

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ Ι & ΙΙ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΑ
ΜΕΣΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΓΕΩΡΓΙΑ ΤΖΩΡΤΖΑΚΗ
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΔΑΜΙΑΝΙΔΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ

ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΧΡΗΣΤΟΥ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ

2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
I.Ιστορική αναδρομή.....	4
II.Το αντικείμενο της εδαφομηχανικής	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
1.1. Προσδιορισμός Φυσικής υγρασίας εδάφους.....	10
1.1.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Ορισμός.....	10
1.1.2. Συσκευές - Υλικά.....	10
1.1.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.....	11
1.1.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.....	11
1.1.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	12
1.2. Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους.....	14
1.2.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	14
1.2.2. Συσκευές - Υλικά.....	14
1.2.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.....	15
1.2.3.1. Βαθμολογία φιάλης πειραματικά.....	15
1.2.3.2. Προσδιορισμός του ειδικού βάρους.....	16
1.2.4. Έντυπα Μετρήσεων –Υπολογισμοί.....	17
1.2.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	18
1.3 Κοκκομετρική ανάλυση.....	20
1.3.1. Ανάλυση με κόσκινα.....	20
1.3.1.1 Εισαγωγικές Πληροφορίες – Σκοπός.....	20
1.3.1.2. Συσκευές – Υλικά.....	20
1.3.1.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.....	23
1.3.1.4.Έντυπα μετρήσεων –Υπολογισμοί.....	24
1.3.1.5. Προδιαγραφές.....	26
1.3.1.6. Ειδικοί υπολογισμοί.....	26
1.3.1.7. Σχετική πυκνότητα.....	26
1.3.1.8. Αξιολόγηση της κοκκομετρικής καμπύλης.....	27
1.3.1.8.1 Καλά διαβαθμισμένο έδαφος.....	27
1.3.1.8.2. Έδαφος κακής διαβάθμισης.....	28
1.3.1.9.Παρατηρήσεις Συμπεράσματα.....	33
1.4. Εργαστηριακός προσδιορισμός της υδατοπερατότητας εδαφών.....	34
1.4.1. Γενικά.....	34
1.4.2. Φυσικό νόημα του συντελεστή υδατοπερατότητας.....	34
1.4.3. Περιγραφή εργαστηριακής διάταξης.....	36
1.4.4. Μέτρηση συντελεστή - υπολογισμοί.....	40
1.5. Όρια Atterberg.....	42
1.5.1. Γενικά περί ορίων – Καταστάσεις μετάβασης συνεκτικού εδάφους λόγω της ύπαρξης νερού.....	42
1.5.2. Όριο Υδαρότητας.....	43
1.5.2.1.Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	43
1.5.2.2.Συσκευές - Υλικά.....	43

1.5.2.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.....	44
1.5.2.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.....	45
1.5.2.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	47
1.5.3. Όριο πλαστικότητας.....	50
1.5.3.1. Εισαγωγικές πληροφορίες - Σκοπός.....	50
1.5.3.2. Συσκευές –Υλικά.....	50
1.5.3.3. Τρόπος Εργασίας - Πορείας.....	50
1.5.3.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.....	51
1.5.3.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	53
1.5.4. Όριο Συρρίκνωσης.....	57
1.5.4.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	57
1.5.4.2. Συσκευές – Υλικά.....	57
1.5.4.3. Τρόπος Εργασίας – Πορεία.....	57
1.5.4.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.....	58
1.5.4.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	58
1.6. Πορώδες – Δείκτης κενών.....	61
1.6.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	61
1.6.2. Συσκευές – Υλικά.....	61
1.6.3. Τρόπος Εργασίας – Πορεία.....	62
1.6.4. Έντυπα μετρήσεων - Υπολογισμοί.....	62
1.6.5. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα.....	63
1.7. Δοκιμή κατά Proctor.....	65
1.7.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	65
1.7.2. Συσκευές - Υλικά.....	65
1.7.3. Τρόπος εργασίας - Πορεία.....	66
1.7.4. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.....	69
1.8. Μέθοδος κώνου και άμμου.....	71
1.8.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	71
1.8.2. Συσκευές - Υλικά.....	71
1.8.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία – Υπολογισμοί - Έντυπα.....	72
1.8.3.1. Προσδιορισμός του όγκου της συσκευής (μέχρι την βαλ- βίδα).....	72
1.8.3.2 Προσδιορισμός Φ.Β. της άμμου.....	73
1.8.3.3. Προσδιορισμός του βάρους της άμμου, που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη.....	74
1.8.3.4. Προσδιορισμός όγκου V και βάρους (W_{10}) του υλικού που θα εξαχθεί από την οπή δοκιμής.....	74
1.8.4. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	78
2.1. Γενικά.....	78
2.1.1. Εισαγωγή στις εργαστηριακές μεθόδους προσδιορισμού της.....	78
2.2 . Δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	82
2.2.1 Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	82

2.2.2.	Συσκευές - Υλικά.....	84
2.2.3.	Τρόπος εργασίας – Πορεία.....	86
2.2.4.	Έντυπα μετρήσεων-υπολογισμοί.....	89
2.2.5.	Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.....	91
2.3.	Δοκιμή απλής θλίψης.....	93
2.3.1.	Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.....	93
2.3.2.	Συσκευές - Υλικά.....	93
2.3.3.	Τρόπος εργασίας - Πορεία.....	96
2.3.4.	Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.....	98
2.3.5.	Επεξήγηση – τύποι υπολογισμών – εκτιμήσεις.....	98
2.3.6.	Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.....	104
2.4.	Βελτιστοποίηση – Σταθεροποίηση εδαφών –Δοκιμή CBR.....	105
2.4.1.	Γενικά.....	105
2.4.2.	Συσκευές - Υλικά.....	107
2.4.3.	Τρόπος Εργασίας – Πορεία λειτουργίας.....	110
2.4.3.1.	Εισαγωγή.....	110
2.4.3.2.	Προδιαγραφές.....	111
2.4.3.3.	Εγκατάσταση.....	111
2.4.3.4.	Λειτουργία της μηχανής.....	112
2.4.3.5.	Διαδικασία δοκιμής.....	112
2.4.3.6.	Έντυπα μετρήσεων - Υπολογισμοί.....	114
2.4.3.7.	Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.....	117
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	120
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	212

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

I. Ιστορική Αναδρομή

Μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα η ιστορία της Εδαφομηχανικής είναι η ιστορία των μεθόδων θεμελιώσεως. Λίγα μόνο στοιχεία υπάρχουν σχετικά με την μελέτη και την εκτέλεση των θεμελιώσεων των διαφόρων κτιρίων της αρχαιότητας και του μεσαίωνα. Κατά γενικό κανόνα οι λύσεις δεν βασίζονταν σε θεωρητική μέθοδο, αλλά αποκλειστικά στα αποτελέσματα της εμπειρίας και των επί τόπου παρατηρήσεων. Οι λύσεις αυτές δεν έδιναν πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα και υπάρχουν πολλά παραδείγματα καταρρεύσεως κτιρίων από κακή θεμελίωση ή υπερβολική καθίζηση. Παρ' όλες όμως τις θεωρητικές ελλείψεις των τεχνικών στον τομέα των θεμελιώσεων πραγματοποιήθηκαν δυσκολότατες θεμελιώσεις από τους αρχαιότετους χρόνους, γεγονός που δείχνει ότι η πείρα και η συστηματική παρατήρηση αποτελούν τα βασικά εφόδια για την καλή μελέτη και εκτέλεση των θεμελιώσεων.

Οι Ρωμαίοι έδωσαν μεγάλη σημασία στα προβλήματα των θεμελίων. Οι Ρωμαϊκές οδοί, τμήματα των οποίων σώζονται ακόμα και σήμερα, παρουσιάζουν ισχυρή υποδομή και σύστημα αποξηράνσεως, έχουν συνεπώς εκτελεστεί με βάση τις αρχές που εφαρμόζονται και σήμερα. Σώζονται ακόμα διάφορα επίσημα κείμενα από τα οποία φαίνεται ότι τα προβλήματα των θεμελιώσεων συζητούνταν με μεγάλη προσοχή και ότι πραγματοποιούνταν και ορισμένες προκαταρκτικές έρευνες χωρίς όμως να είναι γνωστό ποιές ήταν οι έρευνες αυτές.

Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας έπαψε πια στη Δυτική Ευρώπη η οικοδομική δραστηριότητα, εγκαταλείφθηκε δε ακόμα και η συντήρηση των δρόμων και των κτιρίων. Σοβαρά προβλήματα θεμελιώσεως παρουσιάστηκαν μόνο στο τέλος του μεσαίωνα, με την εκτέλεση των τειχών των πόλεων και των πύργων και ιδιαίτερα των μεγάλων καθεδρικών ναών. Υπάρχουν πολυάριθμα παραδείγματα κτιρίων, που έπαθαν μεγάλες καθιζήσεις, γεγονός που αποδεικνύει ότι οι κατασκευαστές του μεσαίωνα είχαν μεν λύσει με

ικανοποιητικό τρόπο το πρόβλημα της αντοχής των θεμελίων, αλλά όχι και το πρόβλημα των παραμορφώσεων τους.

Οι πρώτες γνωστές συστηματικές μελέτες σε προβλήματα της Εδαφομηχανικής έγιναν κατά το τέλος του 17^{ου} αιώνα. Πρόκειται για τις εργασίες του Γάλλου στρατάρχη VAUBAN, ο οποίος συνέταξε την τυποποιημένα σχέδια τοίχων αντιστήριξης από λιθοδομή.

Μπορεί ασφαλώς να θεωρηθεί ότι ο πραγματικός ιδρυτής της θεωρητικής Εδαφομηχανικής είναι ο COULOMB, οποίος το 1773 κατέθεσε στην ακαδημία επιστημών της Γαλλίας το περίφημο Υπόμνημα του, για τον υπολογισμό των ωθήσεων στους τοίχους αντιστήριξης.

Κριτήριο θραύσεως του COULOMB, σύμφωνα με τον οποίο η θραύση επέρχεται όταν η διατμητική τάση του εδάφους κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσεως ξεπεράσει μια χαρακτηριστική τιμή, που εξαρτάται μόνο από την εσωτερική γωνία τριβής Φ , τη συνοχή C και την ορθή τάση σ , αποτελεί και σήμερα τη βάση των θεωριών αντοχής του εδάφους.

Οι ιδέες COULOMB αποτέλεσαν τη βάση όλων των εργασιών μέχρι το 1857, όταν ο Άγγλος RANKINE, μελέτησε την εντατική κατάσταση του εδάφους την στιγμή της θραύσεως. Η μέθοδος του RANKINE λύνει το πρόβλημα των ωθήσεων για ορισμένες όμως οριακές συνθήκες. Λίγο αργότερα ο Γάλλος BOUSINESQ (1882), έδωσε τη μαθηματική λύση του προβλήματος των ωθήσεων για όλες τις περιπτώσεις οριακών συνθηκών, αλλά δεν μπόρεσε να ολοκληρώσει τις διαφορικές εξισώσεις στις οποίες κατέληξε. Η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων αυτών έγινε για ορισμένες περιπτώσεις από τον RANKINE και με τρόπο εντελώς γενικό, από τον CAQUOT, ο οποίος συνέταξε πίνακες των τιμών των ενεργών και παθητικών ωθήσεων (1948).

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα φαινόταν να είχαν έτσι λυθεί τα περισσότερα από τα θεωρητικά προβλήματα σε σχέση με την κατανομή των τάσεων και των ωθήσεων. Εν τούτοις η Εδαφομηχανική δεν είχε φτάσει στο τέρμα της, γιατί δεν υπήρχε καμιά σοβαρή πειραματική μέθοδος που να επιτρέπει τον προσδιορισμό

των διαφόρων μεγεθών που υπεισέρχονται στους θεωρητικούς υπολογισμούς, παρ' όλες τις προσπάθειες διαφόρων ερευνητών και ειδικότερα του COLLIN. Εξ' άλλου το βασικό πρόβλημα της επιρροής του νερού δεν είχε καν μελετηθεί, γιατί αγνοούνταν και η ύπαρξη του φαινομένου αυτού.

Η Εδαφομηχανική με τη μορφή με την οποία διδάσκεται σήμερα αναπτύχθηκε τον 20^ο αιώνα και ιδίως μετά το 1925. Το 1911 ο Σουηδός ATTERBERG έδωσε απλές πειραματικές μεθόδους, με τις οποίες μπορεί να χαρακτηριστεί, με τη βοήθεια δύο μόνα αριθμών η πλαστική συμπεριφορά ενός συνεκτικού εδάφους, Το 1913 άλλος Σουηδός, ο FELLENIUS, παρουσίασε μέθοδο ελέγχου της ευστάθειας των πρανών που εμπνέεται από τη μέθοδο του COULOMB.

Αργότερα ο TERZAGHI (1925) δημοσίευσε το περίφημο σύγγραμά του «Εδαφομηχανική», που αποτελεί το πραγματικό ξεκίνημα της σύγχρονης εδαφομηχανικής, γιατί προσφέρει νέο τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων. Το έδαφος παύει να είναι το απλό μαθηματικό μέσο του RANKINE και των άλλων μελετητών του 19^{ου} αιώνα, για να θεωρηθεί σαν πολύπλοκο υλικό, η συμπεριφορά του οποίου δεν πρέπει αναλύεται λεπτομερώς για όλες τις περιπτώσεις φορτίσεως παραμορφώσεως.

Θεμελιώδη προσφορά του TERZAGHI αποτελεί η ανάλυση της επιδράσεως της πίεσεως του ύδατος πόρων στην αντοχή και την παραμόρφωση των αργιλικών εδαφών. Με την επίδραση των ιδεών που αναπτύχθηκαν στις διάφορες χώρες και περισσότερο στις που το υπέδαφός τους είναι κακής ποιότητας, εργαστήρια εδαφομηχανικής μελετούν συστηματικά τη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών.

Οι πειραματικές μελέτες οδήγησαν μελετητές όπως οι HYORSLEY, SKEMPTON, BISHOP και άλλους σε μια λεπτομερέστερη ανάλυση του φαινομένου θραύσεως και είναι πια φανερό ότι το αρχικό κριτήριο του COULOMB δεν είναι αρκετό για να χαρακτηρίσει την αντοχή του εδάφους σε όλες τις περιπτώσεις. Γίνεται όλο και πιο φανερό ότι το έδαφος είναι υλικό

περισσότερο πολύπλοκο από αυτό που λαμβάνεται υπόψη στις διάφορες θεωρίες. Το θέμα αυτό συζητήθηκε σε όλα τα διεθνή Συνέδρια της Εδαφομηχανικής χωρίς να βρεθεί η σωστή αντιμετώπιση. Είναι τώρα συνηθισμένη μέθοδος να χρησιμοποιείται για κάθε πρόβλημα ένα ξεχωριστό μοντέλο εδάφους, το οποίο βασίζεται συνήθως σε μια συγκεκριμένη παραδοχή για την παραμόρφωση του υλικού.

Το θέμα των υπογείων ροών και των επιδράσεων στο εδαφικό υλικό, απασχόλησε επίσης πολύ τους ερευνητές τις τελευταίες δεκαετίες. Οι Αμερικανοί και οι Ρώσοι ιδίως έδωσαν ικανοποιητικές λύσεις στα περισσότερα από τα πρακτικά προβλήματα που παρουσιάζονται στη μελέτη και την εκτέλεση των μεγάλων φραγμάτων.

Παράλληλα με την μελέτη των χαλαρών εδαφών αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 και η μελέτη των στερεότερων εδαφών θεμελιώσεως που είναι τα πετρώματα. Η μελέτη αυτή που έγινε αναγκαία εξαιτίας της κατασκευής των σηράγγων και των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων. Είναι δύσκολη, γιατί βασίζεται στη θεώρηση της ανισοτροπίας των πετρωμάτων. Απαιτεί τη συστηματική έρευνα του εδάφους με τη βοήθεια διαφόρων ειδικών συσκευών μετρήσεως και τη συστηματική συνεργασία με τους γεωλόγους.

Κατά τη δεκαετία του 1970 παρατηρήθηκαν δύο μάλλον αντίθετες τάσεις αφ' ενός η όλο και μεγαλύτερη ανάπτυξη ειδικών θεωρητικών θεμάτων, όπως είναι η μελέτη της παραμόρφωσης των πασσάλων και της αντισεισμικής συμπεριφοράς του εδάφους. Η ανάπτυξη αυτή έγινε δυνατή χάρη στη βελτίωση των εργαστηριακών μεθόδων και στην εφαρμογή των αριθμητικών μεθόδων υπολογισμού. Παρατηρείται όμως αφ' ετέρου και ο περιορισμός της εφαρμογής των θεωρητικών μεθόδων. Έχουν αναπτυχθεί οι επί τόπου δοκιμές του εδάφους που επιτρέπουν, με τη βοήθεια εμπειρικών σχέσεων τον καθορισμό των μεγεθών τα οποία ενδιαφέρουν το μελετητή.

Η γενική μέθοδος της Εδαφομηχανικής χάνει ολοένα έδαφος. Δεν μπορούν να δοθούν λύσεις που να ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις. Η

Εδαφομηχανική γίνεται έτσι ένα σύνολο ειδικών μεθόδων θεωρητικών ή εμπειρικών. Η εξέλιξη αυτή συνεχίζεται.

II. Το Αντικείμενο της Εδαφομηχανικής.

Το αντικείμενο της «Εδαφομηχανικής», ως κλάδου της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού, είναι η επίλυση προβλημάτων που δημιουργεί το έδαφος στην κατασκευή τεχνικών έργων είτε σαν μέσο που αλληλεπιδρά με την κατασκευή είτε σαν υλικό κατασκευής.

- Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών απαιτούνται γνώσεις:
 - της σύστασης του εδάφους
 - της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους
 - των τεχνολογικών μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν
- Τα συνήθη προβλήματα εφαρμογής στα οποία καλείται να δώσει λύση ο κλάδος της Εδαφομηχανικής είναι:
 - Η θεμελίωση των κτιρίων.
 - Οι αντιστηρίξεις των παρειών του εδάφους.
 - Η ευστάθεια των πρανών.
 - Η κατασκευή έργων μέσα στο έδαφος.
 - Η βελτίωση του εδάφους.
 - Η χρησιμοποίηση του εδάφους σαν δομήσιμο υλικό (αναχώματα, φράγματα)
 - Η κατασκευή οδοστρωμάτων.
 - Η κατασκευή πρανών και τοίχων μέσα στο νερό.
- Στην εφαρμογή μπορούν να παρουσιαστούν διάφορες μορφές αστοχίας του εδάφους:
 - Θραύση του εδάφους.
 - Καθιζήσεις.
 - Κατολίσθηση πρανών φυσικών ή τεχνητών και κατάρρευση παρειών εκσκαφών.

- Διάβρωση του εδάφους οφειλόμενη στη ροή του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ασκήσεις προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών εδάφους - Κατάταξη εδάφους

1.1. Προσδιορισμός Φυσικής υγρασίας εδάφους.

1.1.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Ορισμός.

Μεταξύ των χαρακτηριστικών του εδάφους που προσδιορίζονται συχνά είναι η υγρασία.

Ο προσδιορισμός της υγρασίας ενός εδάφους είναι απαραίτητος για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του καθώς και την εκτίμηση όλων των προβλημάτων πιέσεων, καθιζήσεων και ευστάθειας της εδαφομηχανικής.

Η υγρασία παίζει μεγάλο ρόλο και στη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών. Σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό φαίνεται καθαρά η μεγάλη διαφορά των μη συνεκτικών εδαφών, ενώ τα Μη Συνεκτικά Εδάφη μόλις που επηρεάζονται στις ιδιότητες τους, τα δε Συνεκτικά Εδάφη εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες αντοχής και τα χαρακτηριστικά τους.

Τελικά με τον όρο περιεκτικότητα σε νερό δηλ. υγρασία W χαρακτηρίζουμε το λόγο του βάρους του νερού (W_w) προς το ξηρό βάρος των στερεών σε ένα εδαφικό στοιχείο (W_s), ($W = W_w / W_s$).

1.1.2. Συσκευές - Υλικά

Συσκευές.

1. Κλίβανος ξήρανσης ελεγχόμενης με θερμοστάτη θερμοκρασίας (συνήθης θερμοκρασία 110° C).
2. Ζυγός. Ο ζυγός να είναι ευαίσθητος 0,1% του βάρους του δείγματος.
3. Υποδοχέας κατασκευασμένος από υλικό που αντέχει σε διάβρωση και θερμοκρασία και δεν υπόκειται σε μεταβολή του βάρους του.
4. Ξηραντήρας.

Υλικά.

Αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος εδαφικού υλικού που εξαρτάται από το μέγεθος των μέγιστων κόκκων και δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Κόσκινα	No35	No 4	1/2 ''	1''	2''
Βάρος εδαφικού δείγματος (gr)	10	100	300	500	1000

1.1.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία

1. Επιλογή δείγματος για τον προσδιορισμό της υγρασίας και προσοχή ώστε το δείγμα αυτό να μην έχει ξηρανθεί επιφανειακά. Σε τέτοια περίπτωση το έδαφος για την δοκιμή πρέπει να ληφθεί από περισσότερες της μίας στρώσης από υλικό που δεν έχει υποστεί επιφανειακή ξήρανση.
2. Ζύγιση του δοκιμίου όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά την έναρξη της δοκιμής.
3. Τοποθέτηση του δείγματος σε φούρνο θερμοκρασίας $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (για υλικά που περιέχουν οργανικές ύλες σε 60°C μέγιστη) ώστε να ξηρανθεί μέχρι σταθερού βάρους.
4. Τελικά μετά την απομάκρυνση του δοκιμίου από το φούρνο, αυτό ψύχεται.
5. Ζύγιση του δοκιμίου.

1.1.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.

Η περιεκτικότητα σε νερό προσδιορίζεται με τη διαφορά μεταξύ αρχικού βάρους δείγματος και ξηρού βάρους, διαιρεμένη δια του ξηρού βάρους. Το αποτέλεσμα αυτό προσδιορίζεται επί τοις % με ακρίβεια δεκάτου και δίνεται από τον γενικό τύπο:

$$W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$$

Όπου W: περιεκτικότητα σε νερό %.

W_1 : βάρος υποδοχέα.

W_2 : βάρος υποδοχέα και υγρού δείγματος.

W_3 : βάρος υποδοχέα και ξηρού δείγματος.

1.1.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

Προκειμένου να αποφεύγουμε την απώλεια ή την πρόσληψη υγρασίας από την ατμόσφαιρα, τα υγρά όσο και τα ξηρά δείγματα πρέπει να ζυγίζονται αμέσως μετά τη λήψη τους ή την έξοδό τους από τους υγραντήρες – ξηραντήρες.

ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ		ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	
ΓΕΩΤΡΗΣΗ:	ΒΑΘΟΣ:	ΕΙΔΟΣ:	ΑΡΙΘ. ΦΥΛΛΟΥ:
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ			
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΕΝΑΡΞΕΩΣ:	
		ΛΗΞΕΩΣ:	
		ΥΠΟΓΡΑΦΗ:	

ΔΟΚΙΜΗ	1 ^Η	2 ^Η	3 ^Η
Αριθμός κάψας:			
Βάρος Υγρού δείγματος + κάψας Α (gr)			
Βάρος Ξηρού δείγματος + κάψας Β (gr)			
Βάρος νερού (Α-Β)-(Β-Γ) (gr)			
Βάρος κάψας Γ (gr)			
Βάρος Ξηρού δείγματος Ws=B-Γ (gr)			
Περιεχόμενη Υγρασία : $w = \frac{W}{W_s} * 100\%$			
Περιεχόμενη Υγρασία: $W = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3}$			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:			

1.2 Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους.

1.2.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Με τον όρο ειδικό βάρος στερεών ενός εδάφους χαρακτηρίζουμε το λόγο του βάρους των στερεών κόκκων του προς τον όγκο των κόκκων αυτών. Τον όγκο των κόκκων τον προσδιορίζουμε μέσω του νερού δηλ. προσδιορίζουμε ακριβώς τον όγκο που καταλαμβάνουν οι κόκκοι αυτοί.

Σε φιάλη γεμάτη νερό ρίχνουμε υλικό. Ο όγκος του νερού που χύνεται είναι ίσος με τον όγκο του ξηρού υλικού που ρίξαμε στο δοχείο και βρίσκεται συναρτήσει του βάρους του νερού και του ειδικού βάρους αυτού. (δηλ. $V_w = W_w / \gamma$). Στην συνέχεια μένει να προσδιορίσουμε το βάρος του νερού $W_w = W_2 + W_s - W_1$ όπου:

W_2 : βάρος φιάλης γεμάτης νερό.

W_s : βάρος ξηρού εδάφους.

W_1 : βάρος φιάλης με νερό και με την ποσότητα του ξηρού υλικού.

Στον προσδιορισμό αυτό πρέπει να προσέχουμε η θερμοκρασία να παραμένει σταθερή. Έτσι αν πάρουμε το W_1 σε κάποια θερμοκρασία θα πρέπει να μετρήσουμε το W_2 σε ένα πεδίο θερμοκρασίας που να περιλαμβάνει τη θερμοκρασία δοκιμής δηλ. του W_1 .

Το ειδικό βάρος μοναχό του δεν το χρειαζόμαστε. Είναι όμως βοηθητική τιμή για τον προσδιορισμό άλλων χαρακτηριστικών. Είναι χρήσιμο για τον καθορισμό και την ταξινόμηση του εδάφους γιατί τα ειδικά βάρη κυμαίνονται συνήθως μεταξύ στενών ορίων. Γενικά όμως το χρειαζόμαστε στους υπολογισμούς των περισσοτέρων εργαστηριακών δοκιμών, συνεπώς και του φαινομένου ειδικού βάρους, το οποίο βοηθάει σε όλα σχεδόν τα προβλήματα πίεσεων, καθιζήσεων και ευστάθειας.

1.2.2. Συσκευές - Υλικά

Συσκευές

- Πυκνόμετρο.

- Ζυγός ακριβείας 0.01 gr.
- Κάψα.
- Εστία θερμάνσεως.
- Θερμόμετρο.
- Σταγονόμετρο.
- Δοχεία βρασμού.

Υλικά

- Εδαφικό δείγμα.
- Απεσταγμένο νερό.

1.2.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.

1.2.3.1. Βαθμολογία φιάλης πειραματικά.

Η πορεία εργασίας για τη βαθμολογία της φιάλης πειραματικά περιλαμβάνει τρεις τουλάχιστον μετρήσεις διαδοχικών θερμοκρασιών και βάρους φιάλης του νερού καθορισμένης στάθμης, ανά 4°C περίπου μέσα στην περιοχή 20 °C – 35 °C. Κάθε ζεύγος τιμών αντιστοιχεί σε ένα σημείο της καμπύλης η οποία χαράσσεται εύκολα.

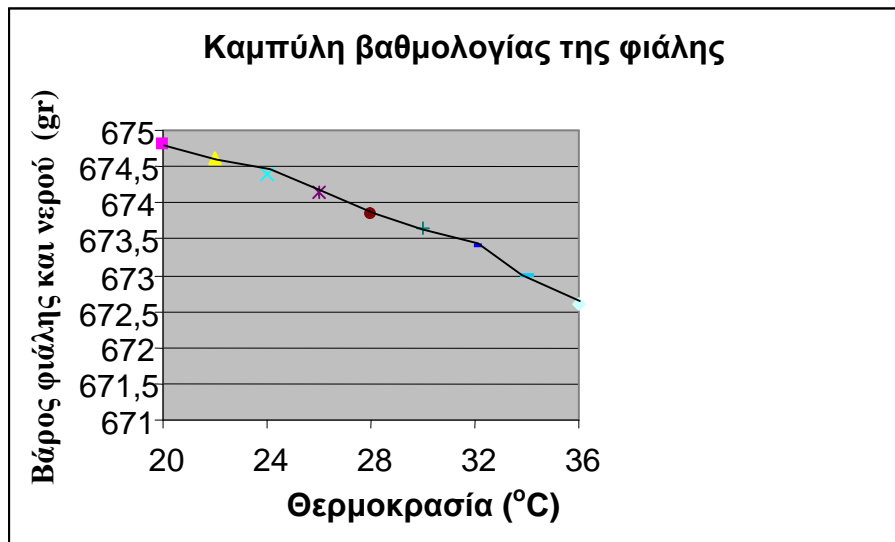
Ο τρόπος της εργασίας που γίνεται η χαραγή της καμπύλης είναι:

1. Μέσα σε μια καθαρή ογκομετρική φιάλη προσθέτουμε αποσταγμένο νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος μέχρι την χαραγή.
2. Με προσοχή στεγνώνουμε το εξωτερικό της φιάλης και το εσωτερικό του στομίου επάνω από την επιφάνεια του νερού.
3. Ζυγίζουμε τη φιάλη μαζί με το νερό με ακρίβεια 0,01 gr.
4. Μετράμε τη θερμοκρασία του νερού με ακρίβεια 0,1 ° C.
5. Εάν η θερμοκρασία δεν είναι ομοιόμορφη τοποθετούμε τον αντίχειρα στο στόμιο της φιάλης και ανατρέπουμε με επιδίωξη την καλή ανάμειξη του νερού για την μέτρηση της θερμοκρασίας.

