

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σήμερα η γνώση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων είναι ιδιαίτερος σημαντική για τον Πολιτικό-Γεωτεχνικό Μηχανικό και βοήθα αποτελεσματικά στην ορθολογιστική και πιο ασφαλή σχεδίαση και εκτέλεση διάφορων τεχνικών έργων.

Στην πτυχιακή εργασία ,συγκεκριμένα στο πρώτο μέρος, έγινε μία προσπάθεια να παρατεθούν με την κατά το μεγαλύτερη σαφήνεια οι εργαστηριακές μέθοδοι έρευνας βάσει των οποίων προσδιορίζονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών υλικών, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για τον ασφαλή υπολογισμό-σχεδιασμό των θεμελιώσεων των διάφορων οικοδομημάτων.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται αναλυτικά οι θεωρητικές μέθοδοι βάσει των οποίων γίνεται η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Η εκτίμηση της αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επιλογή της εκάστοτε μεθόδου θεμελίωσης, ενώ οι αναλυτικοί υπολογισμοί στηρίζονται κατά αποκλειστικότητα στις μηχανικές παραμέτρους του εδάφους, οι οποίες προσδιορίζονται εργαστηριακά.

Με την ευκαιρία αυτή θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον καθηγητή μας κ. Κωνσταντίνο Αναγνωστόπουλο για την στήριξή του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας. Επίσης αισθανόμαστε την ανάγκη φτάνοντας στο τέλος αυτής της προσπάθειας να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Θεοδόση Παπαλιάγκα για την γενικότερη υποστήριξη που παρείχε στη ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας.

Η ελληνική και ξένη βιβλιογραφία αποτέλεσε την πηγή τόσο των θεμάτων όσο και των πινάκων. Η βιβλιογραφία που παρατίθεται στο τέλος αποτελεί πηγή περισσότερων πληροφοριών για κάθε θέμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ 1

(ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ)

<u>1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</u>	05
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	05
1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	05
1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	06
<u>2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</u>	08
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	08
2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	08
2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	09
<u>3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ</u>	10
3.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	10
3.2 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	10
<u>4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ</u>	12
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
4.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	12
4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΦΙΑΛΗΣ	13
4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΦΙΑΛΗΣ	14
<u>5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ</u>	15
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
5.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	15
5.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	15
5.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ	17
<u>6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ</u>	20
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
6.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	20
6.3 ΔΕΙΓΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	20
6.4 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	20
6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	21
<u>7. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ (ΜΕΘΟΔΟΣ STOKES)</u>	22
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
7.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	26
7.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	27
7.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	30
<u>8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ</u>	33
8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	33
8.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	33
8.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	34
8.4 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	35
8.5 ΚΑΜΠΥΛΗ ΡΟΗΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	37
<u>9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ</u>	38
9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	38
9.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	38
9.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	38
<u>10. ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>	40

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
10.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	40
10.3 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	42
10.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	42
10.5 ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	42
10.6 ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ	43
10.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ (ΜΕΘΟΔΟΣ CASAGRANDE)	43
10.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	45
<u>11. ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ</u>	48
11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	48
11.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	48
11.3 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	49
11.4 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	50
11.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	50
<u>12. ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ</u>	53
12.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53
12.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	53
12.3 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	54
12.4 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	55
12.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	56
<u>13. ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ</u>	58
13.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	58
13.2 ΕΙΔΗ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	58
13.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	59
13.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	61
13.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΘΡΑΥΣΕΩΣ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	61
13.6 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	64
13.7 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	66
13.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	68
<u>14. ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ)</u>	72
14.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	72
14.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	72
14.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ – ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	73
<u>15. ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ)</u>	75
15.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	75
15.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	75
15.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ – ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	76

ΜΕΡΟΣ 2 (ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ)

<u>2.ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ</u>	77
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	77
2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	77

2.3 Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας με τη μέθοδο του Terzaghi	78
2.3.1 Γενική θραύση (μη συνεκτικά εδάφη)	78
2.3.2 Τοπική θραύση – Βύθιση θεμελίου (συνεκτικά εδάφη)	81
2.4 ΤΑΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΗ	81
2.5 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	82
2.5.1 Ανάλυση Rankine	83
2.5.2 Η ανάλυση των Hogentogler και Terzaghi	84
2.5.3 Ανάλυση Prandtl	86
2.5.4 Ανάλυση Hansen	87
2.5.5 Η θεωρία του Vesic για τη φέρουσα ικανότητα	88
2.6 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ	90
2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	90

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΛΑΦΟΥΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταξύ των χαρακτηριστικών του εδάφους που προσδιορίζονται πολύ συχνά είναι και η υγρασία. Η υγρασία μιας εδαφικής μάζας ορίζεται ως ο λόγος (συνήθως εκφρασμένος επί τοις εκατό) του βάρους του νερού προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους.

1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

1.2.1 κάμρες πορσελάνης ή υποδοχείς μεταλλικοί (εικόνα 1.1 α & β)



Εικόνα 1.1α & β: Μεταλλικοί υποδοχείς

1.2.2 ηλεκτρικός ζυγός ακριβείας 0,01 g (εικόνα 1.2)



Εικόνα 1.2: Ηλεκτρονικός ζυγός

1.2.3 Ηλεκτρικός φούρνος (εικόνες 1.3 & 1.4)



Εικόνες 1.3 & 1.4: Ηλεκτρικός φούρνος

1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ζυγίζεται μια κάψα μεταλλική και σημειώνεται το βάρος της W_T . Από το δείγμα διαταραγμένου ή αδιατάρακτου εδάφους παίρνεται τεμάχιο με βάρος ανάλογο της κοκκομετρικής του σύνθεσης προσέχοντας αυτό να προέρχεται από την πλευρά με την περισσότερη υγρασία. Σημειώνεται σε ένα χαρτί το σημείο από το οποίο πάρθηκε το έδαφος και το βάθος. Έπειτα τοποθετείται το τεμάχιο του δείγματος στην κάψα και ζυγίζεται το συνολικό βάρος W_1 . Στη συνέχεια τοποθετείται στο φούρνο στους $105\text{ }^\circ\text{C}$ για περισσότερο από 24 ώρες ώστε να σταθεροποιηθεί το βάρος του (εικόνα 1.5). Μετά το πέρας των 24 ωρών εξάγεται η κάψα με το δοκίμιο και ζυγίζεται ώστε να προσδιορισθεί το τελικό βάρος W_2 .



Εικόνα 1.5: Δοκίμια προς ξήρανση στο φούρνο

Προσοχή: για οργανικά εδάφη η θερμοκρασία του φούρνου πρέπει να είναι μικρότερη των $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Για να υπολογίσουμε τη φυσική υγρασία του δείγματος επί τοις εκατό, διαιρούμε το βάρος του νερού που εξατμίσθηκε με το βάρος του ξηρού εδάφους που έμεινε στην κάψα. Δηλ.:

$$W_c(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_T} \cdot 100$$

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται συνοπτικά στον πίνακα 1.1. Για μεγαλύτερη ακρίβεια η δοκιμή πρέπει να γίνεται σε τρία ξεχωριστά δοκίμια.

Πίνακας 1.1

		ΔΟΚΙΜΙΟ 1	ΔΟΚΙΜΙΟ 2	ΔΟΚΙΜΙΟ 3
ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ + ΑΠΟΒΑΡΟ, ΥΓΡΟ	W_1	500	506	504
ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ + ΑΠΟΒΑΡΟ, ΞΗΡΟ	W_2	480	482	483
ΑΠΟΒΑΡΟ (ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ)	W_T	400	400	400
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ	$W_w = W_1 - W_2$	20	24	21
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	$W_d = W_2 - W_T$	80	82	83
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΝΕΡΟ (%)	$w_c = (W_w / W_d) \cdot 100$	25	29,27	25,30

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ: 26,52%

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΕΛΑΦΟΥΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο βάρος γ ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του εδάφους:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

όπου W είναι το συνολικό βάρος του δείγματος εδάφους συμπεριλαμβανομένων και των πόρων με το περιεχόμενό τους (νερό + αέρας) και V ο συνολικός όγκος του δείγματος. Το φαινόμενο βάρος παίρνει την ελάχιστη τιμή γ_d όταν τα κενά είναι πληρωμένα με αέρα και τη μέγιστη τιμή γ_{sat} όταν τα κενά είναι γεμάτα από νερό (κορεσμένο δείγμα).

2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

2.2.1 Δακτύλιοι κοφτερών άκρων, διαφόρων μεγεθών (εικόνα 2.1)



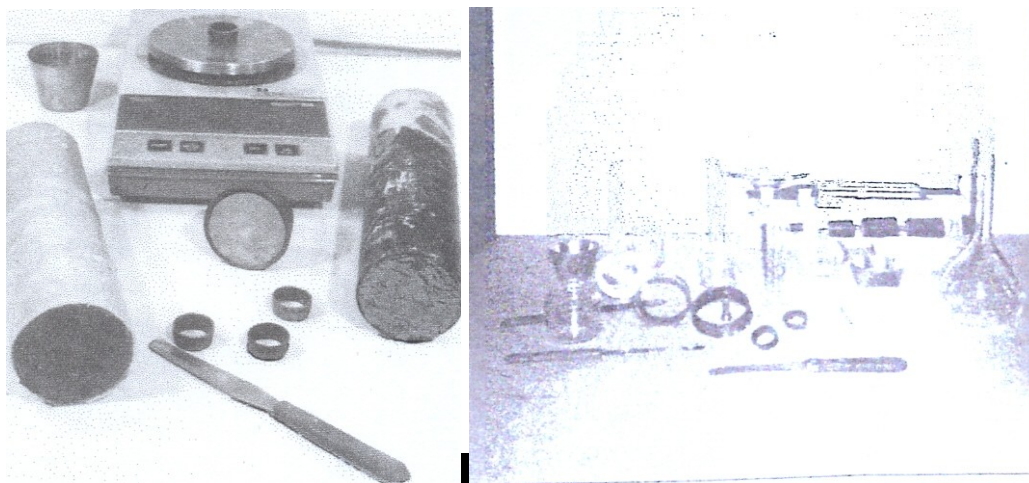
Εικόνα 2.1: Κωνικός δακτύλιος

2.2.2 Μαχαιράκι – σπάτουλα

2.2.3 Ζυγός ακριβείας 0,01 g

2.2.4 Μορφοποιητής δειγμάτων

2.2.5 Κάψες πορσελάνης, δοχεία γυάλινα ή υποδοχείς μεταλλικοί (εικόνα 2.2 α & β)



Εικόνα 2.2 α & β: Κύρια όργανα για τον προσδιορισμό των φαινομένων βαρών

2.2.6 Ηλεκτρικός φούρνος

2.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παίρνεται ο κατάλληλος για δειγματοληψία δακτύλιος. Συνήθως χρησιμοποιούνται οι δακτύλιοι παρασκευής δειγμάτων διαφόρων άλλων δοκιμών. Στην περίπτωση χονδρόκοκκων εδαφών (αμμώδεις άργιλοι) χρησιμοποιείται ο δακτύλιος της δοκιμής συμπίεστικότητας με διαστάσεις $D = 2,5''$ (6,33 cm) και $h = 1''$ (2,54 cm). Στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφών (καθαρές άργιλοι) χρησιμοποιείται μικρότερος δακτύλιος με διαστάσεις $D = 2,54$ cm και $h = 1$ cm.

Με λεπτό λάδι αλείφονται τα εσωτερικά και εξωτερικά τοιχώματα του δακτυλίου, για να εισχωρεί ευκολότερα στο δείγμα. Παίρνεται το αδιατάρακτο δείγμα και με το μαχαιράκι διαμορφώνεται κατάλληλα η κάτω πλευρά του για να εφαρμόσει καλά στο τραπέζι εργασίας. Τοποθετείται ο δακτύλιος δειγματοληψίας επάνω στο δείγμα και πιέζεται ελαφρά με έναν όμοιο δακτύλιο (βοηθητικό) για να εισχωρήσει στο αδιατάρακτο δείγμα. Συγχρόνως καθαρίζεται από τα τεμάχια εδάφους που βρίσκονται εξωτερικά του δειγματοληπτικού δακτυλίου. Πιέζεται ο δακτύλιος μέχρι να εισχωρήσει όλος στο δείγμα και κατά 5 mm ο δεύτερος. Αναστρέφεται ο δακτύλιος με το δείγμα και αφαιρείται το υπόλοιπο δείγμα προσεκτικά ώστε να δημιουργηθεί λεία και παράλληλη επιφάνεια προς τα χείλη του δακτυλίου. Αφαιρείται και ο δεύτερος βοηθητικός δακτύλιος και δημιουργείται η άλλη λεία επιφάνεια στο δείγμα. Αν η πρώτη πλευρά του δείγματος έχει ελαττώματα ωθείται το δείγμα που είναι στον βοηθητικό δακτύλιο προς την αντίθετη πλευρά και διαμορφώνεται νέα πλευρά πριν αφαιρεθεί ο βοηθητικός δακτύλιος.

Από τη διαφορά ζύγισης του μικτού βάρους και απόβαρου λαμβάνεται το βάρος του δοκιμίου W_o . Ο όγκος V_o του δακτυλίου είναι γνωστός και συνεπώς το φαινόμενο βάρος του δοκιμίου υπολογίζεται ως το πηλίκο:

$$\gamma = \frac{W_o}{V_o}$$

Το φαινόμενο βάρος εξάγεται ως ο μέσος όρος των τιμών τριών δοκιμών.

Έχοντας προσδιορίσει τη φυσική υγρασία, υπολογίζεται και το ξηρό φαινόμενο βάρος ως εξής:

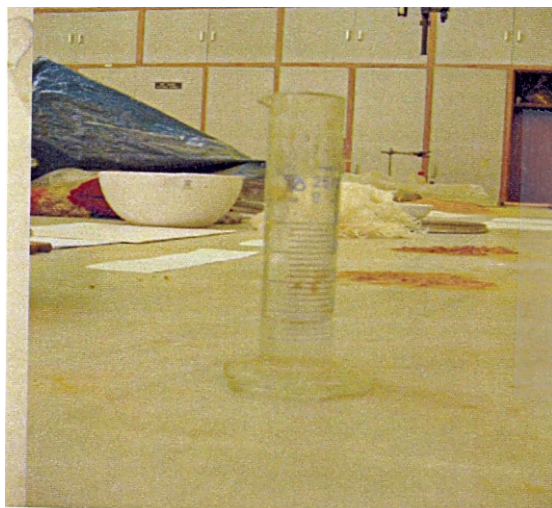
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w_c}$$

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

3.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

3.1.1 Ζυγός ακριβείας 0,01 g και ικανότητας τουλάχιστον 200 g.

3.1.2 Ογκομετρικός σωλήνας 200 mL (εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1: Ογκομετρικός κύλινδρος

3.1.3 Δοχείο τήξεως παραφίνης

3.1.4 Παραφίνη ή κερί

3.2 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Καθαρίζεται καλά ο ογκομετρικός σωλήνας, γεμίζεται κατά τα $\frac{3}{4}$ περίπου με απεσταγμένο νερό και καταγράφεται ακριβώς η στάθμη του νερού (αρχική ένδειξη). Παίρνεται ένα κομμάτι του εδαφικού δείγματος βάρους περίπου 100 g και σχήματος τέτοιου που να χωράει εύκολα στον ογκομετρικό σωλήνα. Ζυγίζεται με ακρίβεια 0,01 g και εμβαπτίζεται στο δοχείο με τη λιωμένη παραφίνη έως ότου επικαλυφθεί όλη η επιφάνεια του δείγματος με μία λεπτή φλούδα παραφίνης. Στη συνέχεια ζυγίζεται παραφινωμένο το δείγμα και εισάγεται με προσοχή μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα με το νερό. Καταγράφεται η νέα ένδειξη της στάθμης του νερού (τελική ένδειξη). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται δύο – τρεις φορές επί νέου εκάστοτε δείγματος και παίρνεται ο μέσος όρος.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Από τη διαφορά της αρχικής και τελικής αναγνώσεως, της στάθμης του νερού μέσα στο σωλήνα, υπολογίζεται ο όγκος του παραφινωμένου δείγματος. Από αυτόν τον όγκο αφαιρείται ο όγκος της παραφίνης (υπολογίζεται δια διαιρέσεως του βάρους της με το ειδικό της βάρος), ούτως ώστε να εξαχθεί ο όγκος του εδαφικού δείγματος. Το φαινόμενο βάρος του εδάφους υπολογίζεται διαιρώντας το βάρος του εδάφους με τον όγκο του.

Σκόπιμο είναι κατά τη διάρκεια της δοκιμής να τηρείται ένας πίνακας όπως ο κάτωθι.

Πίνακας 3.1

A	Βάρος υγρού εδάφους + παραφίνης (g)	72,2
B	Βάρος υγρού εδάφους (g)	69,1
Γ	Βάρος παραφίνης ($\Gamma = A - B$) (g)	3,1
Δ	Ειδικό βάρος παραφίνης (g/cm^3)	0,89
E	Όγκος παραφίνης (Γ/Δ) (cm^3)	3,48
Z	Τελική ανάγνωση στάθμης ύδατος (cm^3)	179,80
H	Αρχική ανάγνωση στάθμης ύδατος (cm^3)	142,90
Θ	Όγκος εδάφους + παραφίνης ($\Theta = Z - H$) (cm^3)	36,90
I	Όγκος εδάφους ($I = \Theta - E$) (cm^3)	33,42
K	Φαινόμενο Βάρος (B/I) (g/cm^3)	2,07

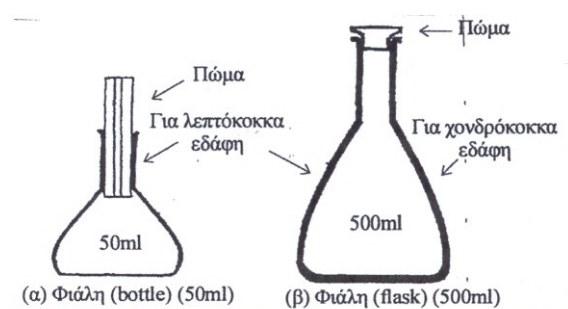
4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Φαινόμενο βάρος στερεών συστατικών ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους μόνο των στερεών συστατικών προς τον αντίστοιχο όγκο τους.

4.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

4.2.1 Μικρές φιάλες χωρητικότητας των 50 ή 100 ml, με διάτρητο πώμα, ή μεγάλες φιάλες των 250 ή 500 ml, με προσαρμογή ή όχι πλάγιου μικρού σωλήνα για την εφαρμογή της αντλίας κενού (σχήμα 4.1 α & β και εικόνα 4.1)



Σχήμα 4.1α & β: Φιάλες προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους των στερεών συστατικών του εδάφους



Εικόνα 4.1: Φιάλες προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους των στερεών συστατικών του εδάφους

4.2.2 Κόσκινο Νο 4 για τις μικρές φιάλες

4.2.3 Ζυγοί ακριβείας 0,001 g για τις φιάλες των 50 ml, 0,01 g για τις φιάλες των 250 ml ή 500 ml και 1,0 g για το πυκνόμετρο

4.2.4 Γυάλινη ράβδος

4.2.5 Φούρνος ξήρανσης

4.2.6 Αντλία κενού

4.2.7 Θερμόμετρο ακριβείας 0,1 °C

4.2.8 Κάψες πορσελάνης

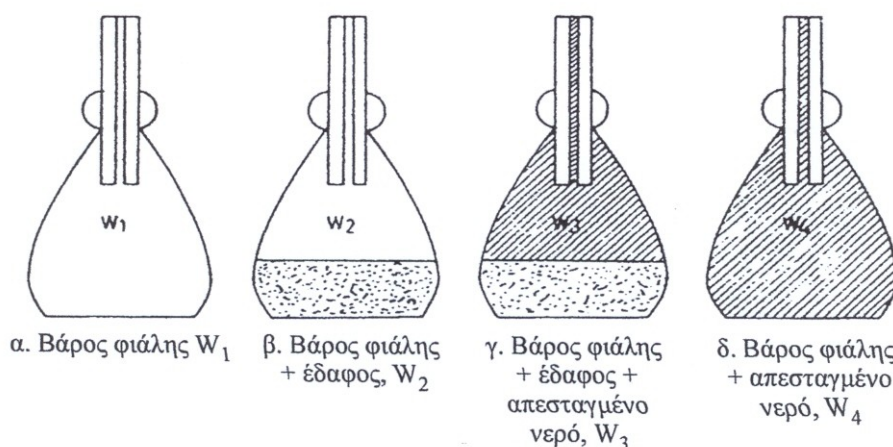
4.2.9 Απεσταγμένο νερό

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΗΣ ΦΙΑΛΗΣ (50 ή 100 ml)

4.3.1 Τρόπος εργασίας

Ζυγίζεται η φιάλη με το πόμα (W_1) καθαρή, ξηρή και σε θερμοκρασία αέρος (σχήμα 4.2 α, β, γ & δ). Μεταφέρονται περίπου 10 ή 20 g ξηρού κονιοποιημένου εδάφους εντός της φιάλης. Η ζύγιση της φιάλης με το δείγμα γίνεται με ακρίβεια 0,001 g (W_2). Στη συνέχεια καλύπτεται το έδαφος με απεσταγμένο νερό και αφήνεται να διαβραχεί για τουλάχιστον 12 ώρες. Κατόπιν προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρι να πληρωθεί η φιάλη περίπου στο μισό. Τίθεται η φιάλη στο σύστημα της αντλίας νερού και με δημιουργία κενού, μέχρι 10 cm Hg, αφαιρείται ο εγκλεισμένος αέρας από τη φιάλη και το δείγμα. Γεμίζεται η φιάλη με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή πλήρωσης, σκουπίζεται και ζυγίζεται (W_3). Μετράται η θερμοκρασία του περιεχόμενου νερού. Αδειάζει η φιάλη, ξεπλένεται εντελώς και ξαναγεμίζει με απεσταγμένο νερό της ίδιας θερμοκρασίας του πειράματος (t°), σκουπίζεται εξωτερικά και ζυγίζεται (W_4).

Το πείραμα επαναλαμβάνεται δύο φορές τουλάχιστον.



Σχήμα 4.2 α, β, γ & δ: Σχηματική παράσταση προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους στερεών συστατικών του εδάφους. Ισχύει και για τις δύο μεθόδους

4.3.2 Υπολογισμοί

Το φαινόμενο βάρος στερεών κόκκων γ_s για θερμοκρασία νερού t δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma_s(t^\circ) = \frac{(W_2 - W_1) \cdot \gamma_{w,t^\circ}}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$$

Για αναγωγή στους 20 °C χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\gamma_s = \gamma_{s,20^\circ C} = \gamma_{s,t^\circ} \cdot \frac{\gamma_{w,t^\circ}}{\gamma_{w,20^\circ C}}$$

Στον πίνακα 4.1 δίνεται παράδειγμα υπολογισμού.

4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΦΙΑΛΗΣ

4.4.1 Τρόπος εργασίας

Η μέθοδος αυτή είναι σχεδόν ίδια με τη μέθοδο της μικρής φιάλης. Χρησιμοποιείται φιάλη 250 ή 500 ml, η οποία φέρει χαραγή για την ακριβή μέτρηση του όγκου και προσαρμογή ανάλογη για το σωλήνα της αντλίας κενού που χρησιμοποιείται. Απαιτούνται 80 – 100 g εδάφους για τη δοκιμή, τα οποία και μπορούν να ξηραθούν στον αέρα ή στο φούρνο. Αν η ξήρανση γίνεται στον αέρα, το ξηρό βάρος του εδάφους προσδιορίζεται μετά τη δοκιμή ως $W_s = W_2 - W_1$, όπου W_2 και W_1 είναι αντίστοιχα το βάρος της φιάλης με το ξηρό έδαφος και το απόβαρο της κενής φιάλης. Επίσης, απαιτείται ζύγιση της φιάλης με το έδαφος και με απεσταγμένο νερό W_3 , καθώς και ζύγισή της όταν είναι γεμάτη μόνο με απεσταγμένο νερό (W_4). Η διαδικασία πλήρωσης της φιάλης με το έδαφος και με απεσταγμένο νερό γίνεται όπως και στην προηγούμενη μέθοδο.

Στα αργιλώδη εδάφη είναι προτιμότερη η μηχανική ανάμιξη εδάφους – νερού για περίπου 15 λεπτά με αναμικτήρα υψηλής ταχύτητας και στη συνέχεια μεταφορά του μίγματος στη φιάλη.

4.4.2 Υπολογισμοί

Το φαινόμενο βάρος των στερεών συστατικών του εδαφικού υλικού δίνεται από τη σχέση που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη μέθοδο με τη διόρθωση εξαιτίας θερμοκρασιακής μεταβολής.

Πίνακας 4.1 Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους στερεών συστατικών. Μέθοδος μικρής φιάλης 50 ml.

Πυκνομετρική φιάλη Νο	16	1 ^η Δοκιμή	2 ^η Δοκιμή	3 ^η Δοκιμή
Θερμοκρασία δοκιμής t°		28°		
Φ. Βάρος Νερού t°		0,99626		
Φ. Βάρος Νερού 20 °C		0,99823		
Συντελεστής διόρθωσης	$K = \gamma_{w,t} / \gamma_{w,20} \text{ } ^\circ\text{C}$	0,99972		
Βάρος Πυκν. Φιάλης	W_1	16,705		
Β.Π.Φ. + Β.Ξ.Εδάφους	W_2	25,573		
Β.Π.Φ. + Β.Εδ. + Νερό	W_3	74,215		
Β.Π.Φ. + Νερό μέχρι χαραγή	W_4	68,605		
Φ. Βάρος Εδάφους t°		2,72		
Φ. Βάρος Εδάφους 20 °C		2,719		
Μέσος όρος τιμών φαινόμενου βάρους στερεών γ_s :				

Πίνακας 4.2. Σχετική πυκνότητα νερού και συντελεστής αναγωγής K για διάφορες θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία °C	Σχετική πυκνότητα νερού	Συντελεστής αναγωγής K
18	0,9986	1,0004
19	0,9984	1,0002
20	0,9982	1
21	0,9980	0,9998
22	0,9978	0,9996
23	0,9975	0,9993
24	0,9973	0,9991
25	0,997	0,9989
26	0,9968	0,9986
27	0,9965	0,9983
28	0,9962	0,998
29	0,9959	0,9977
30	0,9956	0,9974

5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μέγεθος των κόκκων ενός εδάφους εξετάζεται για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμησή του. Τα μεγέθη των κόκκων κατανέμονται κατά ομάδες, όπου τα μέρη βάρους καθεμιάς προσδιορίζονται με τη μέθοδο των κοσκίνων ή με αραιόμετρο (μέθοδος Stokes). Το όριο ανάμεσα στη χρησιμοποίηση αυτών των δύο μεθόδων ορίζεται για διάμετρο (d) κόκκου 0,074 mm (όριο άμμου – ιλύος). Έτσι στην περίπτωση κόκκων με $d > 0,074$ mm χρησιμοποιείται η μέθοδος με τα κόσκινα, ενώ αν $d < 0,074$ mm χρησιμοποιείται η μέθοδος Stokes. Αν ένα δείγμα περιέχει περισσότερο από 25% κόκκους με $d < 0,074$ mm τότε είναι απαραίτητη μια συνδυασμένη ανάλυση, τόσο με κόσκινα όσο και με αραιόμετρο.

Τα εδάφη χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: στα χονδρόκοκκα, στα λεπτόκοκκα και στα οργανικά εδάφη. Ένα χονδρόκοκκο έδαφος περιέχει λιγότερο από 35% κόκκους με $d < 0,074$ mm, ενώ ένα λεπτόκοκκο έδαφος περιέχει περισσότερο από 35% κόκκους με $d < 0,074$ mm.

Τα εδαφικά υλικά ανάλογα με το μέγεθος λαμβάνουν τις παρακάτω ονομασίες σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM:

- Κροκάλες -Λίθοι (bounders stones) όταν $d > 76,2$ mm
- Χαλίκια (gravel) – G
Χονδροί χάλικες (coarse) όταν $76,2$ mm $> d > 19$ mm
Λεπτοί χάλικες (fine) όταν 19 mm $> d > 4,76$ mm
- Άμμος (sand) – S
Χονδρή άμμος (coarse) όταν $4,76$ mm $> d > 2$ mm
Μέση άμμος (medium) όταν 2 mm $> d > 0,425$ mm
Λεπτή άμμος (fine) όταν $0,425$ mm $> d > 0,074$ mm
- Ιλύς (silt) – M όταν $0,074$ mm $> d > 0,002$ mm
- Άργιλος (clay) – C όταν $d < 0,002$ mm

5.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω:

5.2.1 Ζυγό ευαισθησίας 0,1% του βάρους του δείγματος που εξετάζεται.

5.2.2 Κόσκινα. Τα πλέγματα των κοσκίνων τετραγωνικών οπών πρέπει να είναι προσαρμοσμένα σε στερεά πλαίσια κατασκευασμένα κατά τρόπο που να αποφεύγεται απώλεια του υλικού κατά τη διάρκεια κοσκινίσματος. Πρέπει επίσης να επιλέγονται κόσκινα κατάλληλων διαστάσεων, για την παροχή των πληροφοριών που απαιτούνται από τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο υλικό που εξετάζεται. Τα κόσκινα με συρμάτινο πλέγμα πρέπει να είναι σύμφωνα με τις πρότυπες προδιαγραφές κοσκίνων για δοκιμές (AASHTO M-92).

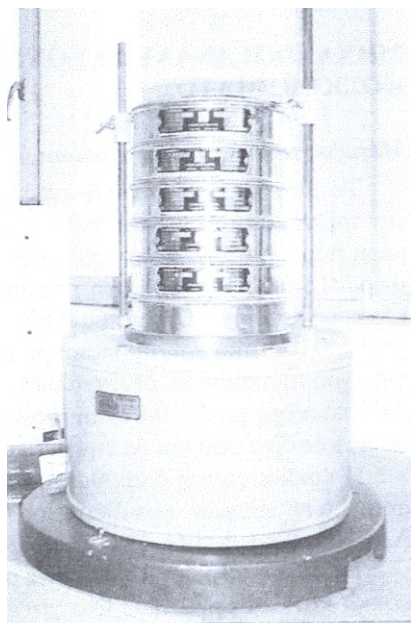
5.2.3 Κλίβανος. Ο κλίβανος πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία 110 °C.

5.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

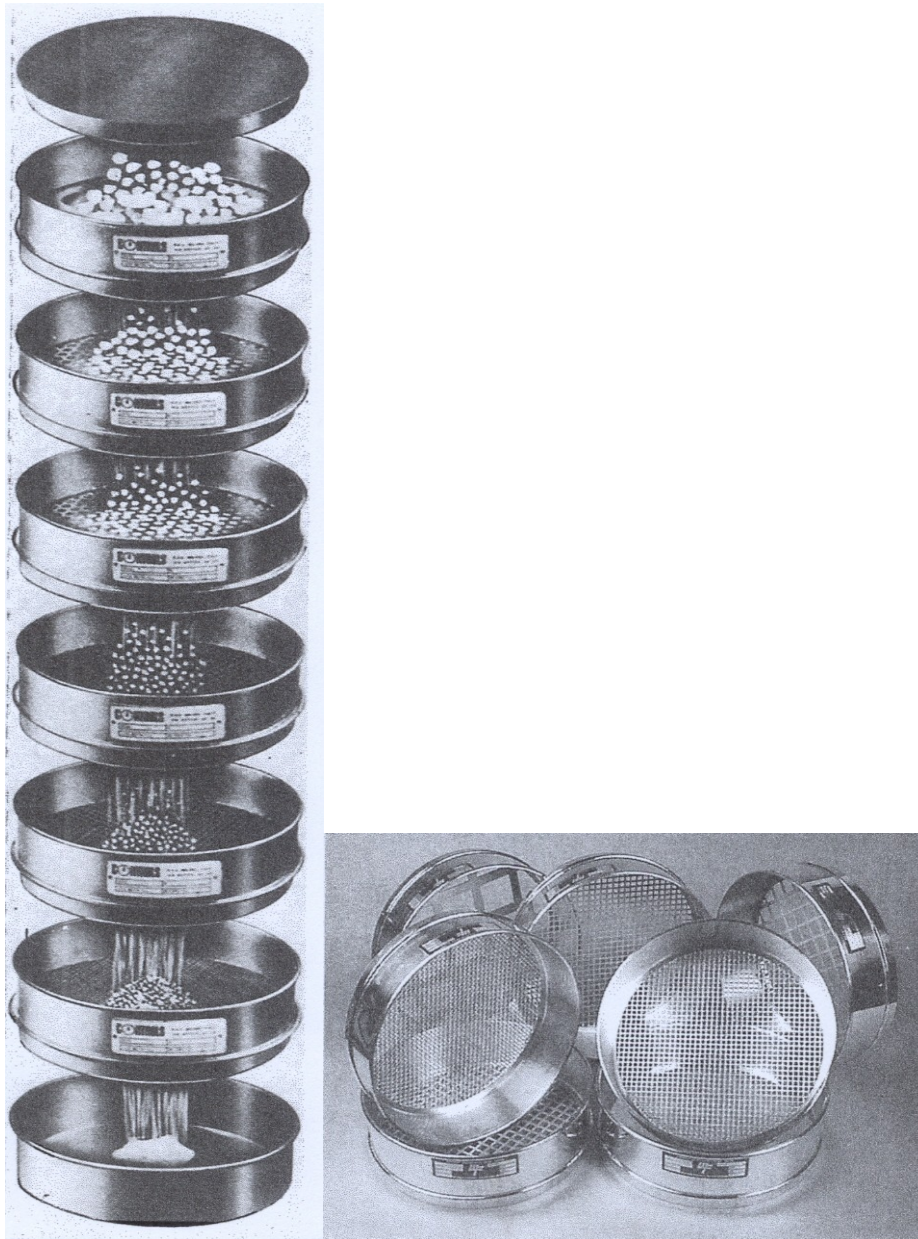
Ανάλογα με το υλικό που έχουμε να εξετάσουμε χρησιμοποιείται και διαφορετική ποσότητα δείγματος. Έτσι, για λεπτή έως μέση άμμο χρειάζονται 100 – 200 g, για χοντρή άμμο μέχρι λεπτά χαλίκια 0,5 Kg και για χονδρά χαλίκια και

κροκάλες 5 Kg και περισσότερο. Τα κόσκινα χρησιμοποιούνται με σειρά μεγέθους αυξανόμενη από κάτω προς τα πάνω.

