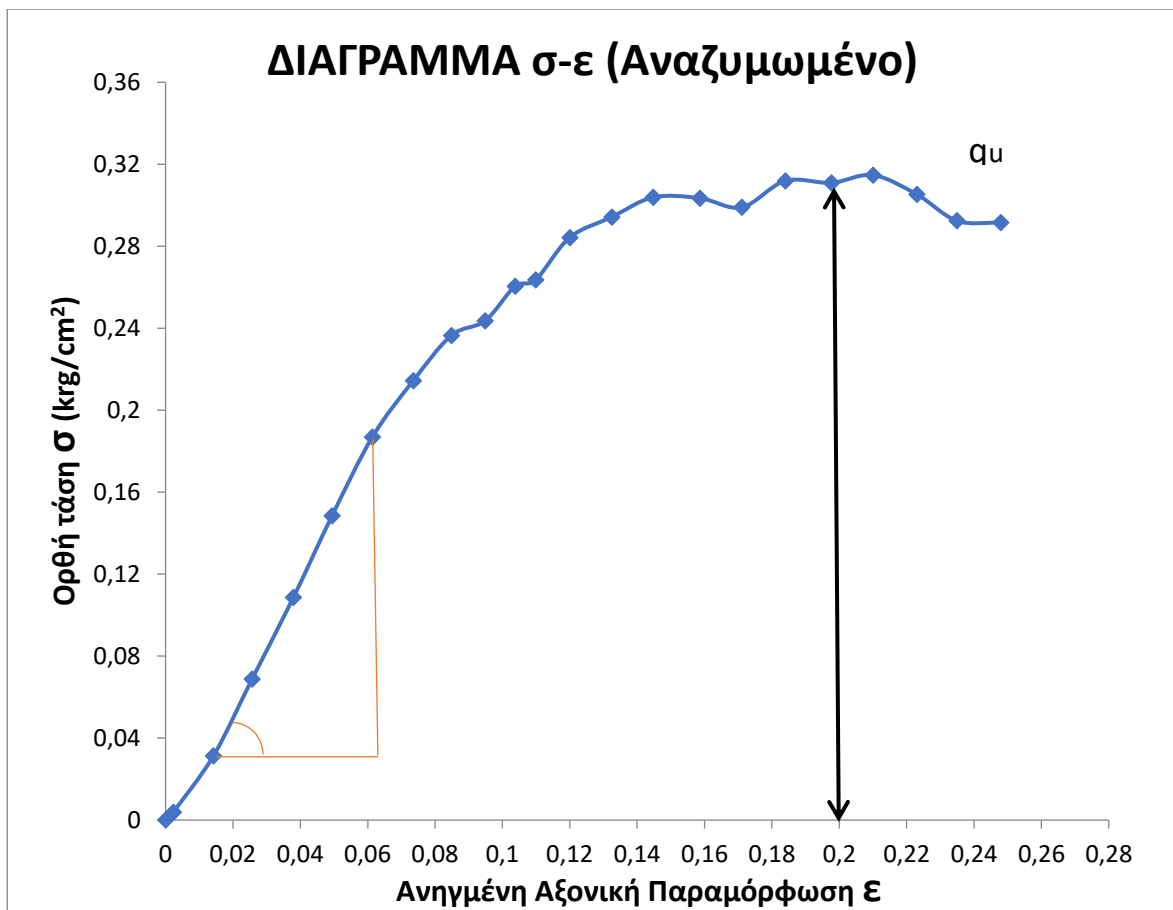


- Αντοχή σε θλίψη $q_u = 0,40 \text{ kgf/cm}^2$, καθώς προηγήθηκε η θραύση του δοκιμίου. Με αυτό το αποτέλεσμα και με βάση τον πίνακα [3.10] (σελίδα 81), από πλευρά συνεκτικότητας η άργιλος που μελετήσαμε χαρακτηρίζεται «μαλακή» και ο επί τόπου του έργου έλεγχος με το χέρι δίνει αποτέλεσμα «εύκολη διείσδυση με αρκετές ίντσες του αντίχειρα» .
- Συνοχή $c = q_u / 2 = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$.
- Το μέτρο ελαστικότητας E_u ισούται με την κλίση του ευθυγράμμου τμήματος του διαγράμματος.

Άρα: $E_u = (0,15 - 0,03) / (0,03 - 0,01) = 6 \text{ kgf/cm}^2$.

5.2 ΑΝΑΖΥΜΩΜΕΝΟ ΔΟΚΙΜΙΟ

ΔH (mm)	RP (mm)	ε	P (kgr)	A'(cm²)	σ = P/A' (cm²)
0	0	0	0	11,34	0,00
0,128	0,001	0,00	0,044	11,37	0,00
0,809	0,009	0,01	0,360	11,50	0,03
1,463	0,020	0,03	0,800	11,64	0,07
2,163	0,032	0,04	1,280	11,79	0,11
2,816	0,044	0,05	1,770	11,93	0,15
3,500	0,056	0,06	2,259	12,08	0,19
4,192	0,066	0,07	2,625	12,24	0,21
4,836	0,073	0,08	2,930	12,39	0,24
5,406	0,076	0,09	3,053	12,53	0,24
5,914	0,082	0,10	3,297	12,65	0,26
6,261	0,084	0,11	3,358	12,74	0,26
6,838	0,092	0,12	3,663	12,89	0,28
7,547	0,096	0,13	3,846	13,07	0,29
8,249	0,101	0,14	4,029	13,26	0,30
9,037	0,102	0,16	4,090	13,48	0,30
9,750	0,102	0,17	4,090	13,68	0,30
10,484	0,108	0,18	4,335	13,90	0,31
11,267	0,110	0,20	4,396	14,14	0,31
11,967	0,113	0,21	4,518	14,35	0,31
12,710	0,111	0,22	4,457	14,60	0,31
13,389	0,108	0,23	4,335	14,82	0,29
14,128	0,110	0,25	4,396	15,08	0,29



- Αντοχή σε θλίψη $q_u = 0,31 \text{ kgr/cm}^2$, καθώς προηγήθηκε η παραμόρφωση κατά 20%, πριν πραγματοποιηθεί η θραύση. Με αυτό το αποτέλεσμα και με βάση τον πίνακα [3.10] (σελίδα 81), από πλευρά συνεκτικότητας η άργιλος που μελετήσαμε χαρακτηρίζεται «μαλακή» και ο επί τόπου του έργου έλεγχος με το χέρι δίνει αποτέλεσμα «εύκολη διείσδυση με αρκετές ίντσες του αντίχειρα» .
- Συνοχή $c = q_u / 2 = 0,155 \text{ kgr/cm}^2$.
- Το μέτρο ελαστικότητας E_u ισούται με την κλίση του ευθυγράμμου τμήματος του διαγράμματος.

Άρα: $E_u = (0,15 - 0,03) / (0,05 - 0,01) = 3 \text{ kgr/cm}^2$.

5.3 ΒΑΘΜΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (St)

qu Αδιατάραχτου Δοκιμίου = 0,40 kgr/cm²

qu Αναζυμωμένου Δοκιμίου = 0,31 kgr/cm²

Ο Βαθμός ευαισθησίας τα δείχνει πόσο ευαίσθητο ή όχι είναι ένα έδαφος, το οποίο συνεπάγεται πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορεί μετά από αναζύμωση ή κάποια ανατάραξη να ανακτήσει ένα μέρος ή και τη συνολική του διατμητική αντοχή.