6. Θερμαίνουμε ελαφρά τη φιάλη τοποθετώντας την μέσα σε λουτρό θερμού αέρα και επαναλαμβάνουμε τις εργασίες 2-5 της διαδικασίας , απομακρύνοντας κάθε φορά το επιπλέον νερό.

Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία έως ότου ληφθούν αρκετά σημεία για την κατασκευή της καμπύλης βαθμολογίας.

Η καμπύλη βαθμολογίας έχει την παρακάτω μορφή.



1.2.3.2. Προσδιορισμός του ειδικού βάρους.

Ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους πραγματοποιείται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

α. Συνεκτικό Έδαφος

1. Επεξεργαζόμαστε το προς δοκιμή δείγμα του εδάφους αναμειγνύοντας το με κατάλληλη ποσότητα απεσταγμένου νερού έως ότου σχηματισθεί ένα ομοιογενές μείγμα. Το δείγμα αυτό πρέπει να ζυγίζει 50 gr εν ξηρώ.
2. Μεταφέρουμε το δείγμα στην ογκομετρική φιάλη.

3. Απομακρύνουμε το δεσμευμένο αέρα θερμαίνοντας τη φιάλη μέχρι βρασμού και στη συνέχεια ψύχουμε στην αρχική θερμοκρασία που είχαμε επιλέξει και ζυγίζουμε (W_1).
4. Μεταφέρουμε το μείγμα εδάφους – νερού μέσα σε φιάλη Pyrex γνωστού βάρους. (Η ογκομετρική φιάλη πλένεται καλά για τυχόν απώλειες).
5. Ξηραίνουμε το έδαφος μέσα σε ξηραντήρα, ψύχουμε και ζυγίζουμε (W_s).
6. Το ξηρό βάρος του εδάφους βρίσκεται τελικά με αφαίρεση του βάρους της φιάλης Pyrex από το βάρος της φιάλης Pyrex μαζί με το έδαφος.

β. Μη Συνεκτικό Έδαφος

1. Τοποθετούμε περίπου 150 gr ξηραθέντος εδάφους μέσα στην ογκομετρική φιάλη γεμάτη κατά 50% με νερό απιονισμένο. (Προσοχή στην τοποθέτηση του δείγματος μέσα στη φιάλη),
2. Απομακρύνουμε όλο τον αέρα όπως προηγουμένως ο οποίος έχει δεσμευθεί μέσα στο έδαφος.
3. Ψύχουμε τη φιάλη με το περιεχόμενο αιώρημα μέχρι μια θερμοκρασία που να βρίσκεται μέσα στο πεδίο της καμπύλης βαθμολογίας της φιάλης.
4. Προσθέτουμε νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης.
5. Στεγνώνουμε το εξωτερικό της φιάλης και το εσωτερικό πάνω από τη στάθμη του νερού.
6. Ζυγίζουμε τη φιάλη με το περιεχόμενο μείγμα (νερό – έδαφος).
7. Τέλος καταγράφουμε και τη θερμοκρασία αφού είμαστε σίγουροι ότι είναι ομοιόμορφη σε όλη τη φιάλη,

1.2.4. Έντυπα Μετρήσεων –Υπολογισμοί.

Για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$\gamma_s = \frac{W_s \times G_T}{W_s - W_1 + W_2}$$

G_T : Ειδικό βάρος απεσταγμένου νερού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και δίνεται από πίνακα.

W_s : Ξηρό βάρος εδάφους.

W_1 : Βάρος ογκομετρικής φιάλης και εδάφους και νερού.

W_2 : Βάρος ογκομετρικής φιάλης και νερού.

1.2.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

Στον προσδιορισμό του ειδικού βάρους ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δείξουμε ώστε η θερμοκρασία να παραμένει σταθερή. Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα , σελίδες 121-138.

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ		ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	
ΓΕΩΤΡΗΣΗ:	ΒΑΘΟΣ:	ΕΙΔΟΣ:	ΑΡΙΘ. ΦΥΛΛΟΥ:
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ			
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΝΑΡΞΕΩΣ:		
	ΛΗΞΕΩΣ:		
	ΥΠΟΓΡΑΦΗ:		

ΔΟΚΙΜΗ	1 ^Η	2 ^Η	3 ^Η
Τρόπος δοκιμής [με βρασμό (Β) ή συσκευή κενού (Σ.Κ)]:			
Αριθμός χρησιμοποιούμενης φιάλης			
Θερμοκρασία Δοκιμής σε °C			
Βάρος φιάλης, νερού & ξηρού υλικού W₁(gr)			
Βάρος φιάλης και νερού W₂(gr)			
Αριθμός Υποδοχέα			
Βάρος υποδοχέα και ξηρού υλικού (gr)			
Βάρος Υποδοχέα (gr)			
Βάρος Ξηρού υλικού W_s(gr)			
Ειδικό Βάρος νερού σε T °C G_t			
Ειδικό Βάρος στερεών γ_s			
Ειδ. Βάρος Στερεών			
Περιεχόμενη Υγρασία:		(M.O)=	gr/cm ³
$\gamma_s = \frac{G * W}{W_s - W_1 + W_2}$			
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Η τιμή W ₂ υπολογίζεται από το σχετικό διάγραμμα. Το δε ειδικό βάρος G _T ,			
από πίνακες.			

1.3 Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση είναι μία δοκιμή η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη για – γενικά – μη συνεκτικά εδάφη.

Είναι μία μέθοδος προσδιορισμού των ποσοστών κατά βάρος των κόκκων που βρίσκονται μέσα στα όρια διαφόρων – συγκεκριμένων – μεγεθών. Χωρίζεται σε δύο μέρη:

- Στην ανάλυση με κόσκινα χονδρόκοκκα με συνεκτικά .
- Στην ανάλυση με υδρόμετρο – Μέθοδος STOKES – για λεπτόκοκκα συνεκτικά.

1.3.1. Ανάλυση με κόσκινα.

1.3.1.1. Εισαγωγικές Πληροφορίες – Σκοπός.

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή υλικά, με τη χρησιμοποίηση των κόσκινων τετραγωνικών οπών.

Η μέθοδος των κόσκινων δεν μπορεί να εφαρμοστεί για τα λεπτόκοκκα εδάφη ή γενικά για εδάφη των οποίων η πλειοψηφία των κόκκων είναι διαμέτρου μικρότερης από 0,075mm. Επίσης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών που ανακτήθηκαν από ασφαλτικά μείγματα.

Γενικά η ανάλυση με κόσκινα γίνεται με δόνηση (κοσκίνισμα) του εδάφους μέσα από μια σειρά κόσκινα συρμάτινων πλεγμάτων με γνωστά ανοίγματα. Τα ανοίγματα αυτά μικραίνουν από την κορυφή προς τα κάτω. Ζυγίζοντας το έδαφος που συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο μετά τη δοκιμή, χαράσσεται μια καμπύλη του μεγέθους των κόκκων συναρτήσεως του διερχομένου βάρους ανηγμένου επί τοις εκατό επί του ολικού.

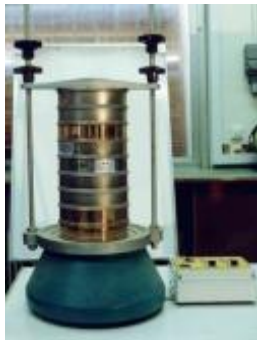
1.3.1.2. Συσκευές – Υλικά.

Συσκευές

- 1) Ζυγός ευαισθησίας 0,1% του βάρους του προς εξέταση δείγματος.
- 2) Πρότυπη σειρά κοσκίνων ISO 3310-2 ή αμερικάνικα κόσκινα, τα πλέγματα των οποίων είναι τετραγωνικών οπών.

Αυτά πρέπει να είναι προσαρμοσμένα σε στερεά πλαίσια κατασκευασμένα κατά τρόπο που να αποφεύγεται απώλεια υλικού κατά το κοσκίνισμα. Πρέπει επίσης να εκλέγονται κόσκινα κατάλληλων διαστάσεων ανάλογα με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που επιθυμούμε.

- 3) Δοχεία (λεκάνες) κατάλληλων μεγεθών.
- 4) Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 5) Μηχανή κοσκίνισματος.



Συσκευή κοσκίνισματος



Κόσκινα Νο 200 και Νο 4



Κόσκινα διαμέτρου $D=6,3\text{mm}$ και $D=75\text{mm}$

Σειρά κοσκίνων
Δείγμα ακολουθίας κοσκίνων (κατά ASTM)

Τυπική σειρά Αριθμός κόσκινου (No)	Διάμετρος D (mm)	Εναλλακτική σειρά Αριθμός κόσκινου (No)	Διάμετρος D (mm)
	75		75
	6,3		6,3
4	4,75	4	4,75
10	2,0	10	2,0
20	0,85	30	0,84
40	0,425	50	
100	0,150	100	0,150
200	0,075	200	0,075

Υλικά

Εδαφικά δείγματα για κοκκομετρική ανάλυση τα οποία έχουν προέρθει από τη μέθοδο του τετραμερισμού. Το λεπτόκοκκο αδρανές υλικό που παίρνεται σα δείγμα με τη μέθοδο του τετραμερισμού, πρέπει να αναμιγνύεται καλά και να είναι ελαφρώς υγρό.

Τα δείγματα λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού, για κοκκομετρική ανάλυση πρέπει μετά την ξήρανση να έχουν κατά προσέγγιση τα βάρη που αναφέρονται πιο κάτω:

Υλικό με κατ' ελάχιστο 95% διερχόμενο του κόσκινου Νο 8 (2580 μ):500 gr.

Υλικό με κατ' ελάχιστο 95% διερχόμενο του κόσκινου Νο 4 (4760 μ) και περισσότερο των 5% συγκρατούμενο το κόσκινο Νο 8: 500 gr.

Τα δείγματα χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού κοκκομετρικής ανάλυσης πρέπει να έχουν βάρη, μετά την ξήρανση, όχι μικρότερα αυτών που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ονομαστικό Μέγιστο Μέγεθος κόκκου σε cm	Ελάχιστο Βάρος Δείγματος σε gr
0.965	1.000
1.270	2.500
1.930	5.000
2.540	10.000
3.810	15.000
5.080	20.000
6.350	25.000
7.620	30.000
8.890	35.000

1.3.1.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.

- I. Ξήρανση εδαφικού υλικού σε φυσικό περιβάλλον.
- II. Τετραμερισμός – παραλαβή ελάχιστης ποσότητας εδαφικού δείγματος βάσει του πίνακα.
- III. Διαχωρισμός λεπτόκοκκου – χονδρόκοκκου υλικού με βάση το κόσκινο Νο 4.
- IV. Ζύγιση ληφθέντων δειγμάτων.
- V. Κοσκίνισμα του χονδρόκοκκου υλικού.
- VI. Ζύγιση της συγκρατούμενης ποσότητας σε κάθε ένα από τα κόσκινα και καταγραφή των βαρών στο Δελτίο Κοκκομετρικής Ανάλυσης και συμπλήρωσή του.

Λεπτόκοκκο υλικό $D < 0.07\text{mm}$.

- I. Εμποτισμός ποσότητας περίπου 500 gr με νερό και ανάδευση. Έκχυση του μη καθαρού νερού στο κόσκινο No 200. επανάληψη της πιο πάνω εργασίας έως ότου το νερό γίνει καθαρό μετά την ανάδευση.
- II. Ξήρανση του πλυμένου εδαφικού μείγματος μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία 100°C ψύξη – ζύγιση.
- III. Κοσκίνισμα στα κόσκινα No 4, No 9, No 29, No 35, No 100, No 200.
- IV. Ζύγιση των συγκρατούμενων ποσοτήτων ποσοτήτων από τα κόσκινα και καταγραφή των βαρών στο Δελτίο Κοκκομετρικής Ανάλυσης.
- V. Προσδιορισμός του διερχόμενου βάρους και αναγωγή τούτου επί τοις εκατό στη συνολική ποσότητα του εδαφικού μείγματος.
- VI. Χάραξη της κοκκομετρικής καμπύλης με συντεταγμένες σημείων τις τιμές του διερχόμενου ποσοστού επί τοις % και τα μεγέθη οπής κοσκίνων.

1.3.1.4. Έντυπα μετρήσεων –Υπολογισμοί.

Στις περιπτώσεις ανάλυσης των εδαφικών δειγμάτων είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της:

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 : Ξηρό βάρος υλικού (αρχικό, προ πλύσης)

W_2 : Ξηρό βάρος υλικού μετά την πλύση

P: Ποσοστό % διερχόμενο από κόσκινο No 200

Λίθοι (πέτρες)	Το κόσκινο των 75 mm , διαχωρίζει το εδαφικό υλικό από τις λίθους.	–	–
Χαλίκια	Τα χαλίκια είναι η διαβάθμιση μεταξύ του κόσκινου των 75 mm και του κόσκινου No4 (4.75 mm) .	Χονδρόκοκα χαλίκια	Τα χονδρόκοκα χαλίκια, συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 75 mm και 19 mm .
		Λεπτόκοκα χαλίκια	Τα λεπτόκοκα χαλίκια συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων 19 mm και No4 (4.75 mm) .
Άμμος	Η άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No4 (4.75 mm) και No200 (0.075 mm) .	Χονδρόκοκη άμμος	Η χονδρόκοκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No4 (4.75 mm) και No10 (2 mm) .
		Μεσόκοκη άμμος	Η μεσόκοκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No10 (2 mm) και No40 (0.425 mm) .
		Λεπτόκοκη άμμος	Η λεπτόκοκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων No40 (0.425 mm) και No200 (0.075 mm) .
Ιλύς - Άργιλος	Η ιλύς και η άργιλος είναι το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No200 (0.075 mm)	Ιλύς (0.075 - 0.005 mm)	Απαιτείται υδραυλική κοκκομετρική δοκιμή με χρήση αραιόμετρου.
		Άργιλος (έως 0.005 mm)	

1.3.1.5. Προδιαγραφές

1.<< Προδιαγραφές Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής>>(Ε 105-86),δημοσιευμένες στο φύλλο της Εφημερίδας της Κυβερνήσεως Φ.Ε.Κ. αρ.955/31-12-86,τεύχος δεύτερο.

2.Αμερικανική προδιαγραφή ASTM D422-1980.

1.3.1.6. Ειδικοί υπολογισμοί

Στην κοκκομετρική καμπύλη που θα σχεδιαστεί υπολογίζονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη:

- **Ενεργός διάμετρος D_{10}** , η οποία ορίζεται ως η διάμετρος από την οποία διέρχεται το 10% του δείγματος. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς συνδέεται με τη δυνατότητα ροής του νερού μέσα στο έδαφος. Μικρή τιμή της ενεργού διαμέτρου δείχνει ότι το έδαφος περιέχει μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες του εδάφους επηρεάζονται σημαντικά από το λεπτόκοκκο υλικό που περιέχει.

- **Συντελεστής ομοιομορφίας C_U** , ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο $C_U = D_{60}/D_{10}$, όπου D_{60} δηλώνει τη διάμετρο από την οποία διέρχεται το 60% του δείγματος. Μεγάλη τιμή του συντελεστή δηλώνει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους. Έδαφος με συντελεστή ομοιομορφίας ίσο προς 1 αποτελείται από κόκκους της ίδιας διαμέτρου. Εδάφη με συντελεστή $C_U < 5$ είναι σχετικά ομοιόμορφα, ενώ, εάν είναι $C_U > 5$, καλούνται καλά διαβαθμισμένα.

- **Συντελεστής καμπυλότητας C_C** , ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο $C_C = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$. Ο συντελεστής αυτός είναι ένα μέτρο της καμπυλότητας της καμπύλης μεταξύ των σημείων D_{60} και D_{10} .

1.3.1.7. Σχετική Πυκνότητα

Ένα εδαφικό υλικό μπορεί να έχει λόγο κενών σε διάφορες τιμές. Αυτό εξαρτάται από τη δομή του, δηλαδή από τη διάταξη των κόκκων του. Πρόσφατες αποθέσεις άμμων είναι πολύ χαλαρές με αραιή διάταξη των κόκκων και με λόγο κενών που τείνει σε μία ελάχιστη τιμή. Αντίθετα, εάν η άμμος συμπυκνωθεί με έντονη δόνηση, οι κόκκοι πλησιάζουν μεταξύ τους παίρνοντας μία πυκνή διάταξη. Ο λόγος κενών τείνει τότε σε μία μέγιστη τιμή. Αυτές οι

ακραίες καταστάσεις διάταξης των κόκκων μπορούν να πραγματοποιηθούν στο εργαστήριο. Ένα χρήσιμο μέγεθος που συγκρίνει την πραγματική κατάσταση μιας άμμου με τις ακραίες τιμές της πυκνότητάς της είναι η σχετική πυκνότητα.

Ορίζουμε ως σχετική πυκνότητα το πηλίκο $D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$

Όπου: e είναι ο πραγματικός λόγος κενών της άμμου,

e_{\max} είναι ο λόγος κενών που αντιστοιχεί στην ελάχιστη πυκνότητα (χαλαρό δείγμα-μέγιστο πορώδες) και e_{\min} είναι ο λόγος κενών που αντιστοιχεί στη μέγιστη πυκνότητα (πυκνό δείγμα-ελάχιστο πορώδες).

Με βάση την τιμή της σχετικής πυκνότητας κατατάσσουμε ένα αμμώδες έδαφος σύμφωνα με τον Πίνακα:

Σχετική πυκνότητα %	Περιγραφή εδάφους
0-15	Πολύ χαλαρό
15-35	Χαλαρό
35-65	Μέσης πυκνότητας
65-85	Πυκνό
85-100	Πολύ πυκνό

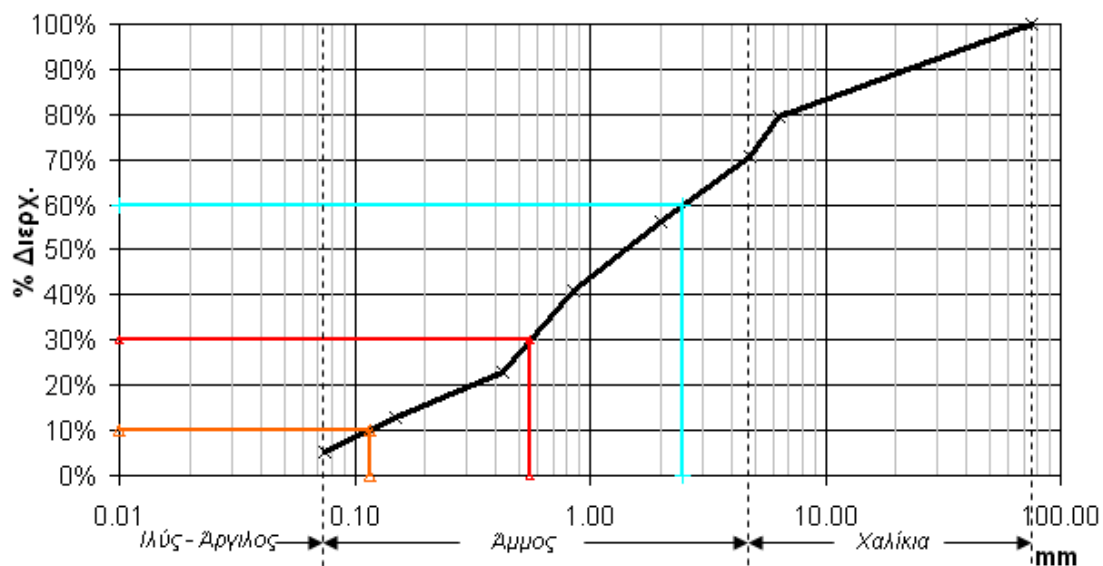
1.3.1.8. Αξιολόγηση της κοκκομετρικής καμπύλης

1. Καμπύλη με ισχυρή κλίση δείχνει ότι οι κόκκοι του εδάφους είναι περίπου του ίδιου μεγέθους και άρα αυτό χαρακτηρίζεται ως ομοιόμορφο.
2. Καμπύλη ομαλής κλίσης δείχνει ευρεία σειρά μεγέθους των κόκκων και το έδαφος χαρακτηρίζεται σαν καλά διαβαθμισμένο.
3. Όταν η καμπύλη παρουσιάζει τμήματα διάφορης καμπυλότητας, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μίγμα δύο ή περισσότερων ομοιόμορφων υλικών.

1.3.1.8.1 Καλά διαβαθμισμένο έδαφος

Ένα καλά διαβαθμισμένο έδαφος, είναι σχετικά σταθερό, ανθίσταται στην φθορά και την διάβρωση, μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να αποκτήσει μεγάλη πυκνότητα με αποτέλεσμα να αναπτύσσει μεγάλη αντοχή στη διάτμηση

και φέρουσα ικανότητα. Οι καλές ιδιότητες του υλικού προέρχονται από το γεγονός πως τα κενά μεταξύ των κόκκων συμπληρώνονται από κόκκους μικρότερης διαμέτρου. Στην συνέχεια τα κενά μεταξύ των κόκκων μικρότερης διαμέτρου συμπληρώνονται από κόκκους ακόμα μικρότερης διαμέτρου, κλπ. Η κοκκομετρική καμπύλη έχει «σιγμοειδή» μορφή με γραμμικό το κύριο σκέλος.

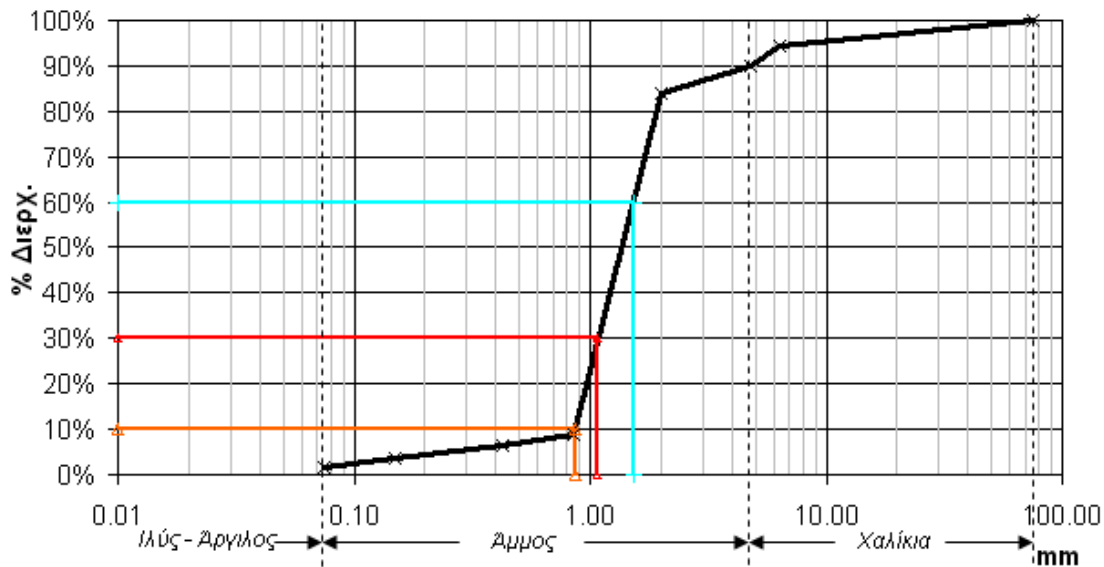


Άμμος καλής διαβάθμισης με χαλίκια και άργιλο ($C_u = 21.4$, $C_c = 1.1$)

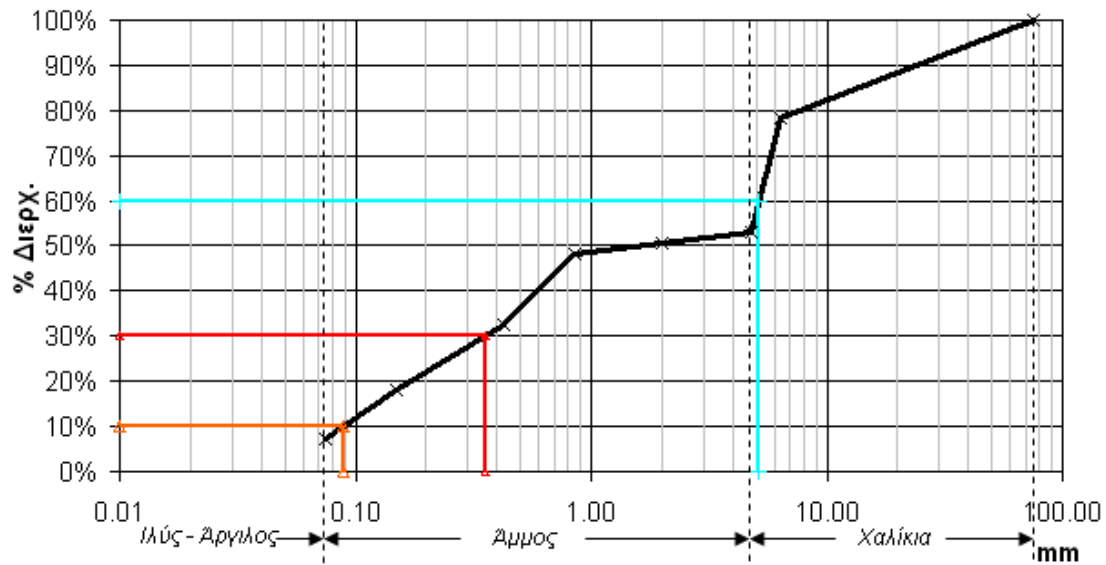
1.3.1.8.2. Έδαφος κακής διαβάθμισης

Ένα έδαφος όπου επικρατεί μία συγκεκριμένη διάσταση ή απουσιάζει μία γκάμα διαστάσεων είναι κακής διαβάθμισης. Ένα έδαφος όπου θα επικρατεί μία συγκεκριμένη διάσταση και δεν έχει επαρκή ποσότητα λεπτομερούς κλάσματος για να πληρώσει τα κενά μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων, δεν είναι δεκτικό συμπίκνωσης, θα έχει ανοικτή πορώδη δομή και ευκολότερη μετακίνηση των κόκκων και μικρότερη φέρουσα ικανότητα. Η κοκκομετρική καμπύλη ενός τέτοιου εδάφους θα παρουσιάζει ένα κατακόρυφο σκέλος. Ένα έδαφος όπου απουσιάζει μία γκάμα διαστάσεων είναι επίσης κακής διαβάθμισης. Εκτός των

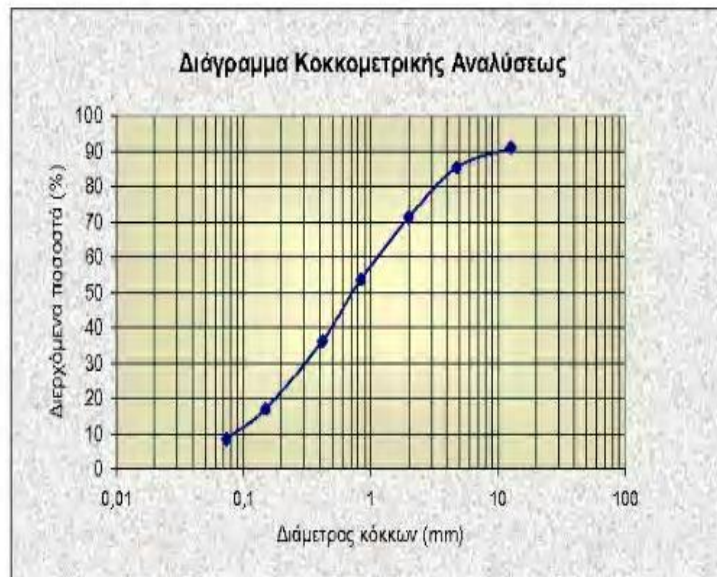
προβλημάτων που οφείλονται στην κακή συμπύκνωση, το έδαφος αυτό είναι ευαίσθητο στην διέλευση του νερού, το οποίο συμπαρασύρει τους κόκκους λεπτότερης διαμέτρου και έτσι δημιουργούνται κενά με δυσμενείς επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους. Η κοκκομετρική καμπύλη ενός τέτοιου εδάφους θα παρουσιάζει ένα οριζόντιο σκέλος.



Άμμος κακής διαβάθμισης ($C_u=1.8$, $C_c=0.9$). Κυριαρχεί το υλικό με διάμετρο 0.85 mm (μέγιστη συγκράτηση υλικού στο κόσκινο No20).



Χαλίκια με άμμο, κακής διαβάθμισης ($C_u=57.3$, $C_c=0.3$). Απουσιάζουν τα μεγέθη κόκκων μεταξύ 4.75 mm και 0.85 mm. (δεν συγκρατείται υλικό στα κόσκινα No10 και No20).



Συντελεστής ομοιομορφίας:

$C_u = D_{60}/D_{10} = 1,1/0,08 = 13,75 > 5$, άρα η άμμος είναι καλά διαβαθμισμένη.

Συντελεστής καμπυλότητας:

$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60}) = 0,3^2/0,08 \cdot 1,1 = 1,02$

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ									
ΤΜΗΜΑ:		ΟΜΑΔΑ:			ΑΡ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:				
		ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ :			ΗΜ/ΝΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ :				
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ :		ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :			ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΥΛΙΚΟΥ(g.) :				
ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ		ΣΕΙΡΑ ISO 3310-2		ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ		ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ			
(mm)		(in)		(gr.)		(gr.)		(%)	
37,50		37,50							
25,00		25,00							
19,00		19,00							
12,50		12,50							
9,50		9,50							

1.3.1.9. Παρατηρήσεις Συμπεράσματα.