Το δείγμα που θα κοσκινιστεί πρέπει να αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά, στεγνά, με διαχωρισμένους κόκκους και χωρίς ξένα σώματα. Για το λόγο αυτό το δείγμα θερμαίνεται στους 105 °C και αφού ξηραθεί ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας. Κατόπιν ρίχνεται το υλικό του δείγματος μέσα σε μια σειρά κοσκίνων (εικόνα 5.1) με διαφορετική διάμετρο έκαστο. Το τελευταίο κόσκινο με $d = 0,074$ mm (No 200) αντιπροσωπεύει το μικρότερο κλάσμα της άμμου. Στη συνέχεια μεταφέρεται ολόκληρη η στήλη σε αυτόματη συσκευή κοσκινίσματος όπου και εκτελείται κοσκίνισμα για 15 λεπτά περίπου (εικόνα 5.2). Το κοσκίνισμα πραγματοποιείται με πλευρικές κινήσεις του κοσκίνου έτσι ώστε το δείγμα να είναι σε συνεχή κίνηση πάνω στην επιφάνεια του. Αφού τελειώσει η διαδικασία κοσκινίσματος ζυγίζεται το υλικό που έχει συγκρατηθεί σε κάθε κόσκινο και μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνολικού βάρους του δείγματος. Ζυγίζεται επίσης και το υλικό το διερχόμενο από το κόσκινο No 200 εφόσον αυτό περιέχει τα λεπτόκοκκα υλικά (άργιλος και ιλύς). Η διαφορά βάρους ανάμεσα στο αρχικό ζύγισμα και στο συνολικό βάρος των συγκρατούμενων υλικών στα διάφορα κόσκινα δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1% του αρχικού βάρους.



Εικόνα 5.1: Διάταξη κοσκίνων τοποθετημένων σε συσκευή δόνησης



Εικόνα 5.2: Σειρά κοσκίνων

5.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αναφέρονται ως εξής: (α) με τα % ποσοστά που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο και (β) με τα % ποσοστά που διέρχονται από κάθε κόσκινο. Τα ποσοστά υπολογίζονται με βάση το ολικό βάρος του δείγματος συμπεριλαμβανομένου και του υλικού του λεπτότερου από το κόσκινο No 200.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση απεικονίζεται με την κοκκομετρική καμπύλη. Η κοκκομετρική καμπύλη προκύπτει από τη μεταφορά των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης σε ημιλογαριθμικό κάρναβο, δηλαδή σε σύστημα συντεταγμένων που οι τετμημένες αναπαριστούν το λογάριθμο της διαμέτρου των κόκκων $\log(d)$, ενώ οι τεταγμένες αντιστοιχούν στο ποσοστό του συνολικού βάρους του εδάφους το οποίο αποτελείται από κόκκους με διάμετρο μικρότερη της αντίστοιχης d (βλ. σχετικό έντυπο κοκκομετρικής ανάλυσης).

Από την κλίση της κοκκομετρικής καμπύλης μεταξύ των διαμέτρων d_{60} και d_{10} διαπιστώνεται η ομοιομορφία του εδάφους. Αριθμητικά εκφράζεται με το συντελεστή ομοιομορφίας $U = d_{60}/d_{10}$, όπου d_{60} και d_{10} είναι τα αντίστοιχα ποσοστά εδάφους με διάμετρο κόκκων μικρότερη του d . Έτσι όταν:

$U < 5$, το έδαφος χαρακτηρίζεται ομοιόμορφο (πχ αιολικές αποθέσεις)

$U = 5 - 15$, ανομοιόμορφο (πχ άμμος)

$U > 15$, πολύ ανομοιόμορφο (πχ χερσοποτάμιες και παγετώδεις αποθέσεις)

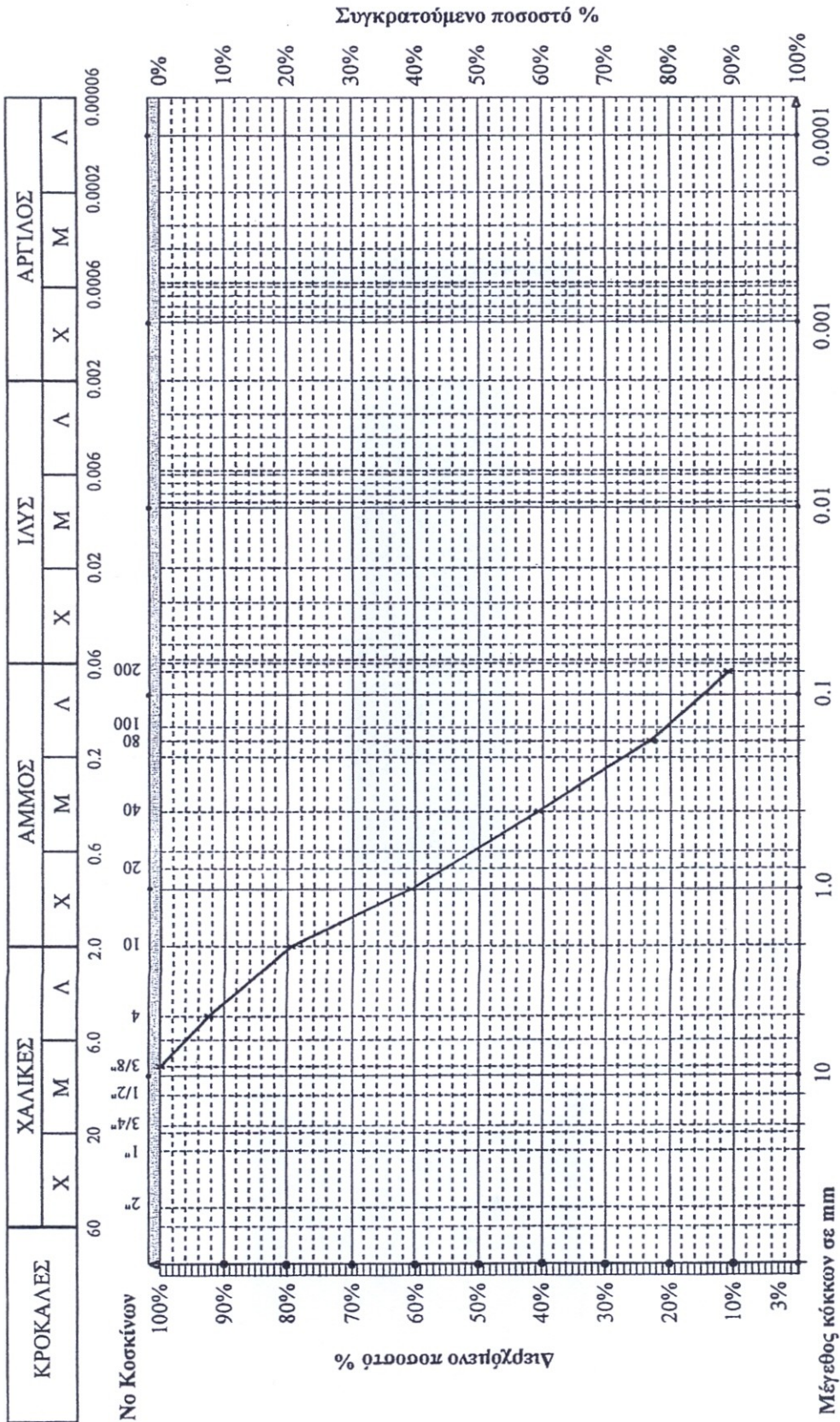
Ο συντελεστής ομοιομορφίας μας δίνει πληροφορίες σχετικά με τη συμπίκνωση μη συνεκτικών ή ελαφρά συνεκτικών εδαφών ($U > 15$, το έδαφος μπορεί να υποστεί καλή συμπίκνωση).

Πίνακας 5.1 Σειρά κοσκίνων διαμέτρου 8'' (ASTM)

Αριθμός κοσκίνου	Micron (μ)	Millimeters (mm)	Inches (in)
Σειρά για χονδρόκοκκα εδάφη			
4''	-	101,6	4
3 1/2''	-	88,9	3,5
3''	-	76,2	3
2 1/2''	-	63,5	2,5
2''	-	50,8	2
1 3/4''	-	44,4	1,75
1 1/2''	-	38,1	1,5
1 1/4''	-	31,7	1,25
1''	-	25,4	1
7/8''	-	22,2	0,875
3/4''	-	19,1	0,75
5/8''	-	15,9	0,625
1/2''	-	12,7	0,5
7/16''	-	11,1	0,438
3/8''	-	9,52	0,375
5/16''	-	7,93	0,312
Σειρά για λεπτόκοκκα εδάφη			
3 1/4''	-	6,35	0,25
3 1/2''	5660	5,66	0,223
4	4760	4,76	0,187
5	4000	4	0,157
6	3360	3,36	0,132
7	2830	2,83	0,111
8	2380	2,38	0,0937
10	2000	2	0,0787
12	1680	1,68	0,0661
14	1410	1,41	0,0555
16	1190	1,19	0,0469
18	1000	1	0,0394
20	840	0,84	0,0331
25	710	0,71	0,028
30	590	0,59	0,0232
35	500	0,5	0,0197
40	420	0,42	0,0165
45	350	0,35	0,0138
50	297	0,297	0,0117
60	250	0,25	0,0098
70	210	0,21	0,0083
80	177	0,177	0,007
100	149	0,149	0,0059
120	125	0,125	0,0049
140	105	0,105	0,0041
170	88	0,088	0,0035

200	74	0,074	0,0029
-----	----	-------	--------

ΕΝΤΥΠΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



Σύμβολο	Νο Δειγμάτων	Περιγραφή	% Κροκάλ.	% Χάλικες	% Άμμος	% Ιλύς	% Αργίλος	d ₆₀	d ₁₀	u=d ₆₀ :d ₁₀	Παρατηρήσεις
	Βάθος από ε.ε. από (m)										
											Έντυπο: 4

6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος αυτή περιγράφει τη διαδικασία προσδιορισμού της ποσότητας υλικού με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 0,074 mm (διερχόμενο από το κόσκινο Νο 200), που υπάρχει σε αδρανή υλικά.

6.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

6.2.1 Κόσκινα. Συνδυασμός δύο κοσκίνων, εκ των οποίων το κατώτερο είναι το κόσκινο Νο 200 και το ανώτερο το κόσκινο Νο 16.

6.2.2 Υποδοχέας. Υποδοχέας ικανού μεγέθους, ώστε να χωράει το δείγμα βυθισμένο όλο μέσα στο νερό και να επιτρέπει δυνατή ανατάραξη χωρίς απώλειες από απροσεξία.

6.2.3 Ζυγός. Ο ζυγός πρέπει να είναι ευαίσθητος μέχρι 0,1% του βάρους του δείγματος που εξετάζεται.

6.2.4 Κλίβανος. Ο κλίβανος πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί θερμοκρασία σταθερή στους 110 °C.

6.3 ΔΕΙΓΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Το δείγμα για τη δοκιμή πρέπει να προέρχεται από υλικό που αναμίχθηκε καλά και το οποίο περιέχει αρκετή υγρασία, ώστε να αποφεύγεται ο διαχωρισμός. Πρέπει να λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, αρκετό για να δώσει ξηρό βάρος υλικού όχι λιγότερου εκείνου που απαιτείται για τη δοκιμή, όπως φαίνεται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 Ελάχιστο βάρος δείγματος ανάλογα με το μέγιστο μέγεθος κόκκου

Ονομαστικό μέγιστο μέγεθος κοσκίνου	Κατά προσέγγιση ελάχιστο βάρος δείγματος σε Kg
No 4 4,75 mm	0,5
3/8 '' 9,5 mm	1
3/4 '' 19 mm	2,5
1 1/2 '' 37,5 mm ή μεγαλύτερο	5

6.4 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το δείγμα για τη δοκιμή ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 110 °C και ζυγίζεται με προσέγγιση 0,1%. Μετά την ξήρανση και τη ζύγιση, τοποθετείται μέσα στον υποδοχέα και καλύπτεται με αρκετό νερό, ώστε να εξασφαλίζεται ο πλήρης διαχωρισμός του υλικού του λεπτότερου από το κόσκινο Νο 200, από τα χονδρότερα τεμάχια. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του υποδοχέα αναταράσσεται ισχυρά και το νερό πλύσεως χύνεται αμέσως μέσα στα συνδυασμένα δύο κόσκινα, διευθετημένα με το χονδρότερο κόσκινο επάνω. Η

χρησιμοποίηση κουτάλας για την ανατάραξη του υλικού μέσα στο νερό πλύσεως είναι χρήσιμη.

Η ανατάραξη πρέπει να είναι αρκετά ισχυρή, ώστε να επιτυγχάνεται ο πλήρης διαχωρισμός των κόκκων που διέρχονται από το κόσκινο Νο 200 από τους χονδρότερους και να προκαλεί αιώρηση του λεπτού υλικού, για να απομακρύνεται με στράγγιση του νερού πλύσεως. Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται όσο απαιτείται, ώστε το νερό πλύσεως να γίνει διαυγές.

Όλο το υλικό που συγκρατήθηκε στα κόσκινα επαναφέρεται στο δείγμα που πλύθηκε. Το πλυμένο αδρανές υλικό ξηραίνεται μέχρι σταθερού βέρους, σε θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 110 °C και ζυγίζεται με προσέγγιση 0,1%.

6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Τα αποτελέσματα υπολογίζονται με τον παρακάτω τύπο:

Ποσοστό υλικού λεπτότερου του κόσκινου Νο 200 = $\frac{[(\text{Αρχικό ξηρό βάρος}) - (\text{ξηρό βάρος με πλύση})]}{(\text{Αρχικό ξηρό βάρος})} \times 100$

7. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ (ΜΕΘΟΔΟΣ STOKES)

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Βασίζεται στην αρχή της διασποράς και καθίζησης των εδαφικών κόκκων στο νερό με διαφορετικές ταχύτητες, που εξαρτώνται από το σχήμα, το μέγεθος και το βάρος τους. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιείται το αραιόμετρο του σχήματος 7.1.

Σύμφωνα με το νόμο του Stokes τα εδαφικά τεμαχίδια είναι σφαιρικά και η ταχύτητα καθίζησης είναι συνάρτηση της διαμέτρου τους. Η σχέση που περιγράφει το νόμο είναι:

$$d_o = \sqrt{\frac{30 \cdot n \cdot L}{980 \cdot (G_s - 1) \cdot t}}$$

όπου:

d_o : η μέγιστη διάμετρος σε mm

n : συντελεστής ιξώδους, σε poise, του μέσου διασποράς (του νερού)

L : διαδρομή κόκκων που καθιζάνουν σε cm

t : χρόνος περιόδου καθίζησης σε min

G_s : ειδικό βάρος κόκκων εδάφους

Ο νόμος του Stokes εφαρμόζεται σε εδαφικά υλικά που έχουν ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη από 0,2mm και μεγαλύτερη από 0,0002mm. Εδαφικοί κόκκοι μεγαλύτεροι από 0,2mm καθιζάνουν με μεγάλη ταχύτητα και προκαλούν ανατάραξη του αιωρήματος. Εδαφικοί κόκκοι μικρότεροι από 0,0002mm δεν μετρούνται λόγω της κίνησης Brown. Στον πίνακα 7.1 δίνονται οι μέγιστες διαμέτροι των κόκκων σε αιώρηση για διάφορους χρόνους κάτω από δεδομένες συνθήκες. Οι συνθήκες σύμφωνα με τις οποίες υπολογίσθηκαν οι μέγιστες διαμέτροι είναι:

- Η απόσταση L που διατρέχουν οι κόκκοι, σταθερή και ίση προς 17,5cm.
- Ο συντελεστής ιξώδους n ίσος προς αυτόν του νερού στους 20 °C, δηλ. 0,01005 poises.
- Το ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους G_s λαμβάνεται σταθερό και ίσο προς 2,65.

Αυτές οι διαμέτροι διορθώνονται σύμφωνα με τον τύπο: $d' = d_o \cdot K_L \cdot K_G \cdot K_n$ για συνθήκες διαφορετικές από τις παραπάνω. Οι συντελεστές K_L , K_G και K_n δίνονται από τους πίνακες 7.2, 7.3 και 7.4.

Πίνακας 7.1 Μέγιστη διάμετρος κόκκων σε αιώρημα κάτω από δεδομένες συνθήκες

Χρόνος (min)	Μέγιστη διάμετρος κόκκου (mm)
2	0,041
5	0,026
15	0,015
30	0,011
60	0,0074
250	0,0037
1440	0,0015

Πίνακας 7.2 Υπολογισμός συντελεστή K_L για το αραιόμετρο 151 Η

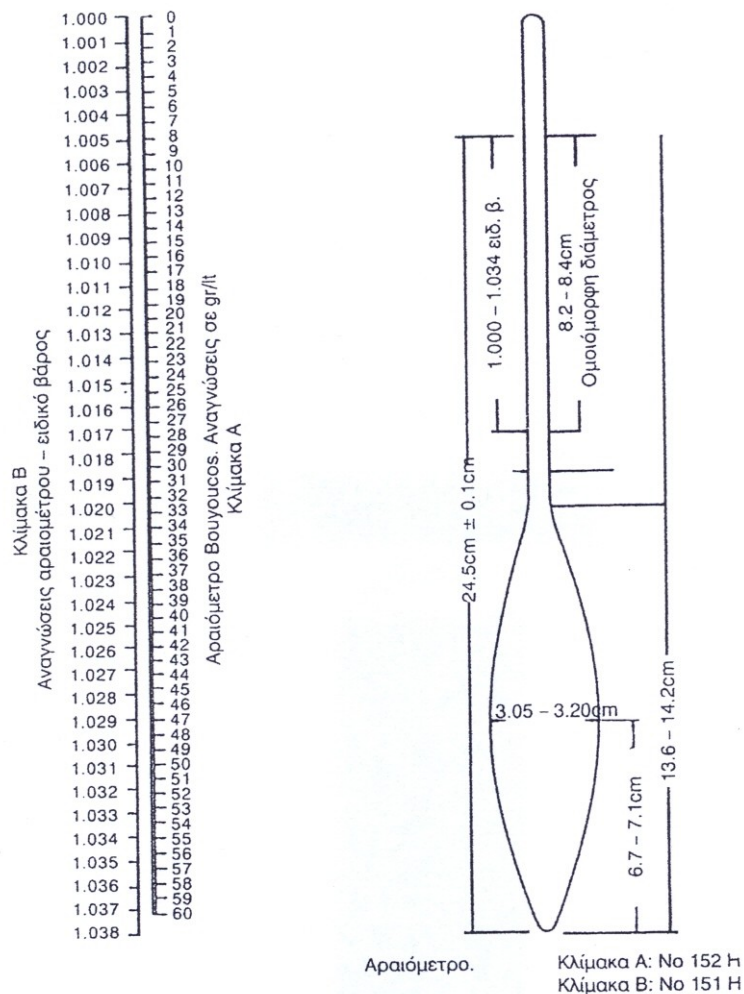
Πυκνότητα	K_L	Πυκνότητα	K_L	Πυκνότητα	K_L
1065	0,408	1033	0,699	1001	0,99
1064	0,415	1032	0,708	1000	1
1063	0,424	1031	0,718		
1062	0,433	1030	0,728		
1061	0,442	1029	0,737		
1060	0,45	1028	0,743		
1059	0,459	1027	0,752		
1058	0,467	1026	0,76		
1057	0,478	1025	0,77		
1056	0,489	1024	0,778		
1055	0,5	1023	0,788		
1054	0,51	1022	0,796		
1053	0,518	1021	0,805		
1052	0,526	1020	0,817		
1051	0,535	1019	0,825		
1050	0,544	1018	0,833		
1049	0,552	1017	0,841		
1048	0,562	1016	0,85		
1047	0,572	1015	0,86		
1046	0,581	1014	0,868		
1045	0,59	1013	0,878		
1044	0,6	1012	0,888		
1043	0,608	1011	0,896		
1042	0,619	1010	0,907		
1041	0,628	1009	0,918		
1040	0,637	1008	0,927		
1039	0,643	1007	0,938		
1038	0,652	1006	0,946		
1037	0,662	1005	0,955		
1036	0,672	1004	0,962		
1035	0,68	1003	0,971		
1034	0,69	1002	0,98		

Πίνακας 7.3 Υπολογισμός συντελεστή K_L για το αραιόμετρο 152 Η

gr/l	K_L (x 10 ⁻³)	gr/l	K_L (x 10 ⁻³)	gr/l	K_L (x 10 ⁻³)	gr/l	K_L (x 10 ⁻³)
1		33	819	65	625	97	429
2		34	814	66	621	98	424
3		35	805	67	614	99	418
4	996	36	800	68	608	100	413
5	990	37	794	69	601	101	408
6	985	38	789	70	596	102	403
7	979	39	783	71	590	103	398
8	971	40	778	72	584	104	394
9	967	41	770	73	573	105	390
10	962	42	764	74	572		
11	955	43	758	75	565		
12	950	44	752	76	560		
13	944	45	748	77	552		
14	938	46	743	78	547		
15	931	47	737	79	542		
16	924	48	731	80	535		
17	918	49	725	81	529		
18	911	50	718	82	523		
19	904	51	712	83	518		
20	897	52	705	84	513		
21	890	53	692	85	506		
22	884	54	683	86	500		
23	878	55	686	87	492		
24	872	56	680	88	485		
25	867	57	674	89	479		
26	860	58	669	90	472		
27	855	59	662	91	465		
28	849	60	655	92	459		
29	841	61	650	93	453		
30	835	62	643	94	448		
31	830	63	636	95	442		
32	825	64	639	96	437		

Πίνακας 7.4 1) Συντελεστής διόρθωσης K_G σε συνάρτηση με το ειδικό βάρος του εδάφους. 2) Συντελεστής διόρθωσης K_n σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Ειδικό βάρος	K_G	°C	K_n
2,6	1,016	15	1,053
2,61	1,013	15,5	1,046
2,62	1,010	16	1,043
2,63	1,007	16,5	1,034
2,64	1,003	17	1,028
2,65	1	17,5	1,02
2,66	0,998	18	1,014
2,67	0,995	18,5	1,008
2,68	0,99	19	1
2,69	0,987	19,5	0,995
2,7	0,985	20	0,988
2,71	0,983	20,5	0,984
2,72	0,98	21	0,98
2,73	0,978	21,5	0,975
2,74	0,975	22	0,967
2,75	0,972	22,5	0,962
		23	0,956
		23,5	0,95
		24	0,946
		24,5	0,94
		25	0,935
		25,5	0,93
		26	0,925
		26,5	0,92



Σχήμα 7.1: Αραιόμετρο (πυκνόμετρο)

7.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

7.2.1 Ζυγός ακριβείας 0,1g.

7.2.2 Συσκευή αναδέυσεως. Μηχανική συσκευή αναδέυσεως που αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα κατάλληλα προσαρμοσμένο ώστε να περιστρέφει κατακόρυφο άξονα με ταχύτητα όχι μικρότερη από 10.000 στροφές το λεπτό χωρίς φορτίο, από ένα περύγιο αναδέυσεως από μέταλλο ή σκληρό ελαστικό που να μπορεί να αντικατασταθεί και από ένα κύπελλο διασποράς.

7.2.3 Υδρόμετρο (Πυκνόμετρο). Αυτό θα έχει το σχήμα και τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 7.1. Υπάρχουν δύο τύποι υδρομέτρων. Αυτά που φέρουν την κλίμακα Α και εκείνα με την κλίμακα Β. Η κλίμακα Α έχει υποδιαίρεσεις από 0 έως 60 γραμμάρια ανά λίτρο. Τα υδρόμετρα που φέρουν την κλίμακα αυτή χαρακτηρίζονται ως τύπου 152 Η. Η βαθμονόμηση γίνεται με βάση την παραδοχή ότι το απεσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1 στους 20 °C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65. Η κλίμακα Β έχει υποδιαίρεσεις για ειδικό βάρος 1 έως 1,038. Υδρόμετρα που φέρουν την κλίμακα αυτή χαρακτηρίζονται ως τύπου 151 Η.

7.2.4 Γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000 ml ύψους 45,72 cm και διαμέτρου 6,35 cm.

7.2.5 Θερμόμετρο ακριβείας 0,5 °C.

7.2.6 Κόσκινο Νο 10 τετραγωνικών οπών, με συρμάτινο πλέγμα σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Πρότυπων Προδιαγραφών για κόσκινα δοκιμών.

7.2.7 Υδατόλουτρο ή χώρος σταθερής θερμοκρασίας για τη διατήρηση σε σταθερή θερμοκρασία του εδαφικού αιώρηματος κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Ικανοποιητική περίπτωση υδατόλουτρου αποτελεί μια μικρή δεξαμενή νερού καλά μονωμένη που να διατηρεί το αιώρημα σε κατάλληλη σταθερή θερμοκρασία όσο το δυνατό πιο κοντά στους 20 °C.

7.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

7.3.1 Το δείγμα που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή αυτή, αφού πρώτα ξηραθεί στον αέρα, περιλαμβάνει όλο το υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο Νο 10 και αντιπροσωπευτική ποσότητα, περίπου 100g από το κλάσμα του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10. Εάν το κλάσμα αυτό είναι πολύ αμμώδες τότε προστίθεται μεγαλύτερη ποσότητα από το διερχόμενο του κόσκινου Νο 10. Τα δείγματα αυτά λαμβάνονται σύμφωνα με τη μέθοδο κοκκομετρικής ανάλυσης εδαφών με κόσκινα.

7.3.2 Για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας χρησιμοποιείται ποσότητα περίπου 50g από το κλάσμα του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10 σύμφωνα με τη μέθοδο προσδιορισμού της φυσικής υγρασίας.

7.3.3 Από το ξηραμένο δείγμα που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10, όπως έχει ήδη αναφερθεί, λαμβάνεται ποσότητα περίπου 50 – 150g (ακρίβεια ζύγισης 0,01g). Το βάρος του δείγματος εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε συνεκτικό υλικό του εδάφους και για το οποίο απαιτείται να περιέχει 35 – 40g κλάσματος διερχόμενου από το κόσκινο Νο 200.

Το δείγμα τοποθετείται σε φιάλη των 250 ml με πώμα, μαζί με 125 ml αντιθρομβωτικού διαλύματος (εξαμεταφωσφορικό νάτριο, πολυφωσφορικό νάτριο κτλ). Προστίθεται λίγο απεσταγμένο νερό, αν κριθεί απαραίτητο. Στη συνέχεια το όλο μίγμα αναδεύεται στη συσκευή ανάδευσης για τουλάχιστον 1min και αφήνεται 18 ώρες σε διαβροχή. Μετά την πάροδο του χρόνου διαβροχής, το μίγμα εδάφους – νερού μεταφέρεται από το δοχείο στο κόσκινο Νο 200, με υποδοχέα ή λεκάνη στο κάτω μέρος. Ξεπλένεται με απεσταγμένο νερό και η ποσότητα εδάφους που συγκρατείται στο κόσκινο ξηραίνεται στο φούρνο, ούτως ώστε να κοκκομετρηθεί στη συνέχεια κατά τη μέθοδο της ανάλυσης με κόσκινα. Το αιώρημα εδάφους –νερού που διήλθε από το κόσκινο Νο 200 είναι αυτό που χρησιμοποιείται στην ανάλυση με καθίζηση.

Το εδαφικό αιώρημα μεταφέρεται στο σωλήνα των 1000 ml και προστίθεται απεσταγμένο νερό μέχρι τα 1000 ml. Τότε ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετείται σε υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας (περίπου 20 °C). Όταν το εδαφικό αιώρημα αποκτήσει τη θερμοκρασία του υδατόλουτρου, εξάγεται ο κύλινδρος και το περιεχόμενό του αναταράσσεται για 1min (60 περίπου κινήσεις αναστροφής του κυλίνδρου). Ως πώμα του στομίου του κυλίνδρου χρησιμοποιείται η παλάμη ή ειδικό πλαστικό πώμα. Στη συνέχεια, σημειώνεται ο χρόνος περάτωσης της ανατάραξης, τοποθετείται ο κύλινδρος μέσα στο υδατόλουτρο, βυθίζεται το αραιόμετρο στο

αιώρημα και καταγράφονται οι ενδείξεις αυτού για χρόνους 15'', 30'', 45'', 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250 και 1440min, από την έναρξη της κατακρήμνισης.

Μετά από κάθε ανάγνωση του αραιομέτρου μετράται και σημειώνεται η θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος, με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία είναι διαφορετική από 20 °C τότε η ανάγνωση R του αραιομέτρου διορθώνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία, όπως δείχνουν και οι πίνακες 7.5 και 7.6. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται σε χρόνο t από την αρχή της κατακρήμνισης αφορούν την ποσότητα σε g του εδάφους που βρίσκεται ακόμη σε αιώρηση, δηλ. το διερχόμενο σε g.

Πίνακας 7.5 Σύνθετες διορθώσεις για τις ενδείξεις που διαβάζονται στο πρότυπο αραιόμετρο εδάφους 151 Η, σχετικά με τις αναγραφόμενες θερμοκρασίες και διαλύματα διασποράς, ώστε να γίνεται αναγωγή αυτών σε ενδείξεις για απεσταγμένο νερό θερμοκρασίας 20 °C

Θερμοκρασία διαλύματος (°C)	Διόρθωση της ένδειξης του αραιομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	Εξαμεταφωσφορικό νάτριο	Πολυφωσφορικό νάτριο	Τριφωσφορικό νάτριο	Τετραφωσφορικό νάτριο
19	-0,00456	-0,00214	-0,00214	-0,00342
19,5	-0,00443	-0,00204	-0,00204	-0,00330
20	-0,0043	-0,00193	-0,00193	-0,00318
20,5	-0,00418	-0,00183	-0,00183	-0,00308
21	-0,00404	-0,00173	-0,00173	-0,00298
21,5	-0,00399	-0,00162	-0,00162	-0,00286
22	-0,00392	-0,00151	-0,00151	-0,00276
22,5	-0,00367	-0,00141	-0,00141	-0,00265
23	-0,00354	-0,00131	-0,00131	-0,00254
23,5	-0,00342	-0,00120	-0,00120	-0,00243
24	-0,00329	-0,00110	-0,00110	-0,00232
24,5	-0,00316	-0,00100	-0,00100	-0,00222
25	-0,00304	-0,00089	-0,00089	-0,00211
25,5	-0,00292	-0,00079	-0,00079	-0,00200
26	-0,00280	-0,00069	-0,00069	-0,00190
26,5	-0,00267	-0,00058	-0,00058	-0,00179
27	-0,00255	-0,00047	-0,00047	-0,00168
27,5	-0,00244	-0,00037	-0,00037	-0,00158
28	-0,00232	-0,00027	-0,00027	-0,00148
28,5	-0,00220	-0,00017	-0,00017	-0,00137
29	-0,00207	-0,00006	-0,00006	-0,00125
29,5	-0,00195	+0,00004	+0,00004	-0,00115
30	-0,00184	+0,00014	+0,00014	-0,00106
30,5	-0,00171	+0,00025	+0,00025	-0,00094
31	-0,00158	+0,00035	+0,00035	-0,00083
31,5	-0,00146	+0,00046	+0,00046	-0,00073
32	-0,00134	+0,00057	+0,00057	-0,00062
32,5	-0,00122	+0,00068	+0,00068	-0,00051
33	-0,00110	+0,00079	+0,00079	-0,00040
33,5	-0,00097	+0,00089	+0,00089	-0,00030
34	-0,00085	+0,00099	+0,00099	-0,00019
34,5	-0,00073	+0,00110	+0,00110	-0,00009
35	-0,00061	+0,00121	+0,00121	-0,00002

Πίνακας 7.6 Σύνθετες διορθώσεις για τις ενδείξεις που διαβάζονται στο πρότυπο αραιόμετρο εδάφους 152 Η, σχετικά με τις αναγραφόμενες θερμοκρασίες και διαλύματα διασποράς, ώστε να γίνεται αναγωγή αυτών σε ενδείξεις για απεσταγμένο νερό θερμοκρασίας 20 °C

Θερμοκρασία διαλύματος (°C)	Διόρθωση της ένδειξης του αραιομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	Εξαμεταφωσφορικό νάτριο	Πολυφωσφορικό νάτριο	Τριφωσφορικό νάτριο	Τετραφωσφορικό νάτριο
19	-7,4	-3,5	-3,5	-5,5
19,5	-7,2	-3,3	-3,3	-5,3
20	-6,9	-3,1	-3,1	-5,1
20,5	-6,7	-2,9	-2,9	-4,9
21	-6,5	-2,7	-2,7	-4,7
21,5	-6,3	-2,6	-2,6	-4,6
22	-6,1	-2,4	-2,4	-4,4
23	-5,8	-2,2	-2,2	-4,2
23,5	-5,6	-2	-2	-4
24	-5,4	-1,8	-1,8	-3,8
24,5	-5,2	-1,6	-1,6	-3,6
25	-4,9	-1,4	-1,4	-3,4
25,5	-4,7	-1,2	-1,2	-3,2
26	-4,5	-1,1	-1,1	-3
26,5	-4,3	-0,9	-0,9	-2,8
27	-4,1	-0,7	-0,7	-2,6
28	-3,8	-0,5	-0,5	-2,4
28,5	-3,6	-0,3	-0,3	-2,2
29	-3,4	-0,1	-0,1	-2,1
29,5	-3,2	+0,1	+0,1	-1,9
30	-3	+0,2	+0,2	-1,7
30,5	-2,7	+0,4	+0,4	-1,6
31	-2,5	+0,6	+0,6	-1,3
31,5	-2,3	+0,8	+0,8	-1,1
32	-2,1	+1	+1	-0,9
33	-1,9	+1,2	+1,2	-0,7
33,5	-1,7	+1,4	+1,4	-0,5
34	-1,4	+1,6	+1,6	-0,4
34,5	-1,2	+1,8	+1,8	-0,2
35	-1	+2	+2	0
35,5	-0,8	+2,1	+2,1	+0,2
36	-0,6	+2,3	+2,3	+0,4
36,5	-0,4	+2,5	+2,5	+0,6

Μετά το τέλος κάθε ανάγνωσης, το υδρόμετρο απομακρύνεται προσεκτικά από το εδαφικό αιώρημα και τοποθετείται με περιστροφική κίνηση μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο γεμάτο καθαρό νερό. Περίπου 25 ή 30 sec πριν την επόμενη ανάγνωση, το υδρόμετρο από το καθαρό νερό βυθίζεται μέσα στο εδαφικό αιώρημα έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η ακινητοποίησή του πριν από τον καθορισμένο χρόνο ανάγνωσης.