Για τα εδάφη γενικά ισχύει:

- 4-8 Ευαίσθητη άργιλος
- >8 Υπερευαίσθητο έδαφος

Ως αναφορά τα αργίλους που μελετάμε, η τιμή του βαθμού ευαισθησίας τα γενικά κυμαίνεται από 2-4.

Τα ορίζεται ως το πηλίκιο:

$$St = qu \text{ Αδιατάραχτου Δοκιμίου} / qu \text{ Αναζυμωμένου Δοκιμίου}$$

Με βάση τα παραπάνω ισχύει:

$$St = 1,29$$

Άρα το αργιλικό έδαφος που μελετήσαμε χαρακτηρίζεται ως « **όχι ιδιαίτερα ευαίσθητη** », με αποτέλεσμα να ανακτά εύκολα την αρχική του αντοχή.

6 ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

H = 21mm = 2,1cm	Ύψος τετραγωνικού πλαισίου
D = 60mm = 6cm	Πλευρά τετραγωνικού πλαισίου
A = 36cm²	Επιφάνεια δοκιμίου
V = 75,6cm³	Όγκος δοκιμίου
B_π = 76,46gr	Βάρος πλαισίου
B_{π+υ} = 237,68 gr	Βάρος πλαισίου + υγρού δείγματος

Δd	Οριζόντια μετατόπιση
RT	Αναγνώσεις μηκυνσιομέτρου βράχυνσης τα διαμέτρου δυναμομετρικού δακτυλίου
CRT = 71,2kgr / ανάγνωση	Συντελεστής βράχυνσης τα διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου
P	Κατακόρυφο φορτίο
T	Φορτίο διατμητικής τάσης
ε = Δd/D	Ανηγγμένη αξονική παραμόρφωση
σ = P/A	Ορθή τάση
τα = T/A	Διατμητική τάση

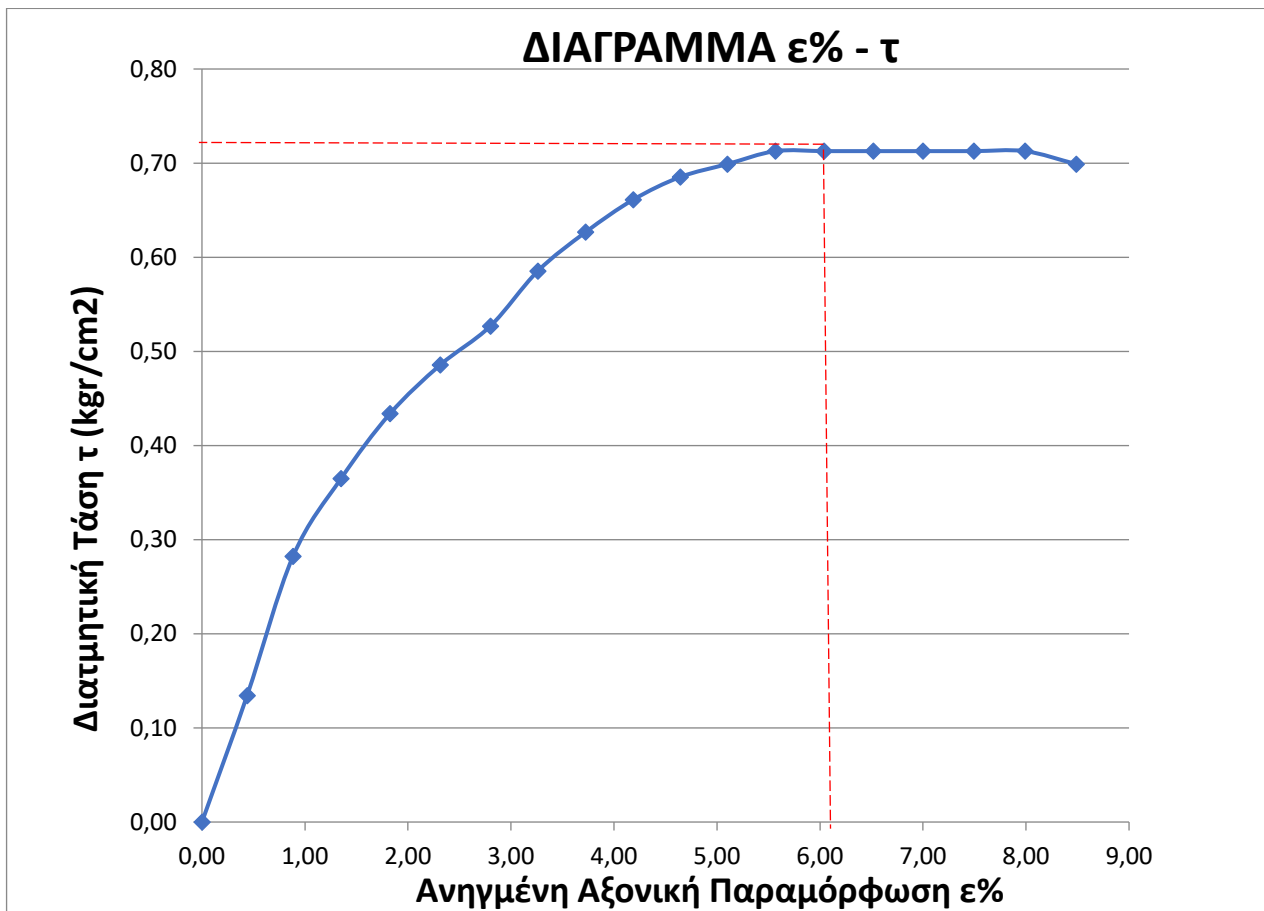
6.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1^η ΔΟΚΙΜΗ

$P = 2\text{kg} \times 10$ (λόγω ροπής) = 20kg

$\sigma_1 = 20\text{kg} / 36\text{cm}^2 = 0,556 \text{ kg/cm}^2$

Δd (mm)	RT	T (kg)	ϵ	$\epsilon \%$	τ (kg/cm ²)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,263	0,068	4,834	0,004	0,438	0,134
0,531	0,143	10,164	0,009	0,884	0,282
0,810	0,185	13,139	0,014	1,351	0,365
1,095	0,219	15,618	0,018	1,826	0,434
1,387	0,245	17,478	0,023	2,312	0,485
1,679	0,266	18,965	0,028	2,799	0,527
1,956	0,296	21,072	0,033	3,260	0,585
2,235	0,317	22,560	0,037	3,724	0,627
2,511	0,334	23,799	0,042	4,186	0,661
2,785	0,346	24,667	0,046	4,642	0,685
3,060	0,353	25,163	0,051	5,100	0,699
3,340	0,360	25,659	0,056	5,567	0,713
3,623	0,360	25,659	0,060	6,039	0,713
3,910	0,360	25,659	0,065	6,516	0,713
4,199	0,360	25,659	0,070	6,999	0,713
4,496	0,360	25,659	0,075	7,493	0,713
4,793	0,360	25,659	0,080	7,989	0,713
5,093	0,353	25,163	0,085	8,488	0,699