Κατά την πραγματοποίηση της δοκιμής της κοκκομετρικής ανάλυσης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή:

- α) Στην αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος.
- β) Στο χρόνο κοσκινίσματος.
- γ) Στο θρυμματισμό των εδαφικών κόκκων.
- δ) Στις μεταγγίσεις των εδαφικών δειγμάτων για την αποφυγή απώλειας υλικού.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα , σελίδες 139-151.

1.4. Εργαστηριακός προσδιορισμός της υδατοπερατότητας εδαφών

1.4.1. Γενικά

Τα εδάφη ως πορώδη μέσα χαρακτηρίζονται από τριφασικότητα: Στερεά φάση (εδαφικοί κόκκοι), αέρια φάση (αέρας) και υγρή (νερό πόρων). Το νερό έχει την δυνατότητα να ρέει μέσω των πόρων. Η ροή του νερού μάλιστα διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: Ακόρεστη και κορεσμένη (όπου το έδαφος βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού). Η ικανότητα του νερού να ρέει διαμέσου των πόρων δεν είναι η ίδια σε όλους τους τύπους εδαφών. Η ικανότητα αυτή χαρακτηρίζεται με το μέγεθος της «υδατοπερατότητας» ή «υδροπερατότητας». Υλικά όπως χαλίκια και άμμος (χονδρόκοκα υλικά) χαρακτηρίζονται από μεγάλη υδατοπερατότητα, ενώ υλικά όπως η ιλύς και άργιλος (λεπτόκοκκα υλικά) χαρακτηρίζονται από μικρή υδατοπερατότητα.

Ο βαθμός της υδατοπερατότητας εκφράζεται αριθμητικά μέσω του «συντελεστή υδατοπερατότητας» k . Ο συντελεστής υδατοπερατότητας μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορες μεθόδους, όπως με τις εργαστηριακές. Η γνώση της υδατοπερατότητας των εδαφών είναι απαραίτητη για την μελέτη γεωτεχνικών έργων όπως φράγματα, εδαφικά φίλτρα, ΧΥΤΑ (χώροι υγειονομικής ταφής), στραγγιστήρια, κ.α.

Ο προσδιορισμός του συντελεστή υδατοπερατότητας μπορεί να γίνει με μία από τις παρακάτω εργαστηριακές διατάξεις:

- **Διαπερατόμετρο** σταθερού υδραυλικού φορτίου, κατάλληλο για τη μέτρηση του συντελεστή υδατοπερατότητας σε χονδρόκοκκα – υδατοπερατά εδάφη (χαλίκια, άμμος, κλπ).
- **Διαπερατόμετρο** μεταβλητού υδραυλικού φορτίου, κατάλληλο για την μέτρηση του συντελεστή υδατοπερατότητας σε λεπτόκοκκα, λίγο διαπερατά εδάφη (όπως η άργιλος).

1.4.2. Φυσικό νόημα του συντελεστή υδατοπερατότητας

Ο συντελεστής υδατοπερατότητας (k), έχει μονάδες ταχύτητας (m/s) και είναι η ταχύτητα ροής μέσα από το πορώδες μέσο για υδραυλική κλίση ίση με 1 (π.χ. πτώση υδραυλικού φορτίου 1 m για μήκος ροής 1 m). Ο παραπάνω ορισμός απορρέει από τον νόμο του Darcy, εφόσον δε η ροή μέσα από το πορώδες μέσο είναι ομοιόμορφη και εφόσον γίνει θεώρηση γραμμικών απωλειών του υδραυλικού φορτίου, ο νόμος του Darcy μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση:

$$v = -k \cdot i$$

Όπου, v η μέση ταχύτητα ροής, k ο συντελεστής υδατοπερατότητας και i η υδραυλική κλίση. Η κλίση είναι αρνητική. Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, ο συντελεστής μπορεί να υπολογιστεί απευθείας, εφόσον μετρηθούν άμεσα τα υπόλοιπα μεγέθη. Προς τούτο, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$Q = k \cdot A \cdot (\Delta h / L)$$

Η παραπάνω σχέση προκύπτει από το νόμο του Darcy, εφόσον αναπτύξουμε τους όρους της ταχύτητας και της κλίσης. Η παροχή του νερού που θα περνάει μέσα από ένα πορώδες μέσο, θα είναι ανάλογη με τον συντελεστή υδατοπερατότητας, την διατομή αναφορά (A), την πτώση του υδραυλικού φορτίου (Δh) και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους ροής (L).

Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστή υδατοπερατότητας για διαφορετικούς τύπους εδαφών.

Τύπος εδάφους	k (m/s)
Χαλίκια	$10^{-2} \div 1$
Άμμος με ελάχιστες προσμίξεις	$10^{-5} \div 10^{-2}$
Λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδης άμμος	$10^{-8} \div 10^{-5}$
Ιλύς, ιλυώδεις άργιλοι	$10^{-9} \div 10^{-6}$
Άργιλοι	$10^{-11} \div 10^{-9}$

Η υδατοπερατότητα επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως ο βαθμός συμπύκνωσης του υλικού. Εν γένει η συμπύκνωση και η δόνηση κάποιου κοκκώδους υλικού, έχει ως αποτέλεσμα το «κλείσιμο» των κενών και την μείωση της υδατοπερατότητας. Ωστόσο ο κρίσιμος παράγοντας για την υδατοπερατότητα ενός εδαφικού σχηματισμού, είναι το λεπτόκοκκο κλάσμα που περιέχει. Είναι επίσης προφανές πως εξαρτάται και από την κοκκομετρική διαβάθμιση. Μία σχέση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διαπερατότητας ενός σχηματισμού σύμφωνα με την κοκκομετρία είναι η παρακάτω:

$$k \text{ (cm/s)} = 100 * D_{10}^2$$

Όπου D_{10} , το ενεργό μέγεθος όπως προκύπτει από την κοκκομετρική καμπύλη εκφρασμένο σε cm. Η σχέση είναι προσεγγιστική και δίνει μία τάξη μεγέθους για τον συντελεστή υδατοπερατότητας.

1.4.3. Περιγραφή εργαστηριακής διάταξης

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η διάταξη ενός διαπερατόμετρου σταθερού υδραυλικού φορτίου, σαν αυτό που διαθέτουν πολλά εργαστήρια. Η διάταξη αποτελείται από 4 βασικά τμήματα:



Σύστημα παροχής νερού



Κυψέλη με εδαφικό δείγμα

1) **Σύστημα παροχής νερού με σταθερή πίεση.** Με την βοήθεια ενός υπερχειλιστή, διατηρούμε σταθερή την στάθμη του νερού στο σύστημα παροχής νερού. Ο υπερχειλιστής βρίσκεται κοντά στο χείλος ενός κυλινδρικού δοχείου χωρητικότητας 5 λίτρων. Στο δάπεδο του δοχείου βρίσκεται η έξοδος νερού προς την κυψέλη. Στο μέσο του δοχείου, ένας σωλήνας τροφοδοτεί το σύστημα με νερό από το δίκτυο ύδρευσης. Η διάταξη είναι σχεδιασμένη με τέτοιον τρόπο ώστε να επιτυγχάνει κάποιο βαθμό απαέρωσης στο νερό.

2) **Κυψέλη.** Είναι ένα δοχείο από Plexi-Glass όπου τοποθετείται το εδαφικό δείγμα. Το δείγμα είναι εγκιβωτισμένο από τα τοιχώματα της κυψέλης καθώς και δύο διάτρητες μεταλλικές πλάκες (ώστε να επιτρέπουν την ροή του νερού). Μεταξύ των μεταλλικών πλακών και του δείγματος, τοποθετείται φίλτρο τάξης No40-No100 ώστε να αποτρέπεται το ξέπλυμα της λεπτόκοκκης άμμου. Κατά μήκος της κυψέλης, τρεις οπές που ισαπέχουν, επιτρέπουν την σύνδεση ισάριθμων μανομέτρων για την μέτρηση της πτώσης του υδραυλικού φορτίου. Η διάταξη συμπληρώνεται από την είσοδο του νερού από την **διάταξη 1**, την βαλβίδα απαέρωσης καθώς και από την έξοδο του νερού στην βάση. Ο εγκιβωτισμός του δείγματος βοηθείται από σύστημα συμπίεσης. Η διάταξη κλείνει αεροστεγώς με την βοήθεια 2 o-rings (φλάντζες).



Σωλήνες μανόμετρων

- 3) **Μανόμετρα.** Τα μανόμετρα είναι κατακόρυφοι γυάλινοι σωλήνες στους οποίους έχει προσαρμοστεί ένας γνώμονας (με κλίμακα cm). Το ύψος των σωλήνων είναι τέτοιο που να επιτρέπει στο νερό να φθάνει το ύψος του υπερχειλιστή σε περίπτωση διακοπής της ροής (μέσω του φαινομένου των συγκοινωνούντων δοχείων). Σημαντικό είναι τα μανόμετρα να είναι τέλεια απαερωμένα.
- 4) **Έξοδος νερού.** Στην βάση της κυψέλης ένας κρουνός επιτρέπει την διακοπή - αποκατάσταση της ροής. Ένας ελαστικός σωλήνας συνδέεται στον κρουνό, ο οποίος καταλήγει σε μία διάταξη μέτρησης της παροχής (ογκομετρικά δοχείο + χρονόμετρο).

1.4.4. Μέτρηση συντελεστή - υπολογισμοί

Γίνεται σύνδεση της διάταξης - σύνδεση μανόμετρων με την κυψέλη, σύνδεση συστήματος παροχής με την κυψέλη. Οι έξοδοι προς τα μανόμετρα ονομάζονται από πάνω προς τα κάτω: 1, 2 και 3.

Μετράμε το μήκος ροής μεταξύ των εξόδων 1-2 και 2-3 ($= L_a, L_b$). Μετράμε την εσωτερική διάμετρο της κυψέλης D και υπολογίζουμε την επιφάνεια της διατομής του δείγματος $A = \pi D^2/4$.

Επιλέγουμε έναν αντιπροσωπευτικό όγκο από το δείγμα και το τοποθετούμε στην κυψέλη με προσοχή ώστε να διατηρεί ομοιογένεια. Τοποθετούμε τα φίλτρα, κλείνουμε την κυψέλη και εκτελούμε τις απαραίτητες ενέργειες απαέρωσης (διακοπτόμενη ροή - άνοιγμα της βαλβίδας. Για καλύτερα αποτελέσματα κάνουμε αναρρόφηση νερού).

Εφόσον όλα είναι έτοιμα, τροφοδοτούμε συνεχώς την διάταξη με νερό σταθερού υδραυλικού ύψους. Κλείνουμε την παροχή από τον κρουνό εξόδου. Εφόσον έχει γίνει σωστή απαέρωση, όλα τα μανόμετρα θα δείχνουν το ίδιο ύψος και θα έχουν την στάθμη του υπερχειλιστή βάσει του φαινομένου των συγκοινωνούντων δοχείων.

Ανοίγουμε τον κρουνό εξόδου και περιμένουμε να αποκατασταθεί σταθερή και ομοιόμορφη ροή. Τα μανόμετρα δείχνουν την πτώση πίεσης λόγω

των γραμμικών απωλειών της ροής. Η πτώση από το μανόμετρο 1 στο 2 είναι Δh_{12} , από το 2 στο 3 είναι Δh_{23} . Υπολογίζουμε τις υδραυλικές κλίσεις:

$$i_{12} = \Delta h_{12} / L_a, i_{23} = \Delta h_{23} / L_b$$

Εφόσον το δείγμα είναι ομοιογενές, οι κλίσεις πρέπει να ταυτίζονται. Αν υπάρχει μεγάλη διαφορά επαναλαμβάνουμε το πείραμα από την αρχή προετοιμάζοντας νέο δείγμα. Αν οι κλίσεις είναι της αυτής τάξης μεγέθους, υπολογίζουμε την μέση κλίση όπου θα χρησιμοποιήσουμε στους υπολογισμούς:

$$i = (i_{12} + i_{23}) / 2$$

Μετράμε την παροχή εξόδου Q , χρησιμοποιώντας ένα ογκομετρικό δοχείο και ένα χρονόμετρο. Υπολογίζουμε τον συντελεστή υδατοπερατότητας (k) χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση. Προσέχουμε τις μονάδες (χρησιμοποιούμε μέτρα για τα μήκη και δευτερόλεπτα για τον χρόνο). Τα αποτελέσματα είναι σε m/s:

$$Q = k \cdot A \cdot i$$

Συγκρίνουμε την τάξη μεγέθους του συντελεστή υδατοπερατότητας με αυτές του πίνακα της σελίδας 36.

1.5. Όρια Atterberg.

1.5.1. Γενικά περί ορίων – Καταστάσεις μετάβασης συνεκτικού εδάφους λόγω της ύπαρξης νερού.

Με την δοκιμή των ορίων Atterberg γίνεται η κατάταξη των συνεκτικών εδαφών ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε νερό. Έτσι εισάγονται τρεις χαρακτηριστικές περιεκτικότητες νερού που σε συνάρτηση με τις αντίστοιχες καταστάσεις του εδαφικού υλικού παρέχουν τα όρια : Υδαρότητας , Πλαστικότητας , και Συρρίκνωσης.

Η περιεκτικότητα σε νερό στο όριο μεταξύ ημιστερεάς και στερεάς κατάστασης παρέχει το όριο συρρίκνωσης W_s όπου ο όγκος του εδάφους παύει να μειώνεται καθώς το εδαφικό δείγμα συνεχίζει να αποξηραίνεται. Δηλαδή η συρρίκνωση έχει ολοκληρωθεί, ακόμα και αν το έδαφος συνεχίζει να βγάζει νερό.

Η φυσική ερμηνεία του γεγονότος αυτού είναι ότι όταν το έδαφος έχει υγρασία ίση με το όριο αυτό, τότε το νερό καταλαμβάνει όλα τα κενά. Εάν είναι μικρότερη , τα κενά καταλαμβάνονται και από αέρα ενώ όταν είναι μεγαλύτερη οι κόκκοι αρχίζουν να απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο λόγω του νερού που εισέρχεται ανάμεσά τους.

Άρα το όριο συρρίκνωσης ορίζεται με ακριβή τρόπο. Αντίθετα η μετάβαση από την υδαρή στην πλαστική κατάσταση που δίνεται από το όριο υδαρότητας W_L και από την πλαστική στην ημιστερεά κατάσταση που δίνεται από το όριο πλαστικότητας W_P είναι σταδιακή. Τα όρια αυτά ορίζονται με αυθαίρετες εργαστηριακές διαδικασίες που πρότεινε ο Casagrande.

Με βάση τα όρια πλαστικότητας και υδαρότητας προσδιορίζονται τα εξής χρήσιμα μεγέθη:

$$\text{Δείκτης Πλαστικότητας:} \quad I_P = W_L - W_P$$

$$\text{Δείκτης Υδαρότητας:} \quad I_L = \frac{W_u - W_P}{W_L - W_P}$$

όπου W_u : φυσική υγρασία

Ο Δείκτης Πλαστικότητας (Δ.Π.) δείχνει το μέγεθος των ορίων της περιεκτικότητας σε νερό που το έδαφος παραμένει πλαστικό και ο Δ.Υ. δείχνει το πόσο κοντά είναι ένα φυσικό έδαφος στο όριο υδαρότητας. Γενικά τα όρια και οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά για επιχώσεις και στο γενικό χαρακτηρισμό και ταξινόμηση των εδαφών.

1.5.2. Όριο Υδαρότητας.

1.5.2.1.Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Το όριο υδαρότητας εδάφους (W_L ή LL) αντιστοιχεί εξ ορισμού στην υγρασία στην οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση, όπως αυτή προσδιορίζεται από την δοκιμή του ορίου υδαρότητας.

1.5.2.2.Συσκευές - Υλικά.

Συσκευές

1. Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου 12 cm (4 1/2'')
2. Σπαθίδα ή μικρό μαχαίρι με λεπίδα μήκους 8cm και πλάτους 2 cm.
3. Συσκευή ορίου υδαρότητας: Μηχανική συσκευή που συνίσταται από ένα ορειχάλκινο κύπελλο και μία βάση που είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με πρότυπες διαστάσεις .
4. Όργανο χάραξης συνδυασμένο με μετρητή στο πίσω μέρος σύμφωνα με καθορισμένες πρότυπες διαστάσεις.
5. Υποδοχείς γυάλινοι που παρεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά τη ζύγιση.
6. Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας 110° C.

Υλικά

Παίρνουμε δείγμα βάρους περίπου 100 gr από ένα κλάσμα του υλικού που έχει καλά αναμειχθεί και διέρχεται από κόσκινο Νο 40.



Συσκευή Casagrande

1.5.2.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία.

A. Έλεγχος – Ρύθμιση της συσκευής ορίου υδαρότητας.

Η συσκευή του ορίου υδαρότητας πρέπει να επιθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας της, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί το κύπελλο, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες συνδέσεως του κυπέλλου που έρχεται σε επαφή με την βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1 cm πάνω από την βάση. Επίσης σταθεροποιούμε την πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες.

Ρυθμίζουμε το ύψος στο οποίο θα πρέπει να ανυψωθεί το κύπελλο με τη βοήθεια του μετρητή στο πίσω μέρος του οργάνου χαράσεως, έτσι ώστε το σημείο του κυπέλλου που έρχεται σε επαφή με την βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1 cm πάνω από την βάση. Επίσης σταθεροποιούμε την πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες.

B. Πορεία Εργασίας.

1. Παραλαβή 100 gr εδαφικού υλικού το οποίο έχει διέλθει από κόσκινο Νο 40.
2. Τοποθετούμε το δείγμα μέσα σε μία κάψα και αναμειγνύουμε με 15 – 20cm³ απεσταγμένου νερού περίπου. Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με την σπαθίδα μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό μέσα στο δείγμα.

3. Παραλαβή και τοποθέτηση επαρκούς ποσότητας στο κύπελλο της συσκευής από το σχηματισμένο μείγμα. Ισοπέδωση του υλικού με σπαθίδα ώστε να έχει βάθος 8mm στο σημείο μέγιστου πάχους.
4. Διαχωρισμός με το όργανο χάραξης του εντός του κυπέλλου της συσκευής υλικού έτσι ώστε να σχηματισθεί καθαρή απότομη χαραγή, διαστάσεων 2mm πλάτους στον πυθμένα και ύψος 8mm με τις πλευρές να σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία σχεδόν 60°. Επιτρέπεται η επαναχάραξη το πολύ μέχρι 6 φορές προκειμένου να σχηματισθεί η απαιτούμενη χαραγή.
5. Περιστροφή του στροφάλου της συσκευής με ταχύτητα 2 στροφών /sec μέχρις ότου κλείσει η χαραγή σε μήκος 10mm περίπου. Καταγραφή του αριθμού των κτύπων για το οποίο έκλεισε η χαραγή στο παραπάνω μήκος.
6. Παραλαβή τμήματος εδάφους ίσου περίπου με το πλάτος της σπαθίδος που να περιλαμβάνει το μέρος της χαραγής στο οποίο το έδαφος ενώθηκε. Τοποθέτησή του μέσα σε υποδοχέα και ζύγιση.
7. Ξήρανση του υλικού σε θερμοκρασία 110°C μέχρι σταθερού βάρους.
8. Η διαφορά που θα προκύψει από τις ζυγίσεις στα βήματα 6 και 7 θα είναι και το βάρος του νερού.

Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία δύο ακόμη φορές αφού προσθέσουμε αρκετή ποσότητα νερού στο εδαφικό δείγμα για να πάρει ρευστότερη μορφή το έδαφος.

1.5.2.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.

Και στις τρεις δοκιμές υπολογίζουμε την περιεκτικότητα σε νερό βάση του τύπου:

$$W = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

W : περιεχόμενη υγρασία επί τοις εκατό %

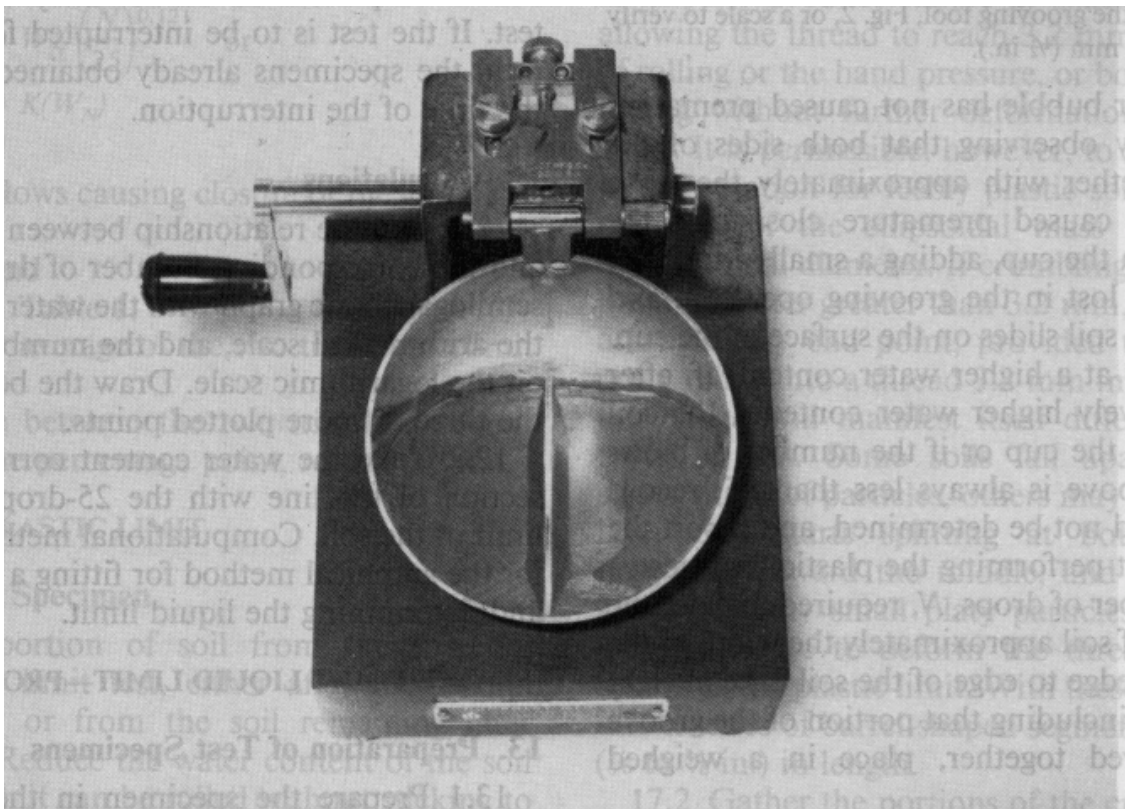
W₁: βάρος νερού σε gr

W₂: βάρος του ξηρού εδαφικού δείγματος.

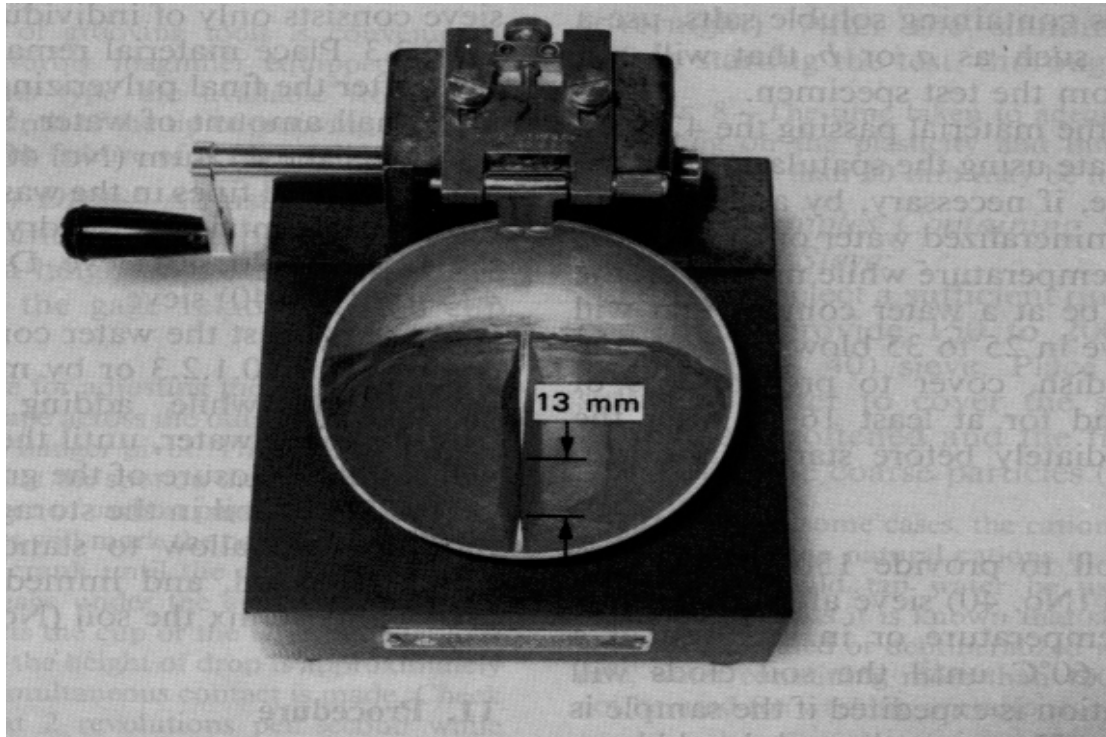
Στη συνέχεια χαράσσουμε την «καμπύλη ροής» σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα που παριστά τη σχέση μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και του αντίστοιχου αριθμού κτύπων ως τεταγμένες στη λογαριθμική κλίμακα.

Η καμπύλη ροής θα σχεδιαστεί σαν ευθεία γραμμή όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς τα τρία αποτυπωθέντα σημεία

Το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στην καμπύλη ροής με την τεταγμένη των **25** κτύπων λαμβάνεται σαν όριο υδαρότητας.



Το δείγμα πριν τη δοκιμή



Το δείγμα μετά το πέρας της δοκιμής

1.5.2.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

1. Σκοπός της πραγματοποίησης 3 δοκιμών είναι η προσπάθεια επίτευξης δειγμάτων τέτοιας σύστασης ώστε να γίνεται τουλάχιστον ένας προσδιορισμός σε κάθε μία από τις παρακάτω περιοχές κτύπων 25-30, 20-30, 15-25.
2. Το όριο υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες (στρογγυλεμένο στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό). Για υλικό με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 το όριο υδαρότητας εκφράζεται με ακρίβεια 0,1.
3. Δεν καταγράφουμε ποτέ δοκιμή που χρειάζονται περισσότερους από 35 ή λιγότερους από 15 κτύπους.
4. Βάσει των παραπάνω υπολογισμών μπορούμε να προσδιορίσουμε το Δείκτη Υδαρότητας ο οποίος δείχνει το πόσο κοντά είναι ένα φυσικό έδαφος στο όριο υδαρότητας που δίνεται από τον τύπο:

$$I_L = \frac{W_u - W_P}{W_L - W_P}, \quad W_u = \text{φυσιική υγρασία}$$

5. Υψηλό όριο υδαρότητας δείχνει κακό έδαφος θεμελίωσης. Επίσης μέτρο συμπίεσεως και γωνία εσωτερικής τριβής μικρά και συνεπώς σοβαρός κίνδυνος καθιζήσεων και ολισθήσεων.
6. Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι η πρότυπη μέθοδος AASHOT προβλέπει τρεις διαδικασίες προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας.
7. Τη μηχανική μέθοδο κατ' εναλλαγή ή μέθοδο δια ενός σημείου.
8. Τη μηχανική μέθοδο ή μέθοδο δια τριών σημείων, την οποία χρησιμοποιούμε εμείς.
9. Την μέθοδο δια χειρός.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα ,σελίδες 152-163.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :	Αριθ. Δείγματος :
	Αριθ. Φύλλου :
	Ενάρξεως :
Χαρακτηρισμός εδάφους :	Ημερομηνία
	Λήξεως :
	Υπογραφή :

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTEMBERG.

	<u>ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>
	Αριθ. Υποδοχέως								
	Αριθ. Κτύπων								
A	Βάρος υγρού δειγμ. + υποδοχέως(gr)								
B	Βάρος ξηρού δειγμ. + υποδοχέως(gr)								
Γ	Βάρος ύδατος (Γ=A-B) (gr)								
Δ	Βάρος υποδοχέως(gr)								
E	Βάρος ξηρού δείγματος(E=B-Δ) (gr)								
Z	Ενεχόμενη υγρασία $\left(Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E} \right)$								

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....
.....Οριο υδαρότητας.....
.....Οριο πλαστικότητας.....
.....Δείκτης πλαστικότητας.....
.....
.....

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΑΣ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ

1.5.3. Όριο πλαστικότητας

1.5.3.1. Εισαγωγικές πληροφορίες - Σκοπός

Το όριο πλαστικότητας εδάφους αντιστοιχεί εξ ορισμού στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας, στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεά κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ράβδισμα διαμέτρου 3mm χωρίς ο ραβδίσκος να θραύεται.