7.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

$$7.4.1 \text{ Προσδιορισμός υγροσκοπικής υγρασίας του κλάσματος } \% = \frac{W - W_1}{W_1} \cdot 100$$

όπου:

W : βάρος εδάφους που έχει ξηραθεί στον αέρα

W₁ : βάρος εδάφους που έχει ξηραθεί στον κλίβανο

Η διόρθωση του βάρους του ξηραθέντος στον αέρα εδάφους για υγροσκοπική υγρασία γίνεται πολλαπλασιάζοντας το δεδομένο βάρος με την τιμή:

100/(100 – ποσοστό υγροσκοπικής υγρασίας)

7.4.2 Το ποσοστό % του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10 υπολογίζεται ως εξής: Από το ολικό βάρος του δείγματος που έχει ξηραθεί αρχικά στον αέρα αφαιρείται το βάρος του κλάσματος του υλικού που συγκρατείται στο κόσκινο Νο 10 και που έχει ξηραθεί στον κλίβανο. Η διαφορά αυτή θεωρείται ότι είναι ίση με το βάρος του κλάσματος που έχει ξηραθεί στον αέρα και που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10.

Το βάρος του διερχόμενου από το κόσκινο Νο 10 κλάσματος διορθώνεται για υγροσκοπική υγρασία, όπως αυτό ορίζεται πιο πάνω. Στην τιμή αυτή προστίθεται το βάρος του κλάσματος που έχει ξηραθεί στον κλίβανο και συγκρατείται στο κόσκινο Νο 10, ούτως ώστε να ληφθεί το συνολικό βάρος του εξεταζόμενου δείγματος, διορθωμένο ως προς την υγροσκοπική υγρασία. Τα συγκρατούμενα στο κόσκινο Νο 10 και στα μεγαλύτερα κόσκινα θα πρέπει να εκφράζονται σαν ποσοστά του διορθωμένου αυτού βάρους.

7.4.3 Το ποσοστό του διερχόμενου (W %) από το δείγμα των 50 ή 100g δίνεται από τον τύπο:

$$W(\%) = \frac{a \cdot R'}{W_s} \cdot 100 \text{ για το αραιόμετρο 152 H, όπου:}$$

R': διορθωμένη ένδειξη αραιομέτρου.

W_s: βάρος σε g του δείγματος των 50 ή 100g που χρησιμοποιήθηκε, διορθωμένο ως προς την υγροσκοπική του υγρασία.

a: συντελεστής διόρθωσης που εξαρτάται από το ειδικό βάρος του δείγματος.

$$a = \frac{2,65 - 1}{2,65} \cdot \frac{G_s}{G_s - 1}, \quad G_s: \text{ειδικό βάρος κόκκων}$$

Για το αραιόμετρο 151 H ο τύπος είναι:

$$W(\%) = \frac{1606 \cdot a \cdot (R' - 1)}{W_s} \cdot 100$$

Για τη μετατροπή των ποσοστών W (%) του εδάφους «εν αιωρήσει» σε ποσοστό (%) επί του ολικού βάρους του δείγματος, που περιλαμβάνει και το συγκρατούμενο κλάσμα στο κόσκινο Νο 10, το W (%) πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή W₁₀/100, όπου W₁₀(%) είναι το ποσοστό του διερχόμενου από το κόσκινο Νο 10 επί του ολικού βάρους του δείγματος.

Έτσι λαμβάνεται:

A) Για το αραιόμετρο 152 H:

$$W(\%) = \frac{W_{10} \cdot a \cdot R'}{W_s}$$

B) Για το αραιόμετρο 151 H:

$$W(\%) = \frac{W_{10} \cdot 1606 \cdot a \cdot (R' - 1)}{W_s}$$

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης με αραιόμετρο κατασκευάζεται η κοκκομετρική καμπύλη στο αντίστοιχο διάγραμμα, η οποία καλύπτει την περιοχή μέχρι το ανώτερο όριο των 0,074mm, ενώ το υπόλοιπο συμπληρώνεται από την ανάλυση με τα κόσκινα. Στο σχήμα 7.2 παρουσιάζεται η ολοκληρωμένη κοκκομετρική καμπύλη, η οποία περιλαμβάνει τη διαβάθμιση με τα κόσκινα καθώς και την ανάλυση με το αραιόμετρο (βλ. σχετικό έντυπο).

Έντυπο κοκκομετρικής ανάλυσης με αραιόμετρο (μέθοδος Stokes)

ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ 152 Η

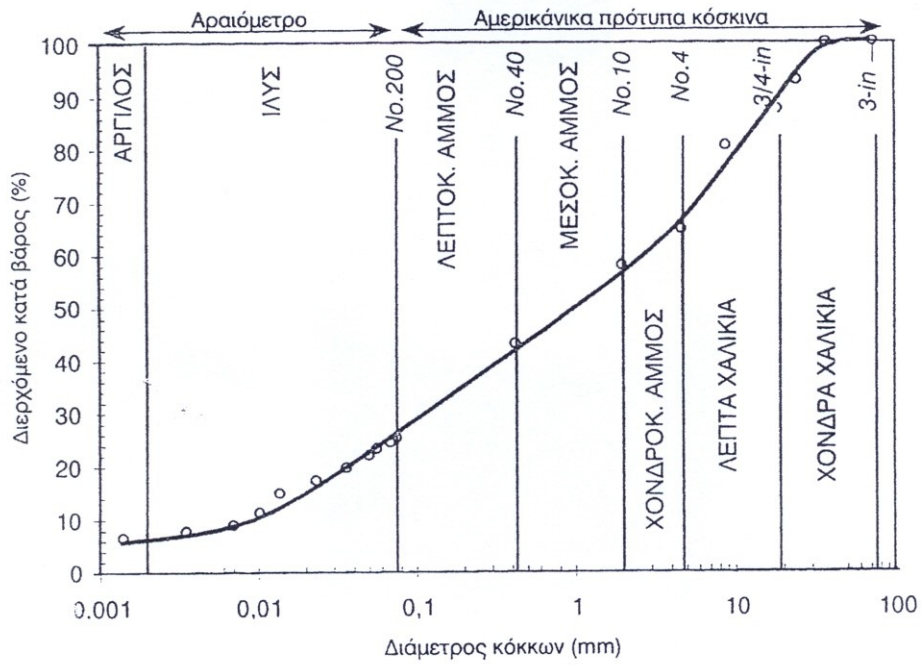
Ειδικό βάρος κόκκων G_s	2,61
Συντελεστής διόρθωσης α	1,009375
Βάρος ξηρού δείγματος W_s (το διερχόμενο από το κόσκινο No 10)	50g
W_{10} (%): ποσοστό του διερχόμενου από το κόσκινο No 10 επί του ολικού βάρους του δείγματος	57,79

Χρόνος	θερμοκρασία	Ανάγνωση R	Συντελεστής διόρθωσης ανάγνωσης	Διορθωμένη ανάγνωση R'	Ποσοστό κόκκων σε αιώρηση W %
15	22				
30	22	23	-2,4	20,6	24,03
45	22	22	-2,4	19,6	22,87
1	22	21	-2,4	18,6	21,70
2	22	19	-2,4	16,6	19,37
5	22	17	-2,4	14,6	17,03
15	22	15	-2,4	12,6	14,70
30	22	12	-2,4	9,6	11,20
60	22	10	-2,4	7,6	8,87
250	22	9	-2,4	6,6	7,70
1440	22	8	-2,4	5,6	6,53
2880	22				

Υπολογισμός διαμέτρου κόκκων $d' = d_o \times K_G \times K_L \times K_n$

$$W = (W_{10} \cdot \alpha \cdot R') / W_s$$

Χρόνος	Μέγιστη διάμετρος κόκκων d_o (mm)	K_n	K_L	K_G	Διάμετρος κόκκων σε αιώρηση d' (mm)
15	0,11				
30	0,08	0,967	0,878	1,013	0,0688
45	0,065	0,967	0,884	1,013	0,0563
1	0,058	0,967	0,89	1,013	0,0506
2	0,041	0,967	0,904	1,013	0,0363
5	0,026	0,967	0,918	1,013	0,0234
15	0,015	0,967	0,931	1,013	0,0137
30	0,011	0,967	0,95	1,013	0,0102
60	0,0074	0,967	0,962	1,013	0,0070
250	0,0037	0,967	0,967	1,013	0,0035
1440	0,0015	0,967	0,971	1,013	0,0014
2880	0,00106	0,967		1,013	



Σχήμα 7.2: Πλήρης κοκκομετρική καμπύλη που περιλαμβάνει κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα και ανάλυση με αραιόμετρο

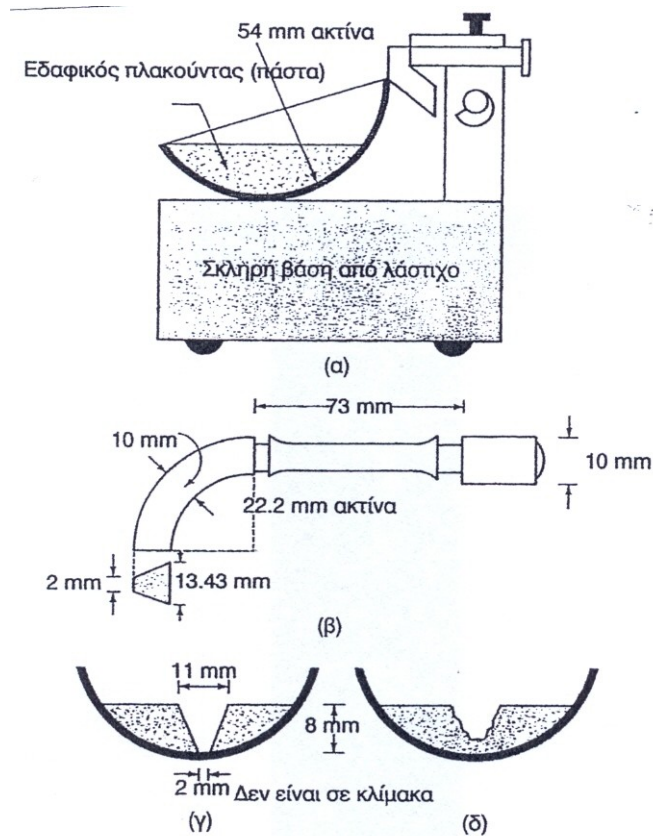
8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

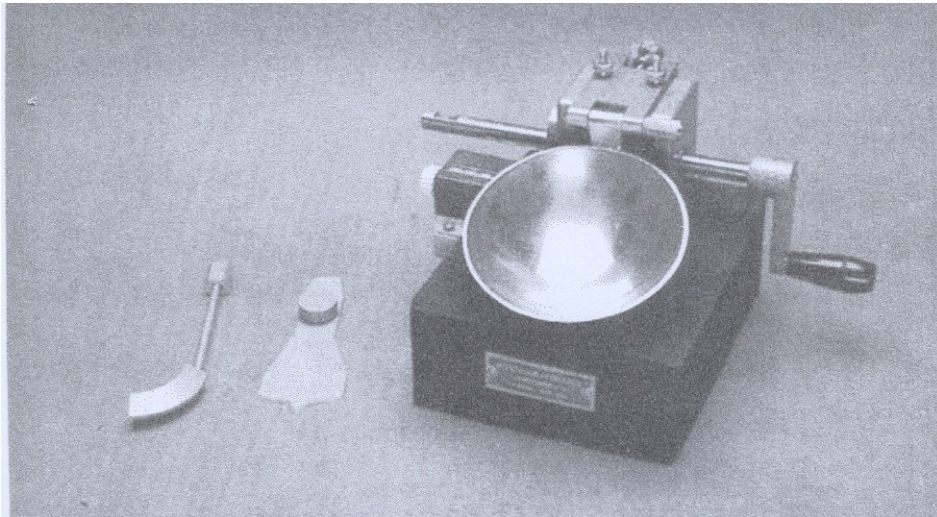
Το όριο υδαρότητας ενός εδάφους αντιστοιχεί εξ' ορισμού στην τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία το έδαφος μεταβαίνει από την υδαρή στην πλαστική κατάσταση.

8.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

8.2.1 Συσκευή ορίου υδαρότητας (σχήμα 8.1 & εικόνα 8.1)



Σχήμα 8.1: Δοκιμή ορίου υδαρότητας. α) Συσκευή Casagrande, β) εργαλείο χάραξης, γ) εδαφικός πλακούντας πριν τη δοκιμή, δ) εδαφικός πλακούντας μετά τη δοκιμή



Εικόνα 8.1: Συσκευή ορίου υδαρότητας

8.2.2 Όργανο χάραξης (εικόνα 8.1)

8.2.3 Σπαθίς (μαχαιράκι) ή σπάτουλα

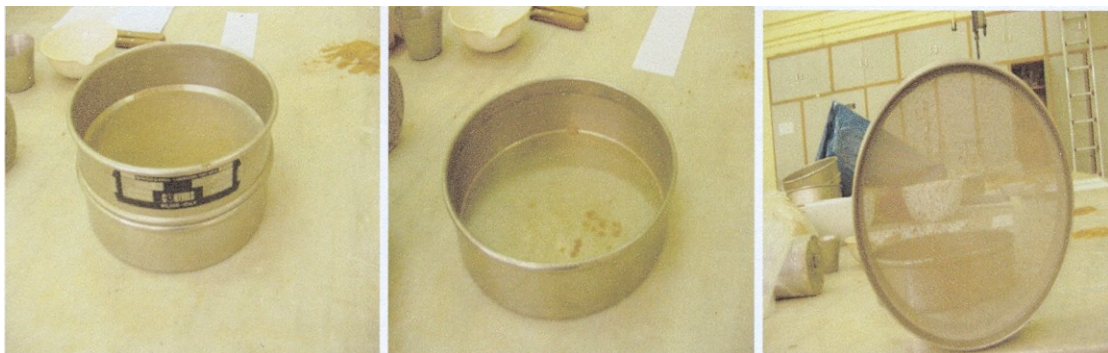
8.2.4 Κάψα πορσελάνης

8.2.5 Δοχεία γυάλινα ή μεταλλικού υποδοχείς

8.2.6 Ηλεκτρικός ζυγός ακριβείας 0,01g

8.2.7 Φούρνος

8.2.8 Κόσκινο Νο 40 (εικόνα 8.2)



Εικόνα 8.2: Κόσκινο Νο 40 & μεταλλική κάψα συγκέντρωσης του υλικού

8.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Το κύπελλο της συσκευής δεν πρέπει να παρουσιάζει κατά την πτώση του πλευρικές κινήσεις. Κατά την ανύψωση του κυπέλου το μέγιστο ύψος του σημείου επαφής με τη βάση πρέπει να είναι 1cm και να ελέγχεται με το όργανο χάραξης.

8.4 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Λαμβάνεται δείγμα βάρους 50 – 55g από το υλικό το διερχόμενο από το κόσκινο Νο 40, αφού προηγουμένως έχει ξηραθεί στους 60 °C. Το δείγμα αναμιγνύεται καλά με 20 -35 cm³ απεσταγμένου νερού μέχρι λήψης ομοιογενούς πλαστικής μάζας. Αν κριθεί απαραίτητη νέα προσθήκη νερού, αυτή γίνεται σε ποσότητα 2 – 3 cm³ κάθε φορά (εικόνα 8.3). Το υλικό ζυμώνεται και αφήνεται για ωρίμανση σε υγραντήριο για 1 h (εικόνα 8.4).

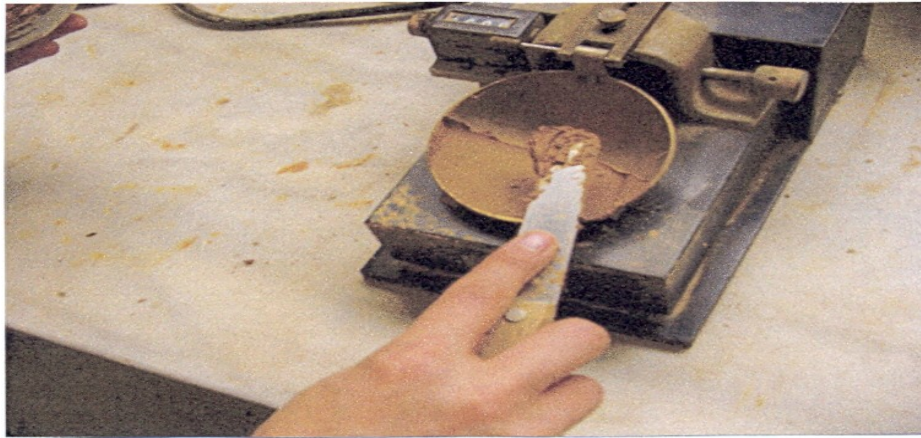


Εικόνα 8.3: Προσθήκη νερού σε κοσκινισμένο έδαφος



Εικόνα 8.4: Το υλικό μετά την αναζύμωση

Στη συνέχεια το υλικό απλώνεται σε στρώση μέγιστου πάχους 1cm (στο σημείο επαφής κύπελλου – βάσης) μέσα στο κύπελλο της συσκευής Casagrande με προσοχή προς αποφυγή εγκλεισμού φυσαλίδων αέρος μέσα στη μάζα του (εικόνα 8.5). Σημειωτέον ότι λαμβάνονται 15g εδάφους, τα οποία τοποθετούνται μέσα στο υγραντήριο για να χρησιμοποιηθούν αργότερα στον προσδιορισμό του ορίου πλαστικότητας.



Εικόνα 8.5: Επίστρωση υλικού

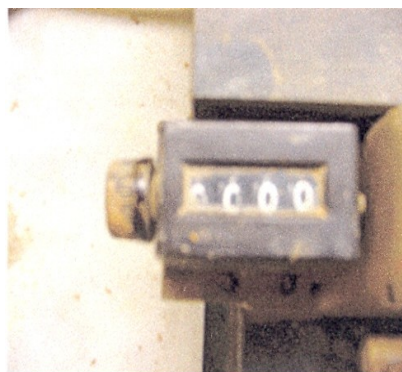
Με το όργανο χάραξης διαχωρίζεται το δείγμα σε δύο τμήματα πάχους 1 cm και πλάτους χαραγής 2mm (εικόνες 8.6 & 8.7). Αμέσως μετά περιστρέφεται ο στρόφαλος της συσκευής με συχνότητα 2 κτύπους το δευτερόλεπτο (ο αριθμός φαίνεται στο ρολόι της συσκευής, εικόνα 8.8) μέχρις ότου τα χείλη της χαραγής να έρθουν σε επαφή κατά 12,5mm περίπου σε μήκος (εικόνα 8.9). Η διαδικασία τοποθέτησης του δείγματος, μέχρι την ένωση της χαραγής, πρέπει να γίνεται σε χρόνο μικρότερο των 3min. Καταγράφεται ο αριθμός των κτύπων που απαιτήθηκαν για τη συνένωση.



Εικόνα 8.6: Όργανο χάραξης



Εικόνα 8.7: Διαχωρισμός δείγματος



Εικόνα 8.8: Ρολόι συσκευής



Εικόνα 8.9: Συνένωση των χειλέων της χαραγής

Από το σημείο της συνένωσης παίρνεται με τη σπάτουλα υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας του εδαφικού υλικού (εικόνα 8.10).



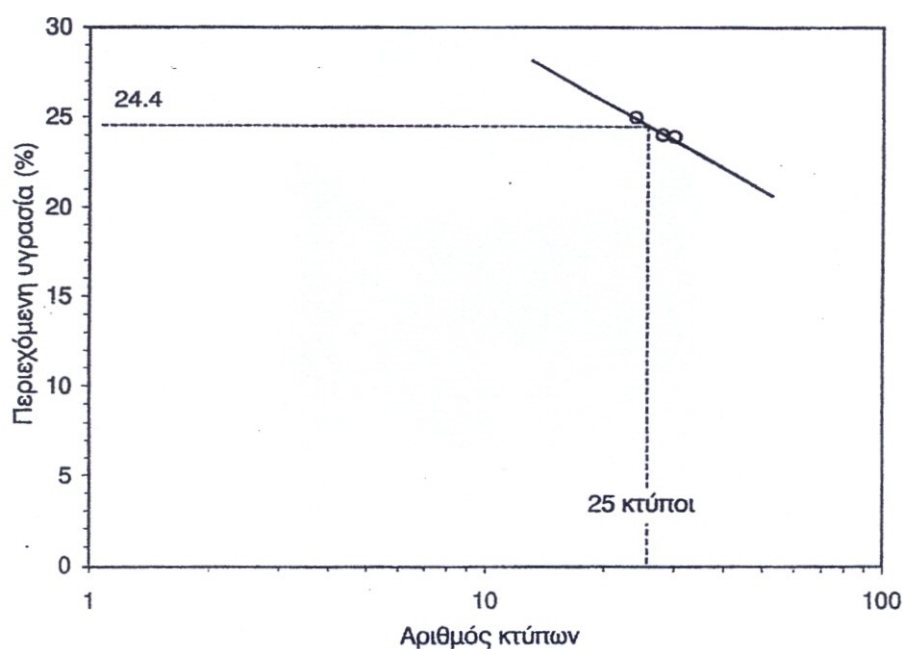
Εικόνα 8.10: Λήψη δείγματος για προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας

Εκτελούνται τρεις δοκιμές. Ο αριθμός των κτύπων, λόγω των οποίων γίνεται η επαφή των χειλέων της χαραγής, πρέπει να είναι 15/35 αυξητικά, και μάλιστα η περιοχή κύμανσης του αριθμού των κτύπων πρέπει να ακολουθεί την εξής σειρά για τις τρεις δοκιμές:

1 ^η Περιοχή 15-25	2 ^η Περιοχή 20-30	3 ^η Περιοχή 25-35
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

8.5 ΚΑΜΠΥΛΗ ΡΟΗΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

Σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με τετμημένη τον αριθμό των κτύπων και τεταγμένη το εκάστοτε ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας χαράσσεται η ευθεία ροής. Η τομή της με την τεταγμένη των 25 κτύπων είναι το όριο υδαρότητας (σχήμα 8.2).



Σχήμα 8.2: Καμπύλη ροής – προσδιορισμός ορίου υδαρότητας

9. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το όριο πλαστικότητας ενός εδάφους αντιστοιχεί εξ' ορισμού στην τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεά κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm χωρίς ο ραβδίσκος να θραύεται..

9.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

9.2.1 Γυάλινη πλάκα κατάλληλη για κυλίνδρωση του δείγματος

9.2.2 Σπαθίς (μαχαιράκι) ή σπάτουλα

9.2.3 Κάψα πορσελάνης

9.2.4 Δοχεία γυάλινα ή υποδοχείς μεταλλικοί

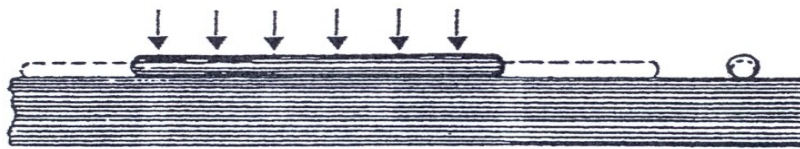
9.2.5 Ηλεκτρικός ζυγός ακριβείας 0,01g.

9.2.6 Φούρνος

9.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Από την ποσότητα των 15g που λήφθηκε από το εδαφικό υλικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας, παίρνεται η μισή και πλάθεται σε σβάλο ελλειψοειδούς περίπου σχήματος. Τοποθετείται στη γυάλινη πλάκα και με την παλάμη μορφώνεται σε κύλινδρο μικρής ομοιόμορφης διαμέτρου (μακαρόνι). Ο ρυθμός κυλίνδρωσης είναι 80 – 90 κινήσεις το λεπτό (πλήρης κίνηση μπρος – πίσω). Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ο κυλινδρίσκος θραυσθεί σε 3 – 4 κομμάτια διαμέτρου 3mm. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση το υλικό αναζυμώνεται και επανακυλινδρώνεται μέχρι να επιτευχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα. Προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία από τα θραυσμένα κομμάτια.

Η περιεχόμενη υγρασία κατά τη στιγμή της θραύσης, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε κατά τα παραπάνω, αποτελεί το όριο πλαστικότητας (σχήμα 9.1). Η δοκιμή επαναλαμβάνεται και με το άλλο μισό δείγμα του υλικού. Ο μέσος όρος των τιμών της περιεχόμενης υγρασίας κατά τις δύο δοκιμές αποτελεί το όριο πλαστικότητας.



Ραβδίσκος εδάφους πάνω από το όριο πλαστικότητας



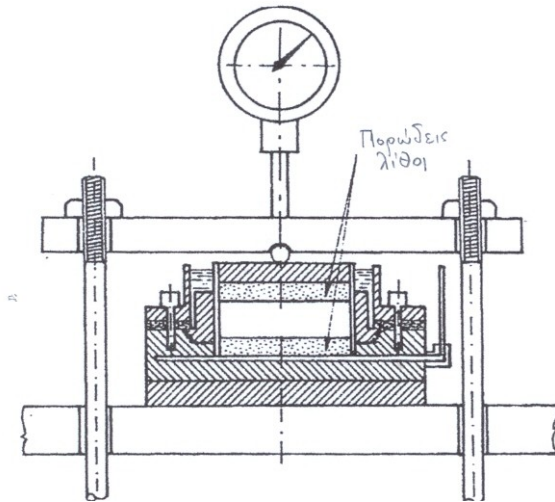
Ραβδίσκος εδάφους κάτω από το όριο πλαστικότητας

Σχήμα 9.1: Δοκιμή προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας

10. ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη δοκιμή αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπίεστικότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αζονικά. Η καθίζηση που μετράται είναι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου δηλ. είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται στη συσκευή οιδημέτρου, η οποία και παρουσιάζεται στο σχήμα 10.1



Σχήμα 10.1: Συσκευή οιδημέτρου

10.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

10.2.1 Συσκευή φορτίσεως για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο (εικόνα 10.2). Η συσκευή αυτή θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή και διατήρηση φορτίου επί μακρόν χρονικό διάστημα με ακρίβεια $\pm 0,5\%$, καθώς επίσης να επιτρέπει την άμεση επιβολή φορτίου μέσα σε 2 δευτερόλεπτα χωρίς κρούση.



Εικόνα 10.2: Συσκευή φόρτισης

10.2.2 Συσκευή στερεοποίησης (εικόνα 10.1). Πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

(α) Ελάχιστη διάμετρος δοκιμίου 50,8mm και πάντα μικρότερη από τη διάμετρο του δειγματολήπτη (αν χρησιμοποιείται αδιατάρακτο δείγμα) κατά τουλάχιστον 6,4mm.

(β) Ελάχιστο ύψος δοκιμίου 12,5mm, αλλά ποτέ μικρότερο από το 10πλάσιο της μέγιστης διαμέτρου κόκκου του εδαφικού υλικού.

(γ) Ελάχιστος λόγος διαμέτρου προς ύψος δοκιμίου 2,5.

(δ) Η ακαμψία του δακτυλίου που περιέχει το δοκίμιο θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε, για τις παραδεκτές συνθήκες υδροστατικής πίεσης εντός του δοκιμίου, η μεταβολή της διαμέτρου του δακτυλίου να μην υπερβαίνει το 0,03% της διαμέτρου υπό το μέγιστο εφαρμοζόμενο φορτίο.

Το υλικό του δακτυλίου θα πρέπει να είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και η εσωτερική του επιφάνεια θα πρέπει να είναι λεία για την αποφυγή ανάπτυξης τριβής.



Εικόνα 10.1: Συσκευή στερεοποίησης

10.2.3 Πορόλιθοι. Οι πορόλιθοι θα πρέπει να είναι από υλικό όπως καρβίδιο του πυριτίου, οξείδιο του αργιλίου ή μέταλλο που δεν διαβρώνεται από την υγρασία ή ουσίες που μπορεί να περιέχονται στο έδαφος.

Η διάμετρος του πορόλιθου που τοποθετείται στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου θα πρέπει να είναι μικρότερη από την εσωτερική διάμετρο του δακτυλίου τουλάχιστον κατά 0,2mm έως 0,5mm.

Το πάχος των πορολίθων θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μη θραύονται κατά τη δοκιμή.

10.2.4 Μηκυσιόμετρα για τη μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο της στερεοποίησης με ευαισθησία 0,0025mm.

10.2.5 Υγρός θάλαμος συντηρήσεως των δοκιμίων

10.2.6 Μορφωτής δοκιμίου με τα εξαρτήματά του

10.2.7 Εξολκέας δείγματος

10.2.8 Ζυγοί ακριβείας 0,1g ή 0,1% του βάρους του δοκιμίου.

10.2.9 Κλίβανος ξήρανσης θερμοκρασίας 105 ± 1 °C.

10.2.10 Διάφορες άλλες συσκευές γενικής χρήσεως όπως σπάτουλες, μαχαίρια, συρματοπρίονα κλπ που χρησιμοποιούνται για την προπαρασκευή του δοκιμίου.

10.3 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Η μόρφωση του δοκιμίου γίνεται με προσοχή ώστε να αποφεύγεται η διατάραξη του και απώλεια υγρασίας μεγαλύτερη από 0,2%. Εάν είναι ανάγκη, η μόρφωση του δοκιμίου γίνεται μέσα στον υγρό θάλαμο. Ο καλύτερος τρόπος για τη μόρφωση του δοκιμίου υγρού εδαφικού υλικού είναι η χρησιμοποίηση ενός οδηγού – δακτυλίου με κοφτερές ακμές.

Στην περίπτωση οργανικών εδαφών, στα οποία η διατάραξη κατά τη μόρφωση του δοκιμίου είναι σχεδόν αναπόφευκτη, εκλέγονται κατάλληλοι διάμετροι δακτυλίου και δειγματολήπτη έτσι ώστε το δοκίμιο να φέρεται απευθείας από το δειγματολήπτη στο δακτύλιο, εφόσον τα κοφτερά άκρα του δακτυλίου έχουν ίδια διάμετρο με το δείγμα. Γενικώς, κατά τη μόρφωση του δοκιμίου θα πρέπει να αποφεύγονται οι δονήσεις και η οποιαδήποτε συμπίεση του υλικού.

10.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Το ποσοστό της φυσικής υγρασίας του εδαφικού υλικού προσδιορίζεται από τα τεμάχια του δείγματος που απομένουν μετά τη μόρφωση του δοκιμίου. Το υγρό φαινόμενο βάρος του εδαφικού υλικού προσδιορίζεται από το γνωστό βάρος του δοκιμίου και τον όγκο του.

Το ξηρό φαινόμενο βάρος προσδιορίζεται από το υγρό φαινόμενο βάρος και το ποσοστό της φυσικής υγρασίας ή ξηραίνοντας και στη συνέχεια ζυγίζοντας το δοκίμιο, (γνωστού όγκου), μετά το τέλος της δοκιμής. Η τιμή του ποσοστού της φυσικής υγρασίας που προσδιορίζεται από τα τεμάχια του δείγματος χρησιμοποιείται, μαζί με το ειδικό βάρος των κόκκων, για τον προσδιορισμό του αρχικού δείκτη κενών (e_o) του δοκιμίου. Σε συνθήκες κορεσμού ισχύει: $e_o = (\gamma_s \cdot w) / \gamma_w$, όπου γ_s το φαινόμενο βάρος των στερεών συστατικών, w το ποσοστό της φυσικής υγρασίας και γ_w το φαινόμενο βάρος του νερού.

10.5 ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Οι πορόλιθοι υγραίνονται έτσι ώστε να μην απορροφούν νερό από το δοκίμιο ούτε να αποδίδουν νερό σε αυτό. Υγραίνονται επίσης όλες οι εσωτερικές επιφάνειες της συσκευής στερεοποίησης. Το δοκίμιο και οι πορόλιθοι συναρμολογούνται με το δακτύλιο και καλύπτονται με αεροστεγή μεμβράνη ώστε να εμποδίζεται η εξάτμιση του νερού του δοκιμίου.

