



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)**

**ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΛΑΦΩΝ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ  
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ (c) ΚΑΙ (φ) ΜΕ ΑΜΕΣΗ  
ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:**

**ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ**

**ΤΖΑΒΑΡΑΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ**

**ΣΟΥΚΟΥΛΗ ΜΑΡΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:**

**ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΧΡΗΣΤΟΥ ΖΑΧΑΡΙΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2010**

Η εργασία που ακολουθεί συντάχθηκε από την φοιτήτρια Νικολοπούλου Χριστίνα, τον φοιτητή Τζαβάρα Σωτήρη και την φοιτήτρια Σούκουλη Μαρία του τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Εφαρμογών Δ.Παγουλάτου και Ζ.Χρήστου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010. Οι εργαστηριακές δοκιμές διατμητικής αντοχής των εδαφών (άμεση διάτμηση) πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Εδαφομηχανικής του Τ.Ε.Ι της ΠΑΤΡΑΣ.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
1.1. Γενικά Περί Εδαφομηχανικής .....	6
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	10
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΩΝ – ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	10
2.1. Εισαγωγή.....	10
2.2 Μέθοδοι δειγματοληψίας.....	11
2.2.1 Ορύγματα.....	11
2.2.2 Γεωτρήσεις.....	11
ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΒΑΘΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ .....	12
ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ .....	12
2.2.2.1 Κρουστικές γεωτρήσεις .....	12
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΔΙ' ΕΚΠΛΥΣΕΩΣ.....	13
2.2.2.2 Περιστροφικές γεωτρήσεις .....	14
2.2.2.3 Γεωτρήσεις μέσω χειροκίνητου τύπου Auger .....	14
2.2.3 Δοκιμαστικές ράβδοι .....	15
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	17
ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΣΚΗΣΕΩΝ.....	17
3.1. Γενικά.....	17
3.1.1. Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας .....	17
3.1.2. Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους.....	19
3.1.3. Κοκκομετρική Ανάλυση.....	21
3.1.4. Όρια Atterberg .....	25
3.1.5. Πορώδες – Δείκτης κενών .....	36
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	38
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ (ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ – ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗ ΣΥΣΚΕΥΗ) ΤΟΥ Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ. .....	38
ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΚΟΚΚΩΔΗ ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	41
4.1. Διατμητική Αντοχή Εδαφών.....	49
4.1.1. Συνοχή (c) .....	49
4.1.2. Γωνία Εσωτερικής Τριβής (φ) .....	52
4.2. Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb .....	53
Αντοχή της αργίλου .....	54
4.3. Προσδιορισμός Παραμέτρων Αντοχής και Παραμόρφωσης Εδάφους. ....	56
4.3.1. Άμεση Διάτμηση.....	57
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΝΕΡΟΥ.....	59
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	60
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ. ....	61
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	69
4.3.2. Ανεμπόδιστη Θλίψη.....	70

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ .....	71
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	76
4.3.3. Τριαξονική Δοκιμή .....	76
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ.....	78
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΑ ΠΡΟΣΦΟΡΗΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ.....	82
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ .....	84
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΕ ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	86
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	88
5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ.....	89
5.1. Εισαγωγή.....	92
5.2. Λίστα εξαρτημάτων .....	93
5.3. Προδιαγραφές .....	93
5.4. Εγκατάσταση .....	94
5.5. Χειριστήρια / Περιγραφή.....	97
5.6. Λειτουργία. ....	106
5.7. Πληροφορίες .....	110
5.8. Συντήρηση. ....	110
5.9. Διαθέσιμα ανταλλακτικά για 26 - 2112/01 και 26 - 2112/02, 26 2112/Κ .....	111
5.10. Εξαρτήματα.....	112
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	113
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΥΟ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	113
ΔΟΚΙΜΗ 1. ....	113
ΔΟΚΙΜΗ 2. ....	115
ΔΟΚΙΜΗ 3. ....	117
ΔΟΚΙΜΗ 4. ....	119
ΔΟΚΙΜΗ 5. ....	121
ΔΟΚΙΜΗ 6. ....	123
ΔΟΚΙΜΗ 7 .....	125
ΔΟΚΙΜΗ 8 .....	127
ΔΟΚΙΜΗ 9 .....	129
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ (ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ)– ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	131
ΔΟΚΙΜΗ 1 .....	131
ΔΟΚΙΜΗ 2 .....	134
ΔΟΚΙΜΗ 3 .....	137
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	140
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	141

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται εργαστηριακά αποτελέσματα μίας από τις παλαιότερες εργαστηριακές δοκιμές, της άμεσης διάτμησης. Συγκεκριμένα είναι μία δοκιμή αντοχής των εδαφών και εκτελείται για να καθορίσει την διατμητική αντοχή ενός αμμώδους έως ιλυώδους εδάφους υπό συνθήκες στερεοποίησης και αποστραγγίσεως και την σχέση τάσεων – παραμορφώσεων. Είναι η δοκιμή κατά την οποία μετριέται η μεταβολή της ορθής τάσεως, που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διατμήσεως. Επιπρόσθετα στην δοκιμή της άμεσης διάτμησης το έδαφος οδηγείται σε θραύση με την επιβολή μετακινήσεως του ενός τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο. Έτσι το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγραμμένη επίπεδη επιφάνεια που λέγεται επιφάνεια διατμήσεως.

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι ο προσδιορισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής  $c$  και  $\phi$ . Η αποτύπωση των αποτελεσμάτων μελετήθηκε μετά από δειγματοληψία και δοκιμή διαφόρων εδαφών.

Αναλυτικότερα στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται τα παρακάτω θέματα: Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία για την εδαφομηχανική. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία δειγματοληψίας των εδαφών και η παραλαβή των εδαφικών δειγμάτων. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρουμε τις ασκήσεις της εδαφομηχανικής και οι κατηγορίες αυτών. Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εργαστηριακές δοκιμές διατμητικής αντοχής των εδαφών (άμεση διάτμηση), χρησιμοποιώντας χειροκίνητη και ηλεκτρονική συσκευή του Τ.Ε.Ι. της Πάτρας, καθώς και οπτικό υλικό κατά την διάρκεια των δοκιμών. Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται το γηγενή εργαστηριακό κομμάτι της πτυχιακής, αναλύοντας την εφαρμογή της εργαστηριακής δοκιμής άμεσης διάτμησης, με τις προαναφερόμενες υπάρχουσες συσκευές.

Ακολούθως δίδονται τα διαγράμματα και τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.



# 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά Περί Εδαφομηχανικής

Αντικείμενο του κλάδου της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού που ονομάζεται Εδαφομηχανική είναι η επίλυση προβλημάτων που δημιουργεί το έδαφος στην κατασκευή τεχνικών έργων είτε σαν μέσο που αλληλεπιδρά είτε σαν υλικό κατασκευής.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών απαιτούνται γνώσεις:

- της σύστασης του εδάφους
- της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους
- των τεχνολογικών μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν

Με τον όρο έδαφος εννοούμε ένα σύνολο ασυγκόλλητων ή αδύνατα συγκολλημένων ορυκτών κόκκων που προήλθαν από αποσάθρωση πετρωμάτων και που στα κενά μεταξύ των κόκκων περιέχεται αέρας ή νερό ή και τα δύο. Η αποσαθρωτική διεργασία που μετατρέπει το βράχο σε έδαφος είναι φυσική ή χημική.

Η φυσική διεργασία η οποία συνίσταται σε διάβρωση από νερό, δράση παγετώνων κλπ. έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των λεγόμενων κοκκωδών ή μη συνεκτικών εδαφών.

Η χημική διεργασία η οποία συνίσταται στην ενέργεια του νερού, του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα οδηγεί στη δημιουργία των συνεκτικών εδαφών.

Μία από τις ιδιαιτερότητες της εδαφομηχανικής σε σχέση με άλλους κλάδους της εφαρμοσμένης μηχανικής, είναι η αδυναμία της καταρχήν προδιαγραφής των ιδιοτήτων των υλικών. Ως αντιπαράδειγμα αναφέρουμε τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου τα υλικά (σκυρόδεμα και χάλυβας) κατασκευάζονται βιομηχανικά, με μεθοδολογίες τέτοιες ώστε να ελέγχονται οι ιδιότητες και να πληρούνται οι προδιαγραφές. Στην περίπτωση των

κατασκευών επί του εδάφους, ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού που θα συναντηθεί. Δεν είναι λίγες και οι περιπτώσεις όπου λόγω δυσμενών εδαφοτεχνικών συνθηκών, έργα έχουν αλλάξει θέση (όπως η μεταβολή της χάραξης οδού). Οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών προσδιορίζονται με τις δύο παρακάτω μεθοδολογίες :

- Επί τόπου δοκιμές: Η διαδικασία αυτή αφορά δοκιμές που γίνονται στο τόπο (έδαφος) κατασκευής ενός έργου. Αν και δεν διαθέτουν την ακρίβεια των δοκιμαστικών δοκιμών στον προσδιορισμό γεωτεχνικών παραμέτρων , είναι πολλές οι περιπτώσεις που μόνο αυτές μπορούν να δώσουν μία εικόνα για τις ιδιότητες του εδάφους. Ανάλογα με την σκοπιμότητα του ελέγχου των εδαφών διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες εδαφικών δειγμάτων. 1)Αδιατάρακτα δείγματα 2)Διαταραγμένα δείγματα. Για παράδειγμα ο εργαστηριακός προσδιορισμός της αντοχής της άμμου είναι δύσκολος καθώς προκαλείται έντονη διατάραξη κατά την διαδικασία της δειγματοληψίας. Η συνήθης πρακτική είναι, οι ιδιότητες της άμμου να προσδιορίζονται με την δοκιμή διείσδυσης επί τόπου.
- Εργαστηριακές δοκιμές: Με την διαδικασία της δειγματοληψίας η οποία γίνεται συνήθως με χρήση γεωτρύπανων λαμβάνονται εδαφικά δείγματα τα οποία μεταφέρονται στο χώρο του εργαστηρίου. Με κατάλληλες εργαστηριακές μεθοδολογίες, προσδιορίζονται οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων (γεωτεχνικοί παράμετροι).
- Εργασίες γραφείου: Περιλαμβάνουν όλες τις υπολογιστικές εργασίες για την εξαγωγή συμπερασμάτων με δεδομένα τα δελτία των μετρήσεων.