1.5.3.2. Συσκευές –Υλικά

Συσκευές

1. Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου 12 cm περίπου.
2. Σπάτουλα με λεπίδα μήκους 8cm και πλάτους 2 cm περίπου.
3. Επιφάνεια για την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμυριδωμένη ή κομμάτι ομαλού και αστίλβωτου χαρτιού για κυλίνδρωση του δείγματος.
4. Υποδοχείς κατάλληλοι ώστε να προσαρμόζονται ύαλοι ωρολογίου για την πρόληψη απώλειας υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζυγίσεως.
5. Κλίβανος θερμοκρασίας 110° C.
6. Ζυγός ευαισθησίας 0,001 gr.

Υλικά

1. Λαμβάνεται εδαφικό δείγμα 20 gr περίπου, διερχόμενο από κόσκινο No 40.
2. Απεσταγμένο νερό.

1.5.3.3. Τρόπος Εργασίας - Πορείας

1. Ανάμειξη του εδαφικού δείγματος που έχει ξηρανθεί στον αέρα ή έχει παραμείνει σε υγραντήρα με απεσταγμένο νερό, μέσα σε κάψα από πορσελάνη, μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα σε βόλο. Παραλαβή 8gr από το βόλο που δημιουργήθηκε.

2. Κυλίνδρωση της μάζας των 8 gr στη γυάλινη πλάκα. Ρυθμός κυλίνδρωσης 80 – 90 κινήσεις / min.
3. Προσδιορισμός της διαμέτρου του ραβδίσκου με παχύμετρο τη στιγμή που αρχίζει ο θρυμματισμός του.
4. Συμπύεση των κομματιών και νέα κυλίνδρωση εφ' όσον δεν θρυμματίζεται σε διάμετρο 3 mm.
5. Επανάληψη των εργασιών έως ότου ο ραβδίσκος θρυμματίζεται μόλις λάβει τη διάμετρο των 3mm.
6. Τα μέρη του θραυσθέντος εδάφους τοποθετούνται σε προζυγισμένο υποδοχέα. Στη συνέχεια ο υποδοχέας και το έδαφος ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του.
7. Τοποθετούμε τον υποδοχέα και το έδαφος σε κλίβανο και ξηραίνονται μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία 110°C ±5°C. Στη συνέχεια ζυγίζουμε τον υποδοχέα και το ξηρό δείγμα και καταγράφουμε το δείγμα.
8. Επανάληψη των εργασιών ακόμα 2 φορές.

1.5.3.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.

Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό % του νερού, κατά βάρος που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3mm που ξηράνθηκαν στον κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους ως εξής:

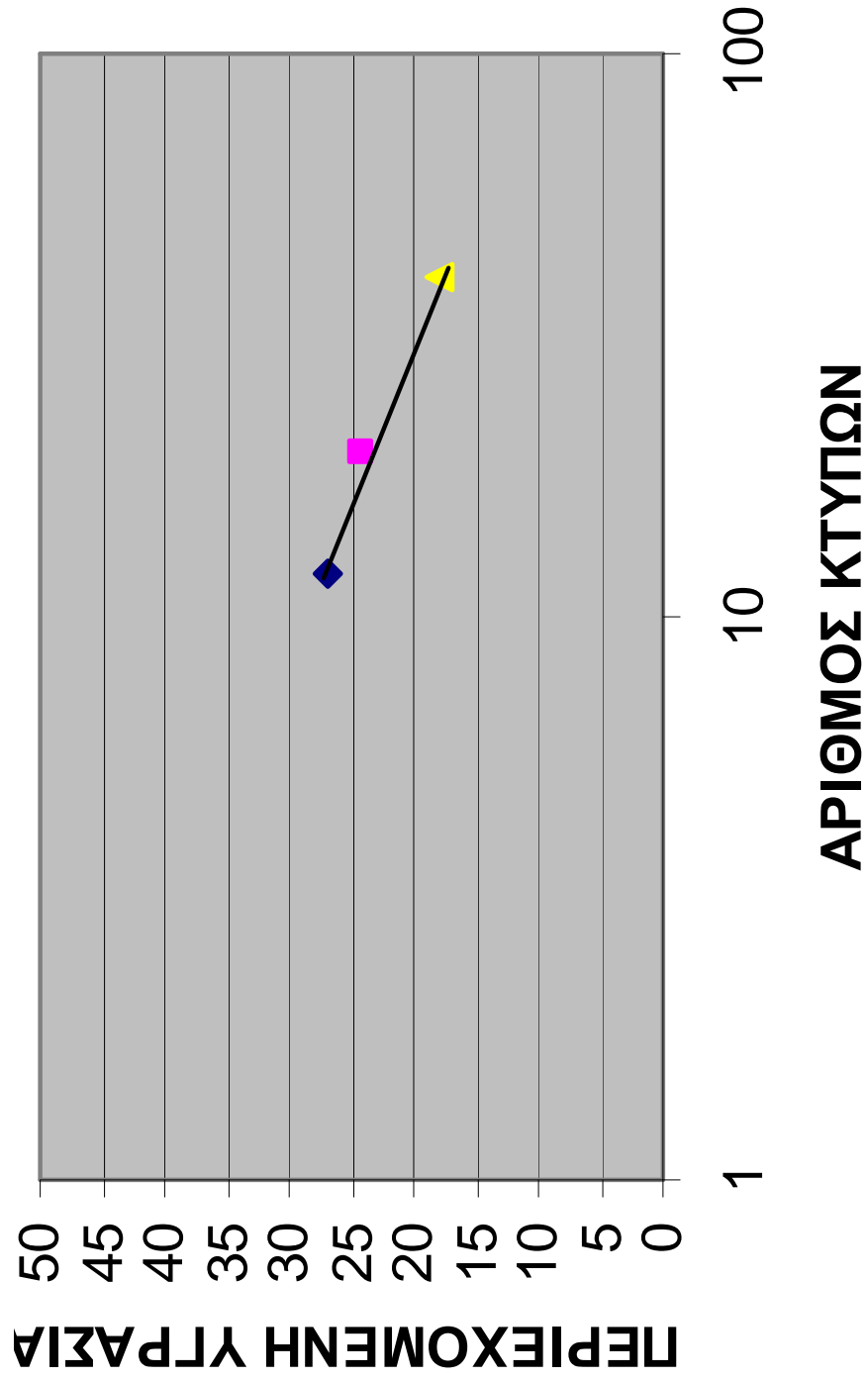
Όριο πλαστικότητας = Βάρος Νερού / Βάρος Εδάφους που ξηράνθηκε στον κλίβανο x100

$$W_P = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε και το δείκτη πλαστικότητας του εδάφους που είναι η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας.

$$I_P = W_L - W_P$$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



1.5.3.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

1. Η διαφορά που αναγράφεται από τον υπολογισμό του προηγούμενου τύπου αναφέρεται ως «δείκτης πλαστικότητας» με εξαίρεση τις εξής περιπτώσεις:
 - Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιοριστούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν **NP** (μη πλαστικό).
 - Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το W_p δεν μπορεί να προσδιοριστεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν **NP** (μη πλαστικό).
 - Όταν $W_p > W_L$ αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν **NP**
2. Για να είναι δυνατή η εύρεση ομοίων αποτελεσμάτων επί του αυτού μείγματος πρέπει να χρησιμοποιείται εδαφικό δείγμα που προηγουμένως να έχει τοποθετηθεί σε υγραντήρα.
3. Το W_p και I_p , όριο και ο δείκτης πλαστικότητας αντίστοιχα, εκφράζονται στρογγυλεμένοι στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Για υλικά $I_p < 10$ εκφράζεται με ακρίβεια 0,1.
4. Το όριο πλαστικότητας σε συνδυασμό με τον δείκτη πλαστικότητας δείχνει την καταλληλότητα του εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί σαν υλικό επιχωμάτων. Ένα συνεκτικό έδαφος με περιεκτικότητα σε νερό κάπως κάτω από το όριο πλαστικότητας συμπυκνώνεται πολύ εύκολα.
5. Αποφυγή βίαιου θρυμματισμού ραβδίσκων.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :	Αριθ. Δείγματος :
	Αριθ. Φύλλου :
	Ενάρξεως :
Χαρακτηρισμός εδάφους :	Ημερομηνία
	Λήξεως :
	Υπογραφή :

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG.

	<u>ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>
	Αριθ. Υποδοχέως								
	Αριθ. Κτύπων	40 N ₃	20 N ₂	12 N ₁					
A	Βάρος υγρού δειγμ. + υποδοχέως(gr)								
B	Βάρος ξηρού δειγμ. + υποδοχέως(gr)								
Γ	Βάρος ύδατος (Γ=A-B) (gr)								
Δ	Βάρος υποδοχέως(gr)								
E	Βάρος ξηρού δείγματος(E=B-Δ) (gr)								
Z	Ενεχόμενη υγρασία $\left(Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E} \right)$	27	23	18					

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....
.....Όριο υδαρότητας.....
.....Όριο πλαστικότητας.....
.....Δείκτης πλαστικότητας.....
.....
.....

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΑΣ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :	Αριθ, Δείγματος :
	Αριθ. Φύλλου :
	Ενάρξεως :
Χαρακτηρισμός εδάφους :	Ημερομηνία
	Λήξεως :
	Υπογραφή :

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG.

	<u>ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Υδ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>	<u>Ορ.</u> <u>Πλ.</u>
	Αριθ. Υποδοχέως								
	Αριθ. Κτύπων								
A	Βάρος υγρού δειγμ. + υποδοχέως(gr)								
B	Βάρος ξηρού δειγμ. + υποδοχέως(gr)								
Γ	Βάρος ύδατος (Γ=A-B) (gr)								
Δ	Βάρος υποδοχέως(gr)								
E	Βάρος ξηρού δείγματος(E=B-Δ) (gr)								
Z	Ενεχόμενη υγρασία $\left(Z = \frac{\Gamma \cdot 100}{E} \right)$								

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....
.....Όριο υδαρότητας.....
.....Όριο πλαστικότητας.....
.....Δείκτης πλαστικότητας.....
.....
.....

Ο ΕΚΤΕΛΕΣΑΣ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ

Α.Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΩΝ								ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΜΗ- ΧΑΝΙΚΗΣ
	AASHO T-89, T-90								
Δειγματοληψία									
Θέση:									Ημερομηνία ελέγχου:
Ημερομηνία δειγ.:									Σελίδα 1 / 2
Είδος δείγματος:									Αρ.Δείγματος :
	ΔΟΚΙΜΗ			Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας			Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας		
	Αριθμός Δοκιμής			1	2	3	1	2	3
	Αριθμός Υποδοχέα								
	Αριθμός κτύπων						-	-	-
A	Βάρος υγρού Δειγμ. + Υποδοχέα (g)								
B	Βάρος ξηρού Δειγμ. + Υποδοχέα (g)								
Γ	Βάρος ύδατος (g) (Γ=A-B)								
Δ	Βάρος Υποδοχέα (g)								
E	Βάρος ξηρού δείγματος (g) (E=B-Δ)								
Z	Περιεχόμενη υγρασία % (Z=Γ*100/E)								
ΠΑΡΑΤΗ-ΡΗΣΕΙΣ:							Μ.Ο. Υγρασίας		
							Όριο υδαρότητας		LL ή W _L =
							Όριο πλαστικότητας		PL ή W _p =
							Δείκτης πλαστικότητας		PI ή I _p =
<u>Εκτέλεση από:</u>	<u>Παρατηρήσεις:</u>								
Όνομα:									
Ημ/νία:									
Υπ/φή:									

1.5.4. Όριο Συρρίκνωσης.

1.5.4.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Όριο συρρίκνωσης είναι η περιεκτικότητα εκείνη σε νερό που αρκεί να πληρώσει τα κενά του ξηρανθέντος δείγματος.

Για τον προσδιορισμό του εργαστηριακά , αρκεί η παρακάτω μέθοδος.

1.5.4.2. Συσκευές – Υλικά

Συσκευές

1. Ογκομετρικός Κύλινδρος.
2. Υποδοχείς.
3. Σπαθίδα.
4. Δοχείο τήξεως παραφίνης.
5. Ζυγός ακριβείας 0,01 gr.
6. Κλίβανος
7. Θερμόμετρο.
8. Πυκνόμετρο (αναγκαίο για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους)

Υλικά

1. Εδαφικό Δείγμα.
2. Νερό απεσταγμένο.
3. Παραφίνη.

1.5.4.3. Τρόπος Εργασίας – Πορεία.

1. Καθαρίζουμε καλά τον ογκομετρικό κύλινδρο και τον γεμίζουμε κατά τα $\frac{3}{4}$ με απεσταγμένο νερό. Καταγράφουμε τη στάθμη του νερού.
2. Παίρνουμε κομμάτι του προς δοκιμή δείγματος του εδάφους που το σχήμα του να είναι έτσι , ώστε εύκολα να μπορεί να τοποθετηθεί στον ογκομετρικό κύλινδρο και τον ζυγίζουμε με ακρίβεια 0,01 gr.

3. Βαπτίζουμε το δείγμα σε λειωμένη παραφίνη ώστε να καλυφθεί με ένα λεπτό υμένα.
4. Ζυγίζουμε το παραφινωμένο δείγμα του εδάφους και το τοποθετούμε μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο που περιέχει νερό και σημειώνουμε την ένδειξη της νέας στάθμης του νερού.
5. Επαναλαμβάνουμε τις παραπάνω διαδικασίες τουλάχιστον 3 φορές.
6. Στην συνέχεια προσδιορίζουμε την υγρασία και το ειδικό βάρος του εδάφους.

1.5.4.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί.

Από τις προηγούμενες διαδικασίες 1, 2, 3, 4 είναι προφανές ότι προσδιορίζεται ο όγκος του εδαφικού δείγματος αφού είναι γνωστή η πυκνότητα της παραφίνης $0,89 \text{ gr/cm}^3$, ενώ το βάρος του ξηρού δείγματος:

$$W_s = \frac{W_{ugro} 100}{100 + W} (gr) \quad \text{όπου } W \text{ η περιεχόμενη υγρασία (\%)}$$

Τέλος το όριο συρρίκνωσης δίνεται από τον τύπο:

$$S_w = \frac{V - V_s}{W_s} G_T \quad \text{όπου } G_T \text{ το ειδικό βάρος νερού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία}$$

1.5.4.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

Όριο συρρίκνωσης μεγαλύτερο από 0,15 περίπου χαρακτηρίζει κακά εδάφη. Μόλις στεγνώσουν γεμίζουν ρωγμές που όταν βρέξει διευκολύνουν τη διείσδυση του νερού και αυξάνουν τον κίνδυνο κατολίσθησης και εκτίναξης στον παγετό.

Γενικά όλες οι συσκευές στα όρια Atterberg, δηλ. η συσκευή Casagrande (κύπελλο), η πλάκα κυλίνδρωσης καθώς και οι υποδοχείς πρέπει να είναι απόλυτα στεγανά και καθαρά για κάθε δοκιμή.

Για τα πλέον λεπτόκοκκα εδάφη, όπως είναι οι άργιλοι και οι ιλύες, οι βασικοί δείκτες για την κατάταξή τους είναι τα όρια **Atterberg**.

Τα όρια Atterberg είναι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας, στις οποίες παρατηρείται μετάπτωση της κατάστασης του εδάφους από την “υγρή” στην “πλαστική” και στη συνέχεια στην “ημιστερεή” και στη “στερεή” κατάσταση.

Ειδικότερα τα όρια Atterberg ορίζονται ως εξής:

1. **Όριο υδαρότητας (LL)** : όριο υδαρότητας είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας, εξαιτίας της οποίας τα τοιχώματα διαμορφωμένης εγκοπής ενός δείγματος εδάφους, που τοποθετείται στη συσκευή Casagrande, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μετά από 25 κρούσεις.

2. **Όριο πλαστιμότητας (PL)** : είναι η περιεχόμενη υγρασία, εξαιτίας της οποίας ένα δείγμα εδάφους αρχίζει να θρυμματίζεται σε μικρά τεμάχια όταν πλάθεται σε λεπτές ίνες, μόλις φθάσει σε διάμετρο 3mm.

3. **Όριο συρρίκνωσης (SL)** : είναι η περιεχόμενη υγρασία, που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ποσότητα ύδατος για την πλήρωση των πόρων, όταν το δείγμα έχει τον ελάχιστο του όγκου του μετά από ξήρανση. Για μικρότερη περιεκτικότητα νερού το δείγμα παύει να είναι κορεσμένο. Με τη βοήθεια αυτών των ορίων προσδιορίζονται οι δείκτες:

• **Δείκτης πλαστιμότητας (PI)** : ονομάζεται η διαφορά μεταξύ των ορίων υδαρότητας και πλαστιμότητας $PI=LL-PL$.

• **Δείκτης υδαρότητας (LI)** : ονομάζεται το πηλίκιο
 $LI=(W-PL)/(LL-PL)$,

• **Δείκτης συνεκτικότητας (cr)** : ονομάζεται το πηλίκιο
 $cr=(LL-W)/(LL-PL)$,

Το όριο υδαρότητας LL και ο δείκτης πλαστιμότητας PI χρησιμεύουν στην κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande.

Επί τόπου διάκριση ιλύων και αργίλων.

• **Δοκιμή καθίζησης:** Αναμιγνύουμε δείγμα εδάφους σε ένα ποτήρι με νερό και μετράμε τον χρόνο, ο οποίος απαιτείται για να γίνει το νερό διαυγές. Εάν το έδαφος είναι ιλύς, τότε θα κατακαθίσει σε 10 έως 60 λεπτά, ενώ εάν είναι άργιλος θα περάσουν πολλές ώρες ή και ημέρες.

- **Δοκιμή αντοχής:** Αποξηραίνουμε μικρό δείγμα εδάφους και στη συνέχεια το θραύουμε με τα δάχτυλα. Εάν είναι άργιλος, τότε θραύεται σχετικά δύσκολα, ενώ η ιλύς θραύεται εύκολα. Επιπλέον εάν τρίψουμε την ιλύ αφήνει σκόνη στα δάχτυλα.
- **Δοκιμή πλαστιμότητας:** Τα αργιλικά εδάφη που περιέχουν κατάλληλη ποσότητα νερού πλάθονται σε λεπτές ίνες, ενώ η ιλύς πλάθεται πολύ δύσκολα και με μεγάλη ποσότητα περιεχόμενου νερού.
- **Δοκιμή ανατάραξης:** Σε μικρή ποσότητα εδάφους προσθέτουμε νερό μέχρι να πλάθεται. Κατόπιν το εκτινάσσουμε ανάμεσα στις παλάμες μας οπότε παρατηρούμε, ότι στη μεν ιλύ η επιφάνεια του δείγματος γίνεται υγρή και λαμπρή, στη δε άργιλο δεν παρατηρούνται αυτές οι αλλαγές γιατί το νερό διασχίζει με πολλή δυσκολία τα σωματίδια της αργίλου.

1.6. Πορώδες – Δείκτης κενών.

1.6.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Το μέγεθος των κενών του εδάφους προσδιορίζεται με το πορώδες n και δείκτη πόρων e . Το πορώδες ορίζεται σαν τον λόγο του όγκου των κενών προς το συνολικό όγκο $n=V_V/V_O$.

Ο δείκτης κενών ορίζεται σαν τον λόγο των κενών προς τον όγκο των στερεών $e= V_V/V_S$.

Και τα δύο εκφράζονται σε ποσοστό επί τοις εκατό % .

Επειδή για τον ακριβή προσδιορισμό των n και e θέλουμε αδιατάρακτα εδάφη, στα κοκκώδη εδάφη είναι προφανές ότι η λήψη αδιατάρακτου δείγματος είναι αδύνατη.

Το πορώδες σχετίζεται άμεσα με την διαπερατότητα, το φαινόμενο βάρος, την τριχοειδή ανύψωση και άλλα εδαφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι οι τιμές του πορώδους κυμαίνονται από 20 – 85 % ενώ ο δείκτης πόρων μπορεί να παίρνει τιμές γύρω στη μονάδα.

Επίσης το πορώδες και ο δείκτης πόρων σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους και συνδέονται με τις σχέσεις:

$$e = \frac{n}{1-n} \text{ και } n = \frac{e}{1+e}$$

Τελικά οι συντελεστές n και e δεν είναι αρκετοί για να μας πληροφορήσουν κατά πόσο το έδαφος είναι συμπαγές ή χαλαρό.

Γι' αυτό εισάγουμε τον δείκτη σχετικής πυκνότητας D_r

$$D_r = \frac{e_L - e}{e_L - e_D} 100 (\%)$$

Όπου e_L : τιμή e για την χαλαρή κατάσταση του εδάφους.

e_D : τιμή e για τη συμπαγή κατάσταση του εδάφους.

1.6.2. Συσκευές – Υλικά

Συσκευές

1. Ογκομετρικός Κύλινδρος 200ml.
2. Πυκνόμετρο για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους .
3. Θερμόμετρο.
4. Σπαθίδα.
5. Υποδοχείς.
6. Κλίβανος
7. Δοχείο τήξεως παραφίνης.
8. Ζυγός ικανότητας 200 gr ή περισσότερο και ακριβείας 0,01 gr.

Υλικά

1. Εδαφικό δείγμα αδιατάρακτο.
2. Νερό απεσταγμένο.
3. Παραφίνη.

1.6.3. Τρόπος Εργασίας – Πορεία.

1. Καθαρίζουμε καλά τον ογκομετρικό κύλινδρο και γεμίζουμε τα $\frac{3}{4}$ με απεσταγμένο νερό.
2. Διαβάζουμε και καταγράφουμε ακριβώς την αρχική στάθμη του νερού.
3. Παίρνουμε ένα κομμάτι του προς εξέταση δείγματος εδάφους με τέτοιο σχήμα έτσι ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί εύκολα στον ογκομετρικό κύλινδρο και το ζυγίζουμε με ακρίβεια 0,01gr.
4. Στη συνέχεια βαπτίζουμε το δείγμα μέσα σε λειωμένη παραφίνη έτσι ώστε να καλυφθεί με λεπτό υμένα.
5. Ζυγίζουμε το παραφινωμένο πλέον δείγμα και το τοποθετούμε μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο με νερό και σημειώνουμε την ένδειξη της νέας στάθμης του νερού.
6. Επαναλαμβάνουμε τις παραπάνω διαδικασίες τουλάχιστον 3 φορές
7. Τελικά προσδιορίζουμε την υγρασία και το ειδικό βάρος του εδάφους.

1.6.4. Έντυπα μετρήσεων - Υπολογισμοί.

Από τις παραπάνω μετρήσεις προσδιορίζεται άνετα ο όγκος του εδαφικού δείγματος.

Ξέρουμε ότι η πυκνότητα της παραφίνης είναι $B=0,892 \text{ gr/cm}^3$. Γνωστό είναι και το βάρος του ξηρού εδάφους και το ειδικό βάρος γ_s που έχει προσδιοριστεί και είναι:

$$\gamma_s = \frac{W_s g_w}{W_s - W_1 + W_2}$$

Άρα αρχικά προσδιορίζεται:

$$W_s = \frac{W_{ugro}}{1 + W}$$

Στη συνέχεια $V_s = \frac{W_s}{g_s}$ ο όγκος της στερεάς βάσης.

$$\text{συνεπώς } n = 1 - \frac{W_s}{V g_s}, e = \frac{V g_s}{W_s} - 1$$

1.6.5. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα.

Λόγω δυνατότητας λήψης αδιατάρακτου δείγματος είναι ακριβής ο υπολογισμός των e , n στα συνεκτικά εδάφη, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο με τα κοκκώδη εδάφη.

Επιπλέον με τη βοήθεια των n και e , μπορούμε να βρούμε το φαινόμενο βάρος γ και την πυκνότητα εναπόθεσης D . Ο όγκος των κενών είναι βοηθητική τιμή στον προσδιορισμό της διαπερατότητας k , της συμπιεστικότητας και της συμπύκνωσης του εδάφους.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα, σελίδες 164-171.

ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ					
Α/ Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	e, n, S _w ΜΟΝΑΔΕ Σ	ΔΟΚΙΜΗ		
			1 ^Η	2 ^Η	3 ^Η
A	Βάρους υγρού δείγματος και παραφίνης	gr	52,5	45,5	49,5
B	Βάρους εδάφους	gr	49,5	43	47
Γ	Βάρους παραφίνης (Γ=A-B)	gr	3,00	2,50	2,50
Δ	Πυκνότητα παραφίνης	gr/cm ³	0,89	0,89	0,89
E	Όγκος παραφίνης (E=Γ/Δ)	cm ³	3,37	2,81	2,81
Z	Αρχική ανάγνωση στάθμης νερού	cm ³	300	325	350
H	Τελική ανάγνωση στάθμης νερού	cm ³	325	350	375
Θ	Όγκος εδάφους & παραφίνης (Θ=H-Z)	cm ³	25	25	25
I	Όγκος εδαφικού δείγματος (I=Θ-E)	cm ³	21,6 3	22,1 9	22,1 9
K	Περιεχόμενη υγρασία εδάφους	%	20,8	16,6	19,2
Λ	Βάρους ξηρού εδαφικού δείγματος (Λ= 100*B/100+K)	gr	40,9 8	36,8 8	39,4 3
M	Ειδικό βάρος εδάφους	gr/cm ³	2,5	2,5	2,5
N	Όγκος στερεού εδάφους (N=Λ/M)	cm ³	16,3 9	14,7 5	15,7 7
Ξ	Όγκος κενών (Ξ=I-N)	cm ³	5,24	7,44	6,42
n	Πορώδες (n=Ξ/I*100)	%	24,2 2	33,5 3	28,9 3
e	Δείκτης Πόρων (e=Ξ/N*100)	%	31,9 6	50,4 3	40,7 0
G _T	Ειδικό βάρος νερού	gr/cm ³	1	1	1
S _w	Όριο συρρίκνωσης S _w =(Ξ *100/Λ)* G _T	%	12,7 8	20,1 7	16,2 8
S W	Μέσος όρος ορίου S _w =S _{w1} +S _{w2} +S _{w3} / 3		16,41		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:					

1.7. Δοκιμή κατά Proctor.

1.7.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Οι δοκιμές κατά Proctor έχουν σαν σκοπό τον προσδιορισμό της σχέσεως μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας των εδαφών με συμπίκνωση αυτών μέσα σε τύπο καθορισμένων προδιαγραφών.

Στην συνέχεια αφού πραγματοποιηθεί η συμπίκνωση προσδιορίζεται το ξηρό ειδικό βάρος του δείγματος. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για διάφορες περιεκτικότητες σε νερό ώστε να μπορεί να καθοριστεί με σαφήνεια η σχέση μεταξύ ξηρού ειδικού βάρους και υγρασίας.

Η δοκιμή Proctor είναι μεγάλης σημασίας για τον καθορισμό της βέλτιστης πυκνότητας συνεκτικού εδάφους, γιατί αυτή επιτυγχάνεται μόνο με μια τελείως καθορισμένη περιεκτικότητα σε νερό. Αυτό γιατί δεν μπορεί να είναι πολύ το νερό στο έδαφος, γιατί τότε παρεμποδίζει την μέγιστη δυνατή προσέγγιση των κόκκων και το υλικό είναι πολύ μαλακό. Από την άλλη μεριά δεν μπορεί να είναι λιγοστό γιατί τότε λείπει το λιπαντικό για την μείωση των τριβών ανάμεσα στους κόκκους οπότε σχηματίζονται εύκολα σκληροί γρόμποι. Η περιεκτικότητα σε νερό που μόλις δεν εμποδίζει αλλά και είναι και λέγεται βέλτιστη. Η αντίστοιχη ξηρή πυκνότητα λέγεται πυκνότητα Proctor. Συμπερασματικά η μέθοδος αυτή έχει στόχο να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφών πάνω στα οποία πρόκειται να εκτελεστούν κάποια έργα (οδοποιία, φράγματα, κτιριακά έργα κ.λ.π.).

1.7.2. Συσκευές - Υλικά.

Συσκευές

1. Τύπος κυλινδρικού σχήματος μεταλλικός μετά δακτυλίου ύψους περίπου 6,3cm. Διαστάσεις τύπου βάσει προδιαγραφών ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο.
2. Ηλεκτρικός μεταλλικός κόπανος διαστάσεων και βάρους βάσει προδιαγραφών.

3. Εξολκέας δείγματος: Κατάλληλη συσκευή για την εξαγωγή των συμπυκνωθέντων δοκιμίων από τον τύπο.
4. Ζυγοί: Ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 10 Kg και ακριβείας ως 5 gr και ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 1 Kg και ακριβείας ως 0,1 gr.
5. Κλίβανος ξηράνσεως: Ένας θερμοστατικός ελεγχόμενος κλίβανος ξηράνσεως ικανός για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε 110 ± 5 °C για την ξήρανση υγρών δειγμάτων.
6. Κανόνας χαλύβδινος μήκους 30 cm που έχει μια πλευρά λοξά κομμένη.
7. Κόσκινα $\frac{3}{4}$ ''.
8. Εργαλεία αναμείξεως (λεκάνη, κουτάλι, μυστρί, σπάτουλα κ.λ.π.).