Η συσκευή στερεοποίησης τοποθετείται στη συσκευή φόρτισης και εφαρμόζεται αρχικά μία μικρή τάση της τάξεως των 5 kPa. Για πολύ μαλακά εδάφη είναι επιθυμητή πολύ μικρή αρχική τάση, της τάξεως των 2 kPa. Μετά από 5min εφαρμογής του αρχικού αυτού φορτίου ρυθμίζεται το μηκυνσιόμετρο στην ένδειξη 0.

Εφαρμόζονται φορτία 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800 kPa κλπ στο δοκίμιο και κάθε φόρτιση παραμένει σταθερή για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 24 ωρών.

Η διαβροχή του δοκιμίου γίνεται αμέσως μετά την εφαρμογή του πρώτου φορτίου. Αν κατά τη διαβροχή σημειωθεί διόγκωση του δοκιμίου τότε προστίθεται το αμέσως επόμενο φορτίο της κλίμακας μέχρις ότου σταματήσει η διόγκωση.

Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να αυξάνεται μέχρις ότου το τελευταίο τμήμα της καμπύλης δείκτη κενών – λογαρίθμου τάσης γίνει ευθύγραμμο. Πρακτικά, μία τελική τάση τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την τάση προστεροποίησης του δοκιμίου είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί η παραπάνω απαίτηση. Επίσης η τελική αυτή τάση θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη από την τάση που αναπτύσσεται επί τόπου (τάση λόγω υπερκείμενων εδαφών + τάση από κατασκευή).

Πριν από την εφαρμογή της επόμενης βαθμίδας φόρτισης καταγράφεται το πάχος ή η συνολική μεταβολή του πάχους του δοκιμίου. Μετρήσεις της μεταβολής του πάχους του δοκιμίου λαμβάνονται κάθε 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 και 30 min 1, 2, 4, 8 και 24h μετρούμενες από το χρόνο επιβολής της βαθμίδας φόρτισης.

Μετρήσεις θα πρέπει να καταγράφονται μέχρις ότου το χαρακτηριστικό ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης παραμόρφωσης – λογαρίθμου χρόνου, κατά τη δευτερεύουσα στερεοποίηση, γίνει εμφανές. Σε εδάφη όπου η πρωτεύουσα στερεοποίηση πραγματοποιείται με αργό ρυθμό ή όταν ενδιαφέρει το φαινόμενο της δευτερεύουσας στερεοποίησης, η κάθε βαθμίδα φόρτισης ασκείται επί 24 και άνω ώρες.

Αν πρόκειται να σχεδιασθούν καμπύλες παραμόρφωσης – τετραγωνικής ρίζας του χρόνου τότε ενδείκνυται τα χρονικά διαστήματα των μετρήσεων να είναι 0,09, 0,25, 0,49, 1, 4, 9, 16, 25 λεπτά κλπ. Όλοι οι πιο πάνω χρόνοι μπορεί να μεταβληθούν κατά την κρίση του μελετητή, αρκεί να είναι αρκετοί για τη χάραξη των καμπύλων.

10.6 ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ

Η αποφόρτιση θα πρέπει να γίνεται σταδιακά σε βαθμίδες με αντίστροφη πορεία από εκείνη της φόρτισης.

Αν ενδιαφέρει η συμπεριφορά του εδάφους σε διαδοχικά στάδια φόρτισης – αποφόρτισης κλπ αυτό εξετάζεται με τη δοκιμή στερεοποίησης και με επιλογή ανάλογου τρόπου φόρτισης του δοκιμίου

Για να ελαχιστοποιηθεί η διόγκωση κατά την αποσυναρμολόγηση, το δοκίμιο θα πρέπει να αποφορτισθεί μέχρι ενός πολύ μικρού φορτίου. Μετά την απομάκρυνση του τελικού αυτού φορτίου, η συσκευή αποσυναρμολογείται αμέσως και εξάγεται το δοκίμιο από τον δακτύλιο.

Το δοκίμιο ζυγίζεται, ξηραίνεται και μετά επαναζυγίζεται για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους των κόκκων του εδάφους και της φυσικής υγρασίας.

10.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ (ΜΕΘΟΔΟΣ CASAGRANDE)

Οι εργαστηριακές μετρήσεις προερχόμενες από μία βαθμίδα φόρτισης (μετρήσεις 24ωρου) μεταφέρονται σε ορθογώνιο σύστημα “logt – ποσοστό καθιζήσεων επί της συνολικής” (σχήμα 10.2). Με τη συνένωση όλων των ανωτέρω σημείων σχηματίζεται μία καμπύλη η οποία έχει σχήμα ανάποδου ανοικτού S. Ο εντοπισμός του χρόνου t_{50} ακολουθεί την εξής διαδικασία:

- Εκλέγεται ένας χρόνος $t_1 = 15''$ στον οριζόντιο άξονα. Από την προβολή του σημείου αυτού στην καμπύλα στερεοποίησης προκύπτει το σημείο Σ.
- Λαμβάνεται στον οριζόντιο άξονα το σημείο που αντιστοιχεί σε χρόνο $4 \cdot t_1 = 60''$, από την προβολή του οποίου στην ίδια καμπύλη προκύπτει το σημείο Σ₁.
- Μετράται η κατακόρυφη απόσταση $\Sigma\Sigma_1 = \alpha$.

- Λαμβάνεται το σημείο Σ_2 (κατακόρυφα προς τα πάνω), το οποίο απέχει απόσταση 2α από το σημείο Σ_1 .
- Προβάλλεται το σημείο Σ_2 στον κατακόρυφο άξονα (καθιζήσεις ημέρας %). Εντοπίζεται επί του άξονα το σημείο Σ_3 , το οποίο και αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης $U = 0\%$.
- Χαράσσονται οι δύο εφαπτόμενες στο τμήμα της καμπύλης που έχει τα κοίλα προς τα κάτω.
- Η τομή των εφαπτόμενων ευθειών είναι το σημείο Σ_4 .
- Προβάλλεται το σημείο Σ_4 στον κατακόρυφο άξονα. Εντοπίζεται επί του άξονα το σημείο Σ_5 , το οποίο και αντιστοιχεί σε βαθμό στερεοποίησης $U = 100\%$.
- Εντοπίζοντας το μέσον M του κατακόρυφου τμήματος μεταξύ $U = 0\%$ και $U = 100\%$ και με διπλή συνεχόμενη προβολή, αφενός επί της καμπύλης (σημείο Σ_6) και αφετέρου στον οριζόντιο βρίσκεται η τιμή του t_{50} . Γνωρίζοντας την τιμή του t_{50} , από τον πίνακα 10.1 λαμβάνεται ο παράγοντας χρόνου T_V για $U = 50\%$.
- Στη συνέχεια προσδιορίζεται ο συντελεστής στερεοποίησης C_V από τη σχέση:

$$C_V = \frac{T_V \cdot H^2}{t_{50}}$$

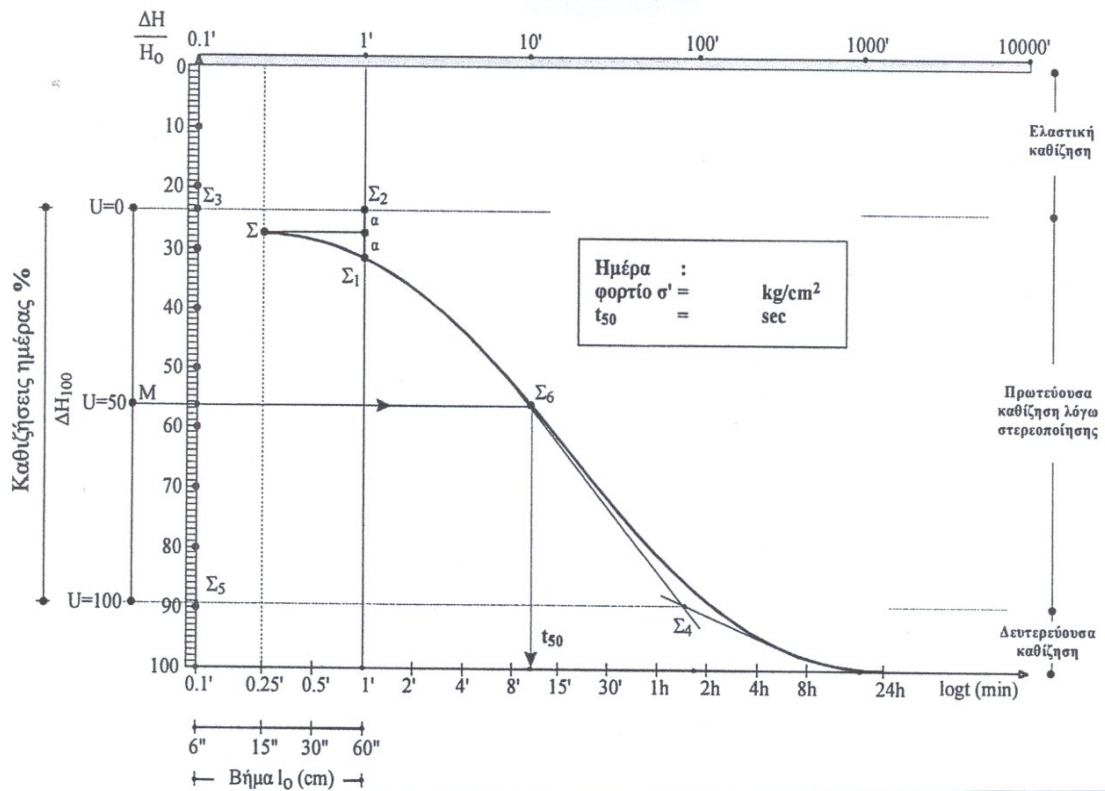
όπου:

T_V : 0,196 ($U = 50\%$)

H : το ύψος του δοκιμίου. Λαμβάνεται το ήμισυ όταν η αποστράγγιση πραγματοποιείται και από πάνω και από κάτω.

Πίνακας 10.1: Αντιστοιχία τιμών του παράγοντα χρόνου T_V και του βαθμού στερεοποίησης.

U (%)	T_V
0	0
5	0,0017
10	0,0077
15	0,0177
20	0,0314
25	0,0491
30	0,0707
35	0,0962
40	0,126
45	0,159
50	0,196
55	0,238
60	0,286
65	0,342
70	0,403
75	0,477
80	0,567
85	0,684
90	0,848
95	1,129
100	∞



Σχήμα 10.2: Προσδιορισμός του χρόνου t_{50}

10.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Υπολογίζεται ο δείκτης κενών για 100% στερεοποίηση για κάθε βαθμίδα φόρτισης ή αποφόρτισης του δοκιμίου ως εξής:

A) Ο δείκτης κενών e στο τέλος κάθε βαθμίδας φόρτισης δίνεται από τον τύπο:

$$e = \frac{H - H_s}{H_s}$$

όπου H : ολικό ύψος δοκιμίου στο τέλος της έκαστης βαθμίδας φόρτισης ($= H_0 - \Delta h_i$)

H_s : ύψος των στερεών συστατικών του εδαφικού δείγματος

H_0 : αρχικό ύψος δοκιμίου

Δh_i : συνολική μεταβολή του ύψους του δοκιμίου

B) Το ύψος των στερεών συστατικών H_s του εδαφικού δείγματος δίνεται από τον

τύπο:

$$H_s = \frac{W_s}{A \cdot G_s \cdot \gamma_w} = \frac{\gamma_d \cdot V_{\delta o k.}}{A \cdot G_s \cdot \gamma_w}$$

όπου W_s : ξηρό βάρος του δείγματος

A : επιφάνεια δείγματος

G_s : φαινόμενο βάρος στερεών συστατικών

γ_w : πυκνότητα νερού

γ_d : ξηρό φαινόμενο βάρος

V : αρχικός όγκος δοκιμίου

Στη συνέχεια τα αποτελέσματα αυτά μεταφέρονται σε ορθογώνιο σύστημα “δείκτη πόρων e – λογάριθμο της αντίστοιχης τάσης”.

Από την καμπύλη $e - \log \sigma$ προσδιορίζεται η τάση προστερεοποίησης με τη μέθοδο Casagrande. Στο σημείο της μέγιστης καμπυλότητας φέρεται η εφαπτομένη της καμπύλης και η παράλληλος προς τον άξονα $\log \sigma$ και σχεδιάζεται η διχοτόμος

της σχηματιζόμενης γωνίας. Το σημείο τομής της διχοτόμου της γωνίας με την προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης αντιστοιχεί στην τάση προστερεοποίησης του δοκιμίου σ_c (σχήμα 10.3).

Ο δείκτης συμπίεστότητας C_c προσδιορίζεται από την κλίση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης $e - \log \sigma$ (σχήμα 10.4) και είναι αδιάστατος αριθμός. Όσο αυξάνεται ο συντελεστής C_c τόσο αυξάνεται και η συμπίεστικότητα του εδάφους. Είναι ίσος με:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'}$$

Η κλίση της καμπύλης που αντιστοιχεί στο στάδιο της αποφόρτισης ορίζεται ως δείκτης επανασυμπίεστότητας C_r (σχήμα 10.4).

Παρακάτω παρατίθενται δύο χαρακτηριστικά έντυπα:

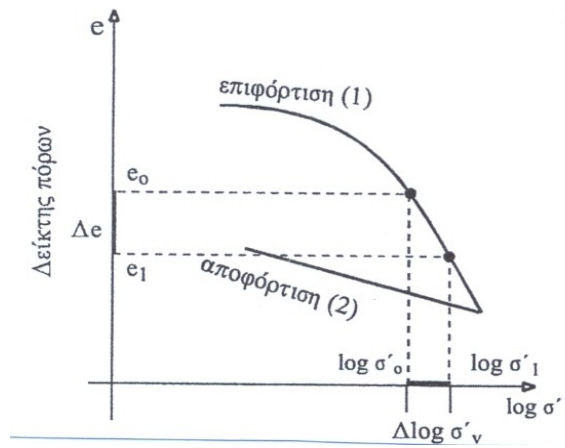
A) καταγραφής των ενδείξεων μηκυσιόμετρου για 24ωρη φόρτιση και υπολογισμού του ποσοστού καθιζήσεων %

B) καταγραφής συνόλου ημερήσιων ενδείξεων μηκυσιόμετρου και υπολογισμού χαρακτηριστικών μεγεθών.

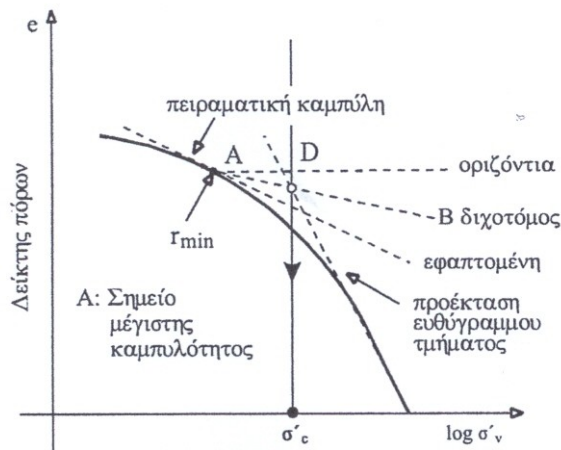
Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυσιόμετρου και υπολογισμών καθιζήσεων %

Διελθών χρόνος	Ένδειξη μικρού δείκτη μηκ/τρου (αριθ/κά)	Ενδείξεις μεγάλου δείκτη μηκ/τρου (γραμμές) * 10 ⁻⁴ inches	Ενδείξεις μηκ/τρου αθροιστικά (γραμμές) * 10 ⁻⁴ inches	Απόλυτες ενδείξεις ημέρας (γραμμές) * 10 ⁻⁴ inches	Καθιζήσεις ημέρας %
0	2	0	0	0	0,00
15"	2	72	72	72	51,43
30"	2	85	85	85	60,71
1'	2	92	92	92	65,71
2'	2	103	103	103	73,57
4'	2	111	111	111	79,29
8'	2	117	117	117	83,57
15'	2	122	122	122	87,14
30'	2	125	125	125	89,29
1h	2	127	127	127	90,71
2h	2	129	129	129	92,14
4h	2	134	134	134	95,71
8h	2	137	137	137	97,86
24h	2	140	140	140	100,00

Φορτίο $\sigma = 0,547 \text{ Kg/cm}^2$	Συνολικές καθιζήσεις $\rightarrow 140 * 10^{-4} \text{ inches}$
---	---



Σχήμα 10.3: Γραφική μέθοδος προσδιορισμού της τάσης προστερεοποίησης



Σχήμα 10.4: Προσδιορισμός των δεικτών C_c και C_r

11. ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

11.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος αφορά τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη συνεκτικού εδάφους αδιατάρακτου ή αναζυμωμένου δείγματος. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσης. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή σε ψαθυρά εδάφη εφόσον δεν είναι δυνατή η παρασκευή δοκιμίων.

Ως αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (το δοκίμιο είναι ελεύθερο από πλευρική πίεση) ορίζεται η τάση από την εφαρμογή της οποίας το δοκίμιο εμφανίζει κάποια από τις δύο ακόλουθες καταστάσεις:

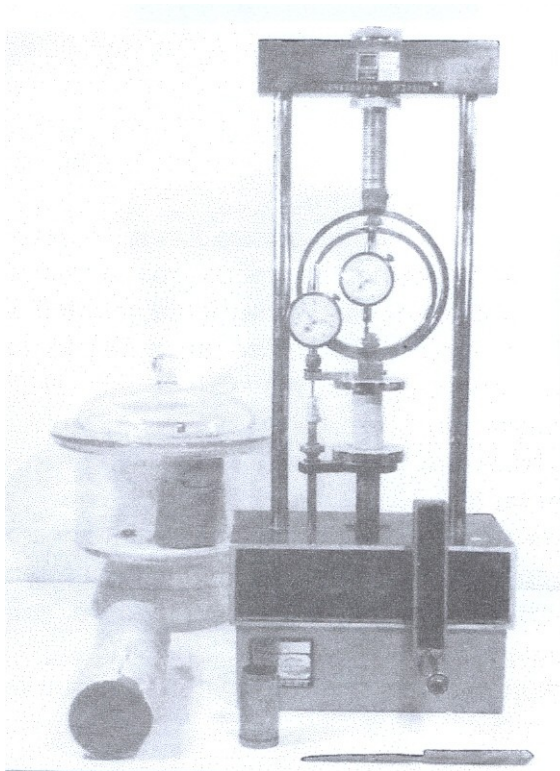
A) Παρουσιάζει επιφάνεια διατμητικής θραύσης

B) Η παραμόρφωση συνεχίζεται χωρίς την αύξηση φορτίου

Εάν καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις δε συμβαίνει, τότε ως αντοχή λαμβάνεται η τάση που αντιστοιχεί σε ανοιγμένη παραμόρφωση 20%.

11.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

11.2.1 Συσκευή θλίψεως. Μπορεί να είναι χειροκίνητη ή μηχανοκίνητη με ελεγχόμενη ταχύτητα επιβολής της παραμόρφωσης ή του φορτίου (εικόνα 11.1).

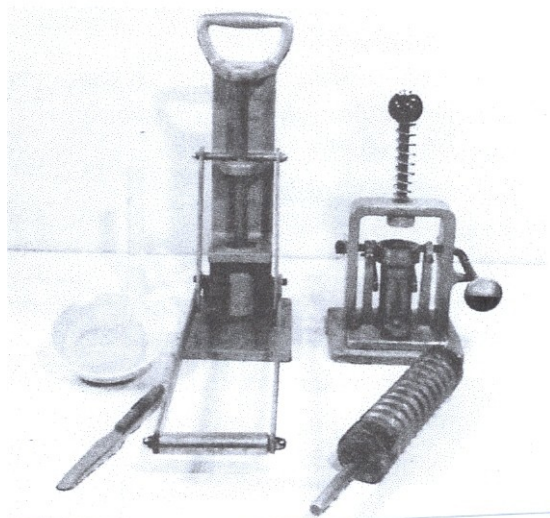


Εικόνα 11.1: Χειροκίνητη συσκευή μονοαξονικής θλίψης

11.2.2 Μηκυσιόμετρο για τη μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο της φόρτισης.

11.2.3 Διαστημόμετρο τύπου Vernier κατάλληλο για την ακριβή μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου με ακρίβεια 0,25mm.

11.2.4 Μορφωτής δοκιμίου με τα εξαρτήματά του (πλαίσιο μορφοποίησης, συρμάτινο πριόνι, μαχαίρια), εικόνα 11.2.



Εικόνα 11.2: Μορφοποιητής δοκιμίου με τα εξαρτήματά του

11.2.5 Εξολκέας δείγματος. Χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των δειγμάτων από το δείγματολήπτη. Η εξαγωγή του δείγματος θα πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη και με διεύθυνση εξολκείσεως την ίδια με αυτή της δειγματοληψίας.

11.2.6 Κύλινδρος αναζυμώσεως και έμβολο. Χρησιμοποιείται για την αναζύμωση και μόρφωση του δείγματος όπου αυτό απαιτείται.

11.3 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

11.3.1 Διαστάσεις δοκιμίου

Το δοκίμιο δεν πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 33mm, ενώ η μέγιστη διάμετρος των κόκκων θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/10 της διαμέτρου του δοκιμίου. Για δοκίμια που έχουν διάμετρο ίση ή μεγαλύτερη από 71,1mm η μέγιστη διάμετρος των κόκκων θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/6 της διαμέτρου του δοκιμίου.

Εάν μετά τη δοκιμή αδιατάρακτου δοκιμίου, διαπιστωθεί ότι η μέγιστη διάμετρος των περιεχόμενων κόκκων δεν ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις θα πρέπει να σημειώνεται στο σχετικό έντυπο της δοκιμής.

Ο λόγος ύψους προς τη διάμετρο του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 2 έως 3. Η μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου θα πρέπει να γίνεται με το διαστημόμετρο τύπου Vernier με ακρίβεια 0,25mm.

11.3.2 Αδιατάρακτα δοκίμια

Κατά τη μόρφωση των αδιατάρακτων δοκιμίων δίνεται πολλή μεγάλη προσοχή στην αποφυγή διαταράξεως του δείγματος κατά την εξαγωγή του από το δειγματολήπτη. Αν παρατηρείται οποιαδήποτε διατάραξη του δείγματος κατά την εξόλκευσή του από το δειγματολήπτη τότε ο σωλήνας που περιέχει το δείγμα θα πρέπει να κόβεται εγκάρσια ή κατά μήκος του, έτσι ώστε να διευκολύνεται η εξαγωγή του δοκιμίου χωρίς διατάραξη.

Κατά τη διάρκεια μόρφωσης του δοκιμίου θα πρέπει να τηρούνται όλες οι προφυλάξεις, ώστε να εμποδίζεται η μεταβολή της φυσικής υγρασίας. Το δοκίμιο θα πρέπει να μορφώνεται κυλινδρικό με διατομές ίσες και κάθετες προς τον άξονά του. Όταν η κατάσταση του δοκιμίου το επιτρέπει μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόνος για τη μόρφωση της κυλινδρικής επιφάνειας.

Όταν το δείγμα περιέχει χαλίκια που δυσχεραίνουν τη μόρφωση, τότε οι άνω και κάτω επιφάνειες του δοκιμίου καλύπτονται με λεπτό στρώμα γύψου, ώστε να επιτυγχάνεται η επιπεδότητα και καθετότητα των διατομών αυτών ως προς τον άξονα του δοκιμίου.

11.3.3 Αναζυμωθέντα δοκίμια

Η προπαρασκευή των δοκιμίων γίνεται είτε χρησιμοποιώντας θραυσμένο αδιατάρακτο δοκίμιο είτε διαταραγμένο δείγμα.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται θραυσμένο αδιατάρακτο δοκίμιο το υλικό τυλίγεται σε αεροστεγή μεμβράνη και δουλεύεται εξωτερικά με τα δάκτυλα, ώστε να εξασφαλιστεί πλήρης αναζύμωση του υλικού.

Μετά την αναζύμωση το υλικό επανασυμπυκνώνεται μέσα σε κυλινδρικά καλούπια με επιθυμητές διαστάσεις όπως περιγράφονται στην παράγραφο 11.3.1 και γίνεται προσπάθεια ώστε το αναζυμωμένο δοκίμιο να έχει τον ίδιο δείκτη πόρων και την ίδια φυσική υγρασία με το αδιατάρακτο δείγμα.

Μετά την εξαγωγή του δοκιμίου από το κυλινδρικό καλούπι γίνεται μόρφωση των ακραίων διατομών του.

11.4 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Το δοκίμιο τοποθετείται στη συσκευή φόρτισης στο κέντρο της κάτω πλάκας. Η συσκευή ρυθμίζεται έτσι ώστε η άνω πλάκα να βρίσκεται σε επαφή με την άνω επιφάνεια του δοκιμίου και μηδενίζεται ο μετρητής των παραμορφώσεων.

Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο τέτοιο ώστε η παραμόρφωση που θα επιτυγχάνεται να είναι της τάξεως των 0,5 έως 2% ανά λεπτό. Η καταγραφή των τιμών των αξονικών φορτίων και των αντίστοιχων παραμορφώσεων γίνεται ανά 30 sec. Η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ολική διάρκεια της δοκιμής να μην ξεπερνά τα 10 min προκειμένου για δοκίμια που δεν προστατεύονται με αεροστεγή μεμβράνη. Η επιβολή του θλιπτικού αξονικού φορτίου συνεχίζεται μέχρι να παρατηρηθεί μείωση του φορτίου με αυξανόμενες παραμορφώσεις ή μέχρι να φθάσει η παραμόρφωση την τιμή 20%.

Στην περίπτωση που τα δοκίμια προστατεύονται με αεροστεγή μεμβράνη η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων μπορεί να είναι μικρότερη και συνεπώς η ολική διάρκεια της δοκιμής μεγαλύτερη. Η ταχύτητα παραμόρφωσης αναγράφεται στο σχετικό έντυπο της δοκιμής.

11.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

11.5.1 Ανοιγμένη παραμόρφωση ε:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

ΔL : Παραμόρφωση του δοκιμίου σύμφωνα με τις ενδείξεις του μετρητή παραμορφώσεων

L_0 : Αρχικό μήκος του δοκιμίου

11.5.2 Μέση επιφάνεια δοκιμίου A , για δεδομένη παραμόρφωση ε :

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

A_0 : αρχική μέση επιφάνεια του δοκιμίου

11.5.3 Μέση τάση για δεδομένο φορτίο:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

P : φορτίο εφαρμογής σύμφωνα με τις ενδείξεις του μετρητή του φορτίου

A : αντίστοιχη μέση επιφάνεια του δοκιμίου

Παρακάτω παρατίθεται σχετικό έντυπο που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των αποτελεσμάτων της δοκιμής.

ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυνσιομέτρων και υπολογισμών

Συσκευή: Ν°		Αριθμός δακτυλίου: Ν°			Σταθερά δακτυλίου: C ₁ =0,4122 (kg/ένδειξη)					
Κατάσταση δείγματος:		Αδιατάρακτο (Δ1), (Δ2)			Διαταραγμένο (Δ1), (Δ2)					
Μεταβολή χρόνου t (min)	Μεταβολή ύψους Δh _i *10 ⁻³ (in)	Μεταβολή ύψους Δh _i (cm)	Ένδειξη δυναμ/κού δακτυλίου (γραμμές)	Θλιπτική δύναμη F=(ένδ)*C (Kg)	Παρ/φωση ε = (Δh _i /h ₀)*1000 ‰	Διορ/μένη επιφάνεια A _i =A ₀ /(1-ε) (cm ²)	Ορθή Τάση q _v =F/A _i (Kg/cm ²)	Ορθή Τάση (kPa)	Συνοχή c _v =q _v /2 (Kg/cm ²)	Συνοχή c _v =q _v /2 (kPa)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Δοκιμή (Δ1)										
0	0	0	0	0	0	8,71	0	0	0	0
	10	0,0254	40	16,488	3,55	8,741	1,886	188,6		
	20	0,0508	49	20,197	7,10	8,772	2,310	231,0		
	30	0,0762	52	21,434	10,66	8,804	2,434	243,4		
	40	0,1016	54	22,258	14,21	8,836	2,519	251,9	1,259	125,95
	50	0,1270	54	22,258	17,76	8,867	2,510	251,0		
	60	0,1524	52	21,434	21,31	8,899	2,408	240,8		
	70	0,1778	49	20,197	24,86	8,932	2,261	226,1		
	80	0,2032	46	18,961	28,41	8,964	2,115	211,5		
	100	0,2540								
	120	0,3048								
	150	0,3810								
	180	0,4572								
	220	0,5588								
Παρατηρήσεις: h ₀ =7.15 cm, A ₀ =8.71 cm ²					Έργο:			Δείγμα:		
Τα βοηθητικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων σημειώνονται στο γενικό έντυπο.					Γεώτρηση:			Δοκιμή:		
					Βάθος:			Φύλλο:		
					Εργαστηριακός:			Ημερομηνία:		
					Έλεγχος:			Αριθ. Εντύπου:14		

12. ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

12.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι η δοκιμή κατά την οποία καταγράφεται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους σε σχέση με τη μεταβολή της ορθής τάσης που εφαρμόζεται κάθετα στην προκαθορισμένη επιφάνεια διατμήσεως. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και ψαθυρά εδάφη με σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής (γωνία τριβής και συνοχή).

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

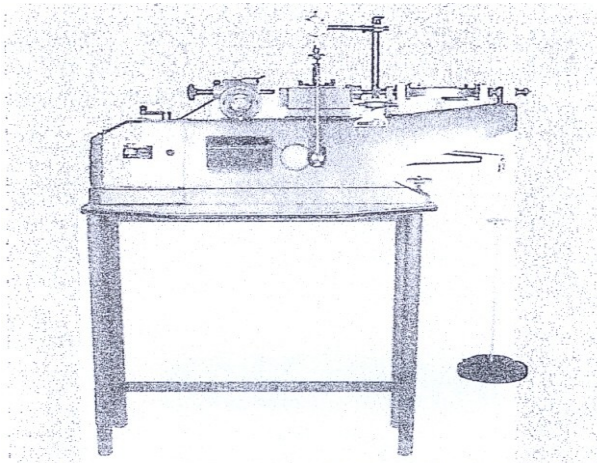
- (α) Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου
- (β) Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου
- (γ) Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής που προκύπτουν από τους τύπους δοκιμών (α) και (β) έχουν εφαρμογή σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου εξετάζεται η διατμητική θραύση του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα τη δημιουργία υπερπίεσης του νερού των πόρων (στάδιο αμέσως μετά την κατασκευή)

Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής που προκύπτουν από τον (γ) τύπο δοκιμής έχουν εφαρμογή σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου εξετάζεται η διατμητική θραύση του εδάφους λόγω αργής επιβολής φορτίου και ως εκ τούτου μη ανάπτυξης υπερπίεσης του νερού των πόρων.

12.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

12.2.1 Συσκευή διάτμησης (εικόνα 12.1). Υπάρχουν διάφορες συσκευές διάτμησης όπου η διάτμηση του εδαφικού υλικού επιβάλλεται κατά μία ή δύο επίπεδες επιφάνειες τετραγωνικού ή κυλινδρικού δοκιμίου. Στον συνήθη τύπο ο υποδοχέας του δοκιμίου αποτελείται από δύο δακτυλίους. Το δοκίμιο κρατείται μέσα σε αυτούς τους δακτυλίους και μεταξύ δύο πορόλιθων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκλείεται στρέψη του δοκιμίου. Η συσκευή διατμήσεως θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή ορθής και διατμητικής τάσης, κάθετης και παράλληλης προς το επίπεδο διατμήσεως αντίστοιχα. Κατά τη δοκιμή είναι δυνατό να μετρούνται εκτός από τις εφαρμοζόμενες τάσεις και η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου και η διατμητική παραμόρφωση με ειδικά μηχανοσκόπια. Το πλαίσιο που συγκρατεί το δοκίμιο θα πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτο, έτσι ώστε να αποφεύγεται στρέβλωση του δοκιμίου.



Εικόνα 12.1: Συσκευή απευθείας διάτμησης

12.2.2 Σύστημα εφαρμογής του φορτίου. Το σύστημα επιβολής της ορθής τάσης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να διατηρεί σταθερή τάση σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής με ακρίβεια $\pm 1\%$.

Η δυνατότητα του μηχανισμού επιβολής φορτίου παράλληλα προς το επίπεδο διατμήσεως εξαρτάται από το αν η δοκιμή γίνεται με ελεγχόμενη επιβολή φορτίου ή με ελεγχόμενη επιβολή παραμόρφωσης. Συνήθως επιβάλλεται διατμητική παραμόρφωση με σταθερή ταχύτητα με ανεκτή απόκλιση της τάξης των $\pm 10\%$. Η διατμητική παραμόρφωση επιβάλλεται κατά προτίμηση με ηλεκτροκίνητο τρόπο και το αντίστοιχο φορτίο μετράται με ειδικά προσαρμοσμένο δακτύλιο.

12.2.3 Πορόλιθοι. Οι πορόλιθοι θα πρέπει να είναι από υλικό όπως καρβίδιο του πυριτίου, οξείδιο του αργιλίου ή μέταλλο που δεν διαβρώνεται από την υγρασία ή ουσίες που μπορεί να περιέχονται στο έδαφος.

Οι πορόλιθοι θα πρέπει να είναι αφενός μεν αρκετά τραχείς ώστε να εξασφαλίσουν τη συγκράτηση του δοκιμίου μέσα στο δακτύλιο και αφετέρου αρκετά λείοι, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση του εδάφους μέσα σ' αυτός.