Στον πίνακα I δίνονται οι ορισμοί των μεγεθών που εκφράζουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Στον πίνακα II δίνονται οι σχέσεις που συνδέουν τα παραπάνω μεγέθη μεταξύ τους



ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Μεγέθη	Γενικές συνθήκες	Συνθήκες κορεσμού
Όγκος όλικός	$V = V_s + V_w + V_a$	$V = V_s + V_w$
Όγκος κενών	$V_v = V_w + V_a = V - V_s = V_w / S_r$	$V_v = V_w$
Δείκτης πόρων	$e = \frac{V_w}{V_s} = \frac{n}{1-n} = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_d} - 1 = \frac{\gamma_s(I+w)}{\gamma} - 1$	$e = \frac{V_w}{V_s} = \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \cdot w$
Πορώδες	$n = \frac{V_w}{V} = \frac{e}{1+e} = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$	$n = \frac{V_w}{V} = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \cdot w$
Βαθμός κορεσμού	$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_w \cdot w}{\gamma_s \cdot e}$	$S_r = 1$
Βάρος όλικό	$P = P_s + P_w \quad (P_a \cong 0)$	$(P_s = \text{βάρος στερεών συστατικών})$
Περιεκτικότητα σε νερό	$w = \frac{P_w}{P_s} = S_r \cdot e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$	$w = e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Φαινόμενο βάρος	$\gamma = \frac{P}{V} = \gamma_d (1+w) = \frac{S_r \gamma_w \gamma_s (I+w)}{S_r \gamma_w + \gamma_s w}$	$\gamma = \gamma_{sat} = \frac{w+1}{w + I/\gamma_s}$
Φαινόμενο βάρος στερεών συστατικών	$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \cong 2,70 \text{ gr/cm}^3$	(για $\gamma_w \cong 1,00 \text{ gr/cm}^3$ )
Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma_d = \frac{P}{V} = (1-n) \gamma_s = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{\gamma}{I+w}$	$(\gamma_d < \gamma < \gamma_{sat})$
Φαινόμενο βάρος κορεσμένου έδαφους		$\gamma_{sat} = \gamma_d + n \gamma_w = \gamma = \frac{\gamma_s + \gamma_w \cdot e}{1+e}$
Φαινόμενο βάρος κορεσμένου έδαφους (με άνωση)		$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \gamma_d - (1-n) \gamma_w = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e} = \gamma_d \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right) \cong 0,60 \gamma_d$

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Τυπολόγιο φυσικών εδαφικών μεγεθών.

Μεγέθη	Συμβολισμοί	Όρισμοί	Διάστα.	Κορεσμένο έδαφος $w_s$	Μή κορεσμένο έδαφος $w$	$n$	$e$	$\gamma$	$\gamma_d$
Περιεκτικότητα σε νερό	$w$	$\frac{P_w}{P_s} = \frac{V_w \gamma_w}{P_s}$	$l^*$	—	—	$w = \frac{(n-n_a) \gamma_w}{(1-n) \gamma_s}$	$w = \frac{e-n_a(1+e)}{\gamma_s} \gamma_w$	$w = \frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_d}$	—
Περιεκτικότητα σε νερό κορ.έδαφους	$w_s$	$\frac{(V_w + V_a) \gamma_w}{P_s}$	$l$	—	—	$w_s = \frac{n \gamma_w}{(1-n) \gamma_s}$	$w_s = \frac{e \gamma_w}{\gamma_s}$	$w_s = \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{\gamma_w}{\gamma_d} \frac{\gamma_s}{\gamma_s}$	$w_s = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Πορώδες	$n$	$\frac{V_w}{V}$	$l$	$n = \frac{w_s \gamma_s}{w_s \gamma_s + \gamma_w}$	$n = \frac{w \gamma_s + n_a \gamma_w}{w \gamma_s + \gamma_w}$	$n = n_w + n_a$	$n = \frac{e}{1+e}$	$n = 1 - \frac{\gamma}{(1+w) \gamma_s}$	$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}$
Δείκτης πόρων	$e$	$\frac{V_v}{V_s}$	$l$	$e = \frac{w_s \gamma_s}{\gamma_w}$	$e = \frac{w \gamma_s + n_a \gamma_w}{(1-n_a) \gamma_w}$	$e = \frac{n}{(1-n)}$	—	$e = \frac{\gamma_s (1+w)}{\gamma} - 1$	$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$
Φαινόμενο βάρος έδαφους	$\gamma$	$\frac{P}{V} = \frac{P_s + P_w}{V_s + V_w + V_a}$	$l/m^3$	$\gamma = \frac{(1+w_s) \gamma_s \gamma_w}{w_s \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma = \frac{(1-n_a)(1+w) \gamma_s \gamma_w}{w \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma = (1-n) \gamma_s + n_w \gamma_w = (1-n)(1+w) \gamma_s$	—	—	$\gamma = \gamma_d (1+w)$
Φαιν. βάρος ξηρ. έδαφους	$\gamma_d$	$\frac{P_s}{V_s + V_w + V_a}$	$l/m^3$	$\gamma_d = \frac{\gamma_s \gamma_w}{w_s \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma_d = \frac{(1-n_a) \gamma_s \gamma_w}{n \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma_d = (1-n) \gamma_s$	$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$	—
Πορώδες άερα	$n_a$	$\frac{V_a}{V}$	$l$	$n_a = 0$	—	—	—	$n_a = \frac{(w \gamma_s + \gamma_w) \gamma_s}{(1+w) \gamma_w \gamma_s}$	$n_a = \frac{w \gamma_d}{\gamma_w \gamma_s}$
Πορώδες νερού	$n$	$\frac{V_w}{V}$	$l$	$n_w = n$	$n_w = w \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$	—	$n_w = \frac{w \gamma_s}{(1+e) \gamma_w}$	$n_w = \frac{\gamma_w}{(1+w) \gamma_w}$	$n_w = \frac{w \gamma_d}{\gamma_w}$
Βαθμός κορεσμού	$S_r$	$\frac{w}{w_s}$	$l$	$S_r = 1$	$S_r = \frac{w \gamma_s (1-n)}{n \gamma_w}$	$S_r = \frac{n_w}{n}$	—	—	—

\*  $l$  : αδιάστατα μεγέθη.

## 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΩΝ – ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ



#### 2.1. Εισαγωγή

Δειγματοληψία είναι η λήψη μικρής ποσότητας εδάφους από μια συγκεκριμένη περιοχή, με σκοπό τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών και των παραμέτρων αντοχής του εδάφους.

Η δειγματοληψία χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Τα διαταραγμένα και τα αδιατάρακτα.

Διαταραγμένα θεωρούνται τα δείγματα που λαμβάνουμε με τρόπο τέτοιο που έχει προκαλέσει διατάραξη του εδαφικού ιστού του και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε μόνο για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Διαταραγμένα δείγματα μπορούμε να πάρουμε με κρούσεις ή με περιστροφή ή με απλή εκσκαφή.

Αδιατάρακτα θεωρούνται τα δείγματα που λαμβάνονται με τέτοια τεχνική ώστε να εξασφαλίσουμε την ελάχιστη διατάραξη του εδαφικού ιστού του ώστε

να μπορούμε να προσδιορίσουμε τις φυσικές ή μηχανικές ιδιότητες του εδάφους.

## 2.2 Μέθοδοι δειγματοληψίας

Οι μέθοδοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τα ορύγματα
- Οι γεωτρήσεις και
- Οι δοκιμαστικές ράβδοι.

### 2.2.1 Ορύγματα

Με τα ορύγματα μπορούμε να έχουμε πιο λεπτομερή και ακριβή στοιχεία από το υπεδάφος έναντι οποιαδήποτε άλλης μεθόδου διότι μπορούμε αμέσως να επισκεφτούμε την περιοχή, ώστε να έχουμε ακριβή γνώμη, μπορούμε να πάρουμε δείγματα μεγαλύτερου σχήματος και λαμβάνονται έμμεσα χρήσιμες πληροφορίες για τις συνθήκες εξόρισης. Εντούτοις παρουσιάζονται κάποια μειονεκτήματα. Το σοβαρότερο από αυτά είναι ότι για οικονομικούς λόγους φτάνουν μέχρι μερικά μέτρα βάθους, γιατί αλλιώς δημιουργούνται δαπάνες αντλήσεως και επισκευών. Από τις κατάλληλα διαμορφωμένες επιφάνειες προσπαθούμε να πάρουμε ολόσωμα ορθογωνικά δείγματα διαστάσεων όσο το δυνατόν μεγαλύτερες. Τα παραφινώνουμε προσεκτικά, τα τυλίγουμε με λεπτό ύφασμα και τα μεταφέρουμε στο εργαστήριο.

### 2.2.2 Γεωτρήσεις

Οι γεωτρήσεις αποτελούν και για την εδαφομηχανική την κυριότερη μέθοδο του υπεδάφους. Η οπή που διανοίγεται έχει διάμετρο 10-60 εκατοστά. Τα χειροκίνητα γεωτρήματα φτάνουν μέχρι 100 m ενώ οι μηχανές μέχρι τα 800 m. Σε έργα πολιτικού μηχανικού και έχουν προσαρμοστεί ώστε εκτός των γεωλογικών πληροφοριών να λαμβάνονται κατά την εκτέλεσή τους και δείγματα αδιατάρακτα απαραίτητα για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών των υπογείων στρωμάτων.

## ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΒΑΘΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Ο αριθμός, η διάταξη και το βάθος των γεωτρήσεων εξαρτάται:

- Από το μέγεθος του έργου
- Από το σύστημα του έργου
- Από την γενική γεωλογία της περιοχής.

Γενικά όταν πρόκειται να μελετηθεί το υπέδαφος μιας μεγάλης περιοχής καταρτίζεται ένας κάναβος κυρίων γεωτρήσεων, οι οποίες τοποθετούνται αρχικά σε μεγάλες αποστάσεις και αν χρειαστεί γίνονται μικρότερες.

Με την γεώτρηση πετυχαίνουμε:

1. Να αποκαλύψουμε χρήσιμα ορυκτά
2. Να εντοπίσουμε και να εξάγουμε υγρά ή αέρια του υπεδάφους.
3. Να προσφέρουμε βοήθεια σε τυχόν παγιδευμένους σε ορυχεία
4. Να μελετήσουμε την σύσταση του υπεδάφους.
5. Να προχωρήσουμε σε αναλυτικότερη μελέτη θεμελίωσης μεγάλων τεχνικών έργων.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Ανάλογα με τον τρόπο προσχωρήσεως μίας γεώτρησης διακρίνουμε τις εξής μεθόδους.

- Τις κρουστικές γεωτρήσεις
- Τις περιστροφικές γεωτρήσεις
- Τις γεωτρήσεις μέσω του χειροκίνητου τύπου Auger όπου χρησιμοποιείται για μικρά βάθη έως 3 m.

### 2.2.2.1 Κρουστικές γεωτρήσεις

Οι κρουστικές γεωτρήσεις γίνονται με την βοήθεια κρουστικών γεωτρύπανων. Το κρουστικό γεωτρύπανο αποτελείται από την διατρητική στήλη η οποία συνδέει την επιφάνεια με τον πυθμένα της γεώτρησης και η οποία έχει στο κατώτερο άκρο της ειδικό εργαλείο κοπής με την βοήθεια του οποίου

επιτυγχάνεται η όρυξη, το σύστημα μεταφοράς της κίνησης του κινητήρα στην γεωτρητική στήλη, τον πύργο ή ικρίωμα με τα βοηθητικά μηχανήματα προς διευκόλυνση των χειρισμών κατά την εκτέλεση της γεώτρησης. Η γεωτρητική στήλη με το κοπτικό εργαλείο στο άκρο της είναι αναρτημένη μέσω συρματόσχοινου και συνδέεται με τον μηχανισμό κίνησης του γεωτρώπανου. Η κίνηση της στήλης είναι παλινδρομική και επιτυγχάνεται με την βοήθεια του έκκεντρου μηχανισμού του γεωτρώπανου και του συρματόσχοινου.

Το εργαλείο κοπής λειτουργεί κρουστικά πάνω στον πυθμένα της γεώτρησης και με συνεχείς κρούσεις επιτυγχάνεται η αποσύνθεση των επικείμενων στρωμάτων. Η γεώτρηση γενικά κρατείται σχεδόν ξηρή εκτός μίας μικρής ποσότητας νερού, η οποία προστίθεται για να διευκολυνθεί η διάτρηση.

Παραλλαγή της κρουστικής ράβδου αποτελεί η κρουστικής γεώτρηση με σύγχρονη κυκλοφορία νερού όπου ονομάζεται γεώτρηση δι'εκπλύσεως.

#### ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΔΙ'ΕΚΠΛΥΣΕΩΣ.

Η γεωτρητική στήλη του κοπτικού άκρου της του υπεδάφους. Αντί συρματόσχοινου αποτελείται από στελέχη αναρτήσεως, τα οποία είναι διάτρητα και μέσω αυτών κυκλοφορεί νερό υπό πίεση. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η όρυξη και τα προϊόντα του θρυμματισμού ανέρχονται μεταφερόμενα στην επιφάνεια ώστε ο καθαρισμός της γεώτρησης να είναι συνεχής.

Αφού διαμορφωθεί το συγκρότημα τίθεται σε λειτουργία η αντλία και έτσι το νερό διοχετεύεται μέσω της στρεπτικής κεφαλής από την δεξαμενή προς τον σωλήνα εκπλύσεως και στην συνέχεια μέχρι του κοπτικού άκρου, από το οποίο εκρέει και ανυψώνεται μέσω του δακτυλιοειδούς χώρου που σχηματίζεται μεταξύ του σωλήνα εκπλύσεως και της σωληνώσεως της γεώτρησης.

### 2.2.2.2 Περιστροφικές γεωτρήσεις

Τα κύρια χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων αυτών συμπίπτουν με την γεώτρηση δια εκπλύσεως με την διαφορά ότι τα στελέχη του γεωτρύπανου και το κοπτικό άκρο περιστρέφονται μηχανικώς.

Το κοπτικό μέρος έχει και αυτό οπές μέσω των οποίων κυκλοφορεί νερό, το οποίο ανυψώνει τα θραύσματα του εδάφους όταν διέρχεται από τον δακτυλιοειδή χώρο. Όταν θέλουμε να πάρουμε κάποιο δείγμα, τα στελέχη ανασύρονται και το κοπτικό άκρο αντικαθίσταται με δειγματολήπτη.

Αντί του νερού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε γεωτρητικό πολτό ειδικού βάρους  $1.0 \text{ gr/cm}^2 - 1.15 \text{ gr/cm}^2$ . Το μεγαλύτερο ειδικό βάρος διευκολύνει την απομάκρυνση των θραυσμάτων ενώ ο ξιθοτροπικός χαρακτήρας τους παρεμποδίζει την συσσώρευση θραυσμάτων στον πυθμένα της οπής. Εκτός αυτών ο πολτός σχηματίζει λεπτή στρώση συνεκτικού υλικού στα τοιχώματα της οπής, η οποία στρώση παρεμποδίζει την κατάπτωση των τοιχωμάτων της οπής που βρίσκονται σε έδαφος με μικρή ή μηδενική συνοχή.

### 2.2.2.3 Γεωτρήσεις μέσω χειροκίνητου τύπου Auger

Οι γεωτρήσεις αυτές αποτελούν ειδική περίπτωση περιστροφικών γεωτρήσεων και γίνονται με γεωτρύπανα που έχουν ελικοφόρα άκρα. Τα χειρότερα είναι ελαφρού τύπου ενώ τα βαρέως τύπου είναι αυτά που με την χρησιμοποίηση κατάλληλου μηχανοκίνητου συγκροτήματος μπορούν να ξεκινήσουν σε βάθος μεγαλύτερο των 30m και με διάμετρο της τάξεως του 1m.

Η προχώρηση της γεώτρησης με αυτά τα γεωτρύπανα γίνεται με συνεχή περιστροφή των ελικοφόρων άκρων στο έδαφος και στην συνέχεια με αναστροφή της φοράς περιστροφής το εδαφικό στρώμα μεταφέρεται στην επιφάνεια.

Τα δείγματα που παίρνουμε περιέχουν όλα τα συστατικά τους, η δομή τους όμως έχει καταστραφεί. Γενικώς οι γεωτρήσεις αυτές έχουν περιορισμένη δυνατότητα για βαθύτερη διερεύνηση ειδικότερα σε περιοχές με κροκάλες και

χαλίκια. Υπάρχει τέλος και εδαφολήπτης με κοίλο στέλεχος όπου είναι παραλλαγή του προηγούμενου δειγματολήπτη με συνεχές πτερύγιο τύπου Auger, όπου έχουμε λήψη δείγματος χωρίς την εξαγωγή του από την οπή.

### 2.2.3 Δοκιμαστικές ράβδοι

Στην μέθοδο των δοκιμαστικών ράβδων, οι παρατηρήσεις που γίνονται με την ανίχνευση του εδάφους με μία πρωτότυπη ράβδο, σχεδιάζονται και αξιολογούνται. Διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο διείδυσης και εργασίας σε ράβδους κρούσης, θλίψης, πτερυγοφόρες και περιστροφικές.

**Ράβδους κρούσης** χρησιμοποιούμε ελαφριές ή βαριές με βάρους κρού 10 αντιστ. 50 kp (100 αντιστ. 500N), με στελέχη που μπορούν να εισδύουν σε βάθος 8 m αντιστ. 20 m περίπου. Μετριοούνται οι κτύποι που απαιτούνται για να εισχωρήσει η ράβδος ένα σταθερό μήκος 10 ή 20 cm