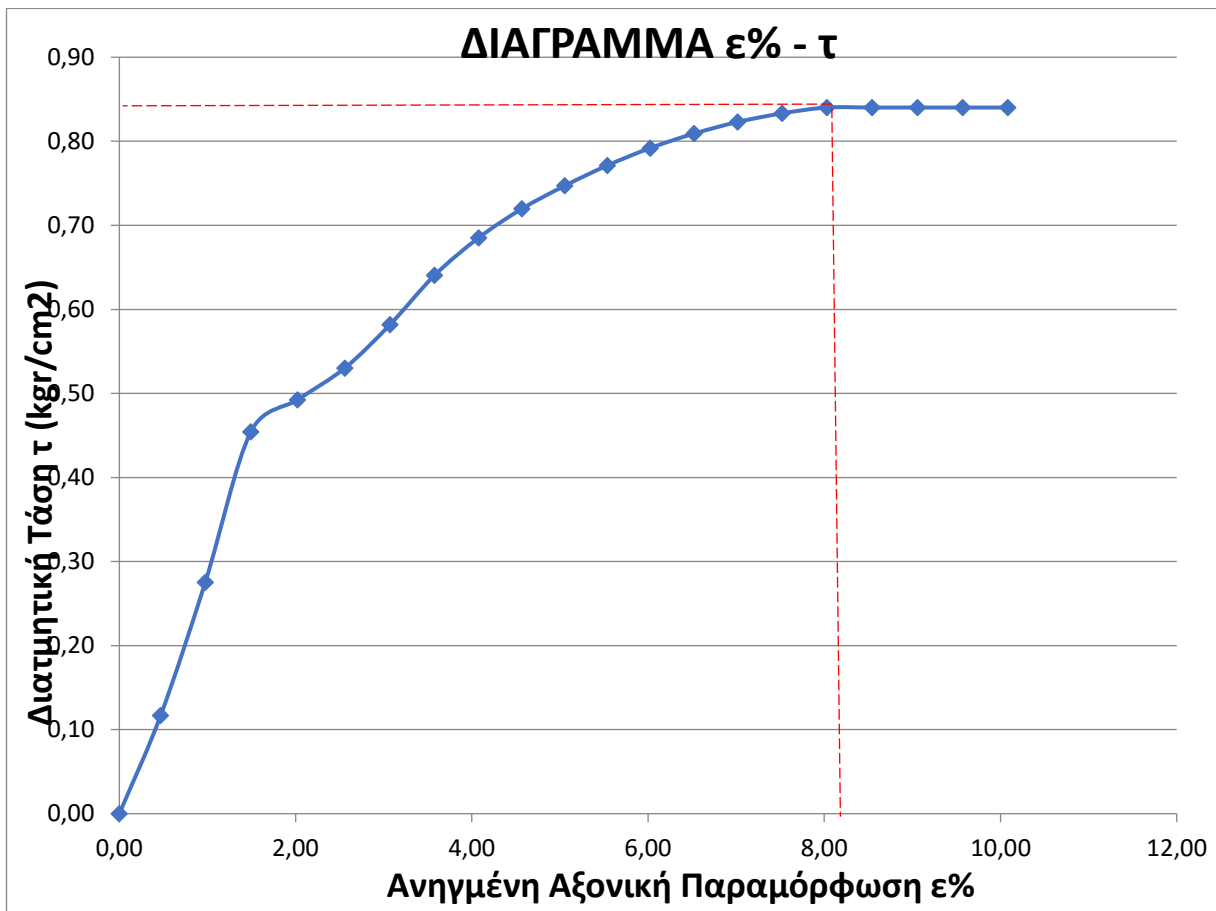
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η διατμητική τάση του δοκιμίου είναι η τάση κατά την οποία πραγματοποιείται ή θραύση του, καθώς προηγήθηκε.
 Άρα $\tau_{\max 1} = 0,71 \text{ kg/cm}^2$.

2^η ΔΟΚΙΜΗ

$$P = 4\text{kg} \times 10 \text{ (λόγω ροπής)} = 40\text{kg}$$

$$\sigma_2 = 40\text{kg} / 36\text{cm}^2 = 1,111 \text{ kg/cm}^2$$

Δd (mm)	RT(mm)	T(kg)	ε	ε%	t(kg/cm²)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
0,282	0,059	4,214	0,005	0,47	0,12
0,585	0,139	9,916	0,010	0,98	0,28
0,896	0,230	16,362	0,015	1,49	0,45
1,213	0,249	17,726	0,020	2,02	0,49
1,536	0,268	19,089	0,026	2,56	0,53
1,843	0,294	20,948	0,031	3,07	0,58
2,146	0,324	23,056	0,036	3,58	0,64
2,447	0,346	24,667	0,041	4,08	0,69
2,741	0,364	25,907	0,046	4,57	0,72
3,034	0,378	26,898	0,051	5,06	0,75
3,324	0,390	27,766	0,055	5,54	0,77
3,615	0,400	28,510	0,060	6,02	0,79
3,914	0,409	29,130	0,065	6,52	0,81
4,210	0,416	29,625	0,070	7,02	0,82
4,514	0,421	29,997	0,075	7,52	0,83
4,819	0,425	30,245	0,080	8,03	0,84
5,126	0,425	30,245	0,085	8,54	0,84
5,435	0,425	30,245	0,091	9,06	0,84
5,744	0,425	30,245	0,096	9,57	0,84
6,050	0,425	30,245	0,101	10,08	0,84