12.2.4 Μηκυνσιόμετρα. Για τη μέτρηση της μεταβολής του πάχους του δοκιμίου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μηκυνσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,002mm και για τη μέτρηση των μετακινήσεων κατά τη διεύθυνση διατμήσεως μηκυνσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,02mm.

12.2.5 Μορφωτής δοκιμίου με τα εξαρτήματά του (πλαίσιο μορφοποίησης, συρμάτινο πριόνι, μαχαίρια).

12.2.6 Εξολκέας δείγματος. Χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των δειγμάτων από το δείγματολήπτη. Η εξαγωγή του δείγματος θα πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη και με διεύθυνση εξολκεύσεως την ίδια με αυτή της δειγματοληψίας.

12.3 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Αν η δοκιμή γίνεται σε αδιατάρακτο δείγμα εδάφους, το δείγμα αυτό θα πρέπει να είναι αρκετό για το σχηματισμό 3 τουλάχιστον δοκιμίων με τις ίδιες ακριβώς διαστάσεις. Κατά τη διάρκεια της μορφώσεως του δοκιμίου θα πρέπει να εξασφαλίζεται μηδενική διατάραξη και μηδενική απώλεια της υγρασίας του εδάφους. Το δοκίμιο μορφώνεται στη διάμετρο του δακτυλίου της συσκευής άμεσης διάτμησης.

Αν η δοκιμή πρόκειται να εφαρμοσθεί σε δείγματα αναζυμωμένα και επανασυμπυκνωμένα, τότε αυτά θα πρέπει να συμπυκνωθούν στην επιθυμητή υγρασία και πυκνότητα.

Η ελάχιστη επιθυμητή διάμετρος κυκλικού δοκιμίου ή πλάτος ορθογωνικής διατομής είναι 50mm περίπου.

Το ελάχιστο πάχος δοκιμίου πρέπει να είναι 12,5mm αλλά ποτέ λιγότερο από 6 φορές τη μέγιστη διάμετρο των κόκκων του υπό δοκιμή εδαφικού υλικού.

Ελάχιστος λόγος διαμέτρου προς πάχος του δοκιμίου 2:1.

12.4 ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Συναρμολογείται η συσκευή διάτμησης με τα πλαίσια ευθυγραμμισμένα και σταθερά. Γίνεται ελαφρύ γρασάρισμα στις επιφάνειες επαφής των πλαισίων ώστε να εξασφαλίζεται υδατοστεγανότητα, στην περίπτωση που γίνεται στερεοποίηση του δοκιμίου πριν από το στάδιο διατμητικής θραύσης και επίσης για τη μείωση των τριβών κατά τη διάρκεια της διάτμησης.

Το δοκίμιο τοποθετείται προσεκτικά και γίνεται η σύνδεση των μηχανισμών φόρτισης. Τοποθετούνται τα μηχανοστάσια για τη μέτρηση της διατμητικής παραμόρφωσης και της μεταβολής του πάχους του δοκιμίου.

Ανάλογα με τον τύπο της δοκιμής (α), (β) ή (γ) ακολουθείται και ο αντίστοιχος τρόπος φορτίσεως και θραύσεως του δοκιμίου.

12.4.1 Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση του δοκιμίου (UU)

Σ' αυτόν τον τύπο δοκιμής, μετά την επιβολή της ορθής τάσης, εφαρμόζεται αμέσως το σταδιακά αυξανόμενο φορτίο διάτμησης χωρίς να προηγηθεί στερεοποίηση του δοκιμίου. Η ταχύτητα της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ολική διάρκεια της δοκιμής να μην ξεπερνά τα 15 – 20min. Ο ρυθμός της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης θα είναι της τάξης του 0,5 έως 2% της διαμέτρου του δοκιμίου ανά λεπτό.

Η διάτμηση του δοκιμίου συνεχίζεται μέχρις ότου η διατμητική τάση αποκτήσει σταθερή τιμή για αυξανόμενη διατμητική παραμόρφωση ή μέχρις ότου η διατμητική παραμόρφωση φθάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου.

12.4.2 Ταχεία δοκιμή με στερεοποίηση του δοκιμίου (CD)

Σ' αυτόν τον τύπο δοκιμής, και πριν από το στάδιο διατμητικής φόρτισης, πραγματοποιείται στερεοποίηση του δοκιμίου υπό πίεση ίση με την ορθή τάση που θα εφαρμοσθεί κατά το στάδιο της διάτμησης. Αμέσως μετά την τοποθέτηση του δοκιμίου και την εφαρμογή μιας μικρής αρχικής ορθής τάσης γεμίζεται με νερό ο υποδοχέας γύρω από το δακτύλιο του δοκιμίου και η στάθμη του διατηρείται σταθερή καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής, ώστε το δοκίμιο να είναι πάντοτε κορεσμένο. Η στερεοποίηση του δοκιμίου γίνεται είτε σε ένα στάδιο με την εφαρμογή της επιθυμητής ορθής τάσης, είτε σε περισσότερα στάδια, όπου η φόρτιση γίνεται κατά βαθμίδες. Η κάθε βαθμίδα τάσεως εφαρμόζεται στο δοκίμιο μέχρι πλήρους στερεοποίησεως του. Το δοκίμιο θεωρείται στερεοποιημένο υπό συγκεκριμένη τάση όταν έχει ολοκληρωθεί η πρωτεύουσα στερεοποίηση. Κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης του δοκιμίου μετράται η μεταβολή του ύψους του δοκιμίου σε συνάρτηση με το χρόνο. Σχεδιάζεται η καμπύλη “μεταβολή ύψους – λογάριθμος χρόνου”.

Μετά τη στερεοποίηση πραγματοποιείται διάτμηση του δοκιμίου σύμφωνα με τα αναφερθέντα στην προηγούμενη παράγραφο.

12.4.3 Βραδεία δοκιμή με στερεοποίηση του δοκιμίου

Μετά τη στερεοποίηση του δοκιμίου υπό την επιθυμητή ορθή τάση, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, γίνεται διάτμηση του δοκιμίου με βραδεία επιβολή της διατμητικής παραμόρφωσης, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης αποτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων.

Η εκλογή της κατάλληλης ταχύτητας επιβολής του φορτίου ή της παραμόρφωσης εκτιμάται από το χρόνο $T = 50 t_{50}$ όπου t_{50} είναι ο απαιτούμενος χρόνος για να πραγματοποιηθεί το 50% της στερεοποίησης του δοκιμίου και ο οποίος προσδιορίζεται από την καμπύλη “μεταβολή ύψους – λογάριθμος χρόνου”.

Ο ρυθμός παραμορφώσεως προσδιορίζεται με προσέγγιση διαιρώντας την εκτιμώμενη διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική τάση με το χρόνο T . Η διάτμηση του δοκιμίου συνεχίζεται με το ρυθμό αυτό μέχρις ότου η διατμητική παραμόρφωση φθάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου.

12.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Για τον προσδιορισμό της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής από τη δοκιμή ταχείας διάτμησης απαιτούνται τουλάχιστον 3 δοκιμές. Από κάθε δοκιμή προκύπτει ένα ζεύγος τιμών τ , σ (τ = μέγιστη διατμητική τάση, σ = εφαρμοσθείσα ορθή τάση), οι οποίες τιμές μεταφέρονται σε αντίστοιχο διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει η ευθεία Coulomb με τις αντίστοιχες παραμέτρους διατμητικής αντοχής.

Παρακάτω παρατίθεται σχετικό έντυπο που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των αποτελεσμάτων της δοκιμής.

ΔΟΚΙΜΗ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυσιομέτρων και υπολογισμών

Συσκευή: N°			Αριθμός δακτυλίου: N°		Σταθερά δακτυλίου: C _i = 0,081 (kg / ένδειξη)				
Κατάσταση δείγματος:			Αδιατάρακτο (Δ1) , (Δ2)		Διαταραγμένο (Δ1) , (Δ2)				
Μετ/λή χρόνου t (min)	Μετ/λή δια/τρου Δli*10 ⁻³ (in)	Μετ/λή δια/τρου Δli (cm)	Διόρθωση επιφάνειας A _c =D*Δli (cm ²)	Ανηγγεμένη παρ/φωση ε = Δli / D (%)	Ένδειξη δυναμ/κού δακτυλίου (γραμμές)	Διατ/κή δ/μη F= (ένδ.)*C (Kg)	Διορ/μένη επιφ/νεια A _c =A _c -A _i (cm ²)	Διατμητική τάση τ =F/A _c (kg/cm ²)	Διατ/κή τάση τ =F/A _c (kPa)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δοκιμή (Δ1). Κατακόρυφο φορτίο σ₁=50 kPa									
0	0	0,0000	0,0000	0	0	0	31,45	0,00	0,00
4"	5	0,0127	0,0804	2	22	1,782	31,37	0,056	5,60
7"	10	0,0254	0,1608	4	28	2,268	31,29	0,072	7,20
11"	15	0,0380	0,2405	6	32	2,592	31,21	0,083	8,30
	20	0,0508	0,3216	8	36	2,916	31,13	0,093	9,30
	30	0,0762	0,4823	12	44	3,564	30,97	0,115	11,50
	40	0,1016	0,6431	16	52	4,212	30,81	0,136	13,60
	50	0,1270	0,8034	20	60	4,860	30,64	0,158	15,80
	60	0,1524	0,9647	24	68	5,508	30,48	0,180	18,00
	80	0,2032	1,2863	32	83	6,723	30,16	0,223	22,30
	100	0,2540	1,6078	40	94	7,614	29,84	0,255	25,50
	120	0,3048	1,9294	48	103	8,343	29,52	0,282	28,20
	150	0,3810	2,4117	60	114	9,234	29,04	0,318	31,80
	180	0,4572	2,8941	72	124	10,044	28,55	0,351	35,10
	220	0,5588	3,5300	88	136	11,016	27,92	0,394	39,40
14'	260	0,6604	4,1800	104	138	11,178	27,27	0,409	40,90
	300	0,7620	4,8234	120	130	10,530	26,62	0,395	39,50
	350	0,8870	5,6273	140	124	10,044	25,82	0,389	38,90
	400	1,0160	6,4312	160			25,02		
Δοκιμή (Δ2). Κατακόρυφο φορτίο σ₂=100 kPa									
0	0	0,0000	0,0000	0	0	0	31,45	0,00	0,00
5"	5	0,0127	0,0804	2	45	3,645	31,37	0,116	11,60
9"	10	0,0254	0,1608	4	72	5,832	31,29	0,186	18,60
13"	15	0,0380	0,2405	6	84	6,804	31,21	0,218	21,80
	20	0,0508	0,3216	8	91	7,371	31,13	0,236	23,60
	30	0,0762	0,4823	12	104	8,424	30,97	0,272	27,20
	40	0,1016	0,6431	16	116	9,396	30,81	0,305	30,50
	50	0,1270	0,8034	20	127	10,287	30,64	0,335	33,50
	60	0,1524	0,9647	24	137	11,097	30,48	0,364	36,40
	80	0,2032	1,2863	32	155	12,555	30,16	0,416	41,60
	100	0,2540	1,6078	40	169	13,689	29,84	0,458	45,80
	120	0,3048	1,9294	48	183	14,823	29,52	0,502	50,20
	150	0,3810	2,4117	60	195	15,795	29,04	0,554	55,40
	180	0,4572	2,8941	72	207	16,767	28,55	0,587	58,70
	220	0,5588	3,5300	88	218	17,658	27,92	0,632	63,20
16'	260	0,6604	4,1800	104	229	18,549	27,27	0,680	68,00
	300	0,7620	4,8234	120	221	17,901	26,62	0,672	67,20
	350	0,8870	5,6273	140	210	17,010	25,82	0,658	65,80
	400	1,0160	6,4312	160			25,02		
Παρατηρήσεις: D _o = 6,33 cm, A _c =31.45 cm ²						Έργο:	Δείγμα:		
Τα βοηθητικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων σημειώνονται στο γενικό έντυπο						Γεώτρηση:	Δοκιμή:		
						Βάθος:	Φύλλο:		
						Εργαστηριακός:	Ημερομηνία:		
						Έλεγχος:	Αριθμός εντύπου:		

13. ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

13.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων ψαθυρών ή συνεκτικών εδαφών, σε αδιατάρακτη κατάσταση, ή ύστερα από αναζύμωση, για διάφορες συνθήκες αποστράγγισης. Παρέχει επομένως τα δεδομένα για τον υπολογισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής (γωνία εσωτερικής τριβής και συνοχή) και της σχέσης τάσης – παραμόρφωσης των εδαφών.

Κατ' αυτήν τη δοκιμή ένα κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, που περιβάλλεται με μία ελαστική μεμβράνη και στη συνέχεια από ένα υγρό μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένο θάλαμο πίεσεως, υποβάλλεται σε μία ομοιόμορφη πλευρική πίεση. Στη συνέχεια το δοκίμιο υφίσταται κατακόρυφη αυξανόμενη σταδιακά φόρτιση μέχρι του σημείου θραύσης του.

13.2 ΕΙΔΗ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Η διατμητική αντοχή του εδάφους είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους της τάσης που ασκείται σε αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά εξαρτάται και από την εντατική κατάσταση που βρίσκονταν το έδαφος πριν από τη δοκιμή του. Για τους λόγους αυτούς προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης μιας σειράς από τριαξονικές δοκιμές, οι κυριότερες από τις οποίες περιγράφονται παρακάτω.

13.2.1 Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση – χωρίς αποστράγγιση (UU)

Σε αυτόν τον τύπο δοκιμής δεν περιλαμβάνεται το στάδιο στερεοποίησης. Η στράγγιση του δοκιμίου δεν επιτρέπεται επίσης και κατά τη διάρκεια της φόρτισης έως τη θραύση του. Η δοκιμή αυτή είναι γρήγορη και διεκπεραιώνεται σε μόλις λίγα λεπτά. Πρακτικώς, αντιστοιχεί στην παραδοχή της γρήγορης φόρτισης του εδάφους και κατά κανόνα θεωρείται ως η πιο δυσμενής (κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου δεν υφίσταται μεταβολή του e , ανάπτυξη πίεσης του νερού των πόρων). Η περιβάλλουσα των κύκλων Mohr προκύπτει παράλληλη με τον οριζόντιο άξονα και ως εκ τούτου $\phi = 0$ και $c = c_u$.

Η τριαξονική UU δοκιμή ουσιαστικά συμπίπτει με τη δοκιμή σε ανεμπόδιστη θλίψη στην οποία δεν υφίσταται πλευρική πίεση ($\sigma_3 = 0$). Κατά τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης μετράται άμεσα η αντίστοιχη αντοχή του δοκιμίου σ και υπολογίζεται εύκολα η αστράγγιστη συνοχή c_u ίση με $\sigma/2$. Η θεώρηση αυτή, όσον αφορά τη διατμητική αντοχή, είναι και η πιο δυσμενής για τις περιπτώσεις των κανονικά στερεοποιημένων και ελαφρά στερεοποιημένων συνεκτικών εδαφών.

13.2.2 Δοκιμή με στερεοποίηση χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (CU)

Αυτός ο τύπος δοκιμής περιλαμβάνει το στάδιο στερεοποίησης κατά το οποίο το δοκίμιο αφήνεται να στραγγίσει κάτω από συγκεκριμένη πλευρική πίεση σ_3 για κάποιο χρονικό διάστημα. Κατά το στάδιο διατμητικής θραύσης δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του δοκιμίου, ενώ καταγράφεται η πίεση του νερού των πόρων. Η ταχύτητα φόρτισής του θα πρέπει να είναι αρκετά βραδεία ώστε η πίεση του νερού των πόρων να είναι περίπου ίδια καθ' όλο το ύψος του δοκιμίου. Πρακτικώς, αντιστοιχεί στην παραδοχή ότι το έδαφος φορτίζεται με τέτοιο ρυθμό με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μείωση του δείκτη κενών e και παράλληλα να αναπτύσσεται πίεση του νερού των πόρων ($\Delta u \neq 0$).

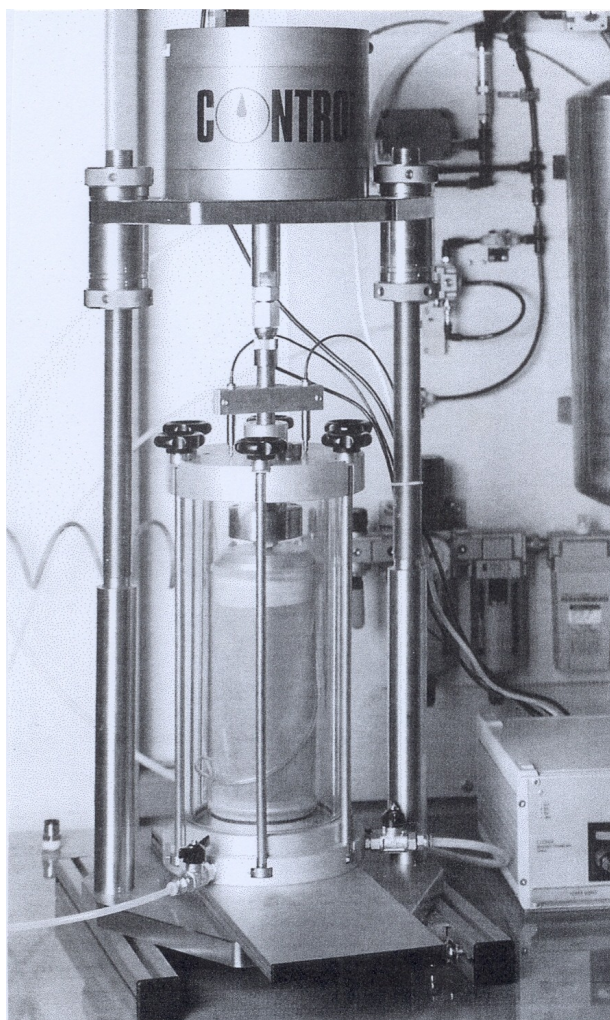
Εφόσον καταγράφεται η πίεση του νερού των πόρων τότε η περιβάλλουσα των κύκλων Mohr μπορεί να σχεδιασθεί βάσει των ολικών αλλά και ενεργών τάσεων και να εξαχθούν οι αντίστοιχες παράμετροι διατμητικής αντοχής (c , ϕ ή c' , ϕ').

13.2.3 Δοκιμή με στερεοποίηση και αποστράγγιση (CD)

Σε αυτόν τον τύπο δοκιμής λαμβάνει χώρα αποστράγγιση κατά το στάδιο διατμητικής θραύσης ενός στερεοποιημένου δοκιμίου. Κατά το στάδιο της διατμήσεως, η ταχύτητα φόρτισης θα πρέπει να είναι πολύ βραδεία, ώστε πρακτικά να μην αναπτύσσεται καμία πίεση του νερού των πόρων ($\Delta u = 0$). Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής αφορούν συνθήκες μόνο ενεργών τάσεων και στην πράξη αντιστοιχούν στη διατμητική αντοχή που παρουσιάζει το έδαφος όταν αυτό φορτίζεται με πολύ αργούς ρυθμούς, συνεπεία των οποίων παρατηρείται μόνο μεταβολή του e και καθόλου αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων.

13.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

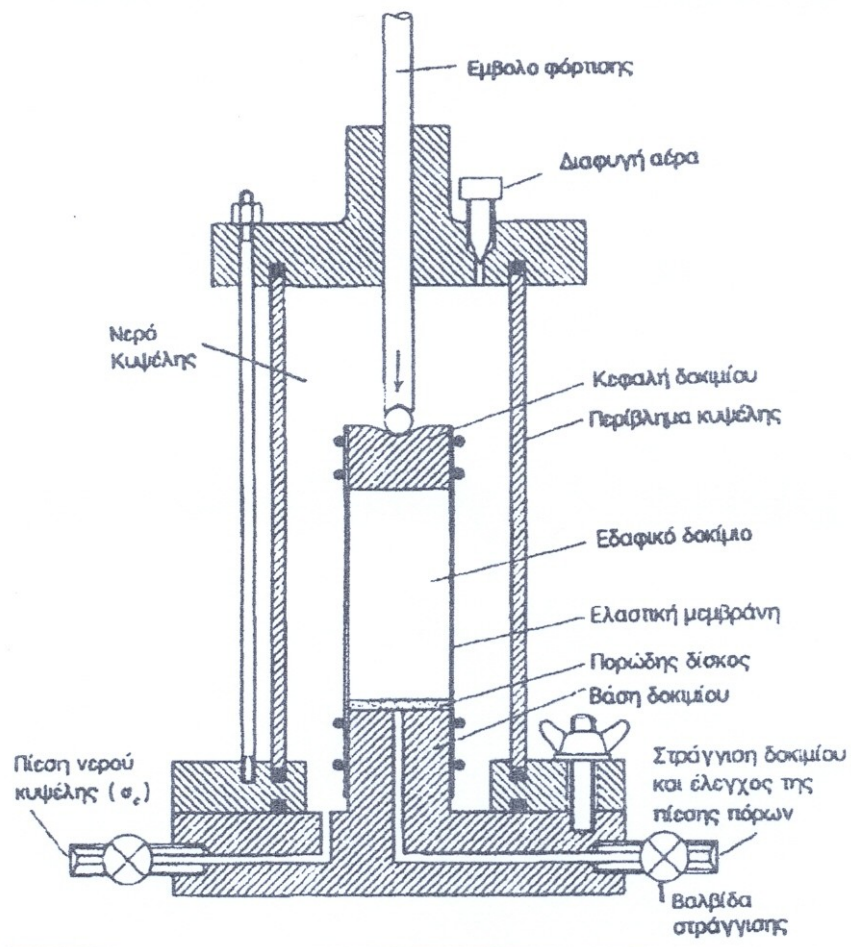
13.3.1 Τριαξονική συσκευή (εικόνα 13.1 & 13.2, σχήμα 13.1)



Σχήμα 13.1: Τομή κυψέλης



Εικόνα 13.2: Κυψέλες τριαξονικής συσκευής



Εικόνα 13.1: Τριαξονική συσκευή

13.3.2 Μορφωτής δοκιμίου με τον εξοπλισμό του (μήτρα μορφώσεως δοκιμίου, συρμάτινο πριόνι, μαχαίρι)

13.3.3 Ελαστική μεμβράνη (εικόνα 13.3)

13.3.4 Τανυστής αναρροφήσεως μεμβράνης (εικόνα 13.3)

13.3.5 Ελαστικοί δακτύλιοι (εικόνα 13.3)



Εικόνα 13.3: Βοηθητικά εξαρτήματα

13.3.6 Παροχή απαερομένου νερού

13.3.7 Ζυγός

13.3.8 Δοχεία βρασμού νερού

13.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Η προετοιμασία του δοκιμίου, κατά προτίμηση, πρέπει να γίνεται σε υγρό θάλαμο, για να αποφεύγεται η απώλεια υγρασίας του. Επίσης κατά την προπαρασκευή του δοκιμίου πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια ώστε η διατάραξή του να μειώνεται στο ελάχιστο.

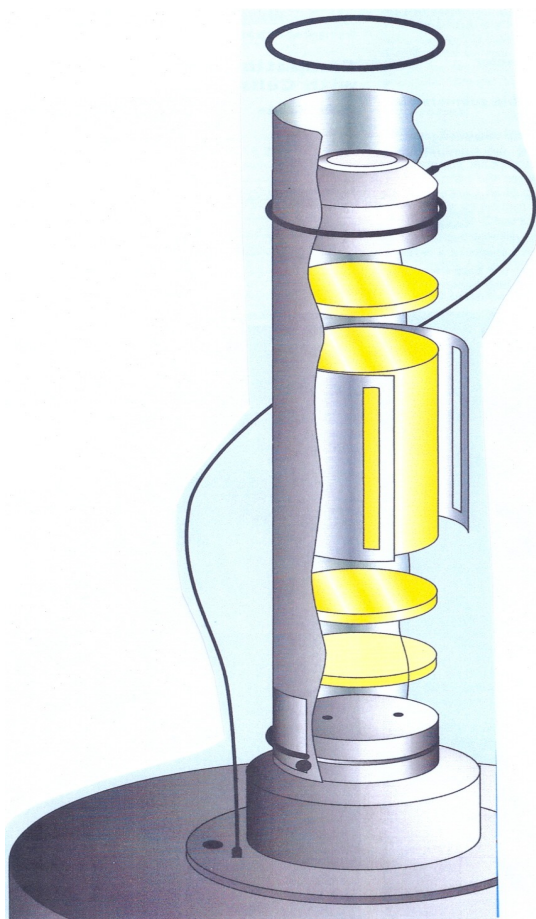
Για την τριαξονική δοκιμή μπορεί να χρησιμοποιηθούν δοκίμια οποιουδήποτε μεγέθους και διαμέτρου, αρκεί να προσαρμοσθεί κατάλληλα η συσκευή και να διατηρείται η σχέση διαμέτρου προς ύψος από 1:2 έως 1:3 με μία ελάχιστη διάμετρο 33mm. Τα πιο επικρατέστερα όμως μεγέθη που συνηθίζονται στην πράξη είναι τα δοκίμια με ύψος 72mm και διάμετρο 35mm.

13.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΘΡΑΥΣΕΩΣ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

13.5.1 Δοκιμή χωρίς στερεοποίηση – χωρίς αποστράγγιση (UU)

Κατά τη δοκιμή αυτή δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων και εφαρμόζεται ως επί το πλείστον σε κορεσμένα δοκίμια, δηλαδή σε εδάφη που βρίσκονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

Το δοκίμιο τοποθετείται πάνω σε ένα πορόλιθο ίδιας διαμέτρου ενώ στην κορυφή του τοποθετείται επίσης ένας πορόλιθος και το κάλυμμα. Το όλο σύστημα μεταφέρεται στη βάση της τριαξονικής συσκευής όπου με τη βοήθεια του τανυστή μεμβράνης το σύστημα (πορόλιθος-δοκίμιο-πορόλιθος-κάλυμμα) περιβάλλεται σφικτά με μία ελαστική μεμβράνη, η οποία και σταθεροποιείται στη βάση με ένα ελαστικό δακτύλιο, ενώ με ένα δεύτερο ελαστικό δακτύλιο σταθεροποιείται στο κάλυμμα (σχήμα 13.2). Το βάρος του καλύμματος πρέπει να είναι λιγότερο από 0,5% του εφαρμοσμένου φορτίου θραύσης. Οι διάμετροι της βάσης και του καλύμματος πρέπει να είναι ίσες με τη διάμετρο του δοκιμίου. Όλα γενικά τα καλύμματα, οι σωληνώσεις και οι πορόλιθοι πρέπει να έχουν απαερωθεί.



Σχήμα 13.2: Προετοιμασία δοκιμίου στην τριαξονική κυψέλη

Τοποθετείται προσεκτικά το πάνω τμήμα της συσκευής και στη συνέχεια ελέγχεται αν το άκρο του εμβόλου εφάπτεται στο κέντρο του καλύμματος. Σφίγγονται όλοι οι κοχλίες στην κορυφή των κατακόρυφων ράβδων μέχρι να επιτευχθεί η στεγάνωση του θαλάμου. Στη φάση αυτή πρέπει όλες οι βαλβίδες της συσκευής να είναι κλειστές εκτός από τη βαλβίδα εξαερισμού. Ανοίγεται η βαλβίδα παροχής νερού και γεμίζεται ο θάλαμος με νερό. Στη συνέχεια κλείνει η βαλβίδα παροχής νερού και η βαλβίδα εξαερισμού.

Επιβάλλεται εντός του θαλάμου η επιθυμητή πλευρική πίεση με κατάλληλο σύστημα. Κατεβαίνει το έμβολο (μέσω αυτού θα ασκηθεί το αξονικό φορτίο) μέχρι να έρθει σε επαφή με το κάλυμμα. Καταγράφεται η τυχόν αρχική ένδειξη του δακτυλίου φόρτισης και η αρχική ένδειξη του μηχανοσκόπου.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής καταγράφονται οι ενδείξεις του μηχανοσκόπου, και του δακτυλίου φόρτισης. Ενδείξεις λαμβάνονται για

παραμορφώσεις 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 και 0,5% για ολική παραμόρφωση μέχρι 0,5%, έπειτα ανά 0,5% μέχρι να επιτευχθεί ολική παραμόρφωση 3% και τελικά ανά 1% μέχρι το τέλος της δοκιμής. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής η πίεση στο θάλαμο πρέπει να διατηρείται σταθερή. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι η θλιπτική δύναμη που εφαρμόζεται να παραμένει σταθερή για μερικές ενδείξεις ή μέχρι το δοκίμιο να πάρει παραμόρφωση ίση περίπου με το 20% του αρχικού του ύψους.

Όταν τελειώσει το στάδιο θραύσης απελευθερώνεται η αξονική φόρτιση. Κλείνει η βαλβίδα της γραμμής παροχής πίεσης και εκτονώνεται η πίεση του θαλάμου από τη βαλβίδα εξαερισμού. Αφαιρείται το νερό από το θάλαμο και αποσυναρμολογείται η συσκευή. Σχεδιάζεται το δοκίμιο μετά τη θραύση. Στο σχέδιο καταγράφεται η μέγιστη και ελάχιστη διάμετρος, το ύψος του δοκιμίου και η κλίση του επιπέδου διάτμησης, αν υπάρχει. Αφαιρείται η μεμβράνη και προσδιορίζεται η φυσική του υγρασία.

13.5.2 Δοκιμή με στερεοποίηση – χωρίς αποστράγγιση (CU)

Στη δοκιμή αυτή γίνεται μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων κατά το στάδιο διατμητικής θραύσης. Στην περίπτωση που το δοκίμιο δεν είναι κορεσμένο χρησιμοποιείται για τον κορεσμό αυτού μία αντιπίεση πόρων (back pressure).

Το δοκίμιο τοποθετείται πάνω σε ένα πορόλιθο ίδιας διαμέτρου ενώ στην κορυφή του τοποθετείται επίσης ένας πορόλιθος και το κάλυμμα. Το όλο σύστημα μεταφέρεται στη βάση της τριαξονικής συσκευής όπου με τη βοήθεια του τανυστή μεμβράνης το σύστημα (πορόλιθος-δοκίμιο-πορόλιθος-κάλυμμα) περιβάλλεται σφιχτά με μία ελαστική μεμβράνη, η οποία και σταθεροποιείται στη βάση με ένα ελαστικό δακτύλιο, ενώ με ένα δεύτερο ελαστικό δακτύλιο σταθεροποιείται στο κάλυμμα. Το βάρος του καλύμματος πρέπει να είναι λιγότερο από 0,5% του εφαρμοσμένου φορτίου θραύσης. Το βάρος του καλύμματος πρέπει να είναι λιγότερο από 0,5% του εφαρμοσμένου φορτίου θραύσης. Οι διάμετροι της βάσης και του καλύμματος πρέπει να είναι ίσες με τη διάμετρο του δοκιμίου. Για την ακριβή μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων είναι απαραίτητο οι πορόλιθοι της βάσεως και της κορυφής του δοκιμίου πριν από την έναρξη της δοκιμής να κορεσθούν με βρασμένο νερό, οι δε σωληνώσεις να είναι επίσης πληρωμένες με απαερωμένο νερό κατά τρόπο που να αποφεύγεται η παγίδευση φυσαλίδων αέρα κατά μήκος της διαδρομής.

Τοποθετείται προσεκτικά το πάνω τμήμα της συσκευής και στη συνέχεια ελέγχεται αν το άκρο του εμβόλου εφάπτεται στο κέντρο του καλύμματος. Σφίγγονται όλοι οι κοχλίες στην κορυφή των κατακόρυφων ράβδων μέχρι να επιτευχθεί η στεγάνωση του θαλάμου. Στη φάση αυτή πρέπει όλες οι βαλβίδες της συσκευής να είναι κλειστές εκτός από τη βαλβίδα εξαερισμού. Ανοίγεται η βαλβίδα παροχής νερού και γεμίζεται ο θάλαμος με νερό. Στη συνέχεια κλείνει η βαλβίδα παροχής νερού και η βαλβίδα εξαερισμού.

Επιβάλλεται εντός του θαλάμου η επιθυμητή πλευρική πίεση με αργό ρυθμό ενώ παράλληλα εφαρμόζεται και η αντιπίεση πόρων για τον κορεσμό του δοκιμίου. Ο κορεσμός του δοκιμίου επιβεβαιώνεται μετά από κάποιο χρονικό διάστημα μετρώντας την παράμετρο της πίεσης πόρων B . Η παράμετρος αυτή είναι ο λόγος της μεταβολής της πίεσης πόρων προς τη μεταβολή της πλευρικής πίεσης που την προκάλεσε ($B = \Delta u / \Delta \sigma_3$). Για τα κορεσμένα δοκίμια η τιμή της είναι ίση με τη μονάδα, $B = 1$.

Ο κορεσμός ελέγχεται με τον εξής τρόπο: Κλείνει η βαλβίδα αποστράγγισης και αυξάνεται η πλευρική πίεση. Η αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων που προκαλείται καταγράφεται από τη συσκευή μέτρησης της πίεσης των πόρων. Αν ο λόγος $\Delta u / \Delta \sigma_3$ απέχει αρκετά από τη μονάδα τότε συνεχίζεται αυτή η διαδικασία

μέχρις ότου το Β λάβει τιμή περίπου 0,97, όποτε και θεωρείται ότι το δοκίμιο είναι κορεσμένο.