Υλικά

1. Εδαφικό δείγμα διερχόμενο από κόσκινο $\frac{3}{4}$ ''.

1.7.3. Τρόπος εργασίας - Πορεία.

1. Παραλαβή 12 Kg εδαφικού δείγματος το οποίο έχει περάσει από κόσκινο $\frac{3}{4}$ και έχει ξηρανθεί μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος.
2. Διαχωρισμός του υλικού (σε πέντε μέρη συνήθως) και ανάμειξη κάθε αντιπροσωπευτικής ποσότητας ξεχωριστά σε νερό διάφορης αναλογίας (ανάλογα με το υλικό) .
3. Τοποθέτηση του τύπου επί σταθερού βάθρου.
4. Σχηματισμός του δοκιμίου σε τρεις διαδοχικές στρώσεις πάχους 4,2 cm η κάθε μία αφού προηγουμένως κάθε στρώση κοπανηθεί ομοιόμορφα με 25 κτύπους.
5. Αφαίρεση του δακτυλίου και εξομάλυνση (με κάθετη τομή στο ύψος των χειλέων του τύπου και με σύγχρονη συμπλήρωση λεπτόκοκκου υλικού στα σημεία όπου η τομή δημιούργησε ανωμαλίες).
6. Ζύγιση του τύπου με το συμπυκνωθέν δοκίμιο.

7. Προσδιορισμός του βάρους του δοκιμίου αφού αφαιρεθεί το βάρος του τύπου.
8. Προσδιορισμός του υγρού φαινομένου βάρους γ_w .
9. Εξαγωγή του δοκιμίου από τον τύπο και με αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος υπολογίζουμε την υγρασία.
10. Προσδιορισμός του ξηρού φαινομένου βάρους γ_d .
11. Επανάληψη των παραπάνω διαδικασιών για τα άλλα 4 δείγματα.

1.7.4. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.

1. Ο προσδιορισμός βέλτιστης υγρασίας – μέγιστης συμπίκνωσης εδάφους κατά Proctor γίνεται βάση δύο προδιαγραφών:

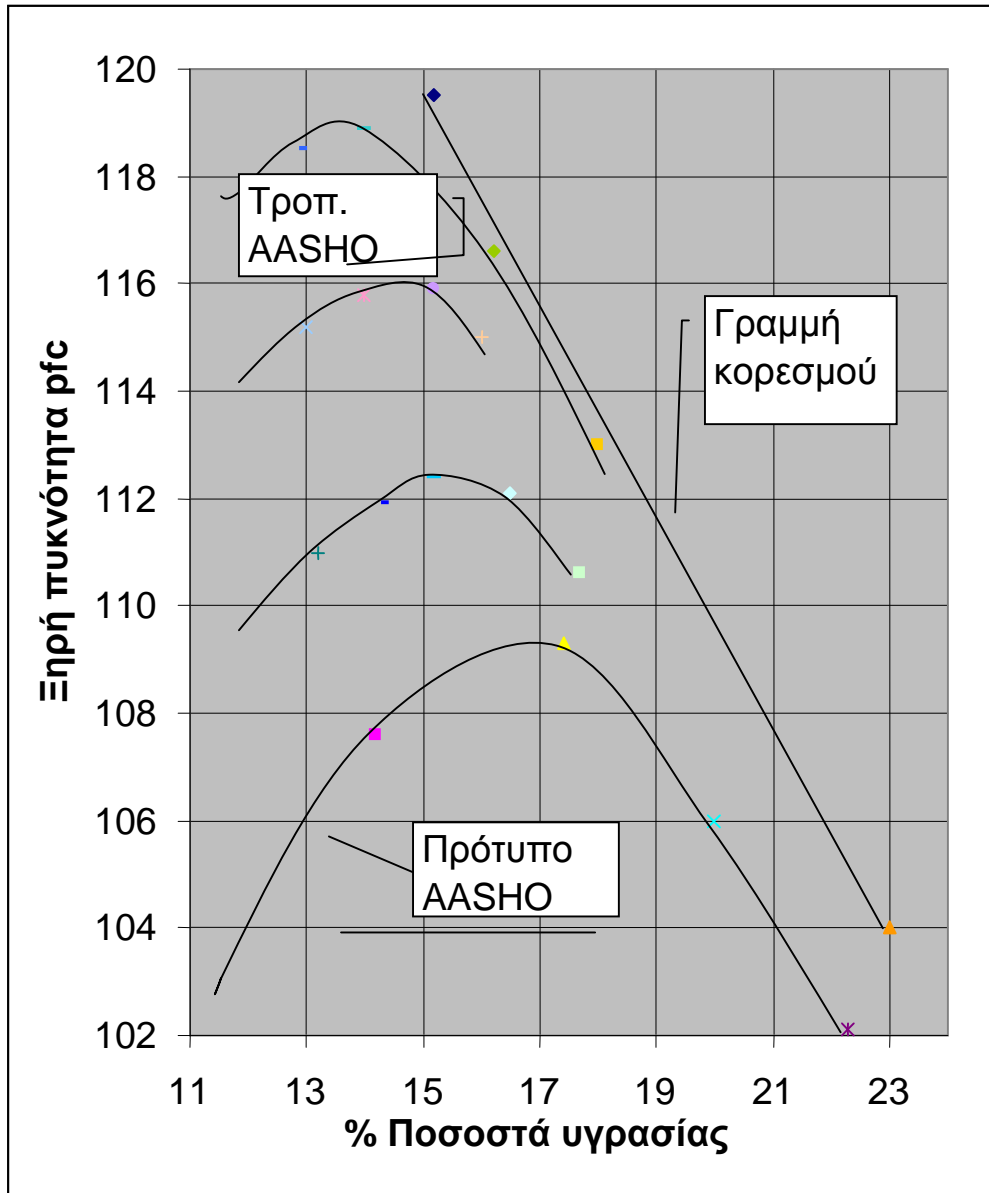
AASHO: T 9961 και AASHO : T180-61. Η βασική διάκριση στις παραπάνω προδιαγραφές συνίσταται στις διαφορετικές τιμές βάρους κοπάνου – ύψους πτώσεως κοπάνου.

Κάθε προδιαγραφή περιλαμβάνει 4 μεθόδους δοκιμής. Η εκλογή των μεθόδων εξαρτάται από το προς συμπίκνωση έδαφος.

2. Ανάλογα με την τελικώς εφαρμοζόμενη προδιαγραφή και μέθοδο έχουμε και διαφορετικές τιμές διαστάσεων – βαρών των συσκευών.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα ,σελίδες 172-186.

Ενδεικτικές Καμπύλες Proctor



1.8. Μέθοδος κώνου και άμμου.

1.8.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Η μέθοδος αυτή είναι μια εργαστηριακή δοκιμή που γίνεται **επί τόπου στο έργο** και στοχεύει στο να ελέγξει την επιτευχθείσα συμπύκνωση και να την συγκρίνει με την προσδιορισθείσα εργαστηριακή συμπύκνωση με την μέθοδο Proctor.

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει την πυκνότητα σε τοποθεσία με ρηχά εδάφη και ιδιαίτερα σε συμπαγή εδάφη που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εθνικών οδών, για χωματώδη φράγματα και σε διάφορες άλλες κατασκευές.

Έτσι προσδιορίζεται το επί τόπου ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους και το συγκρίνουμε με το μέγιστο ξηρό φαινόμενο βάρος που διαπιστώθηκε κατά Proctor ότι μπορεί να επιτευχθεί.

1.8.2. Συσκευές - Υλικά.

Συσκευές

1. Συσκευή προσδιορισμού πυκνότητας, η οποία αποτελείται από τα παρακάτω μέρη.

- Δύο ελαστικά δοχεία άμμου, χωρητικότητας 5lt.
- Μεταλλική χοάνη, με προσαρμοσμένη στη βάση της μια ειδική βαλβίδα επιτρέποντας την εκροή ή όχι της άμμου στο δοχείο. Διάμετρος του κώνου 6''.
- Μεταλλική κυκλική βάση

2. Ζυγοί.

Υλικά

1. Άμμος καθαρή και ρέουσα , στεγνή και καθορισμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης .
2. Νερό.
3. Εδαφικό μείγμα.

1.8.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία – Υπολογισμοί - Έντυπα.

1.8.3.1. Προσδιορισμός του όγκου της συσκευής (μέχρι την βαλβίδα).

1. Ζυγίζουμε το δοχείο κενό (W_1).
2. Τοποθετούμε το δοχείο σε όρθια θέση και ανοίγουμε τη βαλβίδα.
3. Γεμίζουμε με απεσταγμένο νερό την συσκευή μέχρι να προσεγγίσει την βαλβίδα και απομακρύνουμε τυχόν περισσεύουσα ποσότητα νερού πάνω από την βαλβίδα. Κλείνουμε την βαλβίδα.

Υπολογισμοί

Βάρος νερού συσκευής : $W = W_2 - W_1$ gr

Όγκος συσκευής : $V = W \cdot \gamma_w$

(σε συσχέτιση με K_w , που δίνεται από τον παρακάτω πίνακα συναρτήσεων)

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΥΤΟΥ		
Θερμοκρασία		$\gamma_w = \frac{1}{K_w}$
°C	°F	kw = 1/ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ
12	53.6	1.00048
14	57.2	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.6	1.00177
22	71.6	1.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497

1.8.3.2. Προσδιορισμός Φ.Β. της άμμου.

1. Τοποθετούμε το άδειο δοχείο σε όρθια θέση και το συνδέουμε με τη βαλβίδα της χοάνης.
2. Κλείνουμε την βαλβίδα και γεμίζουμε τη χοάνη με άμμο.
Αυτός ο χειρισμός γίνεται προσεκτικά για να αποφύγουμε διάφορες κρούσεις και δονήσεις.
3. Γεμίζουμε το δοχείο με άμμο, ανοίγοντας την βαλβίδα της χοάνης, προσέχοντας όμως να μην ξεπερνάει η στάθμη της άμμου της χοάνης το μέσον αυτής, κατά την εκροή της άμμου στο δοχείο.
4. Όταν η ροή σταματήσει κλείνουμε την βαλβίδα και απομακρύνουμε τυχόν υπολείμματα πάνω από το δοχείο,
5. Προσδιορίζουμε βάρος άμμου και συσκευής W_3 .

Υπολογισμοί

Βάρος άμμου συσκευής: $W_4 = W_3 - W_1$ (Kgr)

Όγκος συσκευής : V σε dm^3 όπου $1 dm^3 = 1000 cm^3$.

$$\gamma_{\text{Άμμου}} = \frac{W_4}{V} \text{ Kgr} / dm^3 \text{ ή } 1 dm^3 = 10^{-3} cm^3$$

1.8.3.3. Προσδιορισμός του βάρους της άμμου, που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη.

1. Ανατρέπουμε την συσκευή σε επίπεδη επιφάνεια και ανοίγουμε την βαλβίδα.
2. Κλείνουμε την βαλβίδα όταν σταματήσει η ροή της άμμου μέσα στη φιάλη γεγονός που συμβαίνει όταν το χωνί έχει γεμίσει με άμμο.
3. Ζυγίζουμε την άμμο που έμεινε στη φιάλη μαζί με την συσκευή W_5 .

Υπολογισμοί

Βάρος άμμου που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη :

$$W_6 = W_3 - W_5$$

1.8.3.4. Προσδιορισμός όγκου V και βάρους (W_{10}) του υλικού που θα εξαχθεί από την οπή δοκιμής.

1. Προετοιμάζουμε την επιφάνεια του εδάφους που θα ελεγχθεί, έτσι ώστε να είναι επίπεδη και καθαρή.
2. Τοποθετούμε το αναστρεφόμενο δοχείο στο έδαφος και χαράσσουμε το περίγραμμα της χοάνης.
3. Σκάπτουμε την «οπή» ελέγχου που έχει δημιουργηθεί από το περίγραμμά της χοάνης, προσέχοντας να μην διακινήσουμε το υπόλοιπο έδαφος, που περιβάλλει την «οπή» ελέγχου.

Τοποθετούμε όλη την ποσότητα του χώματος που πήραμε σαν δείγμα, μέσα σε ένα δοχείο, προσέχοντας να μην χάσουμε καθόλου δείγμα και ζυγίζουμε W_7 .

4. Γεμίζουμε το δοχείο με άμμο όπως περιγράφουμε παραπάνω και το ζυγίζουμε.

5. Τοποθετούμε το δοχείο στο χαραγμένο περίγραμμα της χοάνης και ανοίγουμε την βαλβίδα.

Κλείνουμε την βαλβίδα, όταν θα σταματήσει η πτώση από το δοχείο.

6. Ζυγίζουμε πάλι το βάρος του δοχείου (με την παραμένουσα άμμο) και προσδιορίζουμε το βάρος της άμμου, που χρειάστηκε για να γεμίσει η «οπή» ελέγχου W_8 .

7. Ζυγίζουμε το δείγμα εδάφους που μετακινήσαμε.

Αναδεύουμε το δείγμα με νερό και ζυγίζουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.

8. Αποξηραίνουμε και ζυγίζουμε το δείγμα υγρασίας.

** Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τον ελάχιστο όγκο της «οπής» ελέγχου, το ελάχιστο βάρος του δείγματος υγρασίας και το μέγιστο σε σχέση με το μέγιστο μέγεθος σωματιδίου σε mm.

Μέγιστο μέγεθος σωματιδίου (mm)	Ελάχιστος όγκος οπής (lt)	Ελάχιστο βάρος δείγματος υγρασίας (gr)
4.75	0.700	100
15.50	1.400	250
25.00	2.100	500
50.00	2.800	1000
63.00	3.800	1500

Υπολογισμοί

Βάρος άμμου όπου εισήλθε στην οπή δοκιμής W_9 :

$$W_9 = W_3 - (W_8 + W_6)$$

Βάρος ξηρού υλικού οπής δοκιμής:

$$W_{10} = \frac{W_7}{W_{ugr} + 100} \cdot 100 \text{ (Kgr)}$$

Όγκος υλικού = όγκος άμμου που εισήλθε στην οπή δοκιμής:

$$V_{υλικου} = V_{αμ} = \frac{W_9}{V_{υλικ}} \text{ (Kgr/dm}^3\text{)}$$

$$\Xiηρά \text{ πυκνότητα εδάφους } \gamma_d = \frac{W_{10}}{V_{υλικ}} \text{ (Kgr/dm}^3\text{)}$$

1.8.4. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και εμπειρία στην επί τόπου δειγματοληψία εδαφικού δείγματος με την πλάκα έδρασης. Χρειάζεται επίσης ιδιαίτερη προσοχή στην πλήρη επαφή της πλάκας έδρασης με την πλάκα παραλαβής του δείγματος και στην αποφυγή απώλειας υλικού.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα ,σελίδες 187-199.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΩΝΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :Αριθ.Δείγματος :

Γεώτρηση : Βάθος :Αριθ.Φύλλο :

Ενάρξεως:

Χαρακτηρισμός εδάφους : Ημερομηνία

Λήξεως :

Υπογραφή :

α/α	Περιγραφή μετρήσεων	Μον.	1	2	3
A	Βάρος κενής συσκευής				
B	Βάρος συσκευής + Βάρος ύδατος				
Γ	Βάρος περιεχόμενου ύδατος ($\Gamma=B-A$)				
Δ	Όγκος συσκευής $V = \Delta = \Gamma \cdot K$ ml				
E	Βάρος συσκευής + Βάρος άμμου				
Z	Βάρος Άμμου $Z = E - A$				
H	Φαινόμενο βάρος Άμμου $H = Z/\Delta$				
Θ	Βάρος συσκευής + Βάρος άμμου μετά την				
I	Βάρος άμμου χοάνης $I = E - \Theta$				
K	Βάρος εδαφικού δείγματος οπής.				
Λ	Βάρος συσκευής + βάρος άμμου που				
M	Βάρος άμμου οπής $M = E - (\Lambda + I)$				
N	Βάρος υγρού δείγματος				
Ξ	Βάρος ξηρού δείγματος				
O	Περιεχόμενη υγρασία $O = ((N - \Xi) / \Xi) \cdot 100\%$				
Π	Βάρος ξηρού δείγματος οπής $\Pi = (K / (O + 100)) \cdot 100$				
P	Όγκος υλικού $P = M/H$				
Σ	Ξηρά πυκνότητα $\Sigma = \Pi/P$				

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ασκήσεις προσδιορισμού Παραμέτρων αντοχής και παραμόρφωσης εδάφους.

2.1. Γενικά

Στην κατηγορία αυτή των εργαστηριακών ασκήσεων ανήκουν οι εξής δοκιμές:

- Άμεση διάτμηση.
- Απλή θλίψη.
- Τριαξονική θλίψη.
- Στερεοποίηση.
- CBR (Συμπιεστότητα).
- Δυναμικό πενετόμετρο.

2.1.1. Εισαγωγή στις εργαστηριακές μεθόδους προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής εδαφών.

Η αντοχή του εδάφους είναι μία φυσική ιδιότητα, μεγάλου ενδιαφέροντος για τον σχεδιασμό των τεχνικών έργων που εδράζονται στο έδαφος ή κατασκευάζονται μέσα σε αυτό. Η αντοχή είναι ένα μέγεθος το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί με μεθόδους έρευνας πεδίου ή να μετρηθεί με εργαστηριακές μεθόδους. Συνήθως εκφράζεται αριθμητικά με τις παραμέτρους αντοχής οι οποίες είναι άμεσα συνυφασμένες με κάποιο νόμο – μοντέλο αστοχίας.

Τα εδάφη αστοχούν υπό κάποια ένταση, συνήθως σχηματίζοντας επίπεδα αστοχίας. Στα επίπεδα εκδηλώνεται η αστοχία με ολίσθηση. Η ολίσθηση προκαλείται από την διατμητική τάση σε αυτό το επίπεδο. Έτσι συνηθίζουμε να μιλάμε για «Διατμητική αστοχία» όπως και για «Διατμητική αντοχή». Η

Διατμητική αντοχή είναι το μέγεθος στο οποίο θα αναφερόμαστε και θα είναι αντιπροσωπευτικό για την συνολική αντοχή του εδάφους.

Μερικά μοντέλα αστοχίας του εδάφους που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς είναι: Το μοντέλο μέγιστης διατμητικής τάσης (Tresca) για την πλαστικότητα, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κορεσμένες – μαλακές αργίλους (και είναι μία υποπερίπτωση του μοντέλου Mohr-Coulomb για $\phi=0$), το μοντέλο διατμητικής αστοχίας του Coulomb (νόμος της τριβής) καθώς και το μοντέλο Cam-Clay. Το μοντέλο του Coulomb στο οποίο βασίζεται ο νόμος Mohr-Coulomb, χρησιμοποιείται ευρύτατα καθώς έχει απλή μαθηματική διατύπωση και έχει φυσικό νόημα.



Αστοχία δοκιμίου αργίλου από θλίψη



Η αστοχία εκδηλώνεται σε ένα επίπεδο που σχηματίζει γωνία με την διεύθυνση φόρτισης $\sim 45^\circ$.

Ο νόμος του Mohr, περιγράφει πως η αστοχία θα επέλθει όταν η διατμητική τάση (τ) λάβει κάποια κρίσιμη τιμή η οποία εξαρτάται από την ορθή τάση (σ). Όταν δε η αστοχία γίνεται σε επίπεδο 1, τότε για τις διατμητικές (τ_n), ορθές τάσεις (σ_n) επί του επιπέδου θα ισχύει:

$$\tau_n = f(\sigma_n)$$

Η παραπάνω συνάρτηση αν απεικονιστεί στο επίπεδο (σ, τ) ως καμπύλη, αποτελεί μία «περιβάλλουσα αστοχίας», το όριο δηλαδή για τις εντατικές καταστάσεις που δεν προκαλούν αστοχία. Υπέρβαση της περιβάλλουσας δεν επιτρέπεται, επιπλέον δε, τιμές της έντασης (σ, τ) επί της περιβάλλουσας περιγράφουν κατάσταση αστοχίας. Όταν εφαρμοστεί στο νόμο του Mohr τον νόμο τριβής του Coulomb, καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση, τον νόμο Mohr-Coulomb:

$$\tau_n = \sigma_n \tan\phi + c$$

Όπου ϕ, c οι παράμετροι αντοχής: Γωνία εσωτερικής (εφόσον μιλάμε για έδαφος) τριβής (ϕ) εκφρασμένη σε μοίρες και Συνοχή (c) με μονάδες τάσης (συνήθως $\text{kPa} = \text{kN/m}^2$ για την εδαφομηχανική).

Τα χονδρόκοκα υλικά (άμμος - χαλίκια) στερούνται συνοχής, ωστόσο παρουσιάζουν τιμή στην γωνία τριβής που υπερβαίνει τις 30° (με τιμές που φθάνουν και τις 40°). Λεπτόκοκα υλικά όπως η ιλύς και η άργιλος παρουσιάζουν συνοχή που κυμαίνεται από 15 kPa , συνήθως δε $50-100 \text{ kPa}$ και σε εξαιρετικές περιπτώσεις μέχρι $200-500 \text{ kPa}$ (ημίβραχος). Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους αντοχής ϕ, c , προχωράμε στον σχεδιασμό των τεχνικών έργων.

Όταν το έδαφος είναι κορεσμένο, λαμβάνεται υπόψη η πίεση του νερού στους πόρους του εδάφους (u) μέσω των ενεργών τάσεων: $\sigma' = \sigma - u$, $\tau' = \tau$. Θα

χρησιμοποιούνται σε αυτήν την περίπτωση οι παράμετροι αντοχής φ' και c' . Εν γένει η παρουσία της πίεσης πόρων, μειώνει την ενεργή τάση (σ') με αποτέλεσμα την συνολική μείωση της αντοχής.

2.2. Δοκιμή άμεσης διάτμησης

2.2.1 Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Γενικά προκειμένου να αντιμετωπίσουμε προβλήματα ευστάθειας των εδαφών όπως σχεδιασμού θεμελιώσεων , τοίχων αντιστηρίξεως και αναχωμάτων , είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την αντοχή που σχετίζεται με τα προβλήματα αυτά.

Μια δοκιμή που προσδιορίζει την αντοχή του εδάφους είναι η δοκιμή της άμεσης διάτμησης.

Στη δοκιμή **Άμεσης Διάτμησης** το έδαφος οδηγείται σε θραύση με την επιβολή μετακινήσεων του ενός τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο. Δηλαδή το δοκίμιο εξαναγκάζεται να αστοχήσει σε ένα οριζόντιο επίπεδο κάτω από την επιβολή μιας οριζόντιας τάσης $\tau = Q/A$. Η κατακόρυφη τάση $\sigma = P/A$ διατηρείται σταθερή ενώ η Q αυξάνει μέχρι να αστοχήσει το δοκίμιο. Το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγραμμένη επίπεδη επιφάνεια διάτμησης. Με τη δοκιμή αυτή μετράμε τη μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με την μεταβολή της ορθής τάσης που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης.

Οι πηγές της διατμητικής αντοχής του εδάφους είναι:

- Οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των επιφανειών των σωματιδίων του εδάφους και
- Η τριβή και η εμπλοκή μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους που εκφράζεται ως εσωτερική τριβή του εδάφους.

Από αυτά προκύπτει ότι η διατμητική αντοχή του εδάφους είναι άθροισμα των διατμητικών αντοχών του εδάφους που οφείλεται στη συνοχή και στην εσωτερική τριβή και δίνονται από την εξίσωση Coulomb $\tau = c + \sigma \varphi$ όπου:

τ : διατμητική αντοχή (Kg/cm^2)

c : συνοχή (Kg/cm^2)

σ : η κάθετη τάση στο επίπεδο διάτμησης (Kg/cm^2)

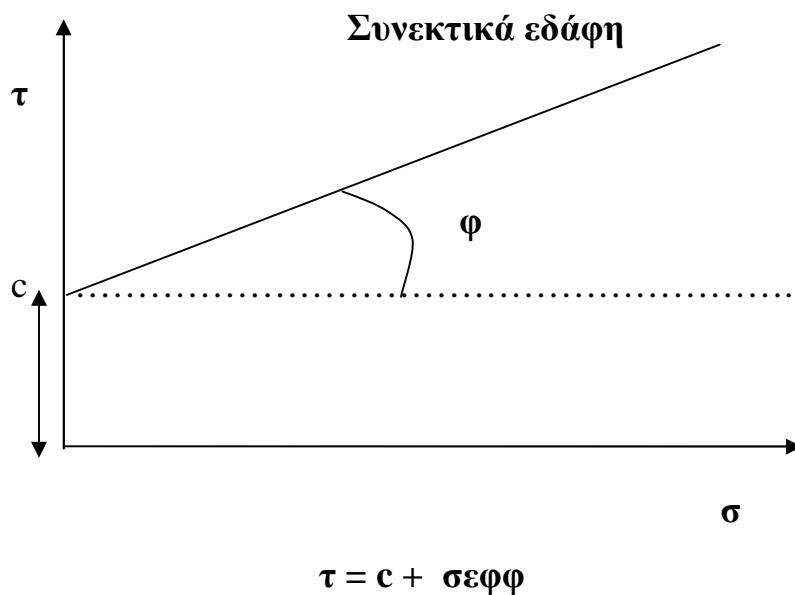
φ : η γωνία εσωτερικής τριβής ($^\circ$)

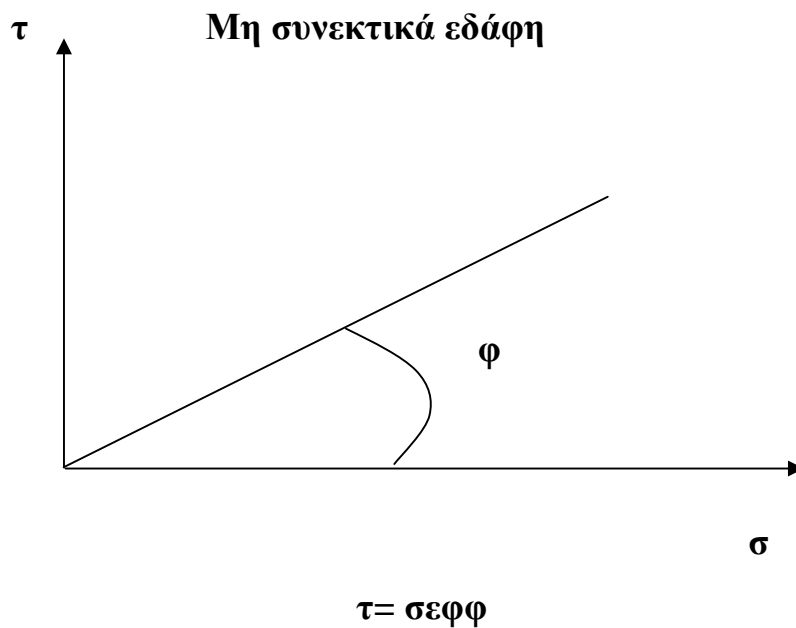
Η παράμετρος C εκφράζει τη συνοχή του εδάφους, δηλαδή την ελκτική δύναμη μεταξύ των κόκκων. Η παράμετρος αυτή δεν παρουσιάζεται στα χαλαρά μη συνεκτικά εδάφη ($c=0$), ενώ αντιθέτως εμφανίζεται σε αργιλικά συνεκτικά εδάφη ($c \neq 0$).

Γι' αυτό ανάλογα με την τιμή c χωρίζουμε τα εδάφη σε δύο κατηγορίες:

- τα μη συνεκτικά ($c=0$) και
- τα συνεκτικά ($c \neq 0$)

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης Coulomb θα είναι :





Η παράμετρος φ ονομάζεται γωνία εσωτερικής τριβής. Εσωτερική τριβή είναι η αντίσταση στην κίνηση διάφορων εδαφικών στρωμάτων στις επιφάνειες των εμπλεκόμενων κόκκων, η οποία εξαρτάται από την τραχύτητα των επιφανειών την συμπύκνωση του εδάφους και από το βαθμό λίπανσης των κόκκων.

Συμπερασματικά σκοπός μας στην δοκιμή άμεσης διάτμησης είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων διατμητικής αντοχής εδάφους c και φ της σχέσεως Coulomb $\tau = c + \sigma \varphi$ με γνωστές τάσεις θραύσεως τ και σ .

2.2.2. Συσκευές - Υλικά

Συσκευές.

1. Συσκευή αμέσου διάτμησης.
2. Ζυγοί ακριβείας 0,01 και 0,1 του γραμμαρίου.
3. Κλίβανος ξηράνσεως.
4. Συσκευή για αναζύμωση και αναπύκνωση του δοκιμίου.



Μηχανή άμεσης διάτμησης



Διάφορα σύνεργα εργαστηρίου



Κλίβανος ξηράνσεως

Υλικά.

1. Τρία αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα από τον περιβάλλοντα εδαφικό χώρο του εργαστηρίου.
2. Τρία δείγματα άμμου.