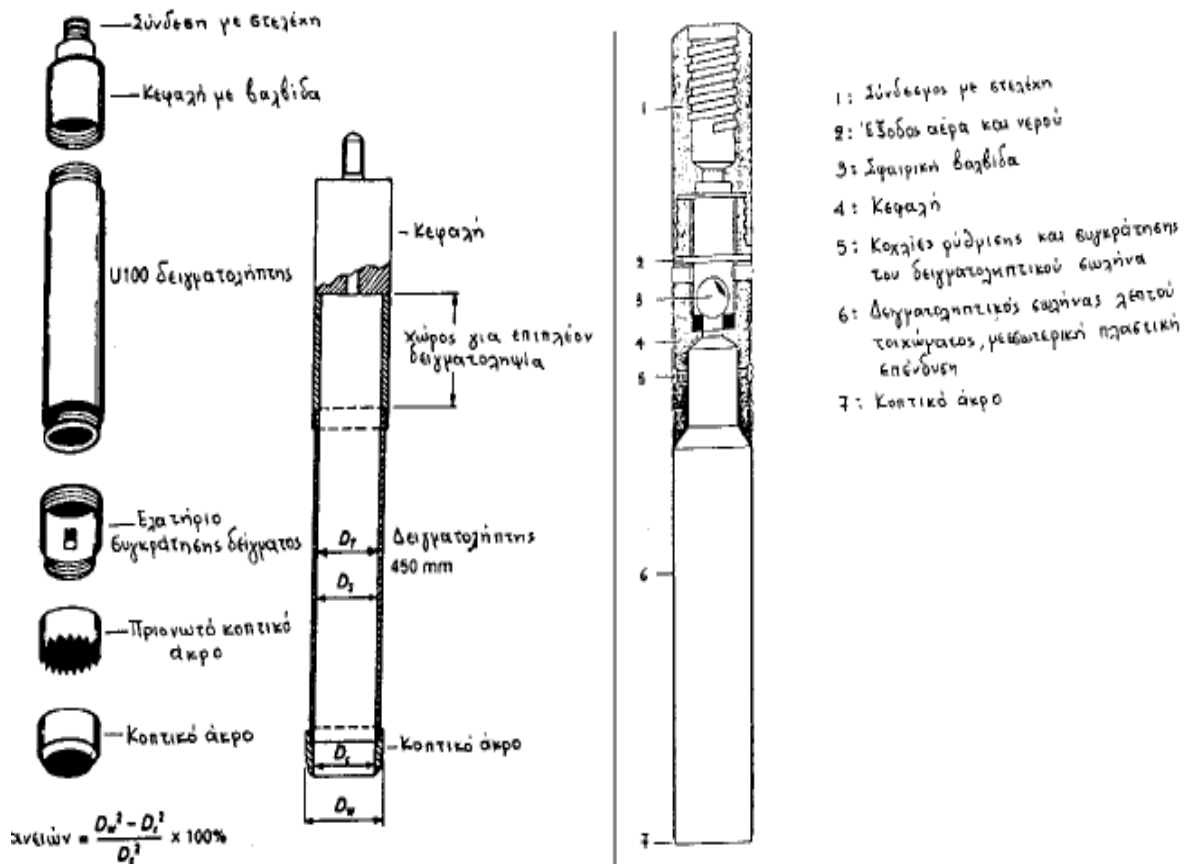
**Οι ράβδοι θλίψης** πιέζονται αργά-αργά με σταθερή ταχύτητα μέχρι 25m περίπου μέσα στο έδαφος, ενώ συγχρόνως μετριέται η συνολική αντίσταση και χωριστά η αντίσταση αιχμής, μηχανική ή ηλεκτρικά. Η διαφορά των δύο δίνει την τριβή στην παράπλευρη επιφάνεια, που η γνώση της έχει ιδιαίτερη σημασία στις πασσαλώσεις.

**Οι πτερυγοφόρες ράβδοι** διαθέτουν στο κάτω άκρο σταυρωτά πτερύγια. Αφού η ράβδος εισχωρήσει μέχρι το βάθος που θέλουμε να εξετάσουμε, περιστρέφεται αργά με σταθερή ταχύτητα, ενώ στο πάνω άκρο μετριέται η ροπή που απαιτείται για την απότμηση ενός κυλίνδρου από το έδαφος. Χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής χωρίς αποστράγγιση και της ευαισθησίας.

**Οι περιστροφικές ράβδοι** έχουν στην αιχμή τους περιστροφικό γεωτρύπανο μήκους περίπου 20 cm. Φορτίζονται κατακόρυφα και στρέφονται μέσα στο έδαφος, ενώ μετριοούνται η δύναμη και η ροπή που επιβάλλονται. Η αξιολόγηση γίνεται όπως και στις ράβδους κρούσης, εμπειρικά. Αν και με τις δοκιμαστικές ράβδους δεν παίρνουμε άμεσα αποτελέσματα, έχουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα.



Δίνουν την δυνατότητα βελτίωσης και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων απομακρυσμένων γεωτρήσεων με γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Επίσης με την βοήθεια εμπειρικών τύπων μπορούμε να βρούμε σχέσεις ανάμεσα στους κτύπους των ράβδων κρούσης, την πίεση των ράβδων θλίψης ή τις ροπές των περυγιοφόρων.



### 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

#### ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

##### 3.1. Γενικά

Στην κατηγορία των εδαφομηχανικών ασκήσεων ανήκουν οι εξής δοκιμές:

- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας
- Προσδιορισμός ειδικού βάρους
- Κοκκομετρική ανάλυση
- Όρια Atterberg
- Πορώδες – δείκτης πόρων

##### 3.1.1. Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας



Ως φυσική υγρασία ( $w$ ) ορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό ενός εδαφικού δείγματος ορίζεται ο λόγος του βάρους του περιεχομένου ύδατος ( $W_w$ ) προς το βάρος των στερεών συστατικών ( $W_s$ ) όπου συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό (%). Ο προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας είναι απαραίτητος κατά την επίλυση των γεωτεχνικών προβλημάτων, επειδή αυτή επηρεάζει την

συμπεριφορά των εδαφών και μάλιστα των συνεκτικών, ως προς την πλαστικότητα, τη συμπίκνωση, την αντοχή, τις καθιζήσεις κλπ.

#### Συσκευές

- Κλίβανος ξηράνσεως ελεγχόμενης με θερμοστάτη θερμοκρασίας, (συνήθως 110°C).
- Ζυγός όπου είναι ευαίσθητος 0.1% του βάρους του δείγματος.
- Υποδοχείας κατασκευασμένος από υλικό που αντέχει σε διάβρωση και θερμοκρασία και δεν υπόκειται σε μεταβολή του βάρους του.
- Ξηραντήρας.

#### Υλικά

Αντιπροσωπευτική ποσότητα εδαφικού δείγματος που εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων.

#### Διαδικασία δοκιμής

Καθαρίζουμε και στεγνώνουμε το δοχείο υγρασίας, το χαρακτηρίζουμε με κάποιον αριθμό ή σύμβολο και καταγράφουμε το βάρος του  $A=W_{\delta}$ . Επιλέγουμε αντιπροσωπευτικό δείγμα του υγρού εδάφους, το τοποθετούμε στο δοχείο υγρασίας και καταγράφουμε το βάρος του δοχείου με το υγρό δείγμα.  $B=W_{\delta}+W_{\text{εδ.υγ}}$ .

Προσέχοντας να μη ξηραθεί επιφανειακά το δείγμα τοποθετούμε το δοχείο υγρασίας στον κλίβανο ξηράνσεως και το αφήνουμε μέχρι επιτεύξεως σταθερού βάρους. Η θερμοκρασία του κλιβάνου ρυθμίζεται στους 105-110°C για τα ανόργανα εδάφη και 60°C για τα οργανικά. Απομακρύνουμε προσεκτικά από τον φούρνο το δοχείο υγρασίας με το ξηρό δείγμα, το ψύχουμε και καταγράφουμε το βάρος του  $\Gamma=W_{\delta}+W_{\text{εδ.ξηρ}}$  και τελειώνουμε με την επεξεργασία των δεδομένων.

### 3.1.2. Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους

Άλλη μια σημαντική εργαστηριακή άσκηση της εδαφομηχανικής είναι ο προσδιορισμός ειδικού βάρους στέρεων συστατικών ( $\gamma_s$ ). Ως ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους ορίζεται ο λόγος του βάρους των κόκκων προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού στην θερμοκρασία των 4 βαθμών κελσίου. Τα ειδικά βάρη κυμαίνονται από 2,65 - 2,85. Η γνώση του ειδικού βάρους  $\gamma_s$  και άλλων φυσικών χαρακτηριστικών όπως το πορώδες, ο δείκτης πόρων, η υγρασία και ο βαθμός κορεσμού επιτρέπει να προσδιοριστεί το μοναδιαίο φαινόμενο βάρος του εδάφους. Επίσης το ( $\gamma_s$ ) χρησιμοποιείται και για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων.

#### Συσκευές

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

#### Υλικά

Εδαφικό δείγμα και απεσταγμένο νερό

#### Διαδικασία δοκιμής

Για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους των στερεών συστατικών απαιτείται η γνώση του βάρους της φιάλης με σταθερό όγκο νερού σε διάφορες θερμοκρασίες. Στην συνέχεια καθαρίζουμε τη φιάλη και τη γεμίζουμε με αποσταγμένο νερό σε θερμοκρασία δωματίου, κλείνουμε το στόμιο της και την αναποδογυρίζουμε ώστε να αποκτήσει το νερό ομοιόμορφη θερμοκρασία. Ο

υπολογισμός του ειδικού βάρους των στερεών συστατικών εξαρτάται από το αν τα εδάφη είναι συνεκτικά ή μη συνεκτικά.

Στην περίπτωση που τα εδάφη είναι συνεκτικά ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Αρχικά αναμιγνύουμε το δείγμα εδάφους με την κατάλληλη ποσότητα αποσταγμένου νερού έως να σχηματιστεί ομοιογενές δείγμα, το οποίο πρέπει να ζυγίζει περίπου 50 gr εν ξηρό. Στην συνέχεια μεταφέρουμε το δείγμα μέσα στην ογκομετρική φιάλη και απομακρύνουμε το δεσμευμένο αέρα που τυχόν υπάρχει θερμαίνοντας την φιάλη στους 30°C και στην συνέχεια ψύχοντας την στην αρχική θερμοκρασία που είχαμε επιλέξει και ζυγίζουμε το βάρος ογκομετρική φιάλης και εδάφους και νερού ( $W_1$ ). Έπειτα μεταφέρουμε το μείγμα εδάφους – νερού σε έναν δίσκο βρασμού (τον οποίο έχουμε ζυγίσει πρώτα) και πλένουμε καλά την ογκομετρική φιάλη για τυχόν απώλειες. Εν τέλει ξηραίνουμε το έδαφος σε ξηραντήρα, ψύχουμε και ζυγίζουμε το πλεόν ξηρό βάρος εδάφους ( $W_s$ ). Το ξηρό βάρος του εδάφους υπολογίζεται με αφαίρεση του βάρους του δίσκου βρασμού από το βάρος του δίσκου βρασμού μαζί με το έδαφος.