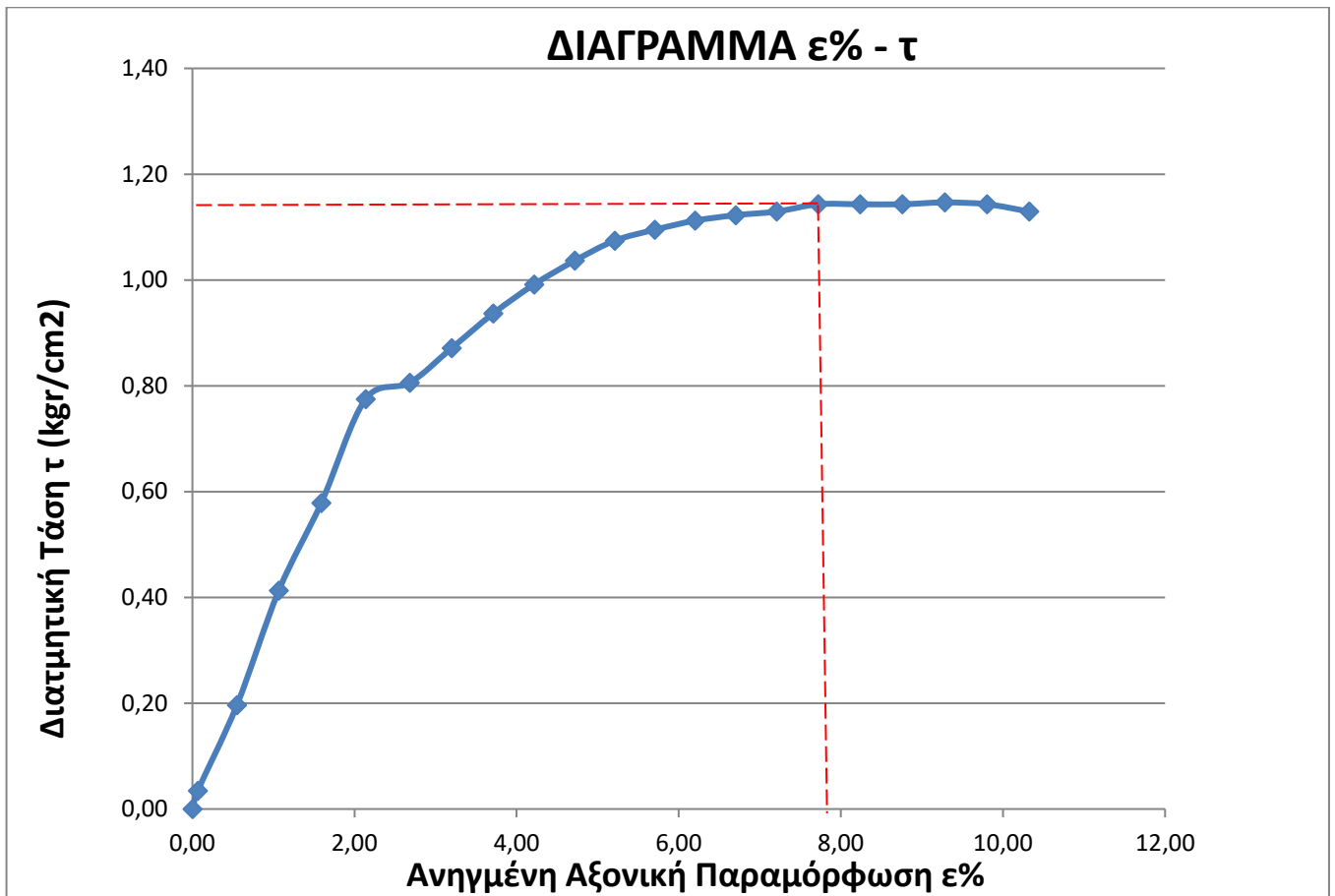
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η διατμητική τάση του δοκιμίου είναι η τάση κατά την οποία πραγματοποιείται ή θραύση του, καθώς προηγήθηκε.
 Άρα $\tau_{\max 2} = 0,84 \text{ kg/cm}^2$.

3^η ΔΟΚΙΜΗ

$P = 8\text{kg} \times 10$ (λόγω ροπής) = 80kg

$\sigma_3 = 80\text{kg} / 36\text{cm}^2 = 2,222 \text{ kg/cm}^2$

Δd (mm)	RT	T (kgr)	ε	ε%	τ (kg/cm²)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,039	0,017	1,240	0,001	0,065	0,034
0,329	0,099	7,065	0,005	0,549	0,196
0,640	0,209	14,875	0,011	1,066	0,413
0,954	0,292	20,825	0,016	1,590	0,578
1,281	0,392	27,890	0,021	2,136	0,775
1,609	0,407	29,006	0,027	2,682	0,806
1,919	0,440	31,361	0,032	3,198	0,871
2,226	0,474	33,716	0,037	3,710	0,937
2,530	0,501	35,699	0,042	4,217	0,992
2,830	0,524	37,311	0,047	4,716	1,036
3,126	0,543	38,674	0,052	5,209	1,074
3,422	0,554	39,418	0,057	5,703	1,095
3,721	0,562	40,038	0,062	6,202	1,112
4,022	0,568	40,409	0,067	6,703	1,122
4,324	0,571	40,657	0,072	7,207	1,129
4,632	0,578	41,153	0,077	7,720	1,143
4,942	0,578	41,153	0,082	8,237	1,143
5,255	0,578	41,153	0,088	8,758	1,143
5,568	0,580	41,277	0,093	9,281	1,147
5,882	0,578	41,153	0,098	9,804	1,143
6,194	0,571	40,657	0,103	10,324	1,129



Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η διατμητική τάση του δοκιμίου είναι η τάση κατά την οποία πραγματοποιείται ή θραύση του, καθώς προηγήθηκε.
 Άρα $\tau_{\max 3A} = 1,14 \text{ kg/cm}^2$.

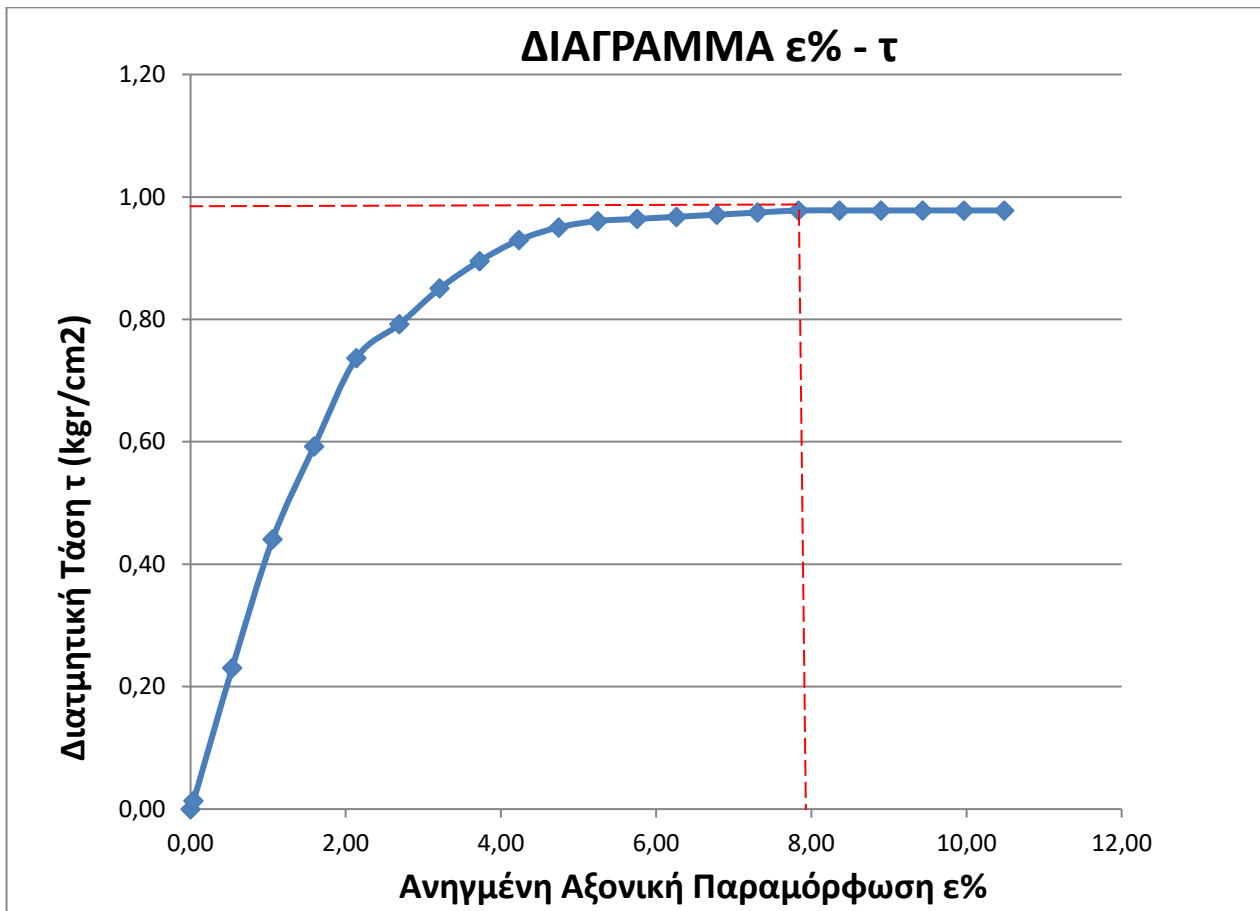
4^η ΔΟΚΙΜΗ

***Επειδή κατά την εκτέλεση της 3^{ης} δοκιμής το δείγμα είχε αφεθεί εκτεθειμένο αρκετή ώρα , και σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία που επικρατούσε, είναι πιθανόν να έχασε ποσοστό της φυσικής υγρασίας του. Γι αυτό, πραγματοποιήθηκε μια επιπλέον δοκιμή για την καλύτερη αξιοπιστία του πειράματος.