Μετά τον κορεσμό το δοκίμιο αφήνεται να στερεοποιηθεί υπό κάποια πίεση στερεοποίησης (σ'_3), ανοίγοντας τη βαλβίδα αποστράγγισης. Η πίεση στερεοποίησης είναι ίση με τη διαφορά της πλευρικής πίεσης μείον την αντιπίεση πόρων. Η ποσότητα νερού που αποστραγγίζεται κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης καταγράφεται από κατάλληλη συσκευή. Το τέλος της στερεοποίησης γίνεται αντιληπτό είτε από τη διακοπή της ροής του νερού (η ένδειξη στο καταγραφικό παραμένει σταθερή) είτε από τη σταθεροποίηση της πίεσης των πόρων, η οποία πρέπει να είναι ίση με την αρχικά επιβεβλημένη αντιπίεση πόρων.

Μετά το τέλος της στερεοποίησης κλείνει η βαλβίδα αποστράγγισης και ελέγχεται προσεκτικά αν είναι όλα έτοιμα για τη δοκιμή. Καταγράφεται η αρχική ένδειξη του μηκυνσιόμετρου, του δακτυλίου φόρτισης και της back pressure.

Κατά τη διάρκεια της θλίψης, λαμβάνονται οι ενδείξεις του μηκυνσιόμετρου, του δακτυλίου φόρτισης και της πίεσης πόρων. Ενδείξεις πρέπει να λαμβάνονται για παραμορφώσεις 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 και 0,5% για ολική παραμόρφωση μέχρι 0,5%, έπειτα ανά 0,5% μέχρι να επιτευχθεί ολική παραμόρφωση 3% και τελικά ανά 1% μέχρι το τέλος της δοκιμής. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι η θλιπτική δύναμη που εφαρμόζεται να παραμένει σταθερή για μερικές ενδείξεις ή μέχρι το δοκίμιο να πάρει παραμόρφωση ίση περίπου με το 20% του αρχικού του ύψους.

Η υπόλοιπη διαδικασία είναι ή ίδια με αυτή που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

13.5.2 Δοκιμή με στερεοποίηση και αποστράγγιση (CD)

Στη δοκιμή αυτή η ταχύτητα φόρτισης πρέπει να είναι αρκετά βραδεία ώστε η πίεση του νερού των πόρων που αναπτύσσεται μέσα στο δοκίμιο να είναι αμελητέα. Λόγω της μεγάλης διάρκειας της δοκιμής προτιμάται αντί αυτής η δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση σε κορεσμένα δοκίμια (CD).

Για την προπαρασκευή, τοποθέτηση και κορεσμό των δοκιμίων ακολουθούνται οι διαδικασίες που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Η βαλβίδα αποστράγγισης παραμένει ανοικτή και ελέγχεται προσεκτικά αν είναι όλα έτοιμα για τη δοκιμή. Καταγράφεται η αρχική ένδειξη του μηκυνσιόμετρου, του δακτυλίου φόρτισης και του αρχικού όγκου (ή απλά μηδενίζεται) στη συσκευή καταγραφής της αντιπίεσης πόρων.

Κατά τη διάρκεια της θλίψης λαμβάνονται οι ενδείξεις του μηκυνσιόμετρου, του δακτυλίου φόρτισης και της μεταβολής του όγκου του δοκιμίου λόγω αποστράγγισης. Ενδείξεις πρέπει να λαμβάνονται για παραμορφώσεις 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 και 0,5% για ολική παραμόρφωση μέχρι 0,5%, έπειτα ανά 0,5% μέχρι να επιτευχθεί ολική παραμόρφωση 3%, μετά ανά 1% μέχρι την παραμόρφωση 10% και τελικά ανά 2% μέχρι το τέλος της δοκιμής. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι η θλιπτική δύναμη που εφαρμόζεται να παραμένει σταθερή για μερικές ενδείξεις ή μέχρι το δοκίμιο να πάρει παραμόρφωση ίση περίπου με το 20% του αρχικού του ύψους.

Η υπόλοιπη διαδικασία είναι ή ίδια με αυτή που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

13.6 TAXYTHTA DIATMHSEWS ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Για τη δοκιμή UU προτείνεται, όταν η φόρτιση πραγματοποιείται με έλεγχο των τάσεων, η εφαρμογή του φορτίου να γίνεται με ρυθμό ίσο με το 1/15 της αντοχής σε θλίψη ανά λεπτό. Όταν η φόρτιση πραγματοποιείται με έλεγχο των παραμορφώσεων ενδείκνυται να εφαρμόζεται ρυθμός αξονικής παραμόρφωσης από 0,5% έως 1% ανά λεπτό.

Για τη δοκιμή CU η ταχύτητα παραμόρφωσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη πίεση σε όλο το δοκίμιο. Προτείνεται διάρκεια δοκιμής περίπου 4 – 6 ώρες δηλ. ρυθμός παραμόρφωσης 0,05% ανά λεπτό.

Για τη δοκιμή CD ο ρυθμός φόρτισης πρέπει να είναι αρκετά χαμηλός ούτως ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε ανάπτυξη πίεσης του νερού των πόρων. Μία αξονική φόρτιση με ρυθμό παραμόρφωσης μικρότερο του 0,2% ανά ώρα είναι ενδεδειγμένη. Λόγω του ότι ο συντελεστής στερεοποίησης μετράται κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης του δοκιμίου, είναι εφικτό να υπολογίζεται ο χρόνος t_f που απαιτείται μέχρι τη θραύση από τη σχέση:

$$t_f = \frac{20 \cdot h^2}{m \cdot C_v}$$

όπου:

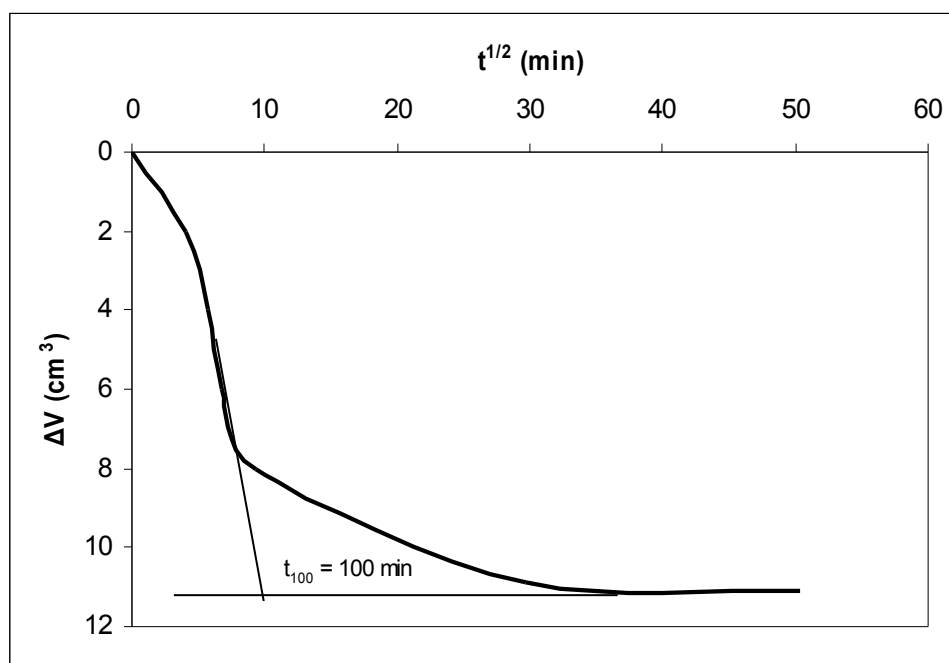
$2h$: το ύψος του δοκιμίου

C_v : συντελεστής στερεοποίησης του δοκιμίου

m : συντελεστής που εξαρτάται από τις συνθήκες αποστράγγισης (λαμβάνεται συνήθως $m = 0,75$ όταν η αποστράγγιση γίνεται μόνο από τη βάση του δοκιμίου και $m = 3$ όταν η αποστράγγιση γίνεται από τη βάση και την κορυφή).

Ο συντελεστής στερεοποίησης C_v βρίσκεται με τη βοήθεια του χρόνου στερεοποίησης t_{100} σε συνάρτηση των συνθηκών αποστράγγισης από τον πίνακα 13.1.

Ο χρόνος t_{100} βρίσκεται από την καμπύλη $(\Delta V, \sqrt{t})$ κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης, όπου ΔV η μεταβολή του όγκου κατά τη στερεοποίηση (σχήμα 13.3).



Σχήμα 13.3: Σχέση μεταβολής του όγκου - \sqrt{t} κατά τη διάρκεια στερεοποίησης υπό πλευρική ομοιόμορφη τάση σ_3

Πίνακας 13.1:

Συνθήκες στραγγίσεως	t_{100}	t_{100} ($h = 2R$)
Στράγγιση από το ένα άκρο μόνο	$\frac{\pi \cdot h^2}{c_v}$	
Στράγγιση από τα δύο άκρα	$\frac{\pi \cdot h^2}{4 \cdot c_v}$	
Στράγγιση από περιφερειακή επιφάνεια	$\frac{\pi \cdot R^2}{16 \cdot c_v}$	$\frac{\pi \cdot h^2}{64 \cdot c_v}$
Στράγγιση από τα δύο άκρα και την περιφερειακή επιφάνεια όπου $2h = \text{ύψος δοκιμίου}$ και $R = \text{ακτίνα δοκιμίου}$	$\frac{\pi \cdot h^2}{4 \cdot c_v} \cdot \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{2 \cdot h}{R}\right)^2} \right]$	$\frac{\pi \cdot h^2}{100 \cdot c_v}$

Για την εκλογή μιας κατάλληλης ταχύτητας παραμόρφωσης, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία υπερπίεσης πόρων μέσα στο δοκίμιο, θα πρέπει να γνωρίζουμε, εκτός από τον χρόνο που απαιτείται μέχρι τη θραύση t_f και την ανοιγμένη παραμόρφωση ε_f αντίστοιχα. Η ανοιγμένη παραμόρφωση κατά τη θραύση εξαρτάται από το είδος του συνεκτικού εδάφους καθώς και από το ιστορικό προφόρτισης.

Από την υπάρχουσα εμπειρία, για τις κανονικά στερεοποιημένες αργίλους η παραμόρφωση αυτή είναι της τάξης του 20%. Συνεπώς:

$$\text{Ρυθμός αξονικής φόρτισης} = \frac{20}{100} \cdot \frac{\text{ύψος δοκιμίου}}{t_f} \quad (\text{mm/min})$$

13.7 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

13.7.1 Διαστάσεις δοκιμίου μετά τη διαδικασία στερεοποίησης

Στις τριαξονικές δοκιμές CD και CU, στερεοποίηση του δοκιμίου λαμβάνει χώρα κατά την πρώτη φάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι διαστάσεις του δοκιμίου μετά τη στερεοποίηση να είναι μικρότερες από τις αρχικές, εφόσον ο όγκος του μειώθηκε. Οι νέες διαστάσεις μπορούν να προσδιορισθούν θεωρώντας ότι το δοκίμιο παραμένει κυλινδρικό και η συμπεριφορά του υλικού είναι ισοτροπική.

Αν L_i , D_i και V_i είναι το μήκος, η διάμετρος και ο όγκος του δοκιμίου πριν τη στερεοποίηση και L_o , D_o και V_o είναι τα αντίστοιχα μετά τη δοκιμή τότε:

$$\text{Μεταβολή όγκου} = V_i - V_o$$

Η μεταβολή του όγκου (ΔV_i) μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση κατάλληλης συσκευής.

$$\text{Ογκομετρική παραμόρφωση, } E_v = \frac{\Delta V_i}{V_i}$$

Για ισοτροπική στερεοποίηση η ογκομετρική παραμόρφωση είναι το τριπλάσιο της γραμμικής παραμόρφωσης (ε_i), δηλ.

$$\varepsilon_i = E_v / 3$$

και

$$L_o = L_i - \Delta L_i = L_i - L_i \varepsilon_i$$

ή
$$L_o = L_i(1 - \varepsilon_l) = L_i \left(1 - \frac{E_v}{3} \right)$$

Συνεπώς
$$D_o = D_i \left(1 - \frac{E_v}{3} \right)$$

13.7.2 Διαστάσεις δοκιμίου κατά τη διάρκεια διατμητικής θραύσης

Η διατομή A του δοκιμίου μπορεί να υπολογισθεί σε κάθε βήμα φόρτισης στο στάδιο της διατμητικής θραύσης του δοκιμίου κάνοντας τη θεώρηση ότι το δοκίμιο παραμένει κυλινδρικό.

Αν ΔL_o είναι η μεταβολή του μήκους και ΔV_o είναι η μεταβολή του όγκου τότε ο όγκος σε κάθε βήμα φόρτισης είναι $V_o \pm \Delta V_o$. Τότε:

$$A \cdot (L_o - \Delta L_o) = V_o \pm \Delta V_o$$

ή
$$A = \frac{V_o \pm \Delta V_o}{L_o - \Delta L_o} = \frac{V_o \left(1 \pm \frac{\Delta V_o}{V_o} \right)}{L_o \left(1 - \frac{\Delta L_o}{L_o} \right)}$$

ή
$$A = \frac{A_o \cdot L_o \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta V_o}{V_o} \right)}{L_o \cdot (1 - \varepsilon_1)} = \frac{A_o \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta V_o}{V_o} \right)}{1 - \varepsilon_1}$$

όπου ε_1 είναι η αξονική παραμόρφωση του δοκιμίου

Για αστράγγιστες συνθήκες, καθώς η ογκομετρική μεταβολή ΔV_o είναι μηδέν, η άνωθεν εξίσωση μετασχηματίζεται σε:

$$A = \frac{A_o}{1 - \varepsilon_1}$$

13.7.3 Αποκλίνουσα τάση (εκτροπική τάση)

Αποκλίνουσα τάση καλείται η τάση η οποία εφαρμόζεται αξονικά στο δοκίμιο από το σύστημα φόρτισης και είναι ίση με:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

όπου P : η δύναμη που ασκεί το έμβολο επί του δοκιμίου

A : η διατομή του δοκιμίου

Η αποκλίνουσα τάση είναι ίση με $\sigma_1 - \sigma_3$.

13.7.4 Κύριες τάσεις

Η ελάχιστη κύρια τάση σ_3 είναι ίση με την πίεση που ασκείται από το ρευστό εντός της τριαξονικής κυψέλης.

Η μέγιστη κύρια τάση σ_1 είναι ίση με το άθροισμα της τάσης που ασκείται από το έμβολο στην κορυφή του δοκιμίου και της πλευρικής τάσης σ_3

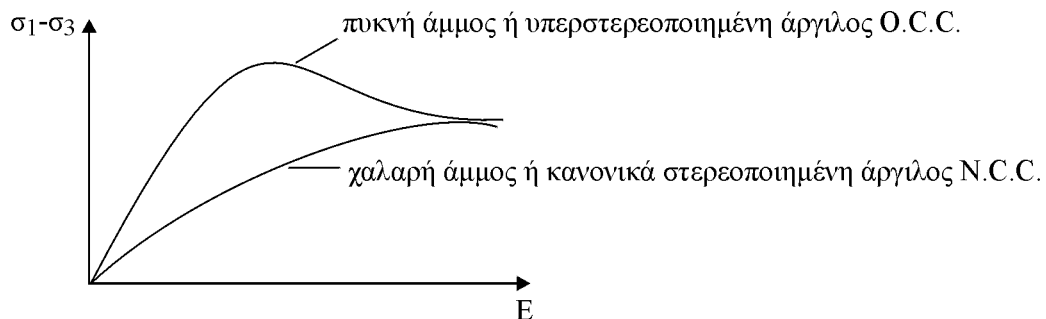
$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \sigma_3$$

13.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

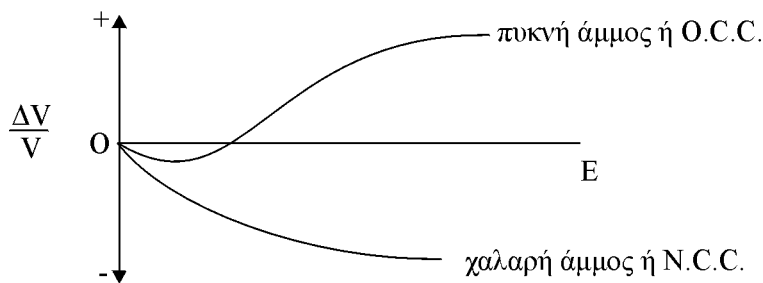
13.8.1 Καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων

Το σχήμα 13.4(α) παρουσιάζει την καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων για μία στραγγιζόμενη δοκιμή (CD)

Ο άξονας των Ψ αντιστοιχεί στην αποκλίνουσα τάση ($\sigma_1 - \sigma_3$) και ο άξονας των X στην αξονική παραμόρφωση. Για την πυκνή άμμο (υπερστερεοποιημένη άργιλο) η αποκλίνουσα τάση φθάνει μία μέγιστη τιμή και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι μία τιμή η οποία παραμένει σταθερή (ultimate stress). Για χαλαρή άμμο (κανονικά στερεοποιημένη άργιλο), η αποκλίνουσα τάση αυξάνεται βαθμιαίως μέχρι να φθάσει μία μέγιστη τιμή.



(α) Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων



(β) Ογκομετρική παραμόρφωση

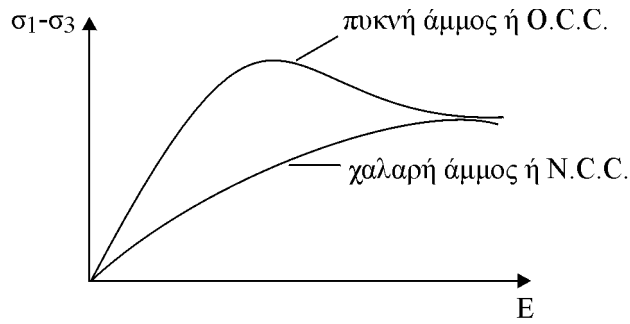
Σχήμα 13.4

Η ογκομετρική παραμόρφωση απεικονίζεται στο σχήμα 13.4(β). Στην περίπτωση της πυκνής άμμου (ή O.C.C.) παρατηρείται μείωση του όγκου για μικρές παραμορφώσεις, όμως στις μεγάλες παραμορφώσεις παρατηρείται αύξηση του όγκου.

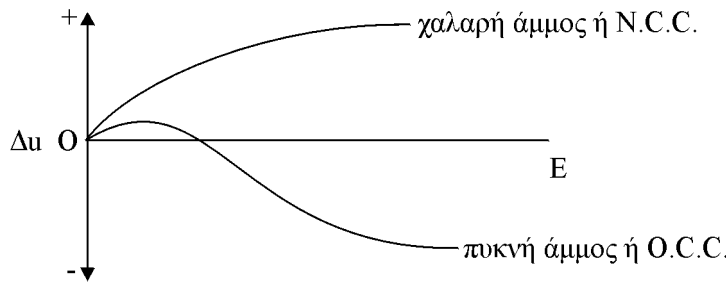
Στη χαλαρή άμμο (ή N.C.C.) ο όγκος μειώνεται συνεχώς όσο αυξάνεται η παραμόρφωση.

Το σχήμα 13.5(α) απεικονίζει την καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων από δοκιμή CU.

Η μορφή της καμπύλης είναι παρόμοια με αυτήν που παρατηρείται από δοκιμή CD.



(α) Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων



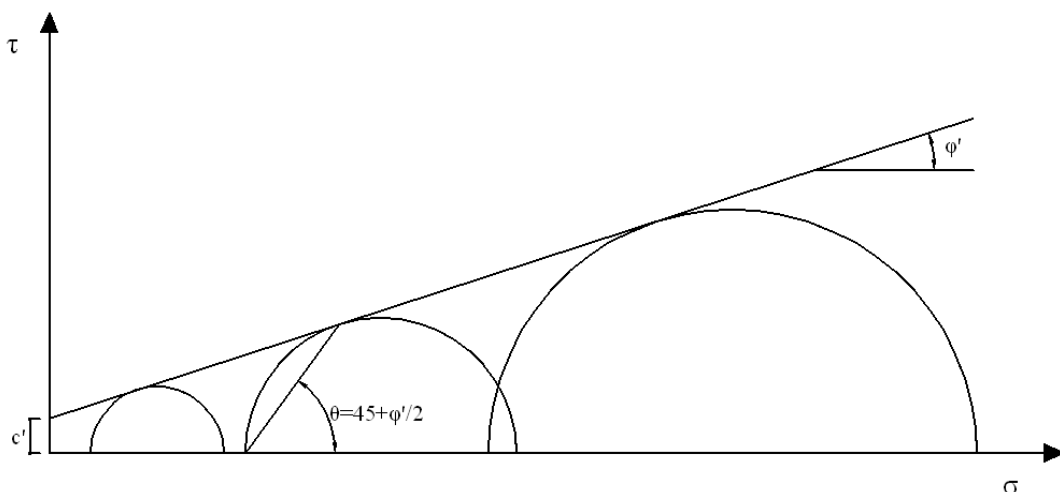
(β) Πίεση νερού πόρων

Σχήμα 13.5

Σε μία δοκιμή CU παρατηρείται μία συνεχόμενη αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων κατά τη διάρκεια της θραύσης του δοκιμίου όπως φαίνεται στο σχήμα 13.5(β). Εντούτοις, στην περίπτωση της πυκνής άμμου (ή O.C.C.) η πίεση του νερού των πόρων αυξάνεται για μικρές παραμορφώσεις αλλά για μεγάλες παραμορφώσεις παρουσιάζεται αρνητική (μικρότερη της ατμοσφαιρικής).

13.8.2 Ενεργές τάσεις

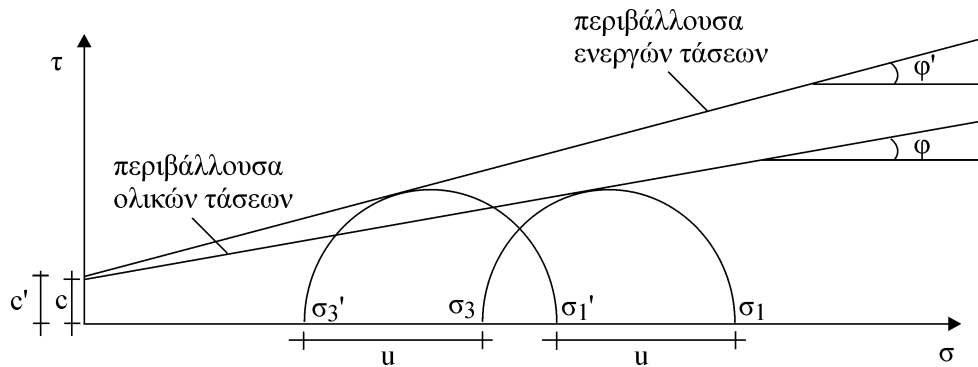
Το σχήμα 13.6 απεικονίζει την περιβάλλουσα του Mohr για μία κανονικά στερεοποιημένη άργιλο σε όρους ενεργών τάσεων από μία δοκιμή CD. Αυτή σχεδιάστηκε λαμβάνοντας καταρχήν τις τάσεις σ_1 και σ_3 από τρεις διαφορετικές δοκιμές, οι τιμές των οποίων φυσικά αναφέρονται στη φάση θραύσης. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχοι κύκλοι Mohr και η περιβάλλουσα η οποία εφάπτεται και στους τρεις.



Σχήμα 13.6

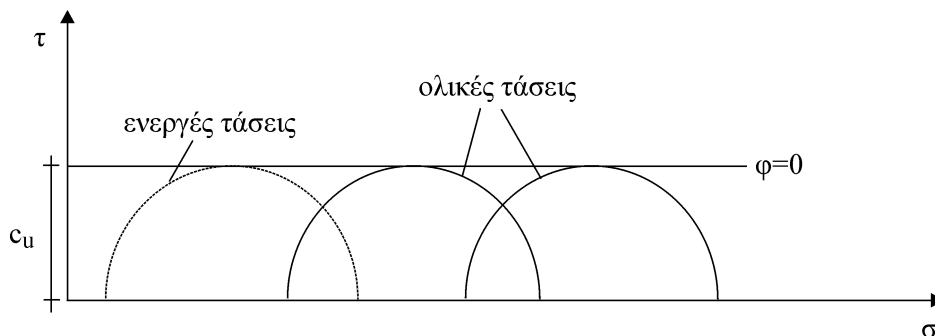
Η ίδια περιβάλλουσα μπορεί επίσης να σχεδιασθεί με βάση αποτελέσματα που προέρχονται από CU δοκιμή όταν μετράται η πίεση του νερού των πόρων (σχήμα 13.7).

Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ η οποία λαμβάνεται από τη θεώρηση ολικών τάσεων είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη ϕ' που λαμβάνεται από τη θεώρηση ενεργών τάσεων. Αντιθέτως η c και c' δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά.



Σχήμα 13.7

Το σχήμα 13.8 απεικονίζει την περιβάλλουσα η οποία προκύπτει από το σχεδιασμό κύκλων Mohr αναφερόμενων σε όρους ολικών τάσεων από δοκιμή UU. Η περιβάλλουσα παρουσιάζει $\phi = 0$ και συνοχή c_u .



Σχήμα 13.8

Η περιβάλλουσα που προκύπτει για μία υπερστερεοποιημένη άργιλο έχει επίσης $\phi = 0$ αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερη συνοχή, η οποία συνοχή εξαρτάται από το βαθμό υπερστερεοποίησης.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι κύκλοι Mohr που σχεδιάζονται είτε από τις ολικές είτε από τις ενεργές τάσεις δίνουν την ίδια περιβάλλουσα. Αυτό οφείλεται στο ότι η αύξηση της πλευρικής πίεσης προκαλεί ίση αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων με αποτέλεσμα οι ενεργές τάσεις να παραμένουν οι ίδιες.

**ΔΟΚΙΜΗ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ- ΔΟΚΙΜΗ Ι (πίεση κυψέλης $\sigma_3=150$ kPa)
Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυσιομέτρων και υπολογισμών**

Έργο:				Περιοχή:				Γεώτρηση:				Βάθος:				Αρ.Εντύπου: 16			
Αριθμός Δείγματος:				Είδος Δείγματος: Αδιτάρακτο - Διαταραγμένο - Αναζυμωμένο												Ημερομηνία:			
Είδος δοκιμής: UU - CIU - CD				Ταχύτητα διάτμησης $v = 0,62$ mm/min												Σταθερά δακτυλίου: $c=0,08$ (kg / ένδειξη)			
Χρόνος Δt	Δύναμη			Παραμόρφωση				Επιφάνεια		Μεταβολή όγκου									
	Ένδειξη Δυναμομέτρου	Ανηγγμμένη ένδειξη	F = ένδειξη x c (kg)	Ένδειξη x 0,01 (mm)	Ύψος δοκιμίου (mm)	ϵ (%)	u_0 (kPa)	Ανηγγμμένη πίεση πόρων $u_i - u_0$	Διορθωμένη επιφάνεια A_i (cm ²)	Μεταβολή όγκου ΔV (cm ³)	$U(\%) = \frac{\Delta V}{V} \times 100$	Ολική τάση $\sigma_1 = \sigma_3 + F/A_i$ (kPa)	$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$ (kPa)	$\sigma'_3 = \sigma_3 - u$ (kPa)	σ'_1/σ'_3	$q = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$ (kPa)	$p = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (kPa)		
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20		
0	0	0	0	0	72,00	0	43,00	0	9,60			150,00	107,00	107,00		0,00	107,00		
30"		67,00	5,36	0,30	71,70	0,4	50,00	7	9,66			205,49	155,49	100,00		27,74	127,74		
45"		83,00	6,64	0,39	71,61	0,5	52,00	9	9,67			218,67	166,67	98,00		34,33	132,33		
1'		98,00	7,84	0,50	71,50	0,7	53,50	10,5	9,68			230,99	177,49	96,50		40,5	137		
1'30"		124,00	9,92	0,70	71,30	0,97	57,50	14,5	9,71			252,16	194,66	92,50		51,08	143,58		
2'		148,00	11,84	0,93	71,07	1,3	60,00	17,0	9,74			271,56	211,56	90,00		60,78	150,78		
2'30"		167,50	13,40	1,13	70,87	1,5	61,50	18,5	9,77			287,15	225,65	88,50		68,58	157,08		
3'		189,00	15,12	1,38	70,62	2,0	63,00	20	9,80			304,29	241,29	87,00		77,14	164,14		
3'30"		208,00	16,64	1,60	70,40	2,2	64,00	21	9,83			319,28	255,28	86,00		84,64	170,64		
4'		224,00	17,92	1,81	70,19	2,5	64,00	21	9,86			331,74	267,74	86,00		90,87	176,87		
4'30"		240,00	19,20	2,04	69,96	2,8	64,00	21	9,89			344,14	280,14	86,00		97,07	183,07		
5'		255,00	20,40	2,28	69,72	3,1	64,00	21	9,93			355,44	291,44	86,00		102,72	188,72		
5'30"		268,50	21,48	2,50	69,50	3,4	64,00	21,5	9,96			365,66	301,66	86,00		107,83	193,83		
6'		282,50	22,60	2,75	69,25	3,8	64,00	21	10,00			376	312	86,00		113	199		
7'		307,00	24,56	3,24	68,76	4,5	63,00	20	10,07			393,89	330,89	87,00		121,95	208,95		
8'		933,00	26,24	3,71	68,29	5,1	61,00	18	10,14			408,78	347,78	89,00		129,39	218,39		
9'		356,50	28,52	4,20	67,80	5,8	60,00	17	10,22			429,06	369,06	90,00		139,53	229,53		
10'		374,00	29,92	4,68	67,32	6,5	57,50	14,5	10,29			440,77	383,27	92,50		145,38	237,88		
11'		390,50	31,24	5,18	66,82	7,2	52,00	9	10,36			451,54	399,54	98,00		150,77	248,77		
12'		405,00	32,40	5,68	66,32	7,9	49,50	6,5	10,44			460,34	410,84	100,50		155,17	255,67		
13'		420,00	33,60	6,06	65,94	8,4	49,00	6	10,50			470	421	101,00		160	261		
14'		431,00	34,48	6,67	65,33	9,2	45,00	2	10,60			475,28	430,28	105,00		162,64	267,64		
15'		444,00	35,52	7,16	64,84	9,9	44,80	1,8	10,68			482,58	437,78	105,20		166,29	271,49		
17'		460,00	36,80	8,16	63,84	11,3	44,50	1,5	10,84			489,48	444,98	105,50		169,74	275,24		
19'		465,00	37,20	9,18	62,82	12,7	44,00	1	11,02			487,57	443,57	106,00		168,78	274,78		
21'		460,00	36,80	10,03	61,77	14,2	39,00	-4	11,21			478,28	439,28	111,00		164,14	275,14		
23'		449,00	35,97	11,32	60,68	15,7	39,00	-4	11,41			465,25	426,25	111,00		157,62	268,62		

ΔΟΚΙΜΗ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ- ΔΟΚΙΜΗ II (πίεση κυψέλης $\sigma_3=550$ kPa)

Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυνσιομέτρων και υπολογισμών

Έργο:		Περιοχή:		Γεώτρηση:		Βάθος:		Αρ.Εντύπου: 16									
Αριθμός Δείγματος:		Είδος Δείγματος: Αδιατάρακτο - Διαταραγμένο - Αναζυμωμένο						Αρ. δοκιμίου:		Ημερομηνία:							
Είδος δοκιμής: UU - CU - CD		Ταχύτητα διάτμησης $v = 0,62$ mm/min						Αρ. δακτυλίου:		Συντελεστής μετατροπής: $c=0,08$ kg/ένδειξη							
Χρόνος	Δύναμη			Παραμόρφωση			Επιφάνεια		Μεταβολή όγκου		Υπολογισμοί τάσεων						
Δt	Ένδειξη Δυναμομέτρου	Ανηγγεμένη ένδειξη	$F = \text{ένδειξη} \times c$ (kg)	Ένδειξη $\times 0,01$ (mm)	Ύψος δοκιμίου (mm)	$\epsilon\%$	u_0 (kPa)	Ανηγγεμένη πίεση πόρων $u_1 - u_0$	Διορθωμένη επιφάνεια A_1 (cm ²)	Μεταβολή όγκου ΔV (cm ³)	$U\% = \frac{\Delta V}{V} \times 100$	Ολική τάση $\sigma_1 = \sigma_3 + F/A_1$ (kPa)	$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$ (kPa)	$\sigma'_3 = \sigma_3 - u$ (kPa)	σ'_1/σ'_3	$q = (\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$ (kPa)	$p = (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (kPa)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	17	0	0,00	0	71,84	0	319	0	8,750			550	231,00	231,00		0	231,00
	41	24	1,92	0,38	71,46	0,54	330	11	7,797			571,83	241,83	220,00		10,91	230,91
	106	89	7,12	0,77	71,07	1,08	340	21	8,845			630,5	290,5	210,00		40,25	250,25
	181	164	13,12	1,16	70,68	1,62	395	76	8,894			697,52	302,52	155,00		73,76	228,76
	202	185	14,8	1,55	70,29	2,16	427	108	8,943			715,49	288,49	123,00		82,75	205,75
	220	203	16,24	2,3	69,54	3,24	458	139	9,040			729,65	271,65	92,00		89,82	181,82
	230	213	17,04	3,11	68,73	4,33	475	156	9,146			736,31	261,31	75,00		93,16	168,16
	236	219	17,52	3,88	67,96	5,41	482	163	9,250			739,41	257,41	68,00		94,7	162,7
	240	223	17,84	4,67	67,17	6,49	486	167	9,358			740,64	254,64	64,00		95,32	159,32
	252	235	18,8	6,22	65,62	8,66	489	170	9,580			746,24	257,24	61,00		98,12	159,12
	266	249	19,92	7,76	64,08	10,82	491	172	9,810			753,06	262,06	59,00		101,53	160,53
	278	261	20,88	9,29	62,55	12,40	492	173	10,050			757,76	265,76	58,00		103,88	161,88
	291	274	21,92	10,87	60,97	15,15	493	174	10,310			762,61	269,61	57,00		106,3	163,3
	304	287	22,96	12,43	59,41	17,31	493	174	10,580			767,01	274,01	57,00		108,51	165,51
	314	297	23,76	13,96	57,88	19,48	493	174	10,860			768,78	275,78	57,00		109,39	166,39
	323	306	24,48	15,54	56,3	21,64	493	174	11,166			769,24	276,24	57,00		109,62	166,62

14. ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ)

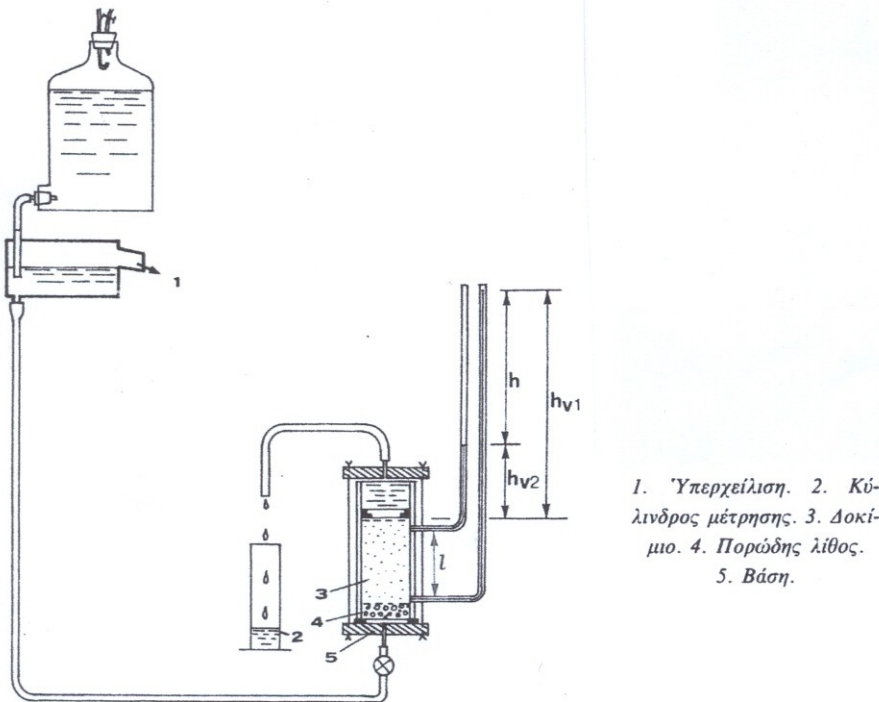
14.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δοκιμή αυτή γίνεται για να προσδιορισθεί ο συντελεστής διαπερατότητας ενός εδάφους σε συνθήκες στρωτής ροής.

14.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

14.2.1 Συσκευή μέτρησης υδατοπερατότητας (σχήμα 14.1). Η συσκευή περιλαμβάνει κύλινδρο μέσα στον οποίο τοποθετείται το δοκίμιο. Η ελάχιστη διάμετρος του κυλίνδρου

θα πρέπει να είναι 8 έως 12 φορές μεγαλύτερη από τη μέγιστη διάμετρο κόκκου που περιέχεται στο υπό εξέταση έδαφος.



Σχήμα 14.1: Διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου

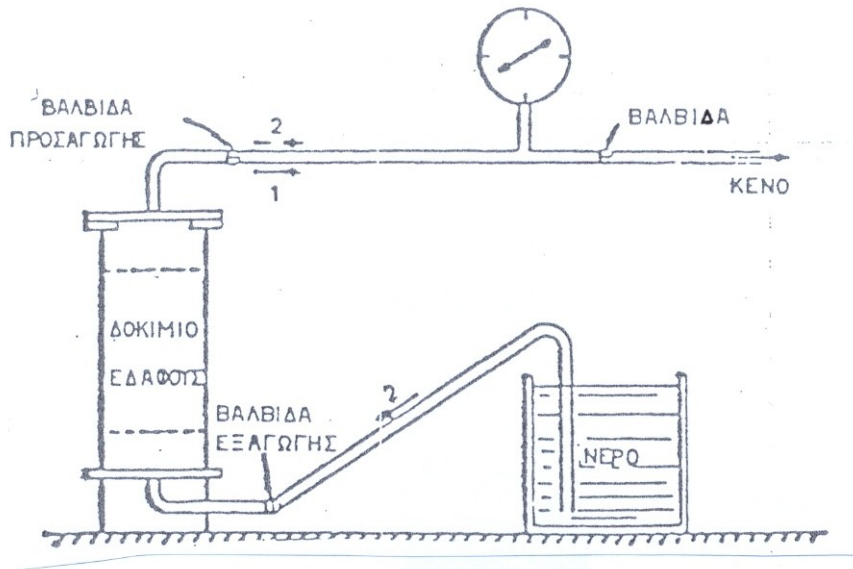
Η συσκευή περιλαμβάνει επίσης:

- (α) Δίσκους πορολίθων, οι οποίοι έχουν υδατοπερατότητα μεγαλύτερη από αυτή που έχει το υπό εξέταση έδαφος, αλλά τα ανοίγματά τους είναι τέτοια, ώστε να μην επιτρέπουν την εισχώρηση κόκκων του εδάφους.
- (β) Θέσεις για τη σύνδεση μανόμετρου, για τη μέτρηση πιέσεων σε ένα μήκος τουλάχιστον ίσο προς τη διάμετρο του δοκιμίου που χρησιμοποιείται.
- (γ) Δίσκο με ελατήριο ή οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη συσκευή για την επιβολή μικρής πίεσης, 22 – 45 N, πάνω στον πορόλιθο της επάνω επιφάνειας του δοκιμίου. Με τη μικρή αυτή πίεση διατηρείται η πυκνότητα του δοκιμίου στην αρχική της τιμή χωρίς σημαντική αλλαγή κατά τη διάρκεια κορεσμού του δοκιμίου ή κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

14.2.2 Δεξαμενή νερού από την οποία ρέει νερό προς το δοκίμιο και μέσα στην οποία η στάθμη νερού παραμένει σταθερή.

14.2.3 Διάταξη για τη συμπύκνωση του δοκιμίου. Ανάλογα με τη σύσταση του εδαφικού υλικού γίνεται και η συμπύκνωσή του, πριν από τη δοκιμή υδατοπερατότητας. Προκειμένου για χονδρόκοκκα εδάφη, άμμο ή αμμοχάλικα, η συμπύκνωση μπορεί να γίνει με δονητικές ή απλές ράβδους. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλή ράβδος σε συνδυασμό με πτώση μικρών βαρών της τάξεως του 1Kg από ύψος 10 ή 20 εκατοστά, ανάλογα αν πρόκειται για άμμους ή αμμοχάλικα.

14.2.4 Διάταξη απαερισμού (εξαγωγή των φυσαλίδων αέρα από τους πόρους του δοκιμίου), και κορεσμού του δοκιμίου. Συνιστάται η χρησιμοποίηση αντλίας κενού (σχήμα 14.2).



Σχήμα 14.2: Διάταξη απαερισμού και κορεσμού του δοκιμίου

14.2.5 Μανόμετρα για τη μέτρηση της πίεσης του νερού.

14.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ – ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Μετράται και καταγράφεται η εσωτερική διάμετρος D του κυλίνδρου του διαπερατόμετρου και το μήκος L μεταξύ των μανομετρικών απαγωγών. Ο ένας πορόλιθος τοποθετείται στον πυθμένα του κυλίνδρου. Το υλικό ρίχνεται μέσα στον κύλινδρο και συμπυκνώνεται κατά στρώσεις στην επιθυμητή σχετική πυκνότητα. Ο δεύτερος πορόλιθος τοποθετείται στην κορυφή του δοκιμίου. Ο δίσκος πιέζεται πάνω στο ελατήριο και σφηνώνεται στον κύλινδρο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται αεροστεγής σύνδεση. Χρησιμοποιώντας αντλία κενού ή κατάλληλο εισπνευστήρα γίνεται απαερισμός του δοκιμίου. Ακολουθεί κορεσμός του δοκιμίου από κάτω προς τα πάνω ενώ εξακολουθεί να εφαρμόζεται κενό. Για τον κορεσμό συνίσταται η χρησιμοποίηση απεσταγμένου νερού.

Αφού έχει επιτευχθεί πλήρης κορεσμός του δοκιμίου κλείνει η κατώτερη βαλβίδα προσαγωγής νερού και αποσυνδέεται η αντλία κενού. Στη συνέχεια η συσκευή μέτρησης της διαπερατότητας συνδέεται με τη δεξαμενή. Ανοίγει βαθμιαία η βαλβίδα προσαγωγής νερού της δεξαμενής σταθερού ύψους. Αφού γεμίσει ο σωλήνας μέχρι τη βαλβίδα προσαγωγής προς το δοκίμιο, ανοίγει βαθμιαία και αυτή, όπως και η κατώτερη βαλβίδα μέσω της οποίας θα συλλέγεται το νερό κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Αφού επιτευχθεί σταθερή ταχύτητα ροής, συλλέγεται η ποσότητα Q του νερού γνωστής χρονικής περιόδου t σε βαθμονομημένη φιάλη. Ο συντελεστής διαπερατότητας δίνεται από τον κάτωθι τύπο:

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$

όπου:

A : επιφάνεια διατομής του δοκιμίου

h : διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο μανόμετρων

Ο συντελεστής k εκφράζεται σε m/s ή cm/s .

15. ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ)

15.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη δοκιμή αυτή πραγματοποιείται ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας εδάφους, χρησιμοποιώντας τη συσκευή διαπερατότητας μεταβαλλόμενου ύψους. Το υδροδυναμικό ύψος του νερού μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας αργιλικών ή ιλυωδών εδαφών και λεπτόκοκκων άμμων με συντελεστή διαπερατότητας που κυμαίνεται από 10^{-2} έως 10^{-8} cm/s.

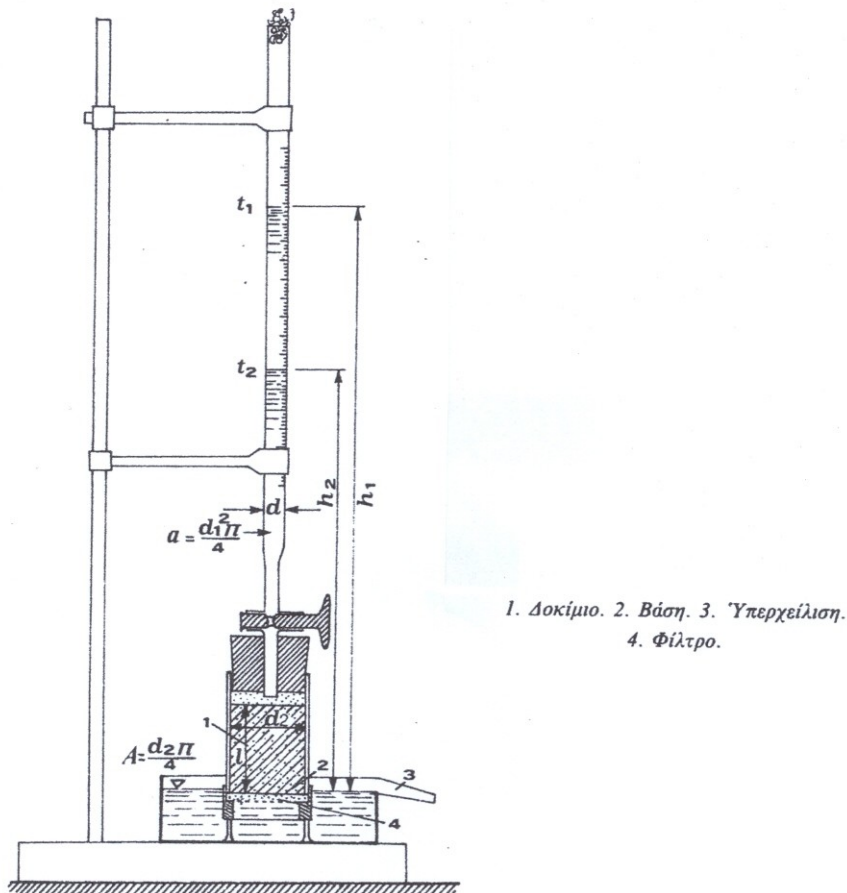
15.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

15.2.1 Συσκευή μέτρησης υδατοπερατότητας (σχήμα 15.1). Η συσκευή περιλαμβάνει κύλινδρο μέσα στον οποίο τοποθετείται το δοκίμιο του εδάφους. Οι πιο συνήθεις διαστάσεις του κυλίνδρου είναι:

Διάμετρος = 10cm, Ύψος = 10cm

Διάμετρος = 7,5cm, Ύψος = 10cm

Διάμετρος = 7,5cm, Ύψος = 7,5cm



Σχήμα 15.1: Διαπερατόμετρο μεταβλητού φορτίου

15.2.2 Δίσκοι πορόλιθων που τοποθετούνται στη βάση και στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου.

15.2.3 Θάλαμος μέσα στον οποίο τοποθετείται ο κύλινδρος που περιέχει το δοκίμιο. Η βάση του θαλάμου είναι δίσκος από διάτρητο ανοξείδωτο μέταλλο και συνδέεται με τον άνω δίσκο του θαλάμου με κατακόρυφες ράβδους και κοχλίες.

15.2.4 Βαθμολογημένος κύλινδρος χωρητικότητας 50 ml.

15.2.5 Διάταξη απαερισμού και κορεσμού του δοκιμίου. Συνιστάται η χρήση αντλίας κενού.

15.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ – ΠΟΡΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Αφού το δοκίμιο τοποθετηθεί μέσα στον κύλινδρο, με τους πορόλιθους στην άνω και κάτω επιφάνεια, ο κύλινδρος τοποθετείται μέσα στο θάλαμο, όπου συναρμολογείται. Η διαδικασία κορεσμού του δοκιμίου είναι η ίδια με αυτή που περιγράφηκε στη δοκιμή διαπερατότητας σταθερού φορτίου. Το κορεσμένο δοκίμιο συνδέεται, μέσω πλαστικού σωλήνα γεμάτου με απεσταγμένο νερό, με ένα μανομετρικό σωλήνα ο οποίος είναι επίσης γεμάτος με νερό μέχρι την ανώτερη βαθμονόμησή του.

Καταγράφεται το αρχικό φορτίο h_1 για χρονική στιγμή t_1 . Στη συνέχεια αφήνεται το νερό να ρέει μέσα στο δείγμα και καταγράφεται το φορτίο h_2 στη χρονική στιγμή t_2 . Μετράται, δηλαδή, ο χρόνος που απαιτείται (Δt) για την πτώση της στάθμης νερού από το ύψος h_1 στο h_2 . Ο συντελεστής διαπερατότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$k = 2,3 \cdot \frac{a \cdot L}{A \cdot \Delta t} \cdot \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

όπου:

L: μήκος του δοκιμίου

A: διατομή του δοκιμίου

a: διατομή του μανομετρικού σωλήνα

2.ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΕΛΑΦΟΥΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επιφανειακά ή αβαθή θεμέλια, ονομάζονται γενικά τα απλά πέδιλα, οι πεδילוδοκοί και οι κοιτοστρώσεις, ή με άλλα λόγια, τα θεμέλια, το βάθος έδρασης των οποίων, D_f , είναι μικρότερο ή της ίδιας τάξεως με το πλάτος τους B. Η κατασκευή των θεμελίων αποβλέπει στην κατά ασφαλή τρόπο μεταφορά των φορτίων των έργων στο έδαφος, δηλαδή κατά τρόπο που να αποτρέπει την πρόκληση μεγάλων μετακινήσεων. Η απαίτηση αυτή προϋποθέτει την επάρκεια του εδάφους σε θραύση, κάτω από το θεμέλιο, αλλά και τη στατική επάρκεια αυτού του ίδιου του δομικού στοιχείου θεμελίωσης.

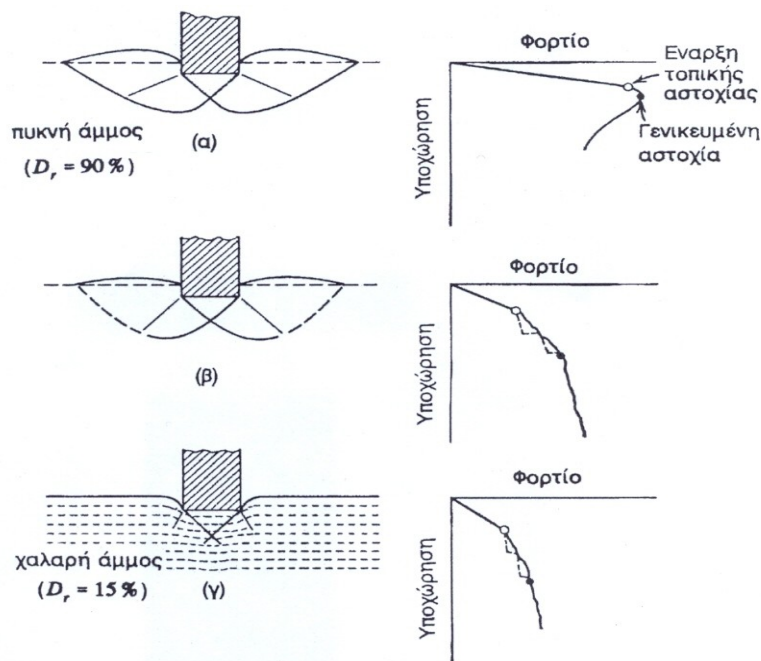
Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται το θέμα του υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας, q , του εδάφους σε θραύση, δηλαδή του ανά μονάδα επιφάνειας φορτίου, το οποίο μπορεί το έδαφος να αναλάβει και στη συνέχεια, του καθορισμού της επιτρεπόμενης τάσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η επιτρεπόμενη τάση, η οποία είναι το περισσότερο συχνά χρησιμοποιούμενο από τον Πολιτικό Μηχανικό μέγεθος της Εδαφομηχανικής, δεν εξαρτάται μόνο από τη φέρουσα ικανότητα, αλλά και από την επιτρεπόμενη καθίζηση και θα πρέπει να καθορίζεται με την αντιμετώπιση και των δύο προβλημάτων.

2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Υπάρχουν τρεις μορφές θραύσης του εδάφους κάτω από μία επιφανειακή θεμελίωση και είναι:

- α) Γενική θραύση (σχήμα 2.1.α)
- β) Τοπική θραύση (σχήμα 2.1.β)
- γ) Βύθιση του θεμελίου μέσα στο έδαφος (σχήμα 2.1.γ)

Η γενική θραύση χαρακτηρίζεται από την παρουσία μιας συγκεκριμένης εικόνας θραύσης που εμφανίζεται σαν μία συνεχόμενη επιφάνεια από το ένα άκρο του πεδίου μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Η θραύση συνοδεύεται από ισχυρή παραμόρφωση του εδάφους που εμφανίζεται σαν διόγκωση στην ελεύθερη επιφάνεια. Αν χα-



Σχήμα 2.1

ράξουμε ένα διάγραμμα καθιζήσεων – φορτίου, όπου θα μεταφέρονται οι καθιζήσεις που

παρατηρούνται, παίρνουμε το διάγραμμα του σχήματος 2.1. Το σημείο Α αντιστοιχεί στο φορτίο θραύσης του εδάφους. Αντίθετα με την προηγούμενη μορφή θραύσης, η βύθιση του θεμελίου μέσα στο έδαφος χαρακτηρίζεται από εικόνα θραύσης που δεν είναι απόλυτα καθορισμένη. Με την αύξηση του φορτίου, που συνοδεύεται με συμπίκνωση του εδάφους κάτω από το θεμέλιο ακριβώς παρατηρείται μια συνεχιζόμενη κατακόρυφη καθίζηση. Το έδαφος έξω από τη φορτιζόμενη επιφάνεια παραμένει απαραμόρφωτο. Από ένα σημείο και μετά η αύξηση του φορτίου έχει σαν συνέπεια την επιτάχυνση των καθιζήσεων. Το φορτίο θραύσης δεν καθορίζεται ακριβώς, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Η τοπική θραύση χαρακτηρίζεται από μία εικόνα θραύσης που είναι καθορισμένη μόνο κάτω από τη φορτιζόμενη επιφάνεια. Η επιφάνεια θραύσης αρχίζει από το ένα άκρο θεμελίωσης χωρίς να φθάνει στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Παρατηρούνται σημαντικές κατακόρυφες μετακινήσεις και συμπίκνωση του εδάφους κάτω από την

θεμελίωση, όπως και την περίπτωση της βύθισης του θεμελίου. Ουσιαστικά η τοπική θραύση είναι μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στις δύο προηγούμενες ακραίες μορφές θραύσης.

Η μορφή θραύσης που παρατηρείται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η μορφή θραύσης εξαρτάται περισσότερο από τη συμπίεστικότητα του εδάφους και λιγότερο από τις γεωμετρικές συνθήκες και τις συνθήκες φόρτισης. Αν το έδαφος είναι πρακτικά ασυμπίεστο (π.χ. πυκνή άμμος), παρουσιάζει τη μορφή της γενικής θραύσης. Αντίθετα, αν το έδαφος είναι πολύ συμπίεστο (π.χ. χαλαρή άμμος) παρουσιάζει τη μορφή της βύθισης του θεμελίου μέσα στο έδαφος.

2.3 Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας με τη μέθοδο του Terzaghi

2.3.1 Γενική θραύση (μη συνεκτικά εδάφη)

Ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας μιας επιφανειακής θεμελίωσης είναι πρόβλημα ελαστοπλαστικής ισορροπίας που επιλύεται με ακρίβεια μόνο σε λίγες ειδικές περιπτώσεις. Η κυριότερη δυσκολία παρουσιάζεται στην εκλογή μιας μαθηματικής σχέσης τάσεων – παραμορφώσεων που να αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά το έδαφος.

Η λύση που έδωσε ο Terzaghi στο πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας, βασίζεται στο παρακάτω θεωρητικό μοντέλο:

Ένα ορθογώνιο πέδιλο με μήκος L , και πλάτος B είναι θεμελιωμένα σε βάθος D_f μέσα στο έδαφος. Η εδαφική μάζα είναι ομοιογενής με φαινόμενο βάρος γ . Τα χαρακτηριστικά της διατμητικής αντοχής του εδάφους, είναι η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και συνοχή c . Το έδαφος συμπεριφέρεται σαν στερεό πλαστικό σώμα (σχήμα 2.2).

Ζητείται να καθοριστεί η μέγιστη τάση $q = \frac{Q_o}{BXL}$ που μπορεί να φέρει το έδαφος.

Για τη λύση του προβλήματος γίνονται οι παρακάτω απλοποιητικές παραδοχές:

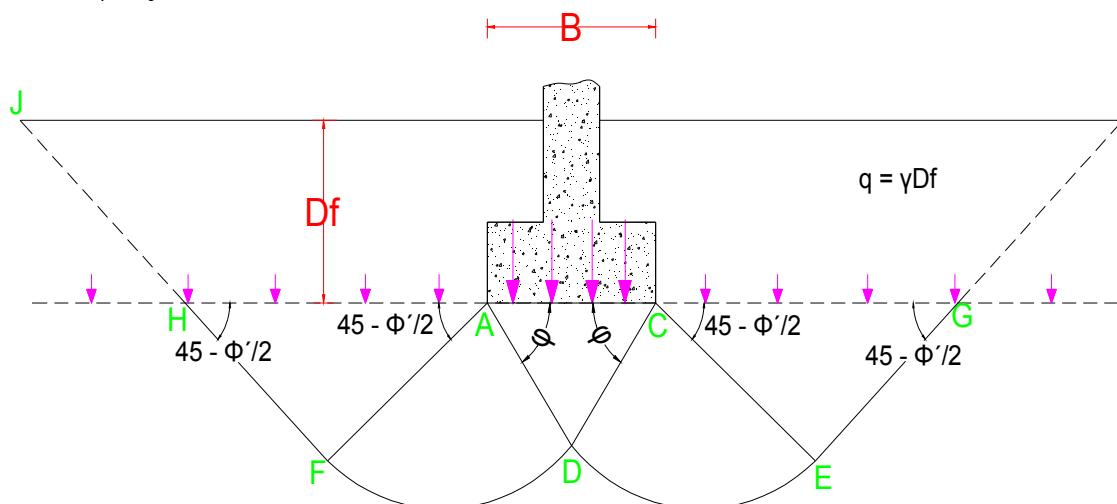
α) Αγνοείται η διατμητική αντίσταση του εδάφους πάνω από τη θεμελίωση (σχ. 2.2)

β) Η επιφάνεια της βάσης του πεδύλου είναι τραχεία.

γ) Το μήκος υποτίθεται πολύ μεγαλύτερο από το πλάτος. Γίνεται δεκτή η λύση για $L/B > 5$. Το υπερκείμενο έδαφος αντικαθίσταται με ομοιόμορφο φορτίο $q = \gamma D_f$ (σχήμα 2.2).

δ) Η διατμητική αντοχή του εδάφους χαρακτηρίζεται από το κριτήριο Mohr-Coulomb

ε) Το φορτίο που ασκείται στο πέδιλο είναι κατακόρυφο και διανέμεται ομοιόμορφα επί του εδάφους.



Σχήμα 2.2

Οι παραπάνω παραδοχές είναι προς το μέρος της ασφάλειας. Από την παραδοχή ότι το έδαφος είναι στερεό πλαστικό σώμα συμπεραίνεται ότι η θεωρητική λύση είναι αυτή που ανταποκρίνεται στην περίπτωση της γενικής θραύσης, δηλ. για σχετικά ασυμπίεστα εδάφη. Η σχέση που δίνει την τιμή της φέρουσας ικανότητας είναι:

$$q = \gamma D_f N_q + c N_c + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \quad 2.1$$

Όπου :

B= πλάτος της θεμελίωσης

D_f = βάθος της θεμελίωσης

γ = το φαινόμενο βάρος του εδάφους

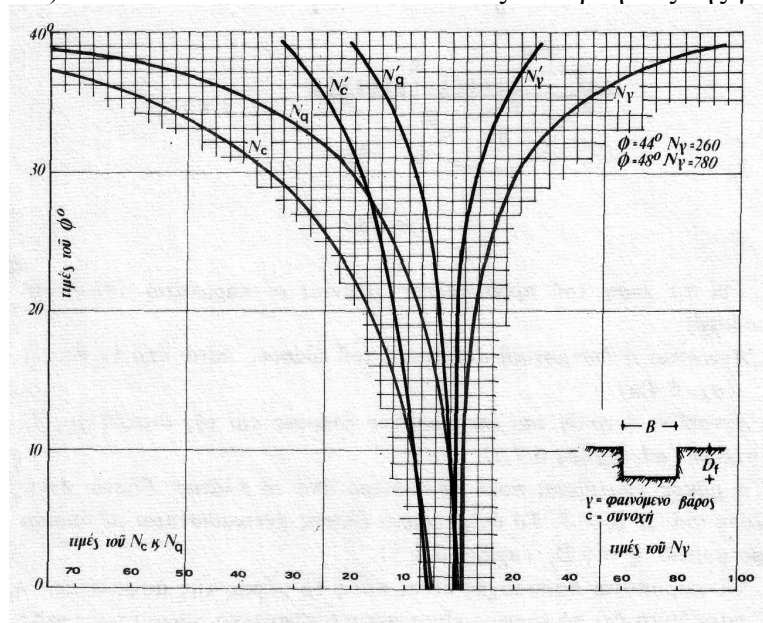
N_γ = συντελεστής επιφανειακής αντοχής ψαθυρού εδάφους

N_c = συντελεστής συνοχής

N_q = συντελεστής βάθους θεμελίωσης.

Η σχέση του Terzaghi αποτελείται από τρεις όρους: Ο πρώτος οφείλεται στο βάρος του εδάφους πάνω από το επίπεδο θεμελίωσης, ο δεύτερος στη συνοχή και ο τρίτος στην τριβή του εδάφους κάτω από το επίπεδο θεμελίωσης.

Οι τιμές των συντελεστών N_γ, N_c, N_q δίνονται από το νομογράφημα του Terzaghi (σχήμα 2.3) και τον πίνακα 2.1 και είναι απλές συναρτήσεις της γωνίας εσωτερικής τριβής φ.



Σχήμα 2.3

Πίνακας 2.1: Συντελεστές φέρουσας ικανότητας Terzaghi

φ	N _c	N _q	N _γ	N _c '	N _q '	N _γ '
0	5,70	1,00	0,00	5,70	1,00	0,00
5	7,30	1,60	0,50	6,70	1,40	0,20
10	9,60	2,7	1,20	8,00	1,90	0,50
15	12,90	4,40	2,50	9,70	2,70	0,90
20	17,70	7,40	5,00	11,80	3,90	1,70
25	25,10	12,70	9,70	14,80	5,60	3,20
30	37,20	22,50	19,70	19,00	8,30	5,70
34	52,60	36,50	35,00	23,70	11,70	9,00
35	57,80	41,40	42,40	25,20	12,60	10,10
40	95,70	81,30	100,40	34,90	20,50	18,80
45	172,30	173,30	297,50	51,20	35,10	37,70

48	258,30	287,90	780,10	66,80	50,50	60,40
50	347,50	415,10	1153,20	81,30	65,60	87,10

Για υψηλές τιμές του φ οι συντελεστές παίρνουν πολύ μεγάλη τιμή, 4-6 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που αντιστοιχεί για $\varphi = 20^\circ-25^\circ$. Η γνώση των τιμών της φ με ακρίβεια (όταν η φ έχει μεγάλες τιμές) είναι απαραίτητη για την εφαρμογή των τύπων της φέρουσας ικανότητας.

Η τιμή της φέρουσας ικανότητας q που υπολογίζεται έτσι αντιστοιχεί στη θραύση του εδάφους. Για τον καθορισμό της επιτρεπόμενης τάσης είναι απαραίτητο η τιμή q να διαιρεθεί με ένα συντελεστή ασφάλειας v , που για το πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας παίρνει τιμές 2,5-3,0, δηλαδή:

$$q_{\text{επ}} = \frac{q}{v}$$

Συντελεστές κατά Terzaghi:

$$N_c = \frac{1}{\tan\varphi} \times \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \times \tan\varphi}}{2 \times \cos^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)} - 1 \right] = (N_q - 1) \times \cot\varphi$$

$$N_q = \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \times \tan\varphi}}{2 \times \cos^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)} \right]$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \times \left(\frac{Kp}{\cos^2\varphi} - 1 \right) \times \tan\varphi$$

2.3.2 Τοπική θραύση – Βύθιση θεμελίου (συνεκτικά εδάφη)

Όπως προηγουμένα αναφέρθηκε η λύση που δόθηκε αναφέρεται σε έδαφος μη συνεκτικό. Όταν το έδαφος είναι συνεκτικό, οπότε έχουμε βύθιση του πεδύλου μέσα στο έδαφος, ή τοπική θραύση, η σχέση δίνει υπερβολικές τιμές για τη φέρουσα ικανότητα.

Ο Terzaghi προτείνει για την περίπτωση αυτή, αντικατάσταση των συντελεστών N_γ , N_c , N_q με τους, N_γ' , N_c' , N_q' , που οι τιμές τους υπολογίζονται για τιμές φ' και c' όπου:

$$\tan\varphi' = \frac{2}{3} \tan\varphi$$

και
$$c' = \frac{2}{3} c$$

Στο νομογράφημα του Terzaghi (σχήμα 2.3) δίνονται και οι τιμές των συντελεστών N_γ' , N_c' , N_q' . Είναι δηλαδή δυνατό να εφαρμοστεί και για σχετικά συνεκτικά εδάφη η σχέση (2.1) με την παρακάτω μορφή:

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

Οι σχέσεις 2.1 και 2.2 εφαρμόζονται όταν έχουμε συμμετρική φόρτιση (δεν υπάρχουν ροπές ή φορτία με κλίση).

2.4 ΤΑΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΗ

Στις περιπτώσεις εδαφών μικρής διαπερατότητας, όταν η φόρτιση επιβάλλεται με ταχύ ρυθμό, οι συνθήκες είναι αστράγγιστες και οι παράμετροι αντοχής είναι $u=0$ και $C_u \neq 0$. Στην περίπτωση αυτή η φέρουσα ικανότητα δίνεται από τη σχέση:

$$q = C_u \lambda N_c + \gamma \lambda D_f \quad (2.3)$$

Για τον συντελεστή N_c έχει προταθεί η σχέση:

$$N_c (5,19 \text{ έως } 5,7) \lambda_k^1 + 0,2 \lambda_k^2 \frac{B}{L} \frac{\phi}{\psi} \lambda_k^1 + 0,2 \lambda_k^2 \frac{D_f}{B} \frac{\phi}{\psi} \quad (2.4)$$

Σε περίπτωση τοπικής θραύσης η 2.3 γίνεται:

$$q = C_u^A \lambda N_c + \gamma \lambda D_f \quad (2.5)$$

$$\text{όπου } C_u^A = \frac{2}{3} C_u \quad (2.6)$$

Βασισμένος σε αποτελέσματα πειραμάτων ο Terzaghi έδωσε τις παρακάτω εξισώσεις για τη φέρουσα ικανότητα για τετράγωνα και κυκλικά επιφανειακά πέδιλα.