Στην περίπτωση που τα εδάφη είναι μη συνεκτικά η διαδικασία υπολογισμού του ειδικού βάρους είναι η εξής: Αρχικά μέσα σε ογκομετρική φιάλη που είναι γεμάτη κατά το ήμισυ με νερό απιονισμένο προσθέτουμε περίπου 150 gr ξηραθέντος εδάφους και απομακρύνουμε τον δεσμευμένο αέρα με την ίδια διαδικασία όπως και στα συνεκτικά εδάφη. Στην συνέχεια ψύχουμε την φιάλη με το αιώρημα μέχρι μια θερμοκρασία που να βρίσκεται μέσα στο πεδίο της καμπύλης βαθμολογίας της φιάλης και προσθέτουμε νερό μέχρι την χαραγή της φιάλης. Έπειτα στεγνώνουμε το εξωτερικό της φιάλης και το εσωτερικό της πάνω από την στάθμη του νερού. Εν τέλει ζυγίζουμε την φιάλη με το περιεχόμενο μείγμα νερού – εδάφους και καταγράφουμε την θερμοκρασία αφού έχουμε βεβαιωθεί ότι αυτή είναι ομοιόμορφη σε όλη την φιάλη.

### 3.1.3. Κοκκομετρική Ανάλυση



Η κοκκομετρική ανάλυση είναι μία δοκιμή η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη για μη συνεκτικά εδάφη. Είναι μία μέθοδος προσδιορισμού των ποσοστών κατά βάρος των κόκκων που βρίσκονται μέσα στα όρια διαφόρων μεγεθών.

Χωρίζεται σε δύο μέρη: 1. Στην ανάλυση με κόσκινα χονδρόκοκκα με συνεκτικά και 2. Στην ανάλυση με υδρόμετρο – Μέθοδος Stokes – για λεπτόκοκκα συνεκτικά. Τα εδάφη διακρίνονται σε χονδρόκοκκα

(χάλικες, άμμοι), προερχόμενα κυρίως από μηχανική αποσάθρωση των πετρωμάτων και λεπτόκοκκα (άργιλοι, ιλύς), προερχόμενα από την χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων.

Ο διαχωρισμός ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες των εδαφών γίνεται ανάλογα με το μέγεθος της μέσης διαμέτρου των και εξαρτάται από το σύστημα κατατάξεως. Συνάγεται ότι η δοκιμή της κοκκομετρικής αναλύσεως χρησιμοποιείται στα πλαίσια ταξινομήσεως των εδαφών για να καθορίσει τα ποσοστά της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων του εδάφους και εκτελείται με την βοήθεια κοσκίων. Το μέγεθος τους εξαρτάται από τη διάμετρο του προς ανάλυση υλικού. Οι πληροφορίες που παίρνουμε από την κοκκομετρική ανάλυση μπορούν να μας διευκολύνουν στο να προβλέψουμε την συμπεριφορά των εδαφών, όσον αφορά την αντοχή και παραμόρφωση, την κίνηση του υπόγειου νερού, την απόκριση σε παγετό. Η σωστή ταξινόμηση των εδαφών μας βοηθά στην επιλογή των κατάλληλων υλικών για φίλτρα προστασίας και συγκράτησης γύρω από τεχνητές και φυσικές αποστραγγίσεις.

Στην πραγματικότητα δεν είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε το κάθε ένα διαφορετικό κοκκομετρικό μέγεθος αλλά το εύρος των διαφόρων μεγεθών που

συμμετέχουν στο δείγμα. Αυτό ολοκληρώνεται με το να πάρουμε την ποσότητα του υλικού που διέρχεται μέσα από ένα κόσκινο συγκεκριμένου ανοίγματος και συγκρατείται στο αμέσως μικρότερου ανοίγματος κόσκινο της σειράς. Στη συνέχεια συσχετίζουμε την ποσότητα αυτή με το συνολικό δείγμα.

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα, τετραγωνικών ανοιγμάτων των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 101.6mm, το οποίο κατακρατεί τα πλέον χονδρόκοκκα υλικά έως και 0.075mm (τυποποιημένο φίλτρο N<sub>o</sub>200), το οποίο είναι το φίλτρο με τις μικρότερες διαστάσεις και διαχωρίζει τα ιλυώδη- αργιλώδη υλικά από τα αμμώδη - χαλικώδη και έχει ουσιαστική σημασία στην ταξινόμηση του εδάφους. Συχνά είναι απαραίτητη η γνώση της κοκκομετρικής κατανομής του υλικού που διέρχεται το φίλτρο N<sub>o</sub>200 (ειδικά όταν το διερχόμενο ξεπερνάει το 12% του συνολικού δείγματος). Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται η υδραυλική δοκιμή (η οποία δεν βασίζεται στον μηχανικό διαχωρισμό αλλά στην ανάλυση με πυκνόμετρο και αραιόμετρο - μέθοδος Stokes).



Συχνά οι κόκκοι είναι κατά τέτοιο τρόπο προσανατολισμένοι ώστε παρόλο που το άνοιγμα του κόσκινου είναι μεγαλύτερο, δεν μπορούν να διέλθουν μέσα από αυτό και έτσι παραμένουν στο μεγαλύτερου μεγέθους κλάσμα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με κατάλληλη διάταξη δόνησης.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής δοκιμής παρουσιάζονται με την μορφή καμπύλης. Για να έχουμε καλύτερη εποπτεία της κατανομής και δυνατότητα σύγκρισης των διαφόρων εδαφών, χρησιμοποιείται η λογαριθμική κλίμακα, καθώς η λεπτόκοκκη μάζα έχει κλάσματα της τάξης των 2.00 mm (και μεγαλύτερα) έως και 0.075 mm (N<sub>o</sub>200) και έτσι απαιτείται μεγάλη κλίμακα για

να αποδοθούν όλα τα μεγέθη με την ίδια ακρίβεια. Η συνήθης πρακτική είναι η απεικόνιση του διερχόμενου ποσοστού στον κατακόρυφο άξονα και της διαμέτρου στον οριζόντιο. Επιπλέον, τα μεγέθη των κόκκων αυξάνονται από αριστερά προς τα δεξιά.

Είναι προφανές πως η κατανομή της κοκκομετρικής καμπύλης είναι προσεγγιστική. Αυτό οφείλεται στις αντικειμενικές δυσκολίες στο να συλλέξουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, επιπλέον, στο γεγονός της παρουσίας συσσωματώσεων κόκκων, στην ανομοιομορφία στο σχήμα των κόκκων και στον προσανατολισμό τους και τέλος στο γεγονός πως το πρόβλημα πρέπει να αντιμετωπιστεί με ένα περιορισμένο αριθμό κόσκινων.

Η ακρίβεια της ανάλυσης θα μπορούσε να αμφισβητηθεί κυρίως για τα δείγματα με μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Η συνήθης πρακτική είναι η διαδικασία της ξήρανσης σε φούρνο, η οποία ελάχιστα επηρεάζει τελικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από το αν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό και από το αν το δείγμα περιέχει συσσωματώματα κόκκων και όχι τα πιο στοιχειώδη κομμάτια.

Η καμπύλη που παίρνουμε από την παραπάνω διαδικασία είναι ικανοποιητική για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά μη συνεκτικών εδαφών, για την εύρεση του σχετικού ποσοστού κόκκων που περνά από το κόσκινο N<sub>o</sub>200 καθώς και για την ταξινόμηση των εδαφών.

Μία σειρά κόσκινων αποτελείται εν γένει από 6-7 κόσκινα με άνοιγμα το οποίο διπλασιάζεται από το κατώτερο στο ανώτερα (6, 12, 24 mm) ώστε να απεικονίζονται στο λογαριθμικό διάγραμμα σε ίσες αποστάσεις. Για απλοποίηση της διαδικασίας, επιτρέπεται κάποια από τα κόσκινα να παραληφθούν. Κάτι τέτοιο είναι αποδεκτό αφού η αυστηρή ακολουθία διπλασιασμού του μεγέθους δεν επηρεάζει την καμπύλη κατανομής και εξακολουθεί να διασφαλίζεται η στατιστική αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.



### Συσκευές

- Ζυγός ευαισθησίας 0.1% του βάρους του προς εξέταση δείγματος.
- Πρότυπα αμερικάνικα κόσκινα, τα πλέγματα των οποίων είναι τετραγωνικών οπών
- Δοχεία κατάλληλων μεγεθών
- Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας 110-115°C
- Μηχανή κοσκινίσματος
- Αναδευτήρας

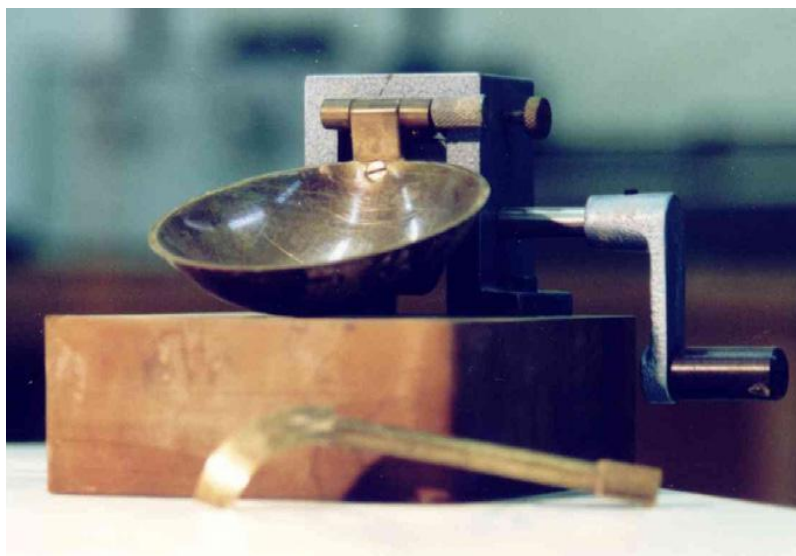
### Υλικά

Εδαφικά δείγματα για κοκκομετρική ανάλυση τα οποία έχουν προέλθει από την μέθοδο του τετραμερισμού.