2.2.3. Τρόπος εργασίας – Πορεία

1. Παραλαβή αδιατάρακτου δείγματος και διαμόρφωση με τους αντίστοιχους δακτυλίους της συσκευής διάτμησης στις συγκεκριμένες διαστάσεις.
2. Αρχικά ρυθμίζουμε το σύστημα διάτμησης στη θέση παύσης.
3. Συναρμολογούμε τα κιβώτια διάτμησης σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Τα κιβώτια διάτμησης είναι προμηθευμένα με τους πορώδεις δίσκους και ένα λεπτότερο κάτω δίσκο μέσης.
 - Δύο πορώδεις δίσκοι , ένας πάνω και ένας κάτω χρησιμοποιούνται για πάχη δειγμάτων 25 mm.
 - Τρεις πορώδεις δίσκοι, ένας πάνω και δύο κάτω χρησιμοποιούνται για πάχη δειγμάτων 20 mm. .

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πορώδεις δίσκοι πρέπει να διαβραχούν πριν τη διεξαγωγή της δοκιμής με βράσιμο μέσα σε νερό μέχρι να απομακρυνθούν όλες οι φυσαλίδες αέρα από τους δίσκους.

4. Χρησιμοποιούμε το δακτύλιο κοπής ο οποίος προσφέρεται για την κοπή αδιατάρακτων δειγμάτων.
5. Στη συνέχεια γίνεται μεταφορά του δοκιμίου στο κιβώτιο διάτμησης και ενεργούμε ακολούθως:
6. Τοποθετούμε τον κάτω πορώδη δίσκο ή δίσκους μέσα στο κιβώτιο διάτμησης.
7. Τοποθετούμε τον κόπτη με το δείγμα μέσα στο κιβώτιο διάτμησης με την επιφάνεια κοπής προς τα κάτω.
8. Μεταφέρουμε το δείγμα μέσα στο κιβώτιο διάτμησης χρησιμοποιώντας ένα ξύλινο εργαλείο μέχρι να εφαρμόσει καλά στον κάτω πορώδη δίσκο ή δίσκους.
9. Συναρμολογούμε τον πάνω πορώδη δίσκο ή το δίσκο που μεταφέρει την επιβαλλόμενη ορθή τάση.
10. Εφαρμόζουμε στο δοκίμιο τάση. Η απαιτούμενη τάση στο δείγμα πρέπει να είναι σχετική με τη μάζα που περιλαμβάνει το ζυγό φόρτισης και τα βάρη W :
$$W = \frac{\sigma_n L^2}{9810} \text{ (Kg)}$$
, όπου το L αντιπροσωπεύει το μήκος του κουτιού σε mm και σ_n την τάση σε KN/m^2 .
11. Η μηχανή διάτμησης είναι εφοδιασμένη με ένα μοχλό, σωστή ρύθμιση του οποίου επιτυγχάνεται με το βάρος εξισορρόπησης.
12. Η αρχική θέση του ζυγού φόρτισης μπορεί να επιτευχθεί ρυθμίζοντας τη λαβή του κοχλία μεταφοράς φορτίου. Έτσι για την εφαρμογή του φορτίου στο δείγμα τα βάρη προστίθενται στον υποδοχέα βαρών με την λαβή τελείως κάτω ή με την λαβή να στηρίζει την ράβδο ορθής τάσης βαρών, γυρίζοντας αργά τη λαβή κάτω και για την μεταφορά του φορτίου στο δείγμα.

Έλεγχος πριν την δοκιμή.

Πριν την δοκιμή άμεσης διάτμησης πρέπει να γίνει έλεγχος της μηχανής, δηλ. η διαδικασία δοκιμής διάτμησης.

1. Θέτουμε την μηχανή στο «**Forward**» για να ξεκινήσει η αρχική διάτμηση.
2. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής γίνεται ταυτόχρονα ένας έλεγχος για τα εξαρτήματα της συσκευής.
3. Κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής αναγράφουμε τα δεδομένα όπως απαιτείται και πιέζουμε το «**Stop**» μετά την ολοκλήρωσή της.
4. Στη συνέχεια αφού έχει ολοκληρωθεί η δοκιμή, μπορεί να είναι απαραίτητη η επανάληψη της στο ίδιο δοκίμιο για τον καθορισμό της απομείνουσας διάτμησης.
5. Γυρίζουμε το κιβώτιο διάτμησης στη θέση εκκίνησης κάτω από κανονικό φορτίο. Έτσι όταν τα δύο ήμισυ του κιβωτίου διάτμησης έχουν αποχωρήσει κινούμε την κύρια βίδα μπροστά μέχρι ένα πολύ μικρό φορτίο να σημειωθεί στο δακτύλιο φόρτισης, ενδεικτικό του ότι όλη η αδράνεια στο σύστημα έχει απορροφηθεί.
6. Διεξάγουμε τους προ δοκιμής ελέγχους και αρχίζουμε την επανάληψη της δοκιμής όπως προηγουμένως και επαναλαμβάνουμε αν χρειαστεί.
7. Έπειτα κάνουμε τη δοκιμή της απομείνουσας διάτμησης. (Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται όταν ο χειριστής επιθυμεί να καταγράψει πληροφορίες για την διάτμηση και στις δύο διευθύνσεις επαναλαμβάνοντας όσο χρειάζεται για να πετύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα).
8. Προτού την έναρξη αυτής της δοκιμής ο χειριστής πρέπει να εφαρμοστεί και να ελέγξει ένα δακτύλιο φόρτισης καλιμπραρισμένο με συμπίεση.
9. Τελικά δοκιμάζουμε το δοκίμιο για αρχική διάτμηση και μετά την ολοκλήρωση αυτής κλείνουμε τη μηχανή.
(Σε περίπτωση που χρειαζόμαστε επαναλήψεις θέτουμε τη μηχανή στο «**Reverse**»)

Για την διεξαγωγή μέχρι τέλους της δοκιμής και σωστών αποτελεσμάτων είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα εξής:

Το οριζόντιο μηκυσιόμετρο καταγράφει οριζόντιες παραμορφώσεις οι οποίες μετατρέπονται σε οριζόντιες τάσεις και με δεδομένα τα ζεύγη τιμών (σ, τ) , δηλ. ορθών και διατμητικών τάσεων κατασκευάζουμε την καμπύλη του Coulomb ($\tau = c + \sigma \tan \phi$). Στην περίπτωση συνεκτικού εδάφους η καμπύλη – ευθεία τέμνει τον κατακόρυφο άξονα των τάσεων (τ) και το σημείο τομής δείχνει την συνοχή c . Στην περίπτωση μη συνεκτικού εδάφους η ευθεία Coulomb διέρχεται από την αρχή των αξόνων εφόσον $c=0$. Και στις δύο περιπτώσεις η κλίση της ευθείας δηλώνει την γωνία εσωτερικής τριβής ϕ .

2.2.4. Έντυπα μετρήσεων-υπολογισμοί

Όπως είπαμε και πιο πάνω μετά τον προσδιορισμό των τάσεων θραύσεων τ και σ τριών τουλάχιστον δοκιμίων από το ίδιο εδαφικό υλικό χαράσσουμε την καμπύλη των τ και σ και προσδιορίζουμε τα c και ϕ .

2.2.5. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.

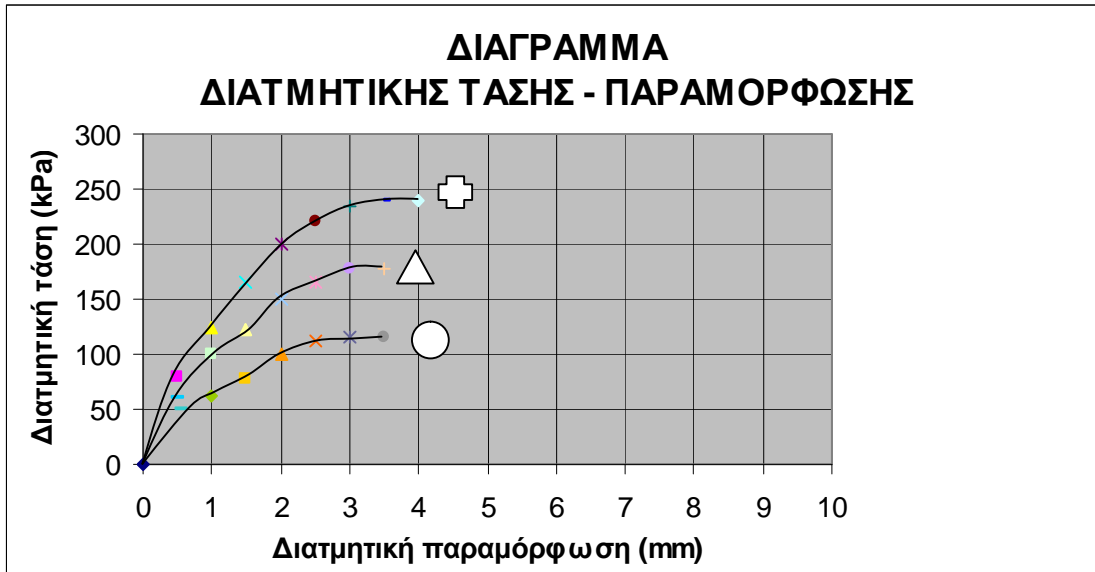
Η δοκιμή άμεσης διάτμησης δεν είναι ακριβής μέθοδος όπως η τριαξονική δοκιμή. Παρόλα αυτά δίνει προσεγγιστικές τιμές των c και φ σε πολύ σύντομο χρόνο.

Η μη ακρίβεια των αποτελεσμάτων οφείλεται στο γεγονός ότι:

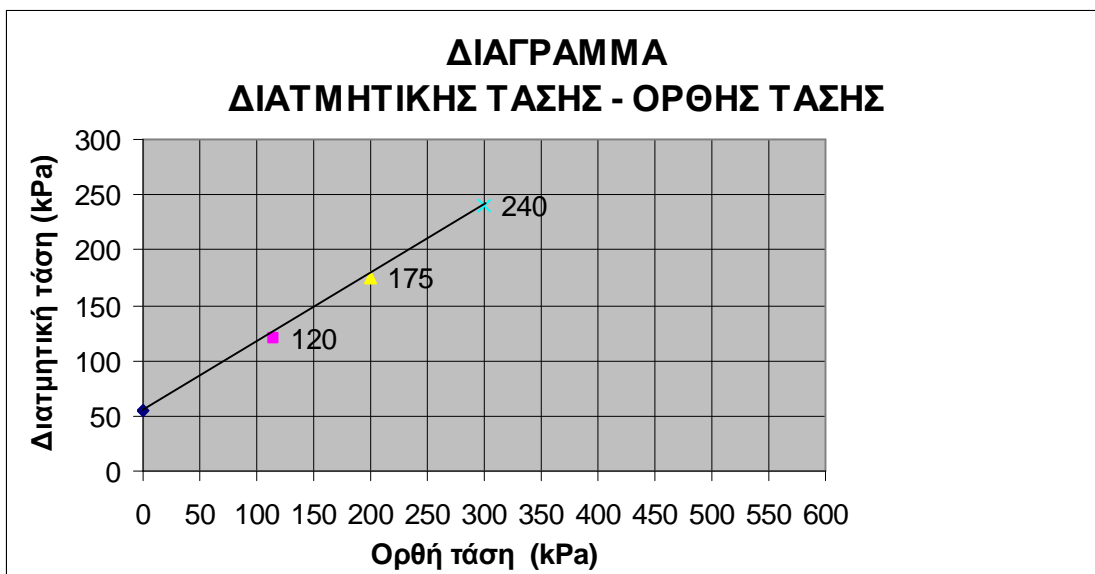
1. Έχουμε μεταβαλλόμενη επιφάνεια δοκιμίου επί της οποίας εφαρμόζεται η οριζόντια (διατέμνουσα δύναμη).
2. Αναγκάζουμε το δείγμα – έδαφος – μέσω του κιβωτίου διάτμησης να αστοχήσει σε συγκεκριμένη οριζόντια διεύθυνση ενώ στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει έτσι.

Η δοκιμή απευθείας διάτμησης είναι η πλέον απλή σε σύλληψη δοκιμή για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής. Βασίζεται στην απευθείας διάτμηση ενός εδαφικού όγκου σε συνδυασμό με ορθή τάση. Διαφορετικοί συνδυασμοί ορθής, διατμητικής τάσης που οδηγούν σε αστοχία μπορούν να δώσουν μία προσέγγιση των παραμέτρων φ , c . Η δοκιμή απευθείας διάτμησης δεν έχει επικρατήσει διότι έχει τις ακόλουθες αδυναμίες: Δυσκολία μόρφωσης εδαφικού δείγματος, δυσκολία ελέγχου της πίεσης πόρων (η δοκιμή θα γίνει είτε σε πλήρως στραγγισμένες συνθήκες, είτε σε αστράγγιστες) και τέλος αδυναμία αναπαραγωγής του ιδανικού μοντέλου ορθής τάσης - διάτμησης (κατά την δοκιμή παρουσιάζονται και άλλες τάσεις που αλλοιώνουν τα αποτελέσματα).

Έργο :



- → 100 kPa
- △ → 200 kPa
- ⊕ → 300 kPa



2.3. Δοκιμή απλής θλίψης.

2.3.1. Εισαγωγικές πληροφορίες – Σκοπός.

Η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης είναι μια απλή δοκιμή προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής των συνεκτικών εδαφών αδιατάρακτων δειγμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκίμιου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσεως. Είναι δοκιμή κατά την οποία εφαρμόζεται στο δοκίμιο ελεύθερο από πλευρική πίεση ένα αξονικό φορτίο. Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει 2 από τις ακόλουθες καταστάσεις.

- Αρχίζει να παρουσιάζει επιφάνεια θραύσεως.
- Η παραμόρφωση συνεχίζεται χωρίς αύξηση φορτίου.

Εάν καμία από τις παραπάνω καταστάσεις δεν συμβαίνει, τότε σαν αντοχή λαμβάνεται η τάση που αντιστοιχεί σε ανηγμένη παραμόρφωση 20%.

Η μονοαξονική (ανεμπόδιστη) θλίψη χρησιμοποιείται ευρύτατα καθώς είναι η πλέον απλούστερη δοκιμή. Το εδαφικό δοκίμιο (το οποίο έχει μορφωθεί σε κύλινδρο διαμέτρου 35-50 mm) υποβάλλεται σε ταχεία θλίψη μέχρι την αστοχία (ολοκλήρωση πειράματος σε 2-5 λεπτά, ώστε να αποτραπεί η στράγγιση). Η δοκιμή παρέχει την αστράγγιστη τιμή c (c_u), καθώς και μία πρώτη εκτίμηση για την γωνία τριβής (ϕ) μέσω της μέτρησης της κλίσης του επιπέδου αστοχίας. Αν έχουν επιτευχθεί αστράγγιστες συνθήκες πρέπει το $\phi \sim 0^\circ$.

Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο σε συνεκτικά εδάφη, που μπορούν να φέρουν μονοαξονικό φορτίο. Τέτοια εδάφη είναι οι στιφρές άργιλοι κ.α. όπου τα μορφωμένα δείγματα μπορούν να διατηρήσουν το σχήμα τους χωρίς την βοήθεια παράπλευρης πίεσης - εγκιβωτισμού.

2.3.2. Συσκευές - Υλικά.

1. Συσκευή θλίψεως.

Ο εξοπλισμός της συσκευής θλίψεως αποτελείται βασικά από ένα βαθμονομημένο ελατήριο το οποίο είναι συνδεδεμένο μέσω ενός κινητού

ελάσματος (ή πλάκας) σε ένα χαμηλότερο κινούμενο έλασμα που φέρει την βάση πλάκας. Αυτό το χαμηλότερο κινητό έλασμα έχει ένα βραχίονα μοχλού με μολύβι ο οποίος περιστρέφεται γύρω από το χαμηλότερο κινητό έλασμα, σε ένα κατακόρυφο επίπεδο. Το ελατήριο και τα κινητά ελάσματα είναι σφιγμένα με δύο κατακόρυφες ράβδους οι οποίες επιτρέπουν στο ελατήριο και στην πλάκα να κινούνται μόνο προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Το βαθμονομημένο ελατήριο επεκτείνεται με την βοήθεια ενός παξιμαδιού με την λειτουργία λαβής σε μια μολύβδινη βίδα. Γυρίζοντας το παξιμάδι με δεξιόστροφη κατεύθυνση, η μολύβδινη βίδα, τα κινητά ελάσματα και το ελατήριο κινούνται κατακόρυφα προς τα πάνω και αντίστροφα.

Το μολύβι που είναι συνδεδεμένο στο πάνω άκρο του μοχλοβραχίονα στηρίζεται απέναντι από μια σταθερή πλάκα σχεδίασης η οποία είναι συνδεδεμένη με την πάνω κινητή πλάκα.

Ολόκληρος ο εξοπλισμός είναι σμαλτωμένος και περασμένος σε χρώμιο.

2. Εξοπλισμός διάτρησης.

Αυτός ο εξοπλισμός πρέπει να είναι ικανός να παράγει μια σχετικά καθαρή οπή στις πλευρές της πριν την εισαγωγή του σωλήνα με το δείγμα. Το δείγμα που παραλαμβάνεται από τον πυθμένα της οπής πρέπει να είναι αδιατάρακτο. Μια συμβατική εφαρμογή αυτού μπορεί να γίνει αν η οπή, αμέσως πάνω από τον πυθμένα του δείγματος, μπορεί να διαμορφωθεί με ένα τρυπάνι ώστε να δίνει ελάχιστη διαταραχή.

3. Εξοπλισμός δειγματοληψίας.

Δειγματοληπτικοί σωλήνες WF: 30510 χρησιμοποιούνται, οι οποίοι έχουν λεία εσωτερική και εξωτερική διάμετρο, με το κοπτερό χείλος ελαφρώς λοξοκομμένο προς τα μέσα ώστε να παρέχουν ένα κοφτερό χείλος στην εσωτερική τους επιφάνεια. Μια συναρμολόγηση κίνησης δειγματολόγου πρέπει

να χρησιμοποιείται του τύπου που δείχνεται από το WF:30540 σφυρί δόνησης, σε συνδυασμό με την κεφαλή προσαρμογής WF:20060.

Για την αποφυγή αλλαγών στην περιεχόμενη υγρασία και τους σωλήνες σφράγισης, προτείνουμε την χρήση των άκρων προστασίας WF:30510.

4. Εξοπλισμός προετοιμασίας δοκιμίου.

Ένα μέσο για την εξαγωγή του δείγματος από τον σωλήνα είναι το WF:20070, το οποίο είναι φτιαγμένο από ελαφρό μέταλλο και χρησιμοποιείται με παλλινδρομική κίνηση. Χρήση αυτής της μονάδας επιτρέπει στα δείγματα να εξετάσουν απευθείας το σωλήνα.

Ένα καλύτερο μέσο εξαγωγής από το σωλήνα, που προτείνεται από το BS:1377, είναι με τη χρήση ενός εξαγωγέα δείγματος του τύπου WF: 30640 κ.α., το οποίο περιλαμβάνει το κατάλληλο καλούπι διαχωρισμού και το σύρμα για το κόψιμό του δείγματος. Ένας χαλύβδινος χάρακας, WF:33081, και μια μεταλλική κάνα WF:20900 είναι επίσης απαραίτητα.

5. Εξοπλισμός συσκευής.

Η φορητή συσκευή θλίψεως επιτρέπει ώστε το φορτίο και η αντίστοιχη παραμόρφωση του δείγματος να καταγράφονται αυτογράφως σε ένα έντυπο διάγραμμα.

Τα διαγράμματα WF:20050, παρέχονται σε πακέτα των 50 και είναι φτιαγμένα για να ταιριάζουν στη συσκευή μας. Μπορούν να παρέχονται με απευθείας ανάγνωση σε lbf ή Kgr. Η συσκευή WF:20010 περιλαμβάνει 4 βαθμονομημένα ελατήρια σαν στάνταρτ με τάξεις 10 lbf, 25 lbf, 50 lbf και 100 lbf ανά ίντσα επιμηκύνσεων. Πρόσθετη συσκευή θα περιλάμβανε εξοπλισμό που καλύπτεται από το BS:1377 για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας μαζί με τον ζυγό των 7 Kgr αναγνώσιμος με ακρίβεια των 0,5gr, με αριθμό τύπου WF:60020.

Υλικά.

Για την διεξαγωγή της δοκιμής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αδιατάρακτα δοκίμια η αναζυμωθέντα δοκίμια.

1. Κατά την παραλαβή των αδιατάρακτων δοκιμίων από μια οπή, είναι βασικό η οπή να είναι καθαρισμένη με ένα τρύπανο τέτοιου τύπου που δεν θα προκαλέσει διαταραχή στο υλικό που θα ληφθεί ως δείγμα. Ο δειγματολήπτης κατεβαίνει ως τον πυθμένα της οπής και ο σωλήνας είτε πιέζεται είτε ωθείται μέσα στο έδαφος. Πρέπει ωστόσο να δοθεί προσοχή ώστε ο σωλήνας να μην πιεστεί υπερβολικά.

Στη συνέχεια ο δειγματολήπτης περιστρέφεται για να σπάσει τον πυρήνα του εδάφους και αποσύρεται.

2. Η παρασκευή των αναζυμωθέντων δοκιμίων γίνεται είτε χρησιμοποιώντας θραυσμένο αδιατάρακτο δοκίμιο είτε διαταραγμένο δείγμα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται θραυσμένο αδιατάρακτο δοκίμιο, το υλικό τυλίγεται αεροστεγώς με μεμβράνη και δουλεύεται με τα δάκτυλα ώστε να εξασφαλιστεί πλήρης αναζύμωση του υλικού.

Μετά την αναζύμωση το υλικό επανασυμπυκνώνεται μέσα σε κυλινδρικά καλούπια με επιθυμητές διαστάσεις και γίνεται προσπάθεια ώστε το αναζυμωμένο δοκίμιο να έχει τον ίδιο δείκτη πόρων και την ίδια φυσική υγρασία με το αδιατάρακτο δείγμα.

2.3.3. Τρόπος εργασίας - Πορεία.

Προετοιμασία δοκιμίου.

Το καλούπι διαχωρισμού πρέπει να είναι ελαφρά λιπασμένο και το δείγμα εκβάλεται μέσα σ' αυτό χρησιμοποιώντας τον εξαγωγέα, έτσι ώστε με την ρίψη του δείγματος μέσα στο καλούπι να μην επιτρέψουν στο διαταραγμένο υλικό να μετακινηθεί. Τα άκρα είναι κομμένα επίπεδα και κάθετα στον άξονα του δείγματος χρησιμοποιώντας το σύρμα και αποξένοντας με τη λίμα διευθέτησης.

Το μήκος του δοκιμίου πρέπει να μετρηθεί με το γνώμονα με ακρίβεια 0,02in και το αναγραφόμενο βάρος με ακρίβεια 0,05gr.

Πορεία δοκιμής.

Ένα ελατήριο πρέπει να επιλεγθεί το οποίο να έχει επαρκή δυσκαμψία για να προκαλέσει στο δείγμα θραύση. Εντός του πεδίου της επιτρεπόμενης παραμόρφωσης από τη συσκευή, δεν πρέπει να είναι πιο δύσκαμπτο από το απαραίτητο αφού θα πρέπει να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ευαισθησία. Το ελατήριο είναι συναρμολογημένο στην συσκευή μεταξύ των ανώτερου και μεσαίου κινούμενου δοκού. Ένα έντυπο διαγράμματος τοποθετείται στο σκελετό και συγκρατείται από τις συνδετικές ράβδους.

Το δείγμα μετά την προετοιμασία πρέπει να τοποθετηθεί κεντρικά στο χαμηλότερο δίσκο και το χερούλι να περιστραφεί για να φέρει τον πάνω δίσκο σ' επαφή κεντρικά με το δοκίμιο. Η συσκευή ρυθμίζεται για να φέρει το μολύβι καταγραφής, συνδεδεμένο με το χαμηλότερο βραχίονα, πάνω στον κατακόρυφο άξονα παραμόρφωσης του διαγράμματος και το δεδομένο για το μηδενικό φορτίο σημειώνεται.

Στην συνέχεια περιστρέφεται το χερούλι με σταθερή αναλογία, δια του οποίου το δοκίμιο συμπιέζεται και συνεχίζεται μέχρι να επέλθει θραύση.

Η τάξη της παραμόρφωσης πρέπει να είναι περίπου 0,3in (7,62mm) ανά λεπτό. Ο σκοπός είναι να επιτευχθεί ένας χρόνος δοκιμής περίπου 2 λεπτών για ένα δείγμα που θραύεται στο 20% της τάσεως.

Όταν τελικά η θραύση έχει τελειώσει το διάγραμμα θα πρέπει να μετακινηθεί και η μέγιστη δύναμη συμπίεσης και η τάση στη θραύση να καταγραφούν. Στην περίπτωση όμως πλαστικής θραύσης κατά την οποία δεν επιτυγχάνεται μέγιστη δύναμη σε τάση λιγότερη από 20%, η προκύπτουσα τάση του 20% πρέπει να καταγραφεί.

Η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος θα πρέπει να καθοριστεί σύμφωνα με τις δοκιμές 1(A), 1(B) και 1(C) του BS:1377:1967.

2.3.4. Έντυπα μετρήσεων – Υπολογισμοί

Τα παρακάτω δεδομένα θα πρέπει να καταγραφούν στα έντυπα για κάθε δοκιμή:

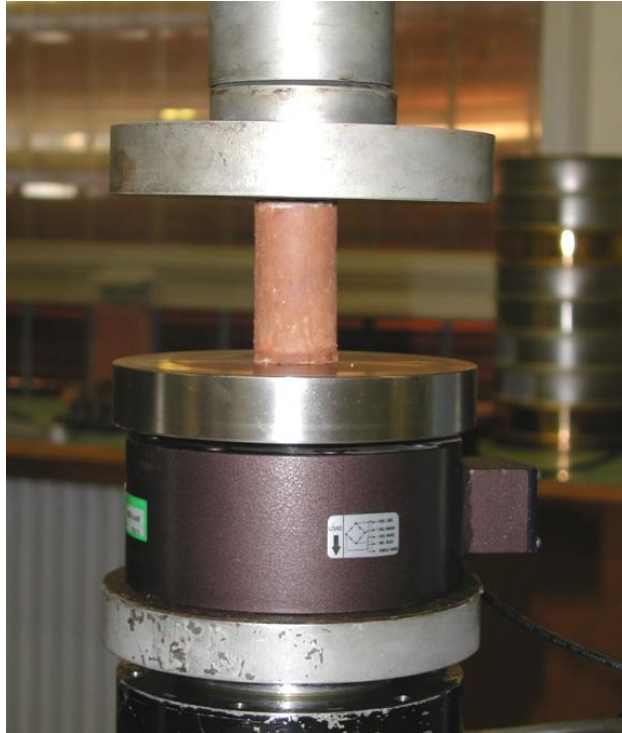
- Το συμπιεσμένο μήκος σε lb/ft^2 (Kgr/m^2) και η τάση θραύσης σαν ποσοστό του αρχικού μήκους.
- Η πυκνότητα και η περιεχόμενη υγρασία.

Επιπρόσθετα πρέπει να καταγραφούν οι παρακάτω πληροφορίες.

- Ημερομηνίες δειγματοληψίας και δοκιμής.
- Η αρχική τοποθεσία του δείγματος και η γωνία κλίσης του με το έδαφος αν δεν είναι κατακόρυφο.
- Βάθος δείγματος κάτω από το επίπεδο εδάφους.
- Η μειωμένη στάθμη αν είναι γνωστή εδάφους επιφανείας.
- Αναγνώριση δείγματος , χαρακτηριστικά περιγραφής του εδάφους και άλλες παρατηρήσεις.

2.3.5. Επεξήγηση – τύποι υπολογισμών – εκτιμήσεις.

Το δείγμα τοποθετείται σε μία πρέσα δοκιμών θλίψης. Η φόρτιση γίνεται με ταχύτητα τάξης μεγέθους 1-5 mm/λεπτό. Λόγω της σχετικής υψηλής παραμορφωσιμότητας των δοκιμίων έναντι των δύσκαμπτων πλακών της συσκευής (από χάλυβα), το πείραμα γίνεται ουσιαστικά με έλεγχο των παραμορφώσεων (strain controlled).



Εδαφικό δοκίμιο σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Το φορτίο αυξάνει σταδιακά μέχρι την αστοχία όπου λαμβάνει την μέγιστη τιμή P_{lim} . Έχοντας προμετρήσει την διάμετρο - διατομή του δείγματος, υπολογίζουμε την τάση αστοχίας:

$$\sigma_{max} = P_{lim} / A$$

Λόγω της μοναξονικής φόρτισης, η τάση αστοχίας είναι μία κύρια τάση (σ_1). Μία πρώτη εκτίμηση της συνοχής του εδάφους είναι:

$$c_1 = \sigma_{max} / 2$$

Η παραπάνω τιμή δεν συμβαδίζει με την πραγματική τιμή της συνοχής, ειδικά όταν η γωνία τριβής διαφέρει από το 0. Η παραπάνω τιμή διορθώνεται χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της γωνίας τριβής που προκύπτει από την μέτρηση της κλίσης του επιπέδου αστοχίας. Το επίπεδο αστοχίας παρουσιάζει γωνία $45^\circ + \phi/2$ ως προς την διεύθυνση φόρτισης (σ_1). Έτσι μετρώντας την κλίση, μπορούμε να έχουμε μία πρώτη εκτίμηση για την γωνία τριβής.