α) Τετράγωνα πέδιλα

$$q_u = 1.2 c' N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

όπου B είναι το πλάτος του πεδίου

β) Κυκλικά πέδιλα

$$q_u = 1.2 c' N_c + \gamma D_f N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma$$

όπου B είναι η διάμετρος του πεδίου

2.5 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η θέση της στάθμης του υπόγειου νερού επηρεάζει αφενός την τιμή των ενεργών τάσεων, που προέρχονται από το ίδιο βάρος και αφετέρου, ενδεχομένως και τις τιμές των παραμέτρων αντοχής. Το δεύτερο θέμα πολύ δύσκολα μπορεί να ληφθεί υπόψη και συνήθως αγνοείται.

Όσον αφορά το πρώτο θέμα τρεις περιπτώσεις είναι δυνατές:

α) Το υπόγειο νερό βρίσκεται σε βάθος d από την επιφάνεια, μεγαλύτερο από το $D_f + B$, έτσι ώστε η επιφάνεια θραύσης στο σύνολο της να αναπτύσσεται επάνω από την περιοχή του βυθισμένου εδάφους. Στην περίπτωση αυτή η σχέση 2.1 ή 2.2 εφαρμόζεται χωρίς διαφοροποίηση.

β) Το βάθος d είναι μεγαλύτερο από το D_f , μικρότερο όμως του $D_f + B$, έτσι ώστε τμήμα της επιφάνειας θραύσης να αναπτύσσεται μέσα στο βυθισμένο, στο νερό, έδαφος (σχήμα 2.4.α). Στην περίπτωση αυτή η σχέση 2.1 μετασχηματίζεται στην επόμενη σχέση 2.7:

$$q = cN_c + \gamma X D_f N_q + (1/2) B \gamma_{αντ} N_\gamma =$$

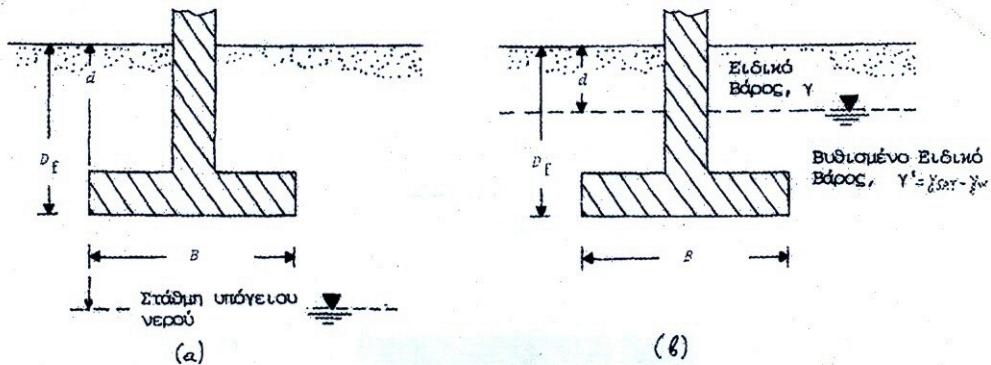
$$= cN_c + \gamma X D_f N_q + (1/2) \lambda \gamma (d - D_f) + \gamma \lambda (D_f + B - d) \theta N_\gamma \quad (2.7)$$

γ) Το βάθος d είναι μικρότερο του D_f , (σχήμα 2.4.β). Στην περίπτωση αυτή στον τρίτο όρο του τριωνύμου το ειδικό βάρος γ αντικαθίσταται από το γ' , ενώ για το δεύτερο όρο υπολογίζεται κατά προσέγγιση το αντιπροσωπευτικό ειδικό βάρος:

$$\gamma_{αντ} = [\gamma \cdot d + \gamma' \cdot (D_f - d)] / D_f$$

$$q = c \cdot N_c + [\gamma \cdot d + \gamma' \cdot (D_f - d)] \cdot N_q + 1/2 \cdot B \cdot \gamma' \cdot N_\gamma \quad (2.8)$$

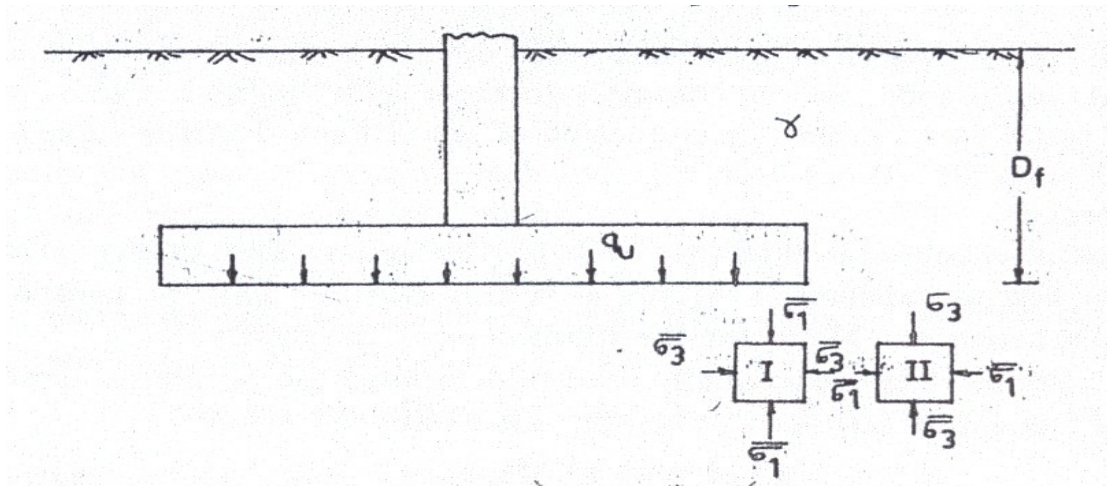
Επειδή η άνοδος της στάθμης του νερού μειώνει τη φέρουσα ικανότητα, θα πρέπει κατά τον υπολογισμό της να λαμβάνεται υπόψη η ανώτατη πιθανή στάθμη του υπόγειου νερού.



Σχήμα 2.4 Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας για διάφορες, όσον αφορά την στάθμη του υπόγειου νερού, περιπτώσεις.

2.5.1 Ανάλυση Rankine

Ο Rankine (1885) μελέτησε την πλαστική ισορροπία δύο γειτονικών εδαφικών στοιχείων, το ένα ακριβώς κάτωθεν του πεδύλου και το άλλο ακριβώς πέρα από την άκρη του πεδύλου. Για το στοιχείο I η κατακόρυφη τάση είναι η κύρια τάση και η πλευρική τάση είναι η δευτερεύουσα. Ωστόσο για το στοιχείο II η πλευρική τάση γίνεται η κύρια τάση ενώ η κατακόρυφη τάση γίνεται η δευτερεύουσα.



Σχήμα 2.5

Όταν το βάρος του πεδίου φτάνει στην μέγιστη φέρουσα ικανότητα το στοιχείο I φτάνει σε κατάσταση πλαστικής παραμόρφωσης. Ωστόσο το στοιχείο I αποτυγχάνει μόνο όταν το γειτονικό στοιχείο II αποτυγχάνει και αυτό. Η σχέση μεταξύ των δύο τάσεων που επενεργούν στα δύο στοιχεία, μπορεί να εξασφαλισθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση της πλαστικής ισορροπίας.

Για την ενεργή ώθηση,
 $\sigma_3 = \tan^2 \cdot (45 - \phi' / 2) \cdot \sigma_1$

Για το στοιχείο I, $\sigma_1 = q_u$
 $\sigma_3 = \tan^2 \cdot (45 - \phi' / 2) \cdot q_u$ (2.9)

Για το στοιχείο II, $\sigma_3 = \gamma D_f$

Οπότε,

$$\sigma_1 = \sigma_3 / [\tan^2 \cdot (45 - \phi' / 2)] = \gamma \cdot D_f / [\tan^2 \cdot (45 - \phi' / 2)] \quad (2.10)$$

Αφού η τάση του στοιχείου I είναι ίση με την τάση του στοιχείου II από τις εξισώσεις 2.9 και 2.10 έχουμε:

$$\begin{aligned} \tan^2(45 - \phi' / 2) q_u &= \gamma \cdot D_f / [\tan^2 \cdot (45 - \phi' / 2)] \\ \text{ή} \quad q_u &= \gamma \cdot D_f \cdot [1 / \tan^4 \cdot (45 - \phi' / 2)] \\ \text{ή} \quad q_u &= \gamma \cdot D_f \cdot \tan^4 \cdot (45 + \phi' / 2) \quad (2.11) \\ \text{ή} \quad q_u &= \gamma \cdot D_f \cdot [(1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')]^2 \quad (2.12) \end{aligned}$$

Η εξίσωση α δίνει την ακριβή εκτίμηση της μέγιστης φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Επειδή η εξίσωση δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα, σπάνια χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας. Έχει αντικατασταθεί από τη θεωρία του Terzaghi και άλλες θεωρίες, οι οποίες δίνουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Ο Rankine δεν εξετάζει την συνοχή (c') του εδάφους. Η θεωρία θεωρεί την φέρουσα ικανότητα του εδάφους μηδενική όταν $D_f = 0$. Αυτό είναι αντίθετο με τα εμπειρικά δεδομένα. Αυτοί είναι οι περιορισμοί της θεωρίας.

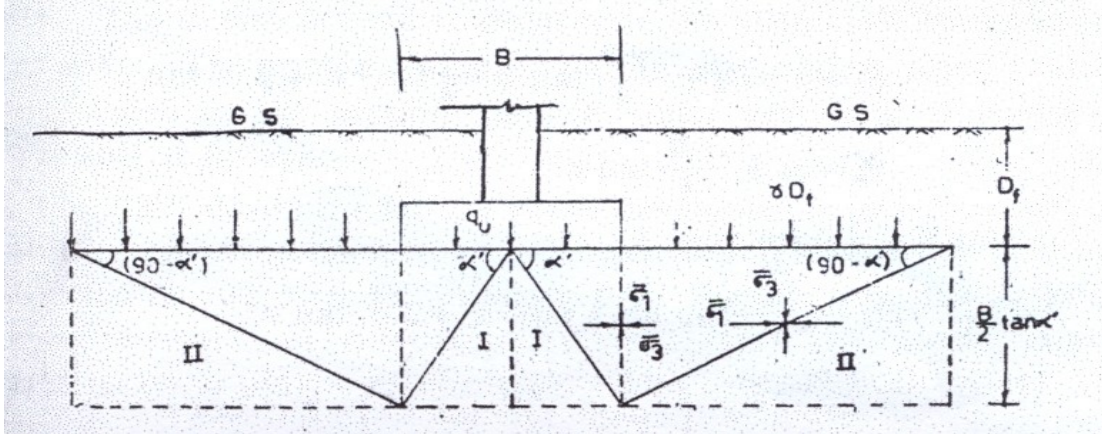
Η εξίσωση 2.12 συμπτωματικά χρησιμοποιείται για να καθορίσει το ελάχιστο βάθος θεμελίωσης. Μπορεί να γραφτεί ως:

$$(D_f)_{\min} = (q / \gamma) \cdot [(1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi')]^2$$

Όπου το q είναι η ένταση του βάθους θεμελίωσης.

2.5.2 Η ανάλυση των Hogentogler και Terzaghi

Ο Hogentogler και ο Terzaki (1929) προσέγγισαν τις πραγματικά ανεπαρκείς καμπύλες επιφάνειας με μια ομάδα ίσιων γραμμών για την πλαστική ισορροπία ενός μεγάλου λωριδωτού πέδιλο με πλάτος B . Τη στιγμή της θραύσης το πέδιλο ασκεί φορτίο q_u ίσο με τη μέγιστη φέρουσα ικανότητα του εδάφους. Το έδαφος στη ζώνη I ακριβώς κάτωθεν του πεδίου συμπιέζεται. Το έδαφος στη ζώνη I θραύεται μόνο όταν θραύεται το έδαφος στη γειτονική ζώνη II. Μια ακριβής εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους μπορεί να επιτευχθεί λαμβάνοντας υπόψη τις δυνάμεις στα μεσαία ύψη των δύο θραυόμενων ζωνών.



Σχήμα 2.6

Το ύψος της θραυόμενης ζώνης είναι $B/2 \tan \alpha'$ όπου α' είναι η γωνία της θραυόμενης επιφάνειας, ίση με $(45^\circ + \phi/2)$. Η τάση παραμόρφωσης στο επίπεδο του πεδίου είναι ίση με γD_f . Αυτή η πίεση ονομάζεται πρόσθετη πίεση.

Ζώνη II

Από την εξίσωση της ζώνης II

$$\sigma_3 = \gamma \cdot D_f + (B/2 \cdot \tan \alpha') \cdot \gamma / 2 \quad (2.13)$$

όπου το δεύτερο σκέλος στη δεξιά πλευρά είναι η μέση κατακόρυφη τάση λόγω ίδιου βάρους.

Από την κλασική εξίσωση που συνδέει τις κύριες τάσεις σ_1 , σ_3 έχουμε τα κάτωθι

$$\sigma_3 = [(1 - \sin \phi') / (1 + \sin \phi')] \cdot \sigma_1 - [2c' \cdot \cos \phi'] / (1 + \sin \phi')$$

$$\sigma_3 = \tan^2(45 - \phi'/2) \cdot \sigma_1 - 2c' \cdot \tan(45 - \phi'/2)$$

$$\sigma_3 = \cot^2 \alpha' \cdot \sigma_1 - 2c' \cdot \cot \alpha' \quad (2.14)$$

Αντικαθιστώντας την τιμή της σ_3 από την εξίσωση (2.13) για τη ζώνη I έχουμε:

$$\gamma \cdot D_f + (B/2 \cdot \tan \alpha') \cdot \gamma / 2 = \cot^2 \alpha' \cdot \sigma_1 - 2c' \cdot \cot \alpha'$$

$$\sigma_1 = [\gamma \cdot D_f + (\gamma \cdot B/4 \cdot \tan \alpha')] \cdot \tan^2 \alpha' + 2c' \cdot \tan \alpha'$$

Ζώνη I

Τώρα το σ_3 της ζώνης I είναι ίσο με σ_1 της ζώνης II

Επομένως

$$\sigma_3 = [\gamma \cdot D_f + (\gamma \cdot B/4 \cdot \tan \alpha')] \cdot \tan^2 \alpha' + 2c' \cdot \tan \alpha'$$

και

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.14) από τη ζώνη I έχουμε:

$$[\gamma \cdot D_f + (\gamma \cdot B/4 \cdot \tan \alpha')] \cdot \tan^2 \alpha' + 2c' \cdot \tan \alpha' = \cot^2 \alpha' \cdot [q_u + (\gamma \cdot B/4 \cdot \tan \alpha')] - 2c' \cdot \cot \alpha'$$

ή

$$\cot^2\alpha' \cdot q_u = \gamma \cdot D_f \cdot \tan\alpha' + (\gamma \cdot B)/4 \cdot \tan^3\alpha' + (\gamma \cdot B)/4 \cdot \tan\alpha' + 2c' \cdot \cot\alpha' + 2c' \cdot (1/\tan\alpha') \quad (2.15)$$

Η 2.15 είναι μια γενική εξίσωση που εφαρμόζεται και στα συνεκτικά και στα μη συνεκτικά εδάφη.

Για συνεκτικά εδάφη $c'=0$

Επομένως

$$q_u = \gamma \cdot D_f \cdot \tan^4\alpha' + (\gamma \cdot B)/4 \cdot (\tan^5\alpha' - \tan\alpha') \quad (2.16)$$

Για μη συνεκτικά εδάφη $c'=c_u, \phi'=0$

Για αυτό το λόγο

$$q_u = \gamma \cdot D_f + 4 c_u$$

$$q_{nu} = q_u - \gamma \cdot D_f = 4 c_u \quad (2.17)$$

Επειδή οι πραγματικά θραυόμενες επιφάνειες είναι καμπύλες και όχι επίπεδες όπως θεωρήθηκαν στην ανάλυση, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι κατά προσέγγιση. Ωστόσο η φέρουσα ικανότητα που λαμβάνεται είναι συντηρητική. Η θεωρία έχει αντικατασταθεί από άλλες, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

2.5.3 Ανάλυση Prandtl

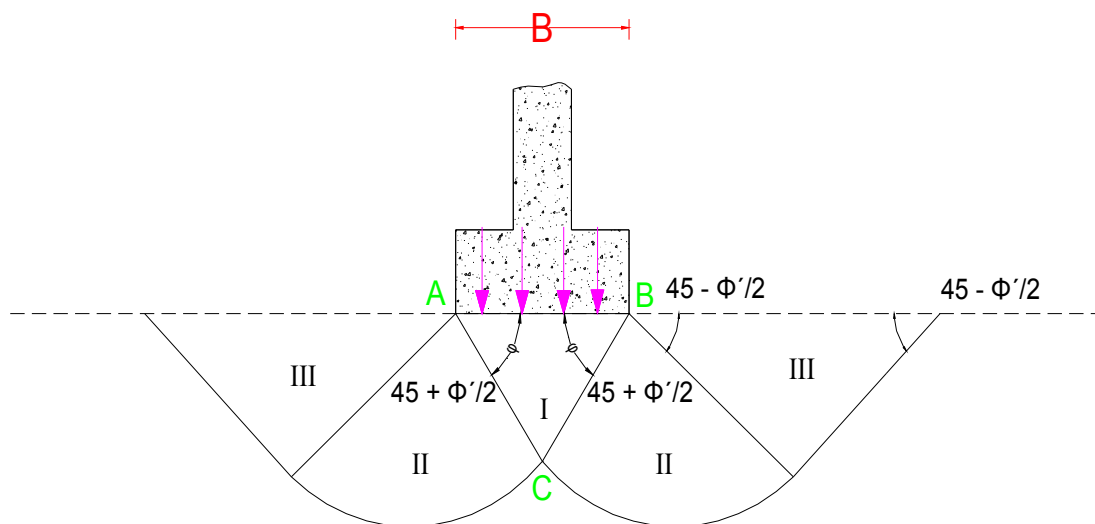
Ο Prandtl έδωσε μια θεωρία για την διείδυση των διατρητικών μηχανών στα μέταλλα. Η θεωρία χρησιμοποιείται για να καθορίζει τη μέγιστη ικανότητα των εδαφών. Η ανάλυση βασίζεται στη θεώρηση ότι ένα λωριδωτό πέδιλο που βρίσκεται στη επιφάνεια του εδάφους βυθίζεται κατακόρυφα προς τα κάτω, μέσα στο έδαφος, τη στιγμή της θραύσης.

Δείχνει την θραυόμενη ζώνη που εμφανίζεται στο κάτω μέρος του πεδίου. Το έδαφος στην σφηνοειδή περιοχή I που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το πέδιλο παραλαμβάνει θλιπτικές δυνάμεις. Καθώς το πέδιλο βυθίζεται η ζώνη I ασκεί πίεση στις πλαϊνές ζώνες II και III. Οι ζώνες II βρίσκονται σε κατάσταση πλαστικής ισορροπίας. Οι ζώνες II σπρώχνουν τις ζώνες III προς τα πάνω.

Χρησιμοποιώντας τη θεωρία της πλαστικότητας, ο Prandtl ανέπτυξε εκφράσεις για τη φέρουσα ικανότητα ενός λωριδωτού πεδίου, θεωρώντας ότι το καμπύλο τμήμα της επιφανειακής ολίσθησης έχει σχήμα λογαριθμικής σπείρας. Για συνεκτικά εδάφη ($\phi=0$), το σπινάλ γίνεται κυκλικό τόξο, και η ανάλυση του Prandtl δίνει την παρακάτω εξίσωση της φέρουσας ικανότητας.

$$q_u = (\pi+2) \cdot c_u = 5,14 \cdot c_u$$

όπου c_u είναι η συνοχή του εδάφους.



Σχήμα 2.7

Δείχνει ότι η φέρουσα ικανότητα ενός συνεκτικού εδάφους δεν εξαρτάται από το πλάτος του πεδίου (B). Για συνεκτικά εδάφη, η θεωρία του Prandtl δείχνει ότι η απόλυτη φέρουσα ικανότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται το πλάτος B.

Η θεωρία εφαρμόζεται για επιφανειακή θεμελίωση. Για θεμελιώσεις σε βάθος (D_f) κάτω από τη επιφάνεια, μπορεί να γίνει μια εξαίρεση αυξάνοντας τη φέρουσα ικανότητα κατά γD_f . Άρα για λωριδωτά πέδιλα σε συνεκτικά εδάφη,
 $q_u = 5,14 \cdot c_u + \gamma \cdot D_f$

Η θεωρία του Prandtl είναι έγκυρη μόνο για πέδιλα με απόλυτα ομαλή βάση που βρίσκεται σε επικοινωνία με το έδαφος. Καθώς τα πραγματικά πέδιλα έχουν τραχιά επιφάνεια, η θεωρία δεν μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα.

2.5.4 Η θεωρία του Hansen για την φέρουσα ικανότητα

Έχει αποδειχθεί από τον Milovic (1965) ότι η θεωρία του Terzaghi δίνει μεγαλύτερες τιμές για την πραγματική φέρουσα ικανότητα, σε σχέση με τις τιμές που προκύπτουν πειραματικά για τα συνεκτικά εδάφη και αυτό δεν είναι ασφαλές. Ωστόσο, για τα μη συνεκτικά εδάφη, η θεωρία δίνει συντηρητική εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας. Για τα συνεκτικά εδάφη ο Hansen (1961) δίνει τιμές για την πραγματική φέρουσα ικανότητα οι οποίες συμφωνούν περισσότερο με τιμές που προκύπτουν πειραματικά.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Hansen, η πραγματική φέρουσα ικανότητα δίνεται από τον τύπο

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_u \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (2.18)$$

όπου N_c , N_q και N_γ είναι οι συντελεστές της φέρουσας ικανότητας του Hansen, και το q είναι το πλευρικό αντίβαρο και

s_c , s_q και s_γ είναι οι συντελεστές σχήματος

d_c , d_q και d_γ είναι οι συντελεστές βάθους

i_c , i_q και i_γ είναι οι συντελεστές κλίσης

και

Οι συντελεστές της φέρουσας ικανότητας δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$N_c = \tan^2 \cdot (45 + \varphi/2) \cdot (e^{\pi \cdot \tan \varphi'}) \quad (2.19)$$

$$N_c = (N_c - 1) \cdot \cot \varphi' \quad (2.20)$$

$$N_\gamma = 1,80 (N_c - 1) \cdot \tan \varphi' \quad (2.21)$$

και

Πίνακας 2.2
Συντελεστές φέρουσας ικανότητας του Hansen

Φ'	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
N_c	5,14	6,48	8,34	10,97	14,83	20,72	30,14	46,13	75,32	133,89	266,89
N_q	1,0	1,57	2,47	3,9	6,40	10,66	18,4	33,29	64,18	134,85	318,96
N_γ	0,0	0,09	0,47	1,42	3,54	8,11	18,08	40,69	95,41	240,85	681,84

Πίνακας 2.3
Συντελεστές Σχήματος

Σχήμα πεδίων	s_c	s_q	s_γ
Λωριδωτό	1,0	1,0	1,0
Τετράγωνο	1+0,2· (B/L)	1+0,2· (B/L)	1-0,4·(B/L)
Κυκλικό	1,3	1,2	0,8
Ορθογωνικό	1,3	1,2	0,6

Πίνακας 2.4
Συντελεστές Βάθους

dc	1+0,35(df/B)
dq	1+0,35(df/B)
dγ	1,00

(Σημείωση :Παίρνουμε dq=dc για $\varphi' > 25^\circ$)

και dq=1,0 για $\varphi=0^\circ$

Df=βάθος πεδίου , B= πλάτος διαμέτρου

Πίνακας 2.5
Συντελεστές κλίσης

ic	1- H/2·c·B·L
iq	1-[1,5·H/V]
iγ	(iq) ²

Όπου

H = οριζόντια συνιστώσα της κεκλιμένης φόρτισης

Περιορισμός : $H < V \tan \delta + cBL$

όπου $\tan \delta =$ συντελεστής τριβής ανάμεσα στο πέδιλο και το έδαφος
 $c =$ συνοχή του εδάφους μεταξύ πεδύλου και εδάφους
 $L =$ μήκος του πεδύλου παράλληλα στο H

2.5.5 Η θεωρία του Vesic για τη φέρουσα ικανότητα

Ο Vesic (1973) επιβεβαίωσε ότι η βασική αρχή για τις θραυόμενες επιφάνειες στα εδάφη, όπως αποδείχτηκε από τον Terzaghi, είναι σωστή. Ωστόσο, η γωνία που σχηματίζουν οι κεκλιμένες επιφάνειες AC και BC με την οριζόντια είναι πιο κοντά στο $(45^\circ + \phi/2)$ παρά στην γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' . Οι τιμές των συντελεστών της φέρουσας ικανότητας N_c , N_q και N_γ για μια δεδομένη γωνία ϕ' αλλάζουν, αν η παρακάτω μετατροπή είναι ενσωματωμένη στη ανάλυση, ως εξής:

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \phi'/2) \cdot e^{\pi \tan \phi'} \quad (2.22)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi' \quad (2.23)$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi' \quad (2.24)$$

Η εξίσωση 2.24 είχε προταθεί πρώτα από τον Prandtl (1921) και η εξίσωση 2.22 από τον Reissner (1924). Οι Caquot, Vesic (1973) και Kerisel (1953) έδωσαν την εξίσωση 2.25. Οι τιμές της φέρουσας ικανότητας δίνονται στον πίνακα 2.7.

Η εξίσωση της φέρουσας ικανότητας είναι ίδια σε σχέση με αυτή του Hansen

$$q_u = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (2.25)$$

Όπου: s_c, s_q, s_γ είναι συντελεστές σχήματος. (πίνακας 2.7)

d_c, d_q, d_γ είναι συντελεστές βάθους .

i_c, i_q, i_γ είναι συντελεστές κλίσης .

Πίνακας 2.6

ϕ'	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
N_c	5,1 4	6,49	8,35	10,98	14,83	20,72	30,14	46,12	75,31	133,8 8	266,89
N_q	1,0	1,57	2,47	3,94	6,40	10,66	18,40	33,30	64,20	134,8 8	319,07
N_γ	0,0	0,45	1,22	2,65	5,39	10,88	22,40	48,03	109,4 1	271,7 6	762,89

Πίνακας 2.7

Σχήμα πεδύλων	s_c	s_q	s_γ
Λωριδωτό	1,0	1,0	1,0
Τετράγωνο	$1 + (B/L) \cdot (N_q/N_c)$	$1 + (B/L) \cdot \tan \phi'$	$1 - 0,4 \cdot (B/L)$
Κυκλικό και ορθογωνικό	$1 + (N_q/N_c)$	$1 + \tan \phi'$	0,6

Οι συντελεστές βάθους προτάθηκαν από τον Hansen το 1970 και χρησιμοποιούνται για $D_f/B < 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot (D_f/B) \quad (2.26)$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot (D_f/B) \quad (2.27)$$

$$d_\gamma = 1.0 \quad (2.28)$$

Στην εξίσωση του Vesic οι συντελεστές κλίσης προτάθηκαν από τον Meyerhof(1963) και τους Hanna και Meyerhof(1981) και γενικά χρησιμοποιούνται ως εξής :

$$i_c = i_q = (1 - \alpha^\circ/90^\circ)^2 \quad (2.29)$$

$$i_\gamma = (1 - \alpha^\circ/\phi')^2 \quad (2.30)$$

Πίνακας 2.8

Συντελεστές σχήματος	
Για $\phi=0^\circ$	
$s_c = 1 + 0.2 \cdot (B/L)$	
$s_{qs} = 1$	
$s_\gamma = 1$	
Για $\phi \geq 10^\circ$	
$s_c = 1 + 0.2 \cdot (B/L) \cdot \tan^2(45 + \phi/2)$	
$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot (B/L) \cdot \tan^2(45 + \phi/2)$	
Συντελεστές βάθους	
Για $\phi=0^\circ$	
$d_c = 1 + 0.2 \cdot (D_f/B)$	
$d_q = d_\gamma = 1$	
Για $\phi \geq 10^\circ$	
$d_c = 1 + 0.2 \cdot (D_f/B) \cdot \tan(45 + \phi/2)$	
$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \cdot (D_f/B) \cdot \tan(45 + \phi/2)$	
Συντελεστές κλίσης	
$i_c = (1 - \alpha^\circ/90^\circ)^2$	
$i_q = (1 - \alpha^\circ/90^\circ)^2$	
$i_\gamma = (1 - \alpha^\circ/\phi')^2$	
$B = \text{πλάτος πεδίου} , L = \text{μήκος πεδίου}$	

2.6 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑΣ

Εάν η φόρτιση του πεδίου είναι έκκεντρη, εάν δηλαδή μεταφέροντας όλα τα φορτία στο κέντρο της επιφάνειας θεμελίωσης εμφανίζεται ροπή M , τότε $e = M/N$, τότε στις προαναφερθείσες σχέσεις εφαρμόζεται η προσέγγιση του Meyerhof. Σύμφωνα με αυτή εάν υπάρχει εκκεντρότητα $e_B = M_B/N$ κατά την κατεύθυνση του πλάτους B και εκκεντρότητα $e_L = M_L/N$ κατά την κατεύθυνση του μήκους L , τότε οι διαστάσεις λειτουργίας του πεδίου είναι:

$$B^* = B - 2e_B \quad \text{και} \quad L^* = L - 2e_L$$

Επίσης στις σχέσεις υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας και των σχετικών συντελεστών όπου εμφανίζονται τα B και L , αυτά αντικαθίστανται με τα B^* και L^* . Τελικά θα πρέπει:

$$\sigma_{\text{αναπ}} = \frac{N}{B^* L^*} \leq q_{\text{επιτρ.}}$$

2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΔΙΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Είναι πιθανό σε ορισμένες περιπτώσεις το έδαφος θεμελίωσης να μην είναι ομοιογενές και ομοιόμορφο με το βάθος. Για τις περιπτώσεις αυτές η φέρουσα ικανότητα του διστρωματικού εδάφους προσδιορίζεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των φερουσών ικανοτήτων των δύο στρώσεων.

Ακολουθείται η εξής διαδικασία:

α) Υπολογίζονται οι φέρουσες ικανότητες q_{u1} και q_{u2} που αντιστοιχούν έκαστες στα δύο εδάφη με χαρακτηριστικά (ϕ_1, c_1) και (ϕ_2, c_2) .

β) Με τη βοήθεια του πίνακα 2.3 προσδιορίζεται ο λόγος T/B (βάθος στο οποίο φτάνει η επιφάνεια αστοχίας προς το πλάτος του θεμελίου).

Πίνακας 2.6 Τιμές του λόγου T/B ως συναρτήσεις της γωνίας τριβής (ϕ) και της κλίσης του φορτίου. (β)

β ($^\circ$)	ϕ				
	0°	10°	20°	30°	40°
0	0,70	0,80	0,95	1,10	1,25
10	-	-	0,60	0,80	1,00
20	-	-	-	0,40	0,70
30	-	-	-	-	0,35

Γ) Αν το πάχος h του πρώτου στρώματος κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης είναι μεγαλύτερο από το βάθος T της επιφάνειας αστοχίας ($h \geq T$), τότε η φέρουσα ικανότητα του διστρωματικού εδάφους δεν επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του δεύτερου στρώματος και είναι ίση προς τη φέρουσα ικανότητα του πρώτου στρώματος ($q_u = q_{u1}$). Αν $h < T$ τότε η φέρουσα ικανότητα προκύπτει με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών q_{u1} και q_{u2} . Δηλ:

$$\text{Γ ι α } q_{u1} < q_{u2} \text{ ισχύει } q_u = q_{u2} - (q_{u2} - q_{u1}) \chi \frac{h}{T}$$

$$\text{Γ ι β } q_{u1} > q_{u2} \text{ ισχύει } q_u = q_{u2} \text{ όταν } h \leq 0,2T$$

$$q_u = q_{u2} + (q_{u1} - q_{u2}) \chi \frac{(h - 0,2T)}{0,8T} \text{ όταν } 0,2\chi T < h < T$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΣΟΤΣΟΣ Σ. Σ. (1991). Εδαφομηχανική: Θεωρία, μέθοδοι και εφαρμογές. Εκδόσεις Βερβερίδης & Πολυχρονίδης, Θεσσαλονίκη.
2. ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Ν., ΜΑΝΟΥ-ΑΝΔΡΕΑΔΗ Ν. & ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ Θ. (2002). Εδαφομηχανική, ασκήσεις και προβλήματα, Εκδόσεις Αφοι Κυριακίδη α.ε., Θεσσαλονίκη.
3. ΠΑΠΑΧΑΡΙΣΗΣ Ν., ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Ν. & ΜΑΝΟΥ-ΑΝΔΡΕΑΔΗ Ν. (1999). Γεωτεχνική Μηχανική. Έρευνα, γεωτρήσεις, εργαστήριο, Εκδόσεις Αφοι Κυριακίδη α.ε., Θεσσαλονίκη.
4. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Κ.Α & ΠΑΠΑΛΙΑΓΚΑΣ Θ. (2007). Εργαστηριακές δοκιμές Εδαφομηχανικής, Α.Τ.Ε.Ι.Θ.
5. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Κ.Α & ΠΑΠΑΛΙΑΓΚΑΣ Θ. (2006). Εδαφομηχανική ΙΙ (σημειώσεις διδασκαλίας μαθήματος), Α.Τ.Ε.Ι.Θ.
6. EUROCODE 7 GEOTECHNICAL DESIGN – PART 1: General rules (2004). EN 1997-1:2004
7. ARORA K.R. (1989). Soil mechanics and foundation engineering, Published by Nem Chand Jain, Delhi.
8. LAMBE T.W. & WHITMAN R.V. (1969). Soil mechanics, John Wiley & Sons Inc., New York.