### Διαδικασία δοκιμής

Καθαρίζονται τα κόσκινα και ο συλλέκτης από κόκκους και σκόνη, ζυγίζονται με ακρίβεια 0,1 gr και καταγράφεται το βάρος τους. Τοποθετούνται τα κόσκινα και ο συλλέκτης με τις διαμέτρους των οπών μειωμένες από πάνω προς τα κάτω. Ρίχνεται το προσεκτικά το δείγμα στο επάνω κόσκινο, μετά από συνεχή κίνηση 10 λεπτών απομακρύνονται τα κόσκινα και καταγράφεται το βάρος τους με το συγκρατούμενο έδαφος και τελειώνουμε με την επεξεργασία των δεδομένων.

### 3.1.4. Όρια Atterberg



Συσκευή Casagrande

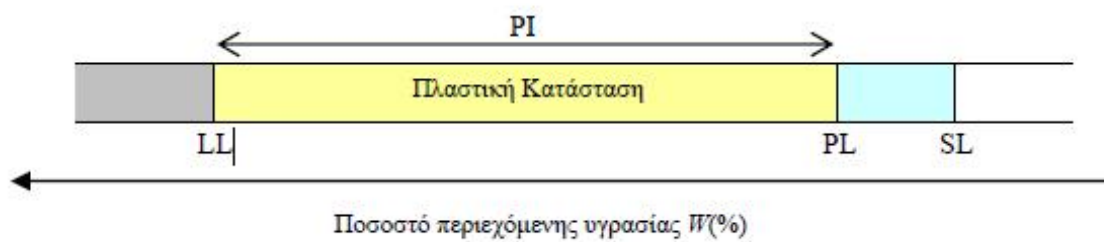
Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας έχουν προταθεί από τον A. Atterberg και περιγράφουν την μετάπτωση του εδάφους από την υγρή στην πλαστική και στην συνέχεια στην ημιστερεή και στην στερεή κατάσταση, σύμφωνα με τα ποσοστά της περιεχόμενης υγρασίας. Δείχνουν ουσιαστικά την συμπεριφορά ενός εδάφους ανάλογα με την μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας και καταδεικνύουν αν κάποιο έδαφος είναι ευαίσθητο στις μεταβολές της υγρασίας (χαρακτηριστικό που είναι υψηλού ενδιαφέροντος για υλικά που χρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας.). Η περιγραφή των ορίων είναι η εξής:

1) **Όριο υδαρότητας (LL ή  $w_L$ ):** Είναι η (%) τιμή της περιεχόμενης υγρασίας που χωρίζει την πλαστική από την υδαρή κατάσταση. Δηλαδή για περιεχόμενη υγρασία πάνω από το όριο υδαρότητας το έδαφος συμπεριφέρεται περισσότερο σαν ρευστή μάζα (λάσπη). Αμέσως κάτω από αυτό το όριο, το έδαφος θα συμπεριφέρεται ως εύπλαστο υλικό. Το όριο προσδιορίζεται με χρήση της συσκευής Casagrande και είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία τα τοιχώματα διαμορφωμένης εγκοπής δείγματος εδάφους που τοποθετείται στην συσκευή, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μετά από 25 κρούσεις.

2) **Όριο πλαστικότητας (PL ή  $w_p$ ):** Είναι η (%) τιμή της περιεχόμενης υγρασίας που χωρίζει την πλαστική από ισχνή κατάσταση. Εάν δηλαδή, η περιεχόμενη υγρασία είναι μεταξύ του ορίου πλαστικότητας και του ορίου υδαρότητας, το έδαφος θα συμπεριφέρεται ως εύπλαστο υλικό. Κάτω από αυτό το όριο, το έδαφος όντας κορεσμένα ή μη τείνει να είναι εύθρυπτο όταν επιχειρήσουμε να το πλάσουμε. Ο προσδιορισμός γίνεται με την εύρεση της περιεχόμενης υγρασίας σε εδαφικό δείγμα το οποίο θα αρχίσει να θρυμματίζεται όταν πλάθεται σε λεπτές ίνες, διαμέτρου 3 mm ή μικρότερες.

3) **Όριο συρρίκνωσης (SL):** Είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας κάτω από την οποία ο όγκος του εδαφικού δείγματος παραμένει σταθερός με συνεχιζόμενη ξήρανση. Για μικρότερη περιεκτικότητα νερού, το δείγμα παύει να είναι κορεσμένο.

Η επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας στη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τη συμπύκνωσή του και την ταχύτητα επιβολής της φορτίσεως. Στα χαλαρά ψαθυρά εδάφη η μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αντοχή τους, αν η επιβολή του φορτίου γίνει απότομα, ενώ αν γίνει αργά μπορεί να επιφέρει τη συμπύκνωσή τους και να προκαλέσει αύξηση της αντοχής. Αντίθετα στα συνεκτικά εδάφη η περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να μεταβάλει τελείως την συνεκτικότητα και το μέγεθος της διατμητικής αντοχής, διότι τα πεπλατυσμένα σωματίδιά τους έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν στην επιφάνειά τους νερό. Τα όρια Atterberg καθορίζουν τη μέγιστη υγρασία που μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια των σωματιδίων για να παρουσιάσουν συγκεκριμένη κατάσταση συνεκτικότητας (στερεά, ημιστερεά, πλαστική ή υδαρή).



### Όρια Atterberg

Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande και σε συνδυασμό με την μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές ASTM. Ειδικά το όριο συρρίκνωσης χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές όπου τα εδάφη υφίστανται μεγάλες αλλαγές στον όγκο τους όταν εναλλάσσονται κύκλοι υγρασίας και ξηρασίας.

Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg πραγματοποιούνται σε εδάφη που διέρχονται από το κόσκινο N<sub>60</sub>. Συνήθως τα δείγματα που παίρνουμε από την γεώτρηση χρειάζονται ξήρανση έτσι ώστε να διέρχονται από το κόσκινο N<sub>60</sub>. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί είτε πραγματοποιώντας τη διαδικασία του κοσκινίσματος με το περιεχόμενο υγρασίας που έχει το δείγμα στο πεδίο, είτε αφήνοντας το δείγμα να ανακτήσει τα πραγματικά του όρια μετά από 24 ή και 48 ώρες.

Μέσω των ορίων Atterberg προσδιορίζονται οι παρακάτω χαρακτηριστικές τιμές (δείκτες):

1) Δείκτης πλαστικότητας (PI): Είναι το εύρος της περιεχόμενης υγρασίας στο οποίο το έδαφος είναι πλαστικό. Όσο πιο λεπτομερές είναι το υλικό, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας. Μεγάλη τιμή του δείκτη πλαστικότητας δείχνει μεγάλο εύρος για την περιεχόμενη υγρασία, διατηρώντας το έδαφος σε πλαστική κατάσταση. Ο δείκτης:

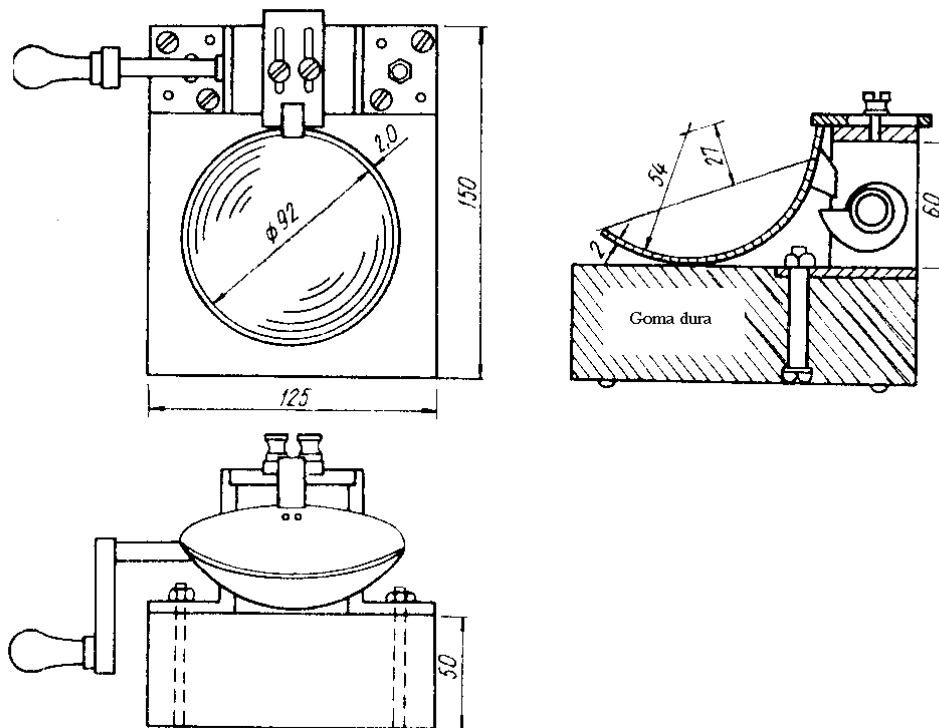
$$PI = LL - PL$$

2) **Δείκτης υδαρότητας (LI):** Μας επιτρέπει να συγκρίνουμε την πλαστικότητα ενός εδάφους με την περιεχόμενη υγρασία. Εάν LI=100% το έδαφος είναι στο όριο υδαρότητας, ενώ αν LI=0% το έδαφος είναι στο όριο πλαστικότητας. Ο δείκτης:

$$LI = (w_L - PL)/PI$$

### Εργαστηριακός προσδιορισμός ορίων

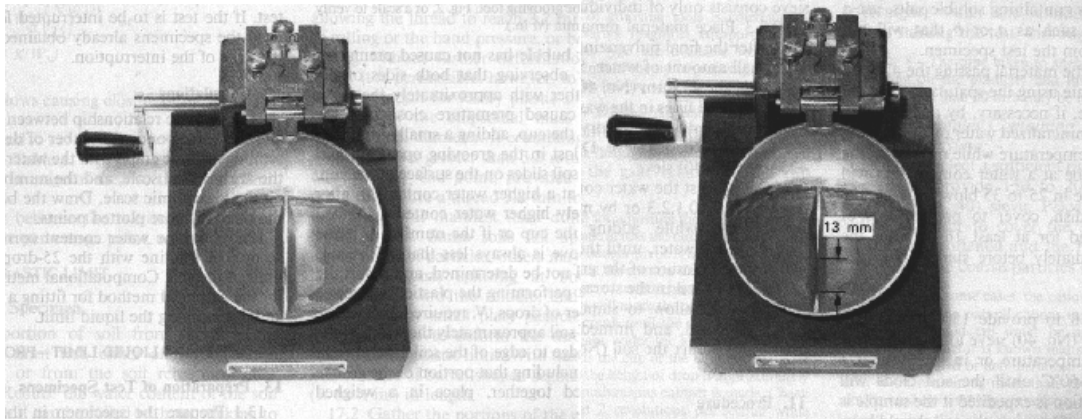
Θα χρησιμοποιείται όπως αναφέρθηκε το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο N<sub>o</sub>40 (0.425 mm). Το κοκκώδες – ξηρό υλικό, θα υγραίνεται ώστε να μεταβάλλεται η κατάσταση του. Με κατάλληλες μετρήσεις θα προσδιορίζουμε τα όρια Atterberg.



### Όριο υδαρότητας

Υγραίνουμε το δείγμα, το αναμιγνύουμε και το τοποθετούμε στην κάβα της συσκευής Casagrande έτσι ώστε να γεμίσει με δείγμα βάθους 1cm. Με το ειδικό εργαλείο χάραξης, χαράζουμε το δείγμα καθ'όλο το μήκος του. Με ταχύτητα 2 στροφές ανά δευτερόλεπτο (120 rpm) γυρίζουμε τον μοχλό ώστε η

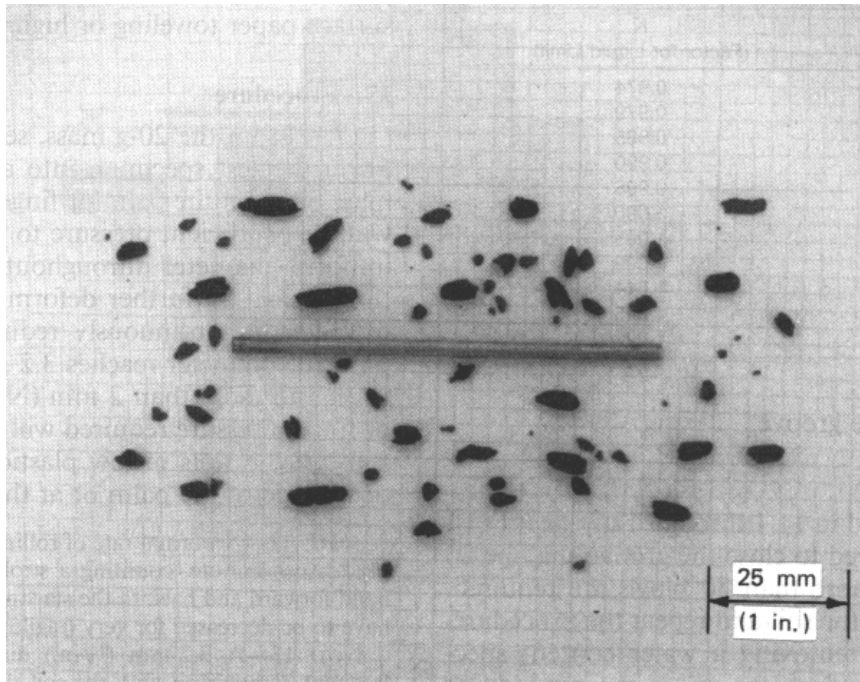
κάνα να πραγματοποιεί πτώσεις. Αν η χαραγή επουλώσει σε 25 κτύπους, τότε η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος είναι το όριο υδαρότητας. Επειδή είναι πρακτικά αδύνατο να καταφέρουμε να έχει το δείγμα περιεχόμενη υγρασία όσο το όριο υδαρότητας, η χαραγή θα επουλώνει σε διαφορετικό αριθμό από 25 χτύπους.



Δοκιμή ορίου υδαρότητας, (α) πριν την δοκιμή, (β) η χαραγή έχει επουλωθεί μετά το πέρας της δοκιμής (Bowles).

### **Όριο πλαστικότητας**

Υγραίνουμε το δείγμα και το πλάθουμε σε ίνες. Όταν οι ίνες θρυμματίζονται σε κομμάτια λίντσας (25mm), για διάμετρο ίνας = 3mm, η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος είναι το όριο πλαστικότητας (PL). Θα μεταβάλλουμε συνέχεια την ύγρανση του δείγματος πριν από κάθε δοκιμή, ώστε να «πετύχουμε» το όριο πλαστικότητας.



### Διαδικασία δοκιμής

Κλάσμα εδάφους (περίπου 100 gr) διερχόμενου από το κόσκινο N<sup>ο</sup>40 (οπής 0.4 mm) ζυμώνεται με τόσο νερό (περίπου 10-15 cm<sup>3</sup>), ώστε να σχηματιστεί μία μαλακή μάζα. Ανακατεύουμε καλά με τη σπαθίδα μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα.

Στη συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά η μεταλλική κάψα στη βάση της συσκευής . Απλώνεται το υλικό έτσι ώστε το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος να είναι 1cm. Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μία σταθερή διαδρομή του οργάνου χαράξεως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου , έτσι ώστε να σχηματιστεί μία καθαρή και απότομη χαραγή καταλλήλων διαστάσεων.

Γυρίζουμε το στρόφαλο (2 γύρους / sec) ώστε η λεκάνη να πέφτει ρυθμικά πάνω στο βάθρο του οργάνου μέχρις ότου η χαραγή κλείσει σε μήκος 12.7 mm (αναγράφεται ο αριθμός των κτύπων και υπολογίζεται η υγρασία του δείγματος). Διεξάγονται για κάθε δείγμα τρεις τουλάχιστον δοκιμές για διαφορετικές περιεκτικότητες νερού και για κτυπήματα > 10 και >40.

Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα(αριθμός κτύπων σε λογαριθμική κλίμακα και περιεχόμενης υγρασίας ως τετμημένη σε δεκαδική κλίμακα), όπου η σύνδεση των σημείων δίνει ευθεία γραμμή .

Το όριο υδαρότητας LL είναι η περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 25 κτύπους . Το όριο υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες.

### **Αναγνώριση - Ταξινόμηση εδαφικών υλικών**

Η διαδικασία της ταξινόμησης των εδαφικών υλικών είναι από τις σημαντικότερες διαδικασίες της γεωτεχνικής έρευνας. Πρόκειται ουσιαστικά για την διαδικασία αναγνώριση του υλικού και ταξινόμησής του σε κάποια από τις γνωστές κατηγορίες εδαφών. Το έδαφος είναι ένα υλικό που δεν έχει προδιαγεγραμμένες ιδιότητες.

### **Ταξινόμηση χονδρόκοκκων υλικών μέσω της κοκκομετρικής δοκιμής**

Το κόσκινο N<sub>o</sub>200 χρησιμοποιείται ως το διαχωριστικό όριο μεταξύ των χονδρόκοκκων υλικών (χαλίκια - άμμος) και των λεπτόκοκκων (ιλύς - άργιλος). Ένα εδαφικό δείγμα όπου ποσοστό μικρότερο από 50% συγκρατείται από το N<sub>o</sub>200 (διέρχεται ποσοστό άνω του 50%) χαρακτηρίζεται ως συνεκτικό έδαφος (ιλυώδες - αργιλώδες). Ωστόσο ένα υλικό όπου ποσοστό μεγαλύτερο από 50% συγκρατείται από το N<sub>o</sub>200 χαρακτηρίζεται κοκκώδες και η σημαντικότερο δοκιμή ταξινόμησης θα είναι η κοκκομετρική. Ειδικότερα όταν το ποσοστό των διερχόμενων από το N<sub>o</sub>200 είναι μικρότερο από 12% ή καλύτερα από το 5%, το εδαφικό δείγμα μπορεί να ταξινομηθεί μόνο με διενέργεια κοκκομετρικής δοκιμής.

Χρησιμοποιώντας 3 μόνο χαρακτηριστικά κόσκινα μπορεί να γίνει μία αρχική κατάταξη του δείγματος σε χαλίκια, άμμο ή ιλύς-άργιλο ως εξής:

- Το υλικό που συγκρατείται από το φίλτρο N<sub>o</sub>4 (47.5 mm) είναι τα χαλίκια.