$$P = 8\text{kg} \times 10 \text{ (λόγω ροπής)} = 80\text{kg}$$

$$\sigma_3 = 80\text{kg} / 36\text{cm}^2 = 2,222 \text{ kg/cm}^2$$

Δd (mm)	RT	T (kg)	ε	ε%	τ (kg/cm²)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,024	0,007	0,496	0,000	0,040	0,014
0,322	0,117	8,305	0,005	0,537	0,231
0,635	0,223	15,866	0,011	1,058	0,441
0,956	0,299	21,320	0,016	1,593	0,592
1,283	0,373	26,526	0,021	2,139	0,737
1,614	0,400	28,510	0,027	2,690	0,792
1,927	0,430	30,617	0,032	3,211	0,850
2,236	0,453	32,228	0,037	3,726	0,895
2,541	0,470	33,468	0,042	4,236	0,930
2,847	0,481	34,212	0,047	4,745	0,950
3,150	0,486	34,584	0,052	5,249	0,961
3,454	0,487	34,708	0,058	5,756	0,964
3,760	0,489	34,831	0,063	6,266	0,968
4,070	0,491	34,955	0,068	6,783	0,971
4,384	0,493	35,079	0,073	7,306	0,974
4,701	0,494	35,203	0,078	7,835	0,978
5,019	0,494	35,203	0,084	8,366	0,978
5,340	0,494	35,203	0,089	8,900	0,978
5,662	0,494	35,203	0,094	9,436	0,978
5,980	0,494	35,203	0,100	9,967	0,978
6,292	0,494	35,203	0,105	10,487	0,978

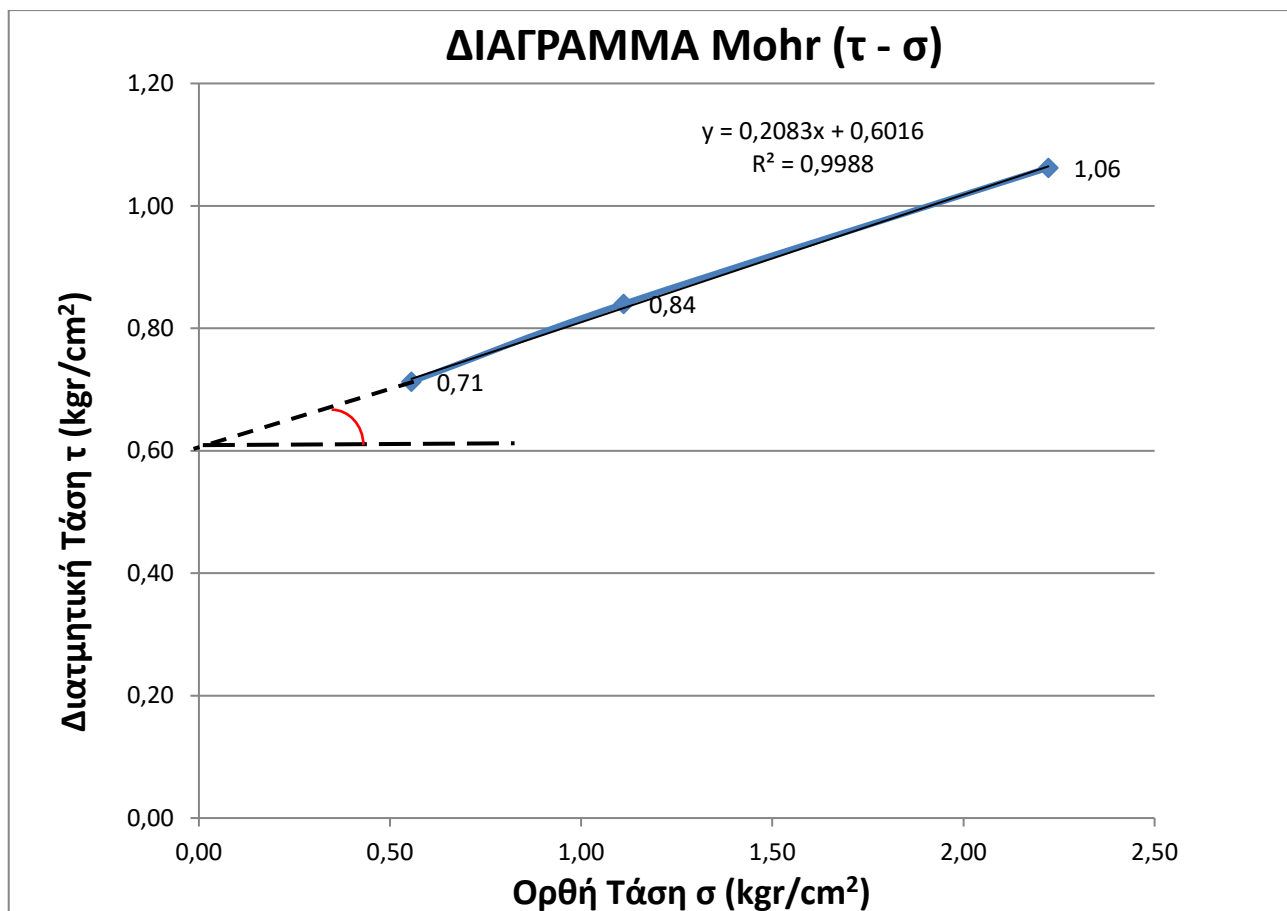


Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η διατμητική τάση του δοκιμίου είναι η τάση κατά την οποία πραγματοποιείται ή θραύση του, καθώς προηγήθηκε.
 Άρα $\tau_{\max 3B} = 0,98 \text{ kg/cm}^2$.

Συνεπώς $\tau_{\max 3} = (\tau_{\max 3A} + \tau_{\max 3B}) / 2$.

$\tau_{\max 3} = 1,06 \text{ kg/cm}^2$.

6.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΟHR



Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η **συνοχή c** ισούται με την τιμή της διατμητικής τάσης για την οποία η ευθεία τέμνει τον κατακόρυφο άξονα.