Γωνία τριβής, συνοχή σχηματίζουν μία περιβάλλουσα αστοχίας η οποία περιορίζει τον κύκλο Mohr που αντιπροσωπεύει την μονοαξονική αντοχή.

Η ανηγμένη τιμή της συνοχής, έχοντας εκτιμήσει την γωνία τριβής είναι:

$$C = \sigma_{\max}(1 - \sin\phi) / 2\cos\phi$$

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΕΛΑΦΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :	Αριθ, Δείγματος :
Γεώτρηση : Βάθος : Είδος :	Αριθ. Φύλλου :
Επιφάνεια: A=.....cm ² -Ανηγγμ.επιφάνεια:A=.....cm ² - Ύψος: H=.....Cm – Βάρος: W=.....g	
	Ενάρξεως :
Χαρακτηρισμός εδάφους :	Ημερομηνία
	Λήξεως :
	Υπογραφή :

Αριθμ.	Παραμ ΔL mm	ΔL L	Αναγν. Δακτύλ. Rp	Φορτίο P Kg	Τάση Kg cm ²		Παρατηρήσεις
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

Προσδιορισμός της Περιεχόμενης υγρασίας	
Πριν την Δοκιμή	
Αριθ.	
Bδ + ε + u	
Bδ + ε	
Bu	
Bδ	
Bε	
W%	
Μετά την δοκιμή	
Αριθ.	
Bδ + ε + u	
Bδ + ε	
Bu	
Bδ	
Bε	
W%	

Σχέδιο θραύσης

Παρατηρήσεις :

.....

.....

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :
Γεώτρηση : Βάθος :
Χαρακτηρισμός εδάφους :

Bδ+ε+u	1	A		Bδ + ε	8	B		Bδ	3	M	
Διαμ. Δοχ.	4	D		Βαρ. Δοχ.	5	N		Μηχ. Δοχ.	6	L	
Εισ. Βαρ	7	G		Συντ. Δαχτ.	8	T		Αρ. Μετ.	9	Z	

Αρ. Δοχ.	H		ΥΓΡΑΣΙΑ%					
ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜ. ΒΑΡΟΣ				T/m^3	$Q_{max} =$			Kg/cm^2
ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜ. ΒΑΡΟΣ				T/m^3	ΔL	$\Delta L/L \%$	Q	
ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ					mm		Kg/cm^2	
A								
N								
T								
O								
X								
H								
Σ								
E								
Θ								
Λ								
I								
Ψ								
H								
Kg/cm^2								
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ %								

2.3.6. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να πραγματοποιηθεί η δοκιμή αυτή είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσεως.

Κατά την μόρφωση αδιατάρακτων δοκιμίων δίνεται πολύ μεγάλη προσοχή για την αποφυγή διαταράξεως του δείγματος . Κατά την διάρκεια της μόρφωσης του δοκιμίου θα πρέπει να τηρούνται όλες οι προφυλάξεις, ώστε να εμποδίζεται η αλλαγή της φυσικής υγρασίας.

Στα αναζυμωμένα δοκίμια πρέπει να γίνεται προσπάθεια ώστε να έχουν τον ίδιο δείκτη πόρων και την ίδια φυσική υγρασία με τα αδιατάρακτα δείγματα. Στην περίπτωση που τα δοκίμια τα οποία είναι τοποθετημένα στην συσκευή θλίψεως είναι προστατευμένα με αεροστεγή μεμβράνη, η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων μπορεί να είναι μικρότερη και συνεπώς η ολική διάρκεια της δοκιμής μεγαλύτερη για καλύτερα αποτελέσματα της δοκιμής.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα ,σελίδες 200-202.

2.4. Βελτιστοποίηση – Σταθεροποίηση εδαφών – Δοκιμή CBR.

2.4.1. Γενικά

Ο λόγος CBR είναι ένα μέγεθος που περιγράφει την αντοχή εδαφών. Συγκεκριμένα, είναι ένα μέγεθος που προτάθηκε από τον Τομέα Αυτοκινητοδρόμων της Καλιφόρνια το 1928, ώστε να δυνατή η εκτίμηση της ικανότητας των εδαφών ως υλικά έδρασης έργων οδοποιίας. Η μέθοδος υπολογισμού εύκαμπτων οδοστρωμάτων με την χρήση του CBR μάλιστα, υιοθετήθηκε κατά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο από τον αμερικάνικο στρατό, για την μελέτη - κατασκευή διαδρόμων απογείωσης - προσγείωσης αεροσκαφών.

Η δοκιμή CBR, εκτιμά την διατμητική αντοχή ενός εδάφους υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας - πυκνότητας. Από την εκτέλεση της δοκιμής προκύπτει ο λόγος φέρουσας ικανότητας. Ο λόγος είναι χαρακτηριστικός για τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την δοκιμή (δηλαδή για την συγκεκριμένη υγρασία - πυκνότητα).

Ο αριθμός CBR υπολογίζεται από τον λόγο της πίεσης (τάσης) που απαιτείται ώστε να προκληθεί ένα συγκεκριμένο βάθος διείδυσης (βάθος αναφοράς) του εμβόλου της δοκιμής, σε ένα συμπυκνωμένο δείγμα εδάφους, σε ορισμένη πυκνότητα και υγρασία, προς την πίεση αναφοράς η οποία είναι η απαιτούμενη πίεση ώστε να προκληθεί αυτό το βάθος σε δείγμα σπασμένης πέτρας. Το βάθος αναφοράς είναι 2.54 mm (1/10") και η πίεση αναφοράς (για το δείγμα της σπασμένης πέτρας) είναι 6.9 MPa. Ο λόγος CBR ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{CBR} = (\text{πίεση δοκιμής}) / (\text{πίεση αναφοράς}) * 100 (\%)$$

Η σπασμένη πέτρα θεωρείται πως έχει την καλύτερη συμπεριφορά για τα έργα οδοποιίας και θα έχει λόγο CBR σχεδόν 100%. Ένα μαλακό έδαφος θα έχει μικρότερο λόγο CBR. Σύμφωνα με τον λόγο CBR, γίνεται και η επιλογή

του πάχους του οδοστρώματος, βάσει νομογραφημάτων (μικρές τιμές CBR, απαιτούν μεγάλο πάχος οδοστρώματος). Τα νομογραφήματα αυτά συντάσσονται ανάλογα με το φορτίο που πρόκειται να φέρει το οδόστρωμα.

Η δοκιμή CBR χρησιμοποιείται ευρέως στην οδοποιία και συγκεκριμένα για τον καθορισμό ευκάμπτων οδοστρωμάτων οδών και διαδρόμων αεροδρομίων. Βασική αρχή της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός της αντίστασης, την οποία παρουσιάζει ένα εδαφικό δοκίμιο συμπυκνωμένο με καθορισμένες συνθήκες, στη διείσδυση εμβόλου και η σύγκριση αυτής με την γνωστή αντίσταση σε διείσδυση που παρουσιάζει ένα πρότυπο υλικό (βράχος). Έτσι αν η αντίσταση που προσδιορίστηκε διαιρεθεί με την στάνταρ αντίσταση του βράχου και πολλαπλασιαστεί με 100, καλείται CBR του εδάφους.

Με την δοκιμή αυτή επιδιώκεται ο καθορισμός της τιμής της φέρουσας ικανότητας εδαφών και μειγμάτων εδαφών αδρανών όταν συμπυκνωθούν στο εργαστήριο και βέλτιστη υγρασία και σε διάφορους βαθμούς πυκνότητας με χρησιμοποίηση σφύρας βάρους 2,49 Kgr και πτώση ύψους 304,8 mm. Όμως σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει και η τροποποιημένη μέθοδος συμπύκνωσης με χρησιμοποίηση σφύρας βάρους 4,54 Kgr και ύψος πτώσεως 457,2 mm.

Συνοπτικά για τον προσδιορισμό του Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας (CBR), προσδιορίζεται η βέλτιστη υγρασία του υπό εξέταση εδαφικού υλικού με την τροποποιημένη δοκιμή Proctor. Με την παραπάνω βέλτιστη υγρασία δείγμα του εδάφους αποτελούμενο από κόκκους διαμέτρου μικρότερης 20mm, συμπυκνώνεται όπως είναι γνωστό στη μήτρα CBR και στη συνέχεια επιφόρτιση.

Στη συνέχεια η μήτρα τοποθετείται σε πρέσα διεισδύσεως όπου κυλινδρικό έμβολο διατομής 19 cm² διεισδύει στο δοκίμιο με σταθερή ταχύτητα 1,25m/min λαμβανομένων των πιέσεων που αντιστοιχούν στις διάφορες διεισδύσεις του εμβόλου.

Τελικά από την χάραξη διαγράμματος «τάσεως p – διεισδύσεις» για το εδαφικό υλικό και συγκρίσεως αυτού προς το αντίστοιχο διάγραμμα «τάσεις p_3 - διεισδύσεις» τυπικού υλικού, προσδιορίζεται ο δείκτης CBR από την σχέση:

$$CBR = \frac{P}{P_3} \times 100 (\%)$$

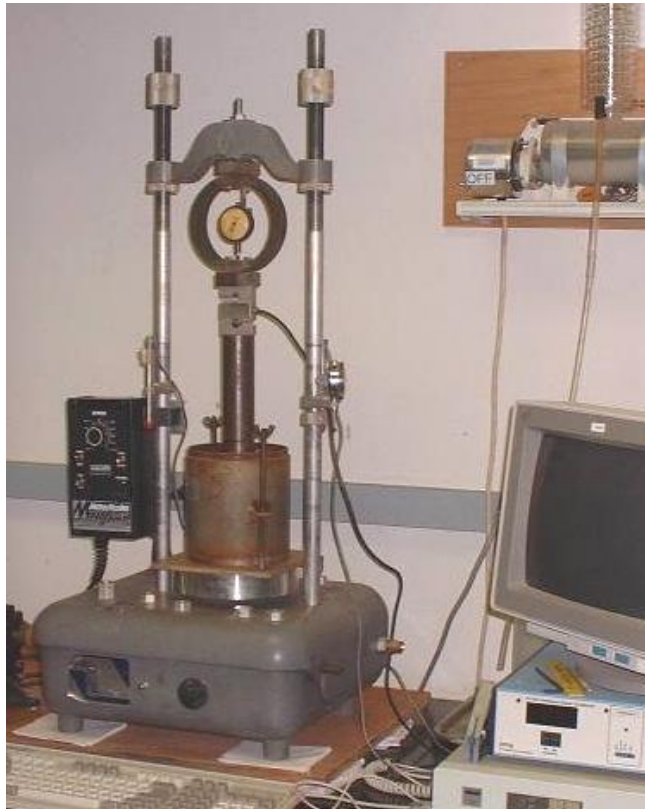
2.4.2. Συσκευές - Υλικά Συσκευές.

1. Συσκευή για δοκιμή CBR.
2. Μήτρες οι οποίες πρέπει να είναι κυλινδρικού σχήματος, μεταλλικές, εσωτερικής διαμέτρου $152,4 \pm 0,66$ mm και ύψους περί τα $177,8 \pm 0,41$ mm και με διάτρητη βάση, η οποία μπορεί να προσαρμόζεται και στα δύο άκρα του δοχείου. Είναι επιθυμητό να έχουμε τουλάχιστον τρεις μήτρες για κάθε δοκιμή.
3. Παρέμβλημα. Ένας κυκλικός μεταλλικός δίσκος διαμέτρου $150,8 \pm 0,8$ mm και ύψους $61,37 \pm 0,13$ mm.
4. Κόπανος με βάρος 2,49 Kgf και με επιφάνεια κρούσης κυκλικής διαμέτρου 598mm. Αυτός φέρει διάταξη για έλεγχο του ύψους πτώσης 304,8mm επάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου.
5. Μηκυσιόμετρα. Δύο μηκυσιόμετρα που το καθένα έχει ικανότητα μέτρησης μέχρι 25,4mm και με προσέγγιση 0,02mm.
6. Υδατόλουτρο.
7. Κλίβανος ξήρασης ικανός να διατηρεί την θερμοκρασία στους 110 ± 5 °C για την ξήρανση δειγμάτων.
8. Διάφορα άλλα εργαλεία όπως δοχεία ανάμιξης, σπάτουλες, διηθητικό χαρτί ζυγοί κ.λ.π.

Υλικά.

1. Εδαφικό δείγμα.
2. Νερό.

Εργαστηριακή διάταξη για την δοκιμή CBR

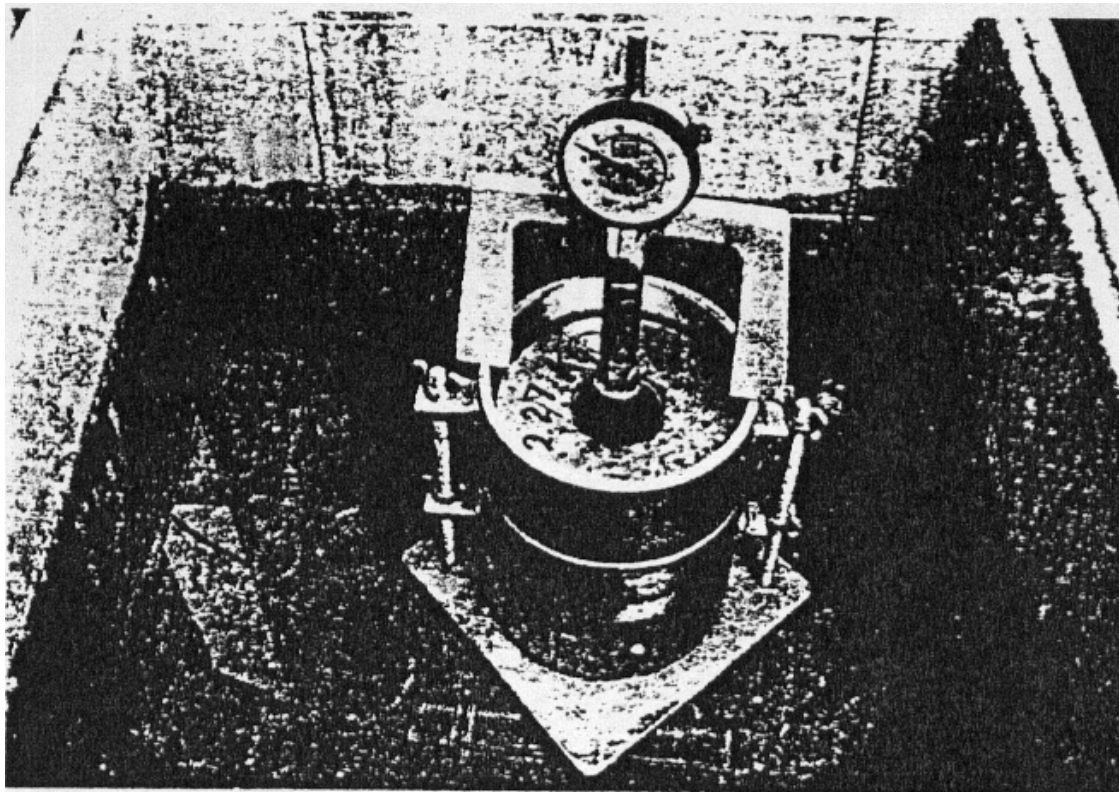




Για χρήση σε εργοτάξιο



Εξοπλισμός για τις δοκιμές CBR.



Διάταξη για τον υπολογισμό της διόγκωσης λόγω απορρόφησης νερού. Χρησιμοποιούμε την κυψέλη της δοκιμής CBR, επιπλέον ένα βελόμετρο που προσαρμόζεται στην κυψέλη, καθώς και κάποια βαρίδια.

2.4.3. Τρόπος Εργασίας – Πορεία λειτουργίας.

2.4.3.1. Εισαγωγή.

Η συγκεκριμένη μηχανή για την δοκιμή CBR, που διαθέτει το Εργαστήριο Εδαφομηχανικής έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί δοκιμές CBR σύμφωνα με τις πρότυπες τεχνικές προδιαγραφές.

Οι εφαρμοσμένες δυνάμεις παράγονται από ένα κατσαβίδι – γρύλο μίας σπείρας η οποία είναι συνδεδεμένη με ένα μηχανικό γρανάζι.

Παρέχει ταχύτητες 10mm/min για την δοκιμή BS και 1,27mm/min για τις δοκιμές ASTM και A.A.SH.TO.

Έχει τη δυνατότητα γρήγορης ρύθμισης του ύψους της πλάκας, το οποίο επιτυγχάνεται περιστρέφοντας την.

Επίσης υπάρχει ένας διακόπτης ορίου διείσδυσης του εμβόλου ο οποίος είναι προσαρμοσμένος για να ρυθμίζει την πάνω και κάτω κίνηση.

Μια βίδα στην κεφαλή δέχεται φορτίσεις μέχρι και συμπεριλαμβανομένου των 50KN. Το ύψος της κεφαλής ρυθμίζεται χρησιμοποιώντας τα παξιμάδια ασφάλισης.

2.4.3.2. Προδιαγραφές.

Διαστάσεις (κατά προσέγγιση)	550 x 400 x 1230 mm (μήκος x πλάτος x ύψος)
Μέγιστο κατακόρυφο άνοιγμα	770 mm (Η πλάκα κάτω η κεφαλή πάνω)
Ελάχιστο κατακόρυφο άνοιγμα	310 mm (Η πλάκα πάνω η κεφαλή κάτω)
Οριζόντιο άνοιγμα	265 mm
Μετακίνηση πλάκας (υπό επίδραση δύναμης)	100 mm 30 mm
(γρήγορη προσέγγιση)	70 mm μέγιστο
Πεδίο Ταχύτητας	1 mm ή 1,27 mm
Βάρος	57 Kgr

2.4.3.3. Εγκατάσταση.

Η μηχανή θα πρέπει να εγκατασταθεί πάνω σε πάγκο ο οποίος πρέπει να είναι επίπεδος και ικανός να αντέξει το συνολικό βάρος της μηχανής. Επίσης η πλάτη της μηχανής θα πρέπει να απέχει από οποιονδήποτε τοίχο ή εμπόδιο τουλάχιστον 60mm. Η παροχή ρεύματος θα πρέπει να είναι συμβατή με τις απαιτήσεις που δηλώνονται στο πλάι της μηχανής.

2.4.3.4. Λειτουργία της μηχανής.

1. Είναι προτεινόμενο κάθε δοκιμή να ξεκινάει με την πλάκα φόρτισης περίπου 10mm από την βάση.
2. Γυρίζουμε την πλάκα δεξιόστροφα μέχρι την βάση και μετά αριστερόστροφα περίπου 3 ή 4 στροφές. Μετά βάζουμε την πλάκα κατά προσέγγιση στο προτεινόμενο επίπεδο.
3. Τοποθετούμε ένα δακτύλιο φόρτισης της επιθυμητής δεκτικότητας στην κεφαλή.
4. Στην συνέχεια τοποθετούμε την κεφαλή στο απαιτούμενο ύψος πρώτα χαλαρώνοντας τα παξιμάδια και στις δύο πλευρές της πλάκας και μετά ρυθμίζοντας την απαιτούμενη ποσότητα. Για να βεβαιωθούμε ότι η κεφαλή είναι επίπεδη ελέγχουμε με ένα αλφάδι ή με απευθείας μέτρηση. Σφίγγουμε τα πάνω παξιμάδια.
5. Επιλέγουμε την κατάλληλη ταχύτητα **BS** (1mm/min) και **ASTM** (1,27 mm/min).
6. Ανοίγουμε την μηχανή χρησιμοποιώντας τον διακόπτη **ON/OFF**.
7. Γυρίζουμε την μηχανή στο **UP**.
8. Σε περίπτωση που η μηχανή είναι υπερφορτωμένη ή βραχυκυκλωμένη ο διακόπτης διακοπής ανοίγει.
9. Αν συμβεί αυτό θα πρέπει να περιμένουμε 10 δευτερόλεπτα περίπου και στην συνέχεια πιέζουμε τον διακόπτη **ON/OFF**.
10. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε την μηχανή με την πλάκα επιβολής φορτίου ξεβιδωμένη περισσότερο από 70mm.
11. Τελειώνουμε την δοκιμή και πιέζουμε στη μηχανή **STOP** και γυρίζουμε στην ένδειξη **DOWN**.

2.4.3.5. Διαδικασία δοκιμής.

1. Αρχικά προσδιορίζουμε τη βέλτιστη υγρασία και τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα.

Ζυγίζουμε το καλούπι και βιδώνουμε στη διάτρητη βάση. Τοποθετούμε το διαχωριστικό δίσκο στο καλούπι, καθώς και το χάρτινο φίλτρο. Τοποθετούμε την συσκευή στο δάπεδο και συμπυκνώνουμε σε 5 στρώσεις. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 χτύπους .

Στο τέλος της συμπύκνωσης αφαιρούμε το έδαφος που περισσεύει και το διαχωριστικό δίσκο και ζυγίζουμε το συμπυκνωμένο έδαφος. Το ειδικό βάρος του εδάφους είναι:

$$\gamma_w = \frac{\text{ΒάροVδοκίμιου}}{\text{όγκοVδοκίμιου}}$$

Τελικά προσδιορίζουμε την υγρασία του δείγματος με τον γνωστό τρόπο και στην συνέχεια το ξηρό ειδικό βάρος γ_d :

$$\gamma_d = \frac{g_w}{W + 100} \times 100$$

2. Αφού προσδιοριστούν τα παραπάνω προετοιμάζουμε το δοκίμιο για την δοκιμή. Παίρνουμε περίπου 20 Kgr εδαφικό υλικό και προσθέτουμε την κατάλληλη ποσότητα νερού έτσι ώστε το δοκίμιο να έχει την βέλτιστη υγρασία. Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία συμπύκνωσης με διαφορετικό αριθμό χτύπων, δηλ. συμπυκνώνουμε 55 , 25 και 10 χτύπους για κάθε ένα από τα 5 στρώματα. Στην συνέχεια αφαιρούμε το καλούπι, τη βάση και το διαχωριστικό δίσκο από το καλούπι. Ζυγίζουμε το καλούπι με τα συμπυκνωμένα δείγματα.
3. Έπειτα ετοιμάζουμε το εμποτισμένο δείγμα στην περίπτωση όμως που κατά την κρίση του μηχανικού πρέπει να επιτευχθούν οι χειρότερες δυνατές συνθήκες. Τα δοκίμια εμποτίζονται με νερό για 4 ημέρες ή μέχρις ότου σταματήσουν να διογκώνονται.

Έτσι τελικά αφού ετοιμαστούν και τα δοκίμια μπορούμε να προχωρήσουμε στην δοκιμή διείδυσης όπως αναφέρθηκε πριν την λειτουργία της μηχανής.

2.4.3.6. Έντυπα μετρήσεων - Υπολογισμοί.

Το CBR του εδάφους μπορεί να προσδιοριστεί διαιρώντας τα φορτία που αντιστοιχούν στα 2,5mm διείσδυσης με τα standard φορτία. Ο λόγος αυτός πολλαπλασιάζεται με 100 και επιτυγχάνεται έτσι το CBR επί τοις εκατό.

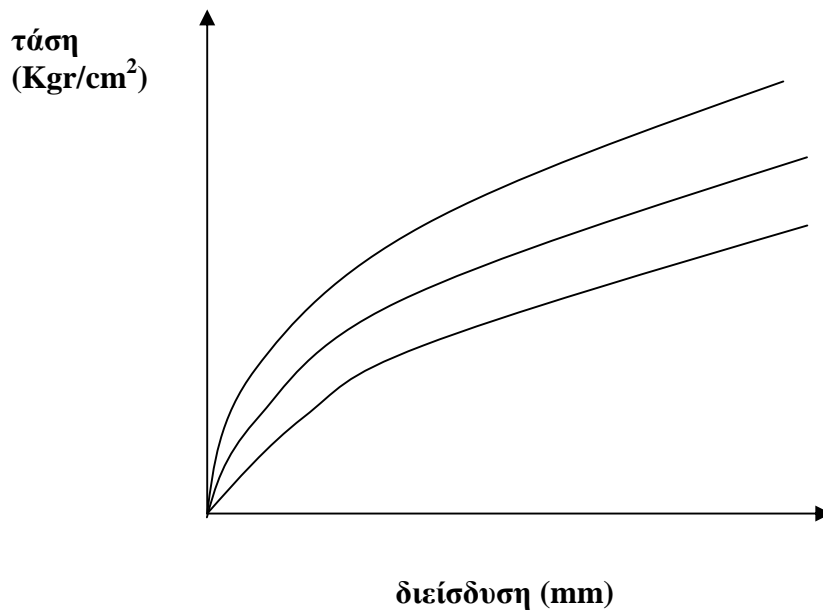
$$\text{CBR} = \frac{\text{Φορτίο δοκιμής}}{\text{standard δοκιμής}} \times 100\%$$

Επίσης
$$\text{CBR} = \frac{\text{Μοναδιαίο Φορτίο δοκιμής}}{\text{Μοναδιαίο standard δοκιμής}} \times 100\%$$

Το standard φορτίο το περνάμε έτοιμο με τη διείσδυση από τον παρακάτω πίνακα:

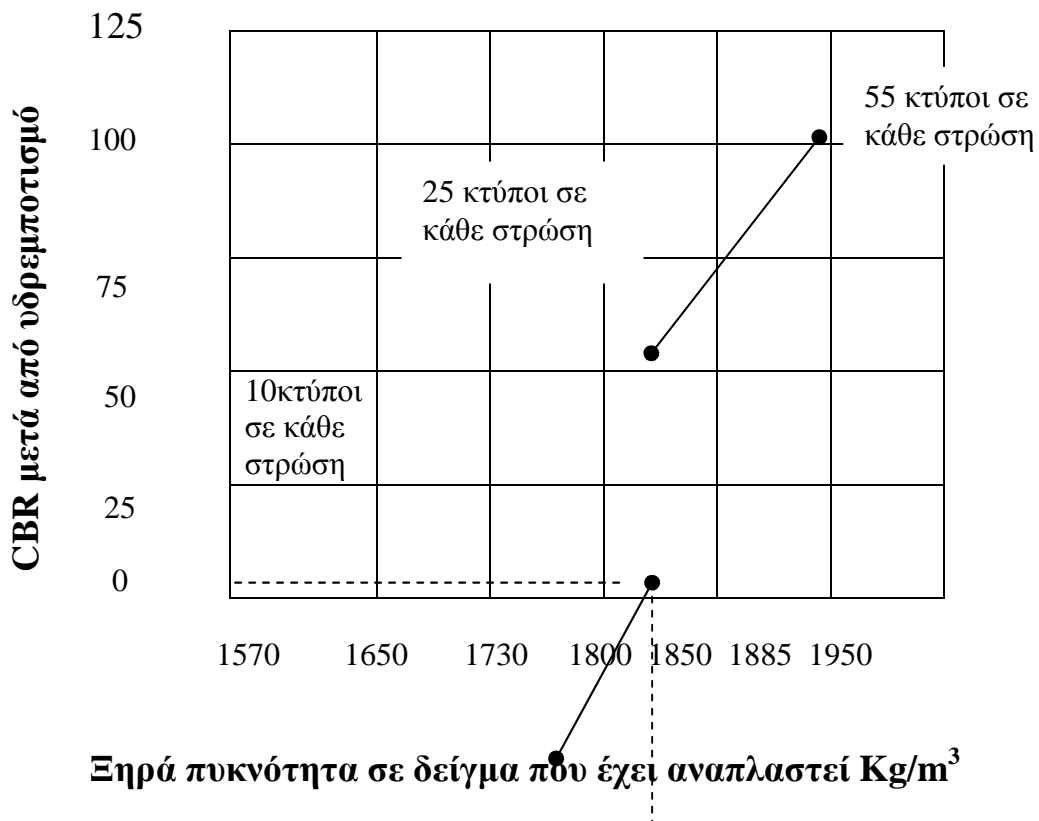
Διείσδυση (mm)	standard μοναδιαίο φορτίο (Kg/cm ²)	standard φορτίο (Kg)
2,5	70	1.370
5,0	105	2.030
7,5	134	2.630
10,0	162	3.180
12,5	183	3.600

Επίσης για κάθε δοκίμιο σχεδιάζεται η καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων (αντίσταση σε διείσδυση – βάθος διεισδύσεως).



Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις η αρχική διείσδυση λαμβάνει χώρα χωρίς αναλογική αύξηση της αντίδρασης σε διείσδυση και η καμπύλη πιθανό να είναι καλή προς τα άνω. Για να λάβουμε την πραγματική σχέση τάσεων – παραμορφώσεων διορθώνουμε την καμπύλη που έχει τα κοίλα στραμμένα προς τα πάνω ειδικά στο τμήμα της κοντά στην αρχή των συντεταγμένων, αναπροσαρμόζοντας την θέση της αρχής. Η νέα θέση της αρχής των συντεταγμένων καθορίζεται με προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος τάσεων – παραμορφώσεων μέχρις ότου αυτό τμήσει τον άξονα των τεταγμένων .

Τελικά με χρησιμοποίηση των στοιχείων που λαμβάνονται από τα τρία δοκίμια παριστάνεται γραφικά η σχέση CBR και πυκνότητα ξηρού συμπυκνωμένου εδάφους. Κατόπιν ορίζεται το CBR της μελέτης στο επιθυμητό ποσοστό της μέγιστης πυκνότητας . Συνήθως ελέγχους το CBR που αντιστοιχεί στο ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό συμπυκνώσεως με τις προδιαγραφές του έργου.