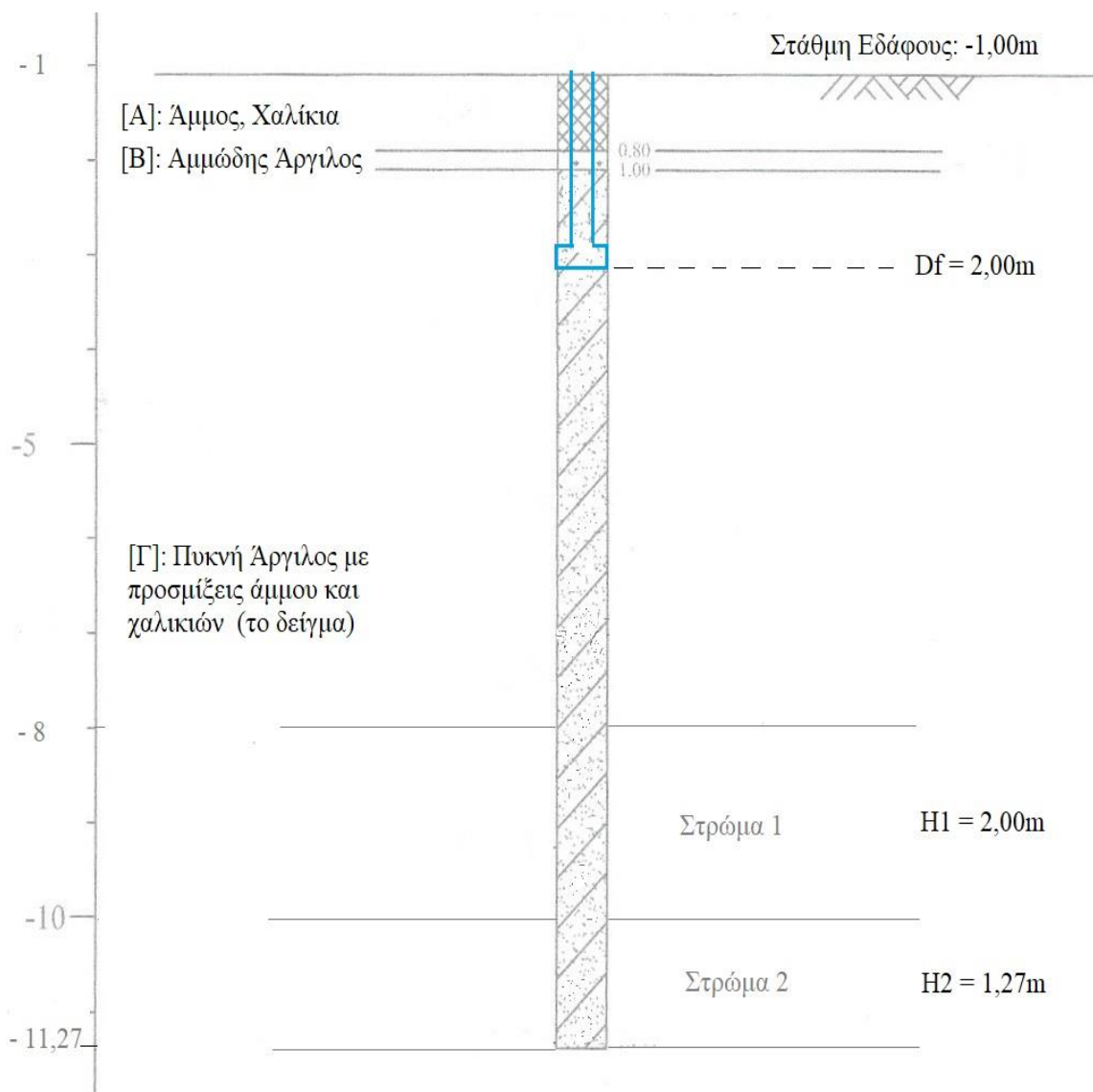
Σύμφωνα λοιπόν με την εξίσωση της ευθείας προκύπτει ότι: **C = 0,6016 kgr/cm²**.

Η **γωνία εσωτερικής τριβής φ** προκύπτει από την κλίση της ευθείας της γραφικής παράστασης.

Σύμφωνα με την μαθηματική εξίσωση SLOPE, η κλίση της ευθείας είναι 0,2083. Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια την εξίσωση ATAN, προκύπτει ότι η γωνία φ σε ακτίνια είναι 0,2054. Τελικά χρησιμοποιώντας την εξίσωση DEGREES, η γωνία φ σε μοίρες είναι : **φ = 11,77°**

7 ΚΑΘΙΖΗΣΗ ΛΟΓΩ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τη στήλη της γεώτρησης, το στρώμα από το οποίο προέρχεται το αργιλικό εδάφος που μελετήθηκε βρίσκεται σε βάθος -8,00m έως -11,27m.



Λόγω του σχετικά μεγάλου πάχους του στρώματος και για την εγκυρότερη εξαγωγή αποτελεσμάτων, θα χωρίσουμε το στρώμα της αργίλου σε 2 υποστρώματα πάχους 2,00m και 1,27m αντίστοιχα.

Αναφορικά με το σύνολο της, η στήλη της γεώτρησης αποτελείται από τα εξής εδαφικά στρώματα:

- [Α]: Άμμος μαζί με χαλίκια και πέτρες, πάχος στρώματος 0,80m
- [Β]: Αμμώδης άργιλος, πάχος στρώματος 0,20m

Λόγω του πολύ μικρού πάχους και για τη διευκόλυνση των υπολογισμών, μπορούμε

να θεωρήσουμε σαν ένα στρώμα τα 2 παραπάνω.

- Τέλος έχουμε το στρώμα [Γ], το οποίο αποτελείται κυρίως από άργιλο μαζί με κάποιες προσμίξεις άμμου και λίγα χαλίκια. Εκτείνεται μέχρι τον πυθμένα της συγκεκριμένης γεώτρησης στα -11,27m.

Τύπος Καθίζησης λόγω στερεοποίησης:

$$\text{Καθίζηση (S)} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{e_0 + \Delta \sigma}{\sigma_0}$$

Η καθίζηση θα υπολογιστεί επιλέγοντας ποικίλες διαστάσεις θεμελίων, με συνηθέστερο τύπο το τετράγωνο θεμέλιο.

Σε περίπτωση που το ύψος των καθιζήσεων είναι αρκετά μεγάλο, θα εξεταστεί και η περίπτωση της γενικής κοιτόστρωσης.

Τα στοιχεία που παραμένουν κοινά για τους υπολογισμούς των καθιζήσεων των 2 υποστρωμάτων σε όλες τις περιπτώσεις θεμελίωσης είναι:

• Υγρό Φαινόμενο βάρος στρώματος [A+B]	$\gamma_A = 16\text{KN/m}^3$
• Υγρό Φαινόμενο βάρος στρώματος [Γ] 21,3KN/m ³	$\gamma_{\Gamma} =$
• Ύψος υποστρώματος 1	$H_1 = 2,00\text{m}$
• Ύψος υποστρώματος 2	$H_2 = 1,27\text{m}$
• Δείκτης συμπίεστικότητας	$C_c = 0,26$
• Αρχικός δείκτης κενών	$e_0 = 0,34$
• Βάθος θεμελίωσης	$D_f = 2,00\text{m}$

Επίσης ίδια παραμένει η ενεργός τάση σ_0 , η οποία οφείλεται στα υπερκείμενα από το σημείο το οποίο εξετάζουμε εδαφικά στρώματα. Ισχύει:

$$\sigma_0 = \gamma * H$$

όπου:

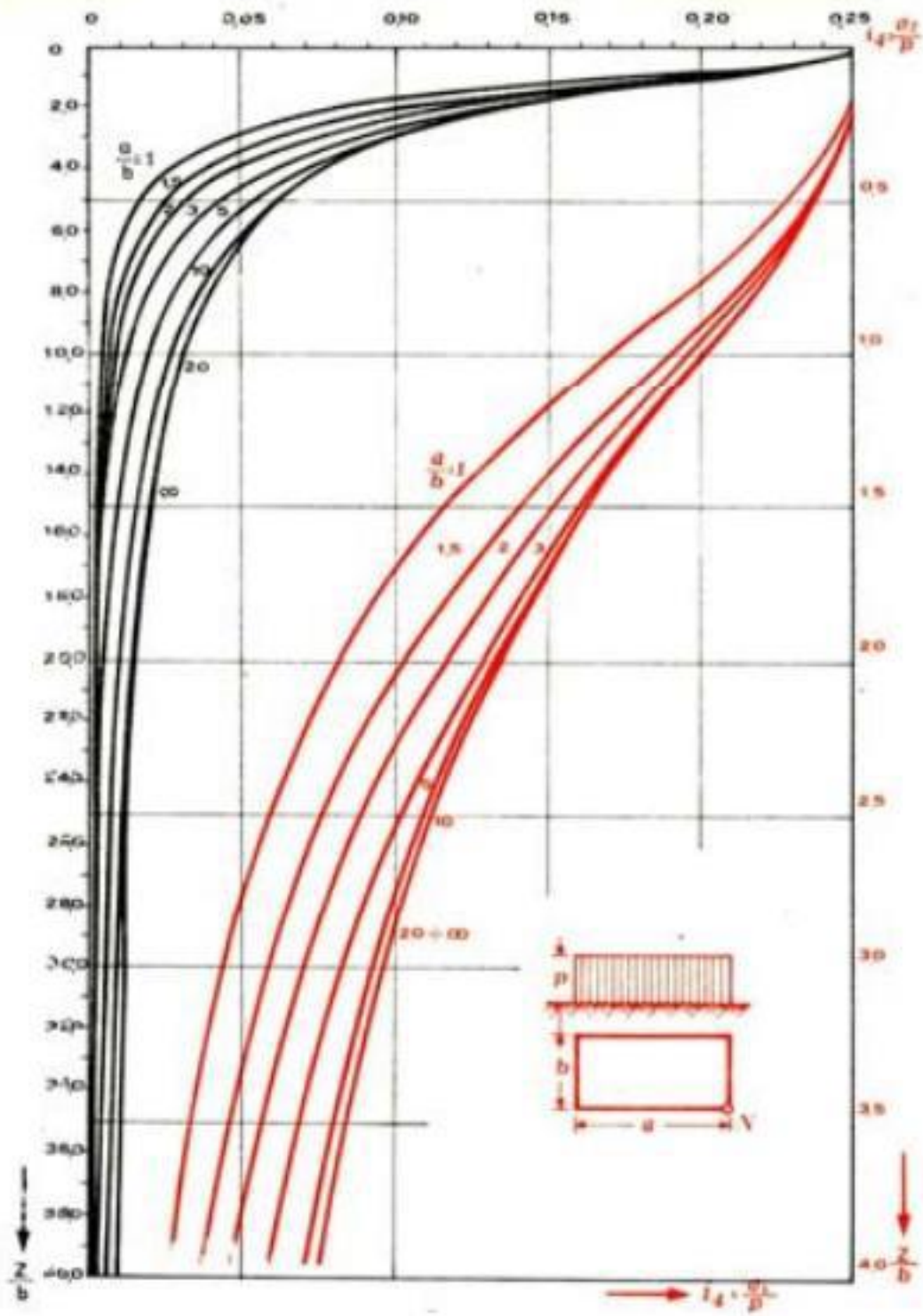
- γ το υγρό φαινόμενο βάρος και
- H το ύψος του εκάστοτε υπερκείμενου στρώματος ως προς το σημείο που εξετάσουμε

Αντιθέτως, οι παράμετροι που μεταβάλλονται για κάθε δοκιμή είναι οι διαστάσεις (B,L, $\beta=B/2$, $\alpha=L/2$) του θεμελίου, καθώς και το συνολικό κατακόρυφο φορτίο Q που ασκείται από την υπερκείμενη κατασκευή. Συνεπώς μεταβάλλεται και η τάση $\Delta\sigma$.

Για τετραγωνικό θεμέλιο ισχύει:

$$\Delta\sigma = 4 * P * I_{\sigma}$$

- **P**: το κατανεμημένο φορτίο που ασκεί η κατασκευή στο έδαφος
- **I σ** : συντελεστής επιρροής από το παρακάτω νομογράφημα του Terzaghi, ο οποίος εξαρτάται από διαστάσεις α , β , καθώς και το βάθος z .



ΘΕΜΕΛΙΟ 1,5 X 1,5 (Q =400KN)

ΣΤΡΩΜΑ Σ1										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_ο (KN/m²)	P (KN/m²)	I_σ	Δσ (KN/m²)	Sc (cm)
0,75	0,75	1	6	8	2	165,1	177,78	0,007	4,98	0,50
ΣΤΡΩΜΑ Σ2										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_ο (KN/m²)	P (KN/m²)	I_σ	Δσ (KN/m²)	Sc (cm)
0,75	0,75	1	7,6	10,13	1,27	199,18	177,78	0,005	3,56	0,30
Sc_{total} = Sc_{Σ1} + Sc_{Σ2} = 0,80 cm										

ΘΕΜΕΛΙΟ 1,5 X 1,5 (Q =800KN)

ΣΤΡΩΜΑ Σ1										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_ο (KN/m²)	P (KN/m²)	I_σ	Δσ (KN/m²)	Sc (cm)
0,75	0,75	1	6	8	2	165,1	355,5	0,007	9,95	0,99
ΣΤΡΩΜΑ Σ2										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_ο (KN/m²)	P (KN/m²)	I_σ	Δσ (KN/m²)	Sc (cm)
0,75	0,75	1	7,6	10,13	1,27	199,18	355,5	0,005	7,11	0,59
Sc_{total} = Sc_{Σ1} + Sc_{Σ2} = 1,58cm										

ΘΕΜΕΛΙΟ 2 X 2 (Q = 400KN)

ΣΤΡΩΜΑ Σ1										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	Sc (cm)
1	1	1	6	6	2	165,1	100	0,012	4,8	0,48
ΣΤΡΩΜΑ Σ2										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	Sc (cm)
1	1	1	7,6	7,6	1,27	199,18	100	0,009	3,6	0,30
$Sc_{total} = Sc_{\Sigma 1} + Sc_{\Sigma 2} = 0,78cm$										

ΘΕΜΕΛΙΟ 2 X 2 (Q = 800KN)

ΣΤΡΩΜΑ Σ1										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	Sc (cm)
1	1	1	6	6	2	165,1	200	0,012	9,6	0,95
ΣΤΡΩΜΑ Σ2										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	Sc (cm)
1	1	1	7,6	7,6	1,27	199,18	200	0,009	7,2	0,60
$Sc_{total} = Sc_{\Sigma 1} + Sc_{\Sigma 2} = 1,55 cm$										

ΘΕΜΕΛΙΟ 3 X 3 (Q=400KN)

ΣΤΡΩΜΑ Σ1										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	S_c (cm)
1,5	1,5	1	6	4	2	165,1	44,44	0,03	5,33	0,54
ΣΤΡΩΜΑ Σ2										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	S_c (cm)
1,5	1,5	1	7,6	5,1	1,27	199,18	44,44	0,015	2,67	0,22
$S_{c_{total}} = S_{c_{\Sigma 1}} + S_{c_{\Sigma 2}} = 0,76\text{cm}$										

ΘΕΜΕΛΙΟ 3 X 3 (Q=800KN)

ΣΤΡΩΜΑ Σ1										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	S_c (cm)
1,5	1,5	1	6	4	2	165,1	88,89	0,03	10,67	1,056
ΣΤΡΩΜΑ Σ2										
α (m)	β (m)	α/β	z (m)	z/b	H (m)	σ_o (KN/m ²)	P (KN/m ²)	I_σ	$\Delta\sigma$ (KN/m ²)	S_c (cm)
1,5	1,5	1	7,6	5,1	1,27	199,18	88,89	0,015	5,33	0,45
$S_{c_{total}} = S_{c_{\Sigma 1}} + S_{c_{\Sigma 2}} = 1,51\text{cm}$										

8 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του Terzaghi. Ο τύπος διαφοροποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις παρακάτω παραδοχές:

- Η φόρτιση από την υπερκείμενη κατασκευή είναι κατακόρυφη και κεντρική ως προς το θεμέλιο.
- Η θραύση είναι γενική, οπότε και το έδαφος θεωρείται ασυμπίεστο.
- Ο τύπος του θεμελίου που προτιμήθηκε είναι ο πιο συνήθης, το τετράγωνο. Επίσης πραγματοποιήθηκε και μια περίπτωση γενικής κοιτόστρωσης.

Σύμφωνα λοιπόν με τη θεωρία του Terzaghi και με τις παραπάνω παραδοχές, η φέρουσα ικανότητα της θεμελίωσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$q = 1,3 \times c \times N_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q + 0,4 \times \gamma_2 \times B \times N_\gamma$$

όπου:

B	πλάτος θεμελίωσης (διάμετρος για το κυκλικό)
L	μήκος θεμελίωσης
D_f	βάθος της θεμελίωσης
c	η τιμή του συντελεστή συνοχής του εδάφους
γ₁	υγρό φαινόμενο βάρος του εδάφους πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης
γ₂	υγρό φαινόμενο βάρος του εδάφους κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης
N_c	συντελεστής συνοχής
N_q	συντελεστής βάθους θεμελίωσης
N_γ	συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού εδάφους

Οι τιμές των συντελεστών N_c, N_q, N_γ δίνονται από τον παρακάτω πίνακα που αντιστοιχεί στο νομογράφημα του Terzaghi και είναι συνάρτηση της γωνίας εσωτερικής τριβής φ.

ϕ (°)	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,5	415,1	1153,2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (q)

Συντελεστής Ασφαλείας $\nu = 2,5$

L (m)	B (m)	D_f (m)	γ_1 (KN/m ³)	γ_2 (KN/m ³)	c (KPa)	ϕ (°)	N_c	N_q	N_γ	q (KPa)	q_{all} (KPa)
1,5	1,5	2	21,3	21,3	2	11,77	9,6	2,7	1,2	155,31	62,126
2	2	2	21,3	21,3	2	11,77	9,6	2,7	1,2	160,42	64,171
3	3	2	21,3	21,3	2	11,77	9,6	2,7	1,2	170,65	68,260

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξενόγλωσση

- Barlaz M.A., Ham R.K. and Schaefer D.M., (1989). Microbial and chemical dynamics during refuse decomposition in a simulated sanitary landfill, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol 115(6), pp 1088-1102.
- Barnes, G. E., (2014). *Εδαφομηχανική, Αρχές και Εφαρμογές*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Bowles, J., (2009). *Θεμελιώσεις Υπολογισμός και Κατασκευή*, Εκδόσεις Φούντας, Αθήνα.
- Budhu R.P. (1989). Soil-bentonite liners: predicting permeability from laboratory tests, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol 27(1), pp 647-654.
- Craig, R. F. *Soil mechanics* (2004). Spon Press, London.
- DIN 4017 (1986). *Foundation Ground - Bearing Capacity Calculations*, Edition of May 1986.
- Duncan J.M., Buchignavi A.L., (1976). *Engineering Manual for Settlement Studies*, Department of Civil Engineering, U.C. Berkeley.
- Kany M., (1974). *Μεθοδικός Υπολογισμός Επιφανειακών Θεμελιώσεων, Μετάφραση στα Ελληνικά 1979* (Design of Shallow Foundations, Translation of the original German in Greek).
- Shamsher Prakash, P. K. Jain, (1984). *Engineering Soil Testing*, Nem Chand, Roorkee, India.
- Tchobanoglous G., Theisen H. and Eliassen R. (1977) *Solid Wastes*, McGraw Hill Inc., N.Y., 334 pages Winterkorn H.F., Fang H.Y., 1975, *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Terzaghi K., Peck R.B., (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, New York, 2nd edition.

Ελληνική

- Βουβαλίδης, Κ., (2011). Φυσική Γεωγραφία, Εκδόσεις Δισίγμα, Αθήνα.
- Γκαζέτας, Γ., (2004). Σημειώσεις Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις Ε.Μ.Π Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Αθήνα.
- Γραμματικόπουλος, Ι., Ανδρεάδου – Μάνου, Ν., Χατζηγώγος, Θ., (2016). Εδαφομηχανική Ασκήσεις και Προβλήματα, Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Γ.Γ.Γ.Δ.(ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΈΡΓΩΝ), 2006. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Έκδοση διεύθυνσης ερευνών εδαφών, Αθήνα.
- Καββαδάς, Μ., (2009). Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Κοροβέσης, Π. – Μάγκος, Π., (2019). Διερεύνηση Τεχνικογεωλογικών Χαρακτηριστικών Δείγματος Μαργαϊκού Σχηματισμού του Ηρακλείου Κρήτης με Εργαστηριακές Μεθόδους, Πτυχιακή Εργασία στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5038/%ce%a0%ce%a4%ce%a5%ce%a7%ce%99%ce%91%ce%9a%ce%97%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (5/11/2022)
- Λαγιώτη Χ., Σπηλιωτόπουλου Κ., 1996, Εδαφομηχανική, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαχαρίσης, Ν., Μάνου – Ανδρεάδη, Ν., Γραμματικόπουλος, Ι., (2010). Γεωτεχνική Μηχανική Έρευνα Γεωτρήσεις Εργαστήριο, Εκδόσεις Κυριακίδη Αφοί, Θεσσαλονίκη.
- Πλαστήρα, Β., (2011). Σημειώσεις Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής, Αθήνα.
- Πλαστήρα, Β., (2010). Σημειώσεις Θεωρίας Εδαφομηχανικής, Αθήνα.
- Σταθακόπουλος, Μ., (2012). Συμβολή στη Μελέτη των Μηχανικών Ιδιοτήτων του Αργιλικού Σχηματισμού. Στην Περιοχή Οβριά του Νόμου Αχαΐας, Πτυχιακή Εργασία στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά του Τμήματος Πολιτικών Δομικών Έργων. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: <http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/handle/123456789/305> (5/11/2022)
- Χρηστάρας, Β., (2001). Εργαστηριακές και Επί Τόπου Δοκιμές Εδαφομηχανικής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.