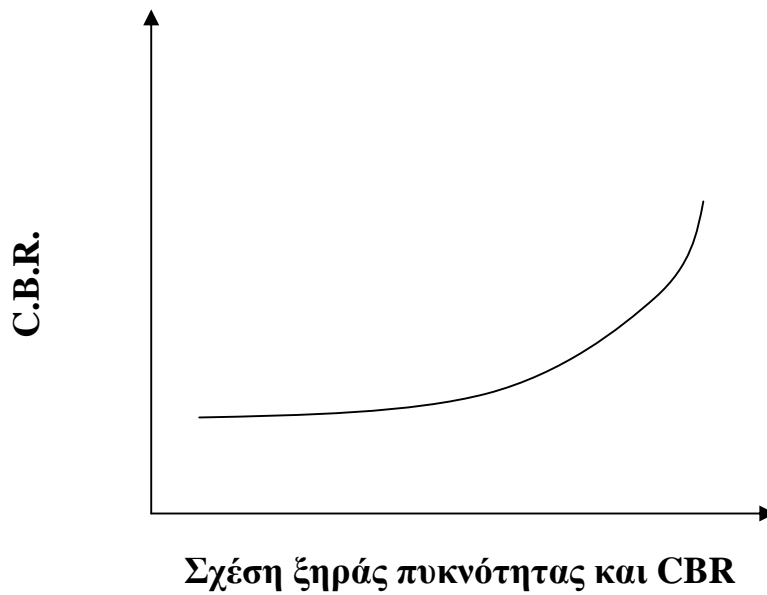
Παράδειγμα.

Δεδομένο: Σύμφωνα με την προδιαγραφή T99 (μέθοδος Δ) μέγιστη ξηρά πυκνότης = 1950 Kg/m^3 .

Ζητούμενο: Το CBR σε 95% της ανωτέρου μέγιστης ξηράς πυκνότητας.

Λύση: 95% των 1950 Kg/m^3

Για 1.852 Kg/m^3 το CBR είναι 52



2.4.3.7. Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα.

Αν το CBR που αντιστοιχεί στα 5mm διείσδυση είναι μεγαλύτερο από αυτό που αντιστοιχεί στα 2,5mm διείσδυση τότε η δοκιμή διείσδυσης πρέπει να επαναληφθεί. Αν δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα τότε σαν CBR λαμβάνεται αυτό που αντιστοιχεί στα 5,0 mm.

Στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία παραθέτονται στο παράρτημα ,σελίδες 203-211.

ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ CBR ΕΛΑΦΟΥΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :	Αριθ. Δείγματος :
Γεώτρηση :	Βάθος :
	Είδος :
	Αριθ. Φύλου :
	Ενάρξεως :
Χαρακτηρισμός εδάφους :	Ημερομηνία
	Λήξεως :
Μέγιστη εργαστηριακή πυκνότης :	t/m ³ Βέλτιστη υγρασία :
	%
	Υπογραφή :

Υποχωρήσεις 10 ⁻³ in	10			30			66		
	10 ⁻⁴ in 1	lbs 2	lbs/in ² 3	10 ⁻⁴ in 4	lbs 5	lbs/in ² 6	10 ⁻⁴ in 7	lbs 8	lbs/in ² 9
0									
10									
20									
30									
40									
50									
60									
70									
80									
90									
100									
125									
150									
175									
200									
225									
250									
275									
300									
325									
350									
375									
400									
425									
450									
475									
500									

Παρατηρήσεις :

.....

.....

ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ CBR ΕΛΑΦΟΥΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Προέλευση δείγματος :	Αριθ. Δείγματος :		
Γεώτρηση :	Βάθος :	Είδος:.....	Αριθ. Φύλου :
Χαρακτηρισμός εδάφους :		Ημερομηνία	Ενάρξεως :
Μέγιστη εργαστηριακή πυκνότης :		Λήξεως :	Βέλτιστη υγρασία :
		t/m ³	%
Υπογραφή :			

ΔΟΚΙΜΗ ΔΕΙΚΤΟΥ CBR	
ΕΡΓΑΣΙΑ:	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:
ΘΕΣΗ:	ΕΛΕΓΧΟΣ:
ΔΕΙΓΜΑ:	ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ:

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	1	2	3
ΚΤΥΠΟΙ/ΣΤΡΩΣΙΝ	10	30	66

1. Αρχική υγρασία

Αριθμός κάψας			
A. Υγρό βάρος (G _u)			
B. Ξηρό βάρος (G _w)			
Γ. Απόβαρο (T)			
Υγρασία W %			

2. Τελική υγρασία

Αριθμός κάψας			
A. Υγρό βάρος (G _u)			
B. Ξηρό βάρος (G _w)			
Γ. Απόβαρο (T)			
Υγρασία W %			

3. Ξηρό φαινόμενο βάρος

Αριθμός μήτρας			
Ολικό υγρό βάρος			
Απόβαρο μήτρας			
Υγρό βάρος G _u			
Ύψος δοκιμίου			
Όγκος δοκιμίου			
Υγρό φαινόμενο βάρος			
Ξηρό φαινόμενο βάρος			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους





































Κοκκομετρική Ανάλυση



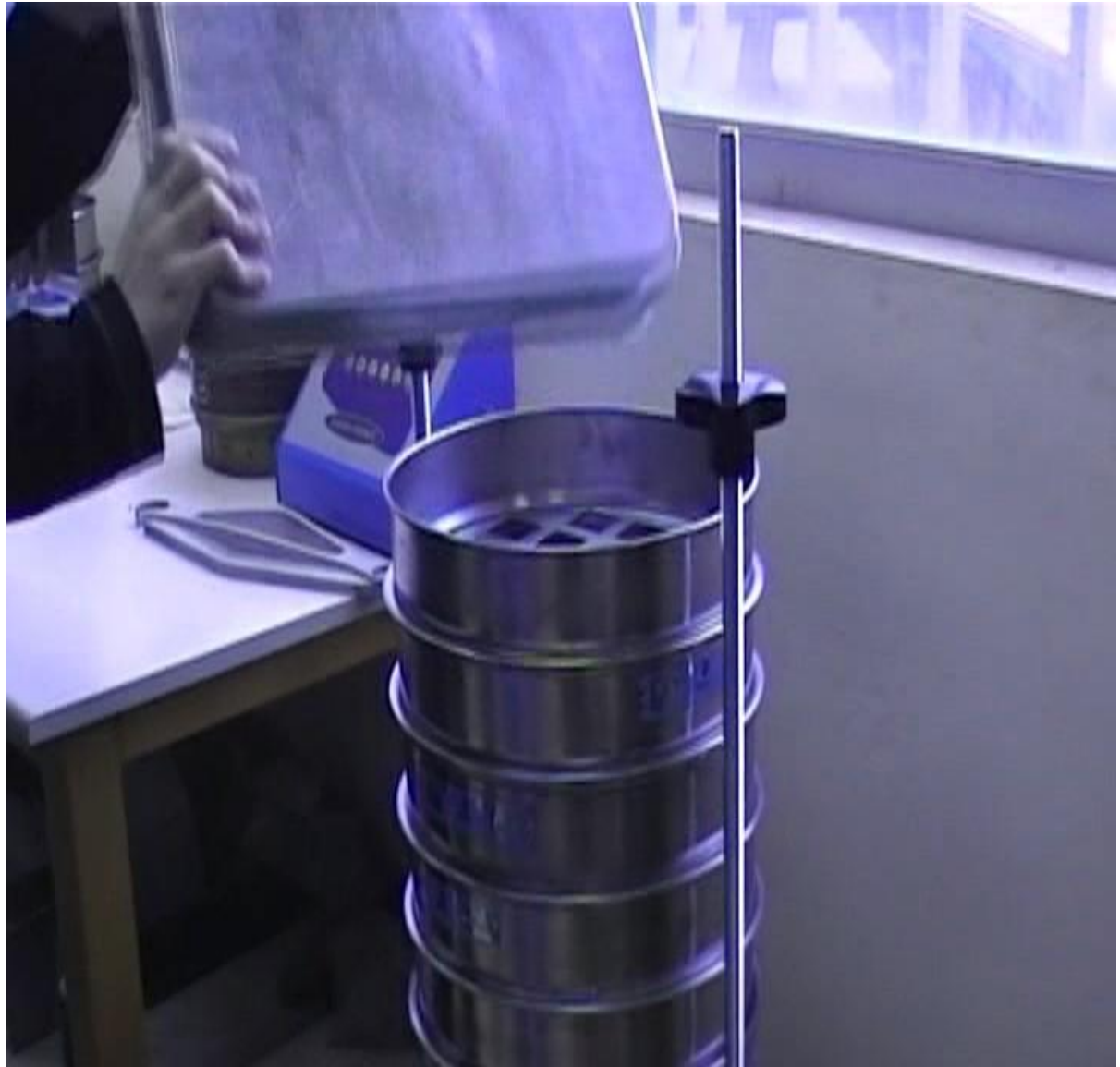








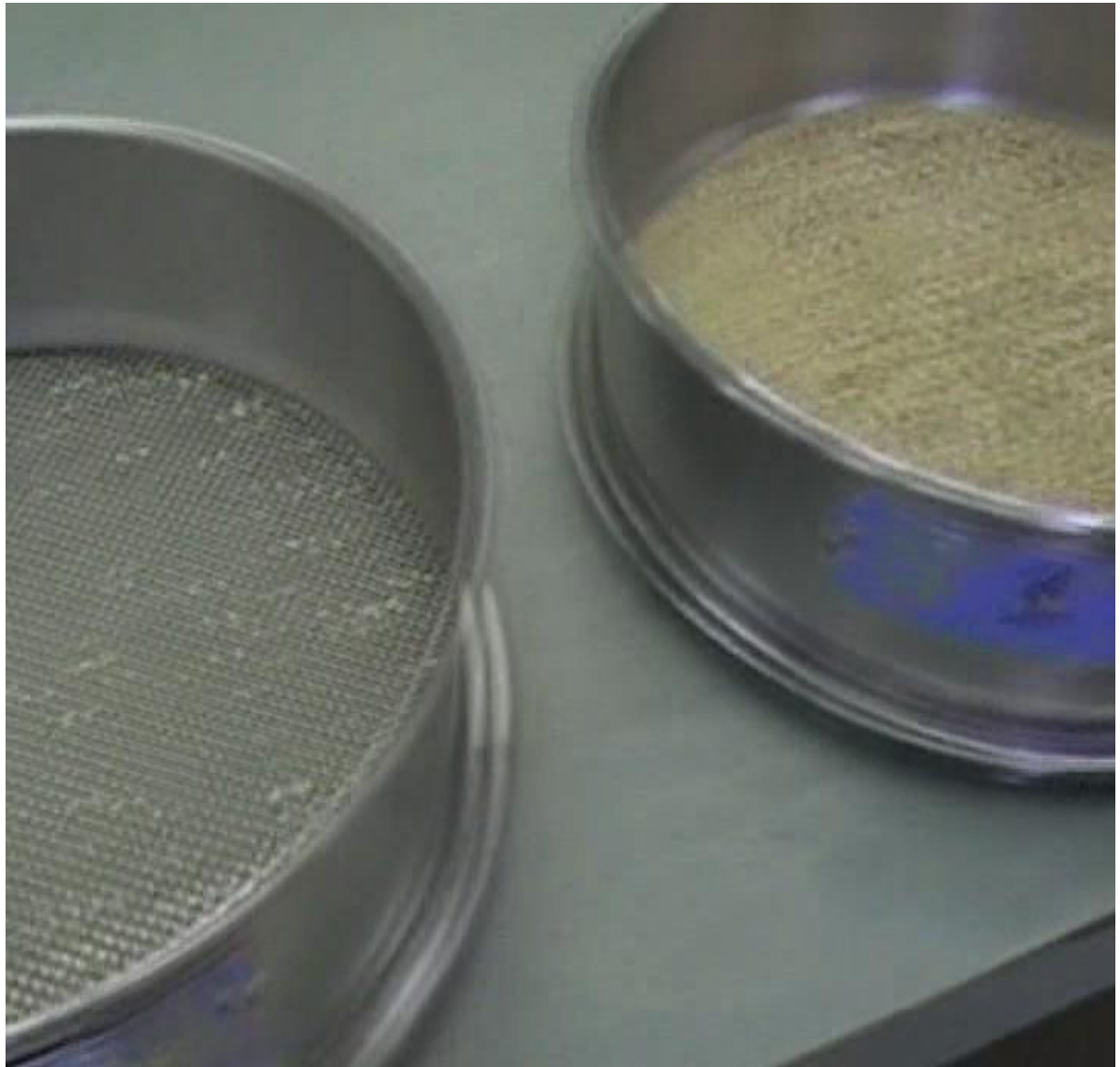
















Όρια Atterberg





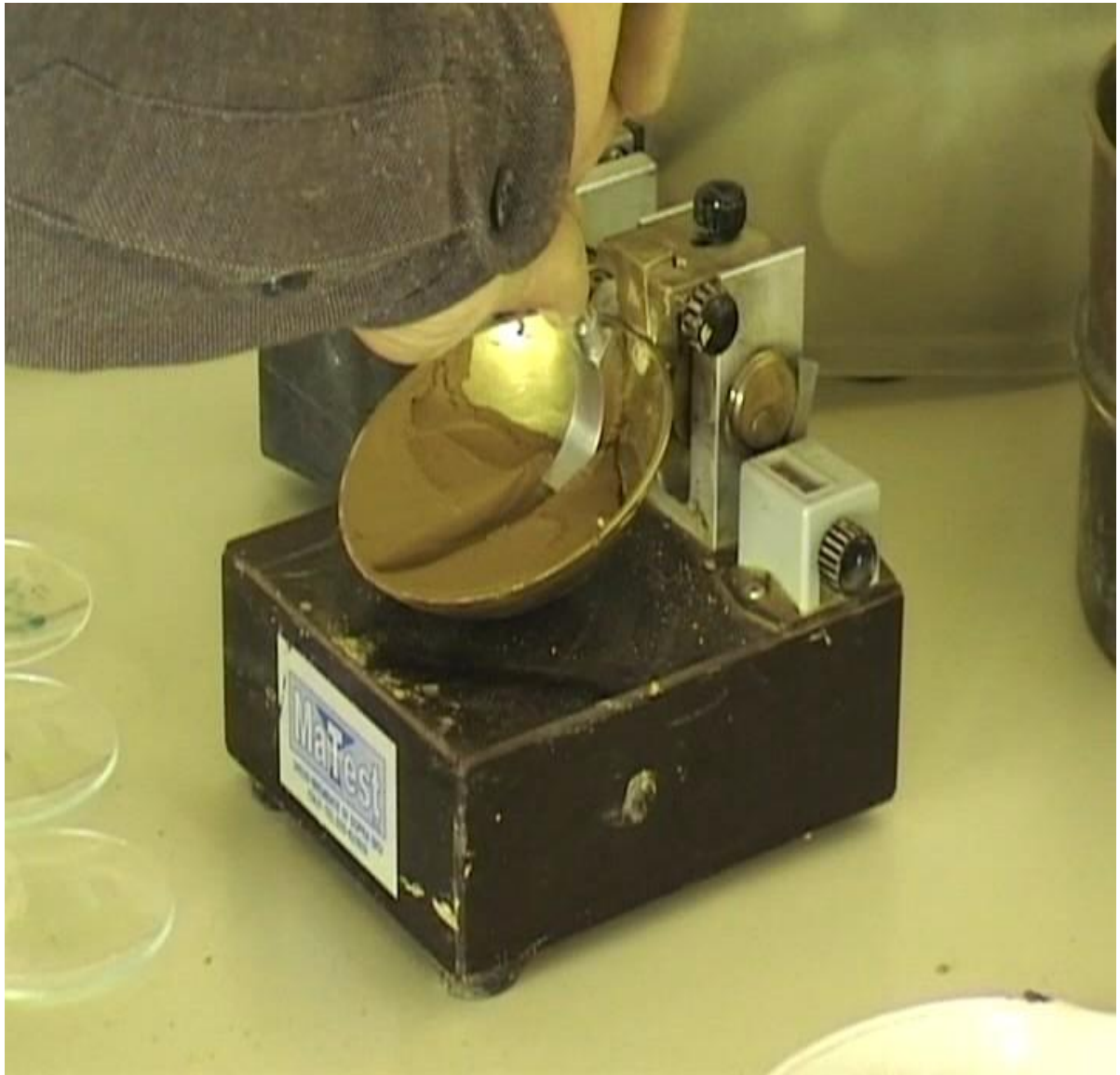


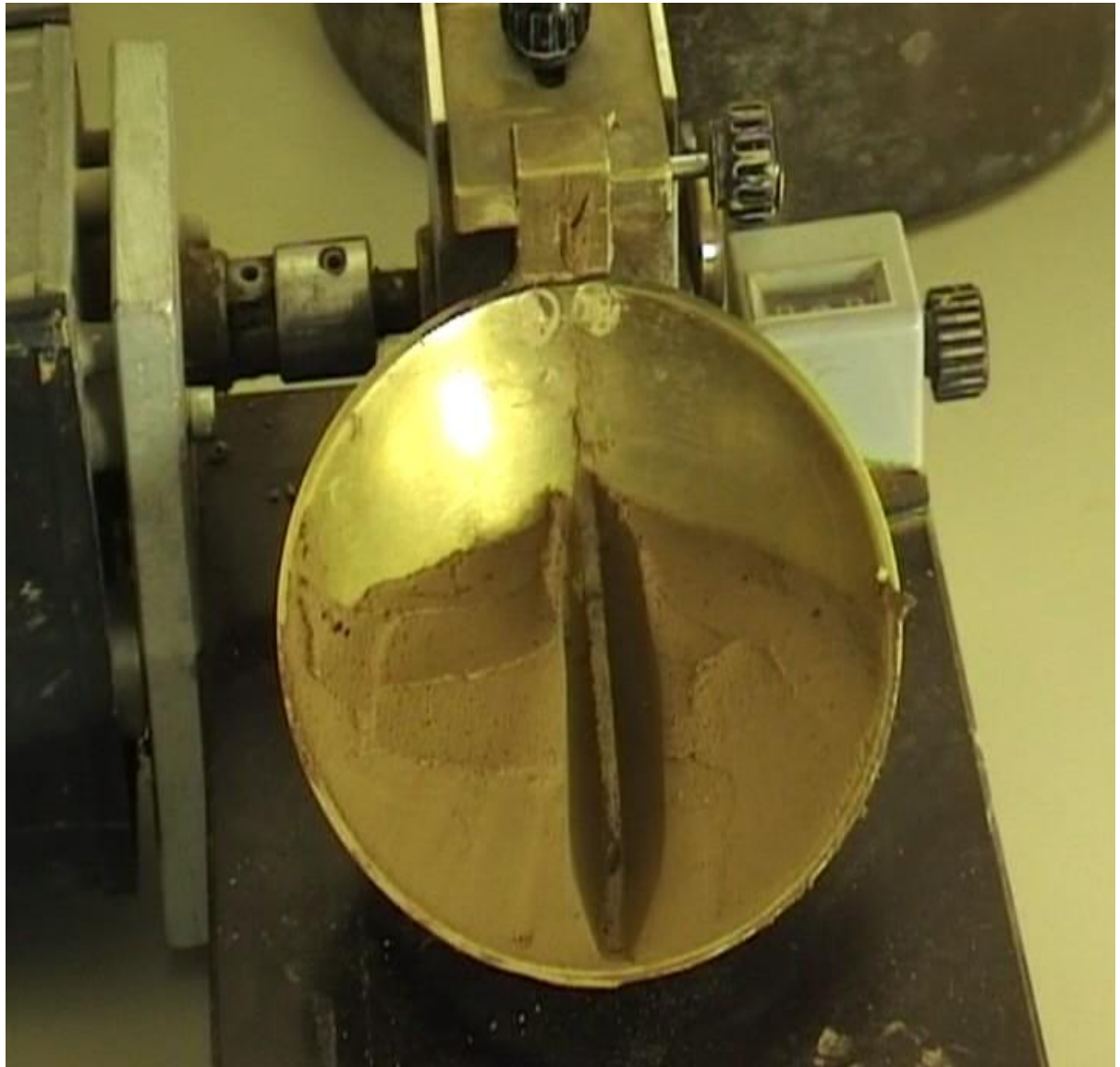












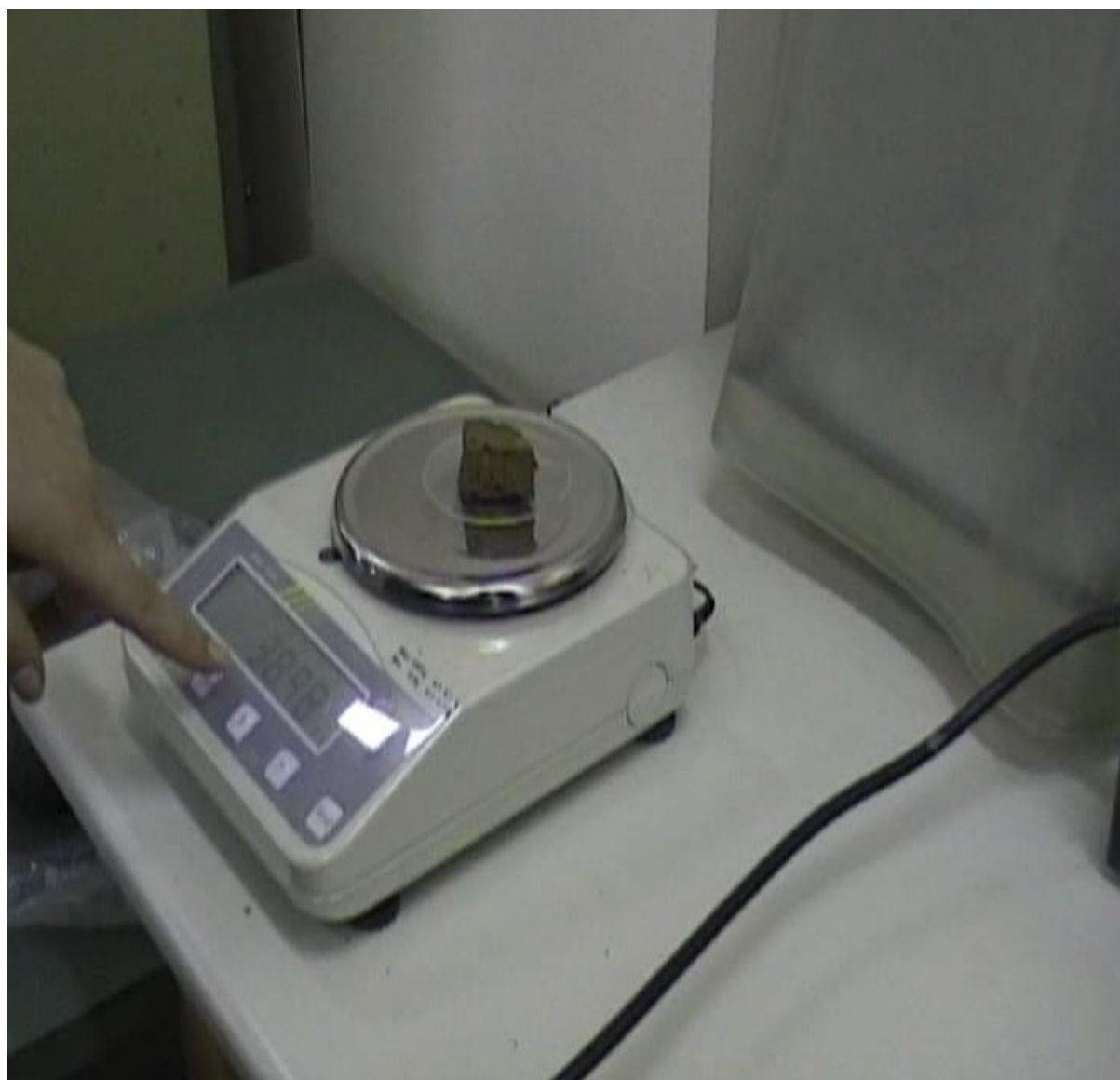






Πορώδες-Δείκτης Πόρων











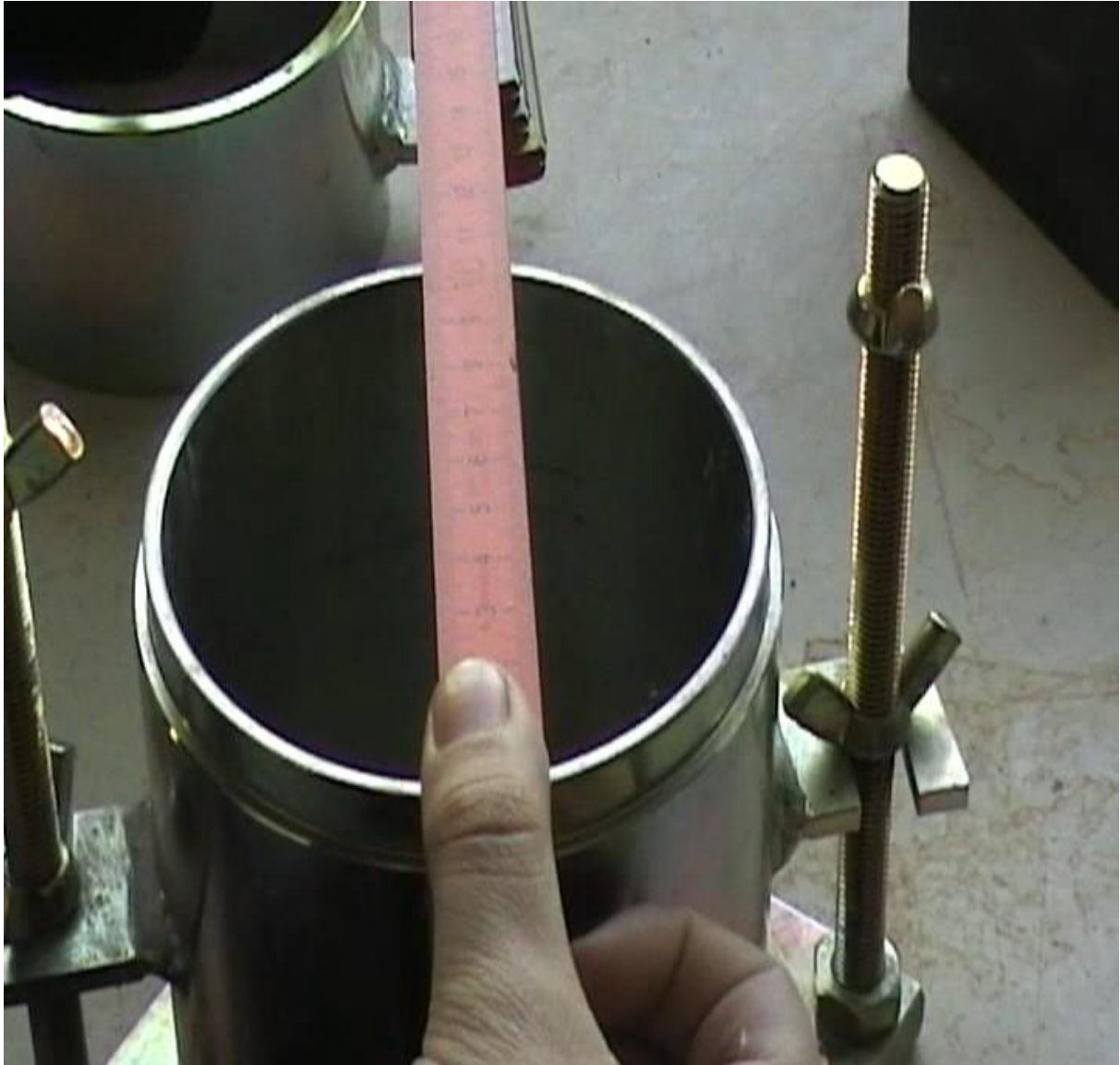






Συμπύκνωση Εδαφών (PROCTOR)































Μέθοδος Κώνου & Άμμου



























Ανεμπόδιση Θλίψη







Κατασκευή Δοκιμίου CBR



















ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ø ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ
ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ (Ε105-86) ΥΠΕΧΩΔΕ-ΓΓΔΕ
- Ø ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ-ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ Δ. ΒΑΛΛΑΛΑ
- Ø ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ STIEGLER (Μ.ΓΚΙΟΥΡΔΑ)
- Ø ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ ΔΗΜ. Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
- Ø ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΧΑΤΖΗΣ ΚΩΝ. Τ.Ε.Ι. ΛΑΡΙΣΑΣ
- Ø WILLIAM LAMBE-ΓΕΩΡΕΥΝΑ
- Ø ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ Μ.ΣΑΚΕΛΑΡ-
ΡΙΟΥ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ , Σ. ΚΟΖΑΝΗΣ, Δρ.
ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ (Συνεργάστηκαν: Μ. Φερεντίνου, Δρ. Γεωλόγος ,Ι. Αν-
δριτσάκης, Γεωλόγος, MSc. ,Γ. Ντούλης, Π.Μ. Ε.Μ.Π., Υ.Δ.)
- Ø ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ I & II ΣΥΝΤΑ-
ΚΤΕΣ : ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ , ΠΑΓΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ,
ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ