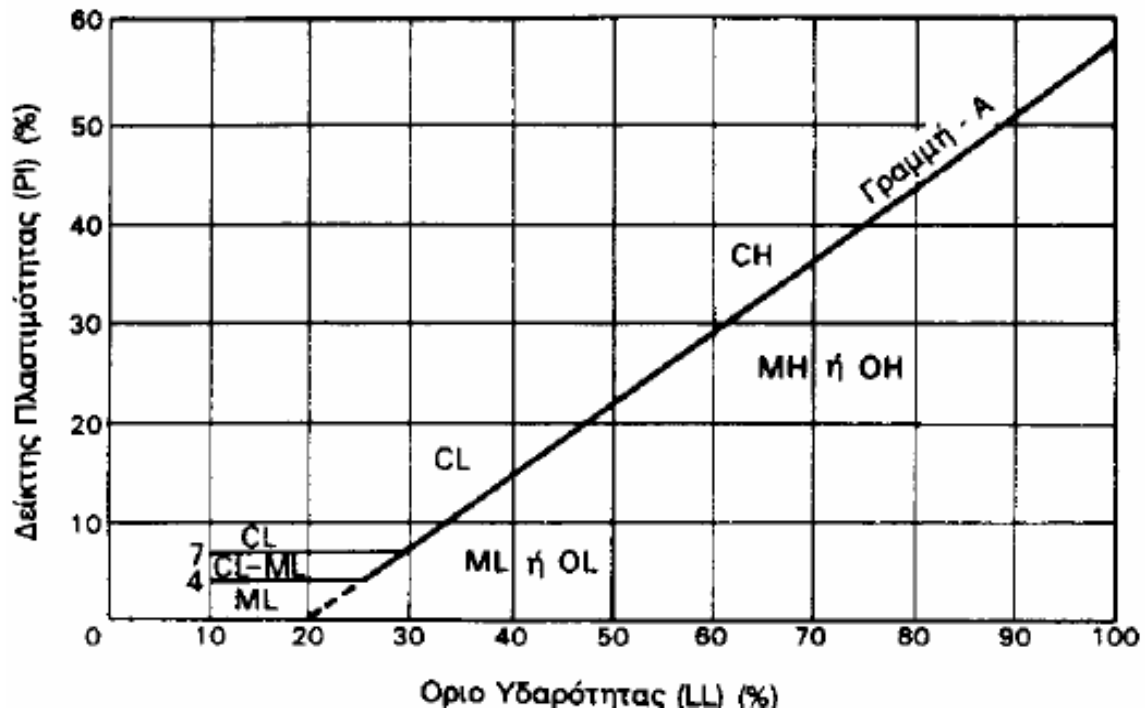
- Το υλικό που συγκρατείται μεταξύ των φίλτρων N<sub>o</sub>4 (47.5 mm) και N<sub>o</sub>200 είναι η άμμος.
- Το υλικό που διέρχεται του φίλτρου N<sub>o</sub>200 είναι ιλύς-άργιλος.

Εφόσον το υλικό που διέρχεται του φίλτρου N<sub>o</sub>200 είναι μικρότερο από 50% και το ποσοστιαίο υλικό των χαλικιών είναι μεγαλύτερο από το ποσοστιαίο υλικό της άμμου, τότε έχουμε Χαλίκια. Στην αντίθετη περίπτωση (ποσοστό άμμου > ποσοστό χαλικιών) έχουμε άμμο. Ανάλογα με τις προσμίξεις του υλικού μπορούμε να μιλάμε π.χ. για Ιλυώδης άμμος ή άμμος με άργιλο ή χαλίκια με ιλύς και άμμο κλπ (βλ. παρακάτω παράγραφο - ταξινόμηση κατά ASTM).

Επιπλέον μέσω των μεγεθών της κοκκομετρικής καμπύλης C<sub>u</sub> και C<sub>c</sub>, μπορούμε να χαρακτηρίζουμε το υλικό σαν καλής ή κακής διαβάθμισης. Εάν το λεπτόκοκκο υλικό (διερχόμενο του N<sub>o</sub>200) είναι μεγαλύτερο από 5% θα πρέπει η ταξινόμηση για να είναι πλήρης να συμπληρώνεται με τα αποτελέσματα της κατάταξης λεπτόκοκκων σύμφωνα με τον χάρτη του Casagrande.

### **Ταξινόμηση λεπτόκοκκων υλικών μέσω του χάρτη πλαστικότητας “Casagrande”**

Η ταξινόμηση των λεπτόκοκκων υλικών θα γίνεται με χρήση του χάρτη πλαστικότητας “Casagrande” Με την μεθοδολογία αυτή είναι δυνατή η ταξινόμηση των συνεκτικών εδαφών (με διερχόμενο από το N<sub>o</sub>200 άνω του 50%) καθώς και η ακριβέστερη ταξινόμηση μη συνεκτικών εδαφών όπου το διερχόμενο από το N<sub>o</sub>200 είναι άνω του 5%.



Χάρτης πλαστικότητας Casagrande

Η ονοματολογία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

- CL** Ισχνή άργιλος.
- ML** Ιλύς.
- CL - ML** Ιλυώδης άργιλος.
- CH** Παχιά άργιλος.
- MH** Ελαστική ιλύς.
- OH - OL** Οργανική ιλύς ή άργιλος.

## Ταξινόμηση εδαφών κατά ASTM

Η ταξινόμηση των εδαφών κατά ASTM είναι μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία ταξινόμησης των εδαφικών υλικών και στηρίζεται σε εργαστηριακές δοκιμές. Βασίζεται στην χρήση πινάκων κατάταξης όπου ο μελετητής προσπαθεί να ταυτοποιήσει τις ιδιότητες του υλικού με κάποια κατηγορία. Οι απαραίτητες δοκιμές για την ταξινόμηση είναι οι παρακάτω:

- Κοκκομετρική δοκιμή. Χρησιμοποιείται η βασική σειρά των κόσκινων ώστε να μπορούν να διαχωριστούν τα ποσοστά χαλικιών, άμμου και λεπτόκοκκων καθώς και προσδιορισμός με σχετική ακρίβεια των μεγεθών της κοκκομετρικής καμπύλης ( $C_c$ ,  $C_u$ ).
- Προσδιορισμός των ορίων Atterberg του λεπτόκοκκου κλάσματος (διερχόμενου του  $N_{60}$ ).
- Προσδιορισμός του ποσοστού των οργανικών με χημικές μεθόδους.
- Στην περίπτωση οργανικών, προσδιορισμός του λόγου  $LL_{\text{αποξηρ. σε φούρνο}} / LL_{\text{μη αποξηραμένο}}$ . Εάν αυτός ο λόγος είναι μικρότερος από 0.75 θα γίνεται ταξινόμηση οργανικών υλικών αν όχι θα ακολουθείται η συνήθης ταξινόμηση για μη οργανικά.

Πίνακες ταξινόμησης κατά ASTM

ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ		ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	ΧΑΛΙΚΙΑ (λιγότερο από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο No4)	GW	Χαλίκια καλά διαβαθμισμένο με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		GP	Χαλίκια κακής διαβάθμισης με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		GM	Χαλίκια ιλυώδη, μίγμα χαλικιών, άμμου και ιλύος.
		GC	Ιλυώδης άργιλος, μίγμα χαλικιών, άμμου και αργίλου.
	ΑΜΜΟΣ (πάνω από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο No4)	SW	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		SP	Άμμος κακής διαβάθμισης με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		SM	Ιλυώδης Άμμος.
		SC	Αργιλώδης Άμμος.
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ Όριο υδαρότητας 50% ή μικρότερο	ML	Ανόργανη ιλύς, λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδης ή αργιλώδης λεπτόκοκκη άμμος.
		CL	Ανόργανη άργιλος μικρής ή μέσης πλαστιμότητας, χαλικώδης άργιλος, αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος, ισχνή άργιλος.
		OL	Οργανική ιλύς και οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστιμότητας.
	ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ Όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 50%	MH	Ανόργανη ιλύς, μαρμαρυγικά ή λεπτόκοκκα αμμώδη ή ιλυώδη εδάφη, ελαστική ιλύς.
		CH	Ανόργανη άργιλος μεγάλης πλαστιμότητας, παχιά άργιλος.
		OH	Οργανική άργιλος με μέση ως μεγάλη πλαστιμότητα.
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΔΑΦΗ	PT	Χούμος, τύρφη και άλλα έντονα οργανικά εδάφη.	

### 3.1.5. Πορώδες – Δείκτης κενών

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

Ο δείκτης των κενών ορίζεται σαν τον λόγο των κενών προς το όγκο των στερεών  $e=V_v/V_s$ .

Και τα δύο εκφράζονται σε ποσοστό επί τοις  $\%$ . Επειδή για τον ακριβή προσδιορισμό των  $n$  και  $e$  θέλουμε αδιατάρακτα εδάφη, στα κοκκώδη εδάφη είναι προφανές ότι η λήψη αδιατάρακτου δείγματος είναι αδύνατη. Το πορώδες σχετίζεται άμεσα με την διαπερατότητα, φαινόμενο βάρους, την τριχοειδή ανύψωση και άλλα εδαφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι οι τιμές του πορώδες κυμαίνονται από 20-85%, ενώ ο δείκτης πόρων μπορεί να παίρνει τιμές γύρω στην μονάδα. Επίσης το πορώδες και ο δείκτης πόρων σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους και συνδέονται με τις σχέσεις:

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

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

Γι' αυτό εισάγουμε τον δείκτη σχετικής πυκνότητας  $D_r$ .

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

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

$e_D$ : τιμή  $e$  για την συμπαγή κατάσταση του εδάφους.

### Συσκευές

- Ογκομετρικός κύλινδρος 200 ml
- Πυκνόμετρο για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους
- Θερμόμετρο
- Σπαθίδα
- Υποδοχείς
- Κλίβανος
- Δοχείο τήξεως παραφίνης
- Ζυγός ικανότητας 200 gr ή περισσότερο και ακρίβεια 0.01 gr

### Υλικά

- Εδαφικό αδιατάρακτο
- Νερό απεσταγμένο
- Παραφίνη

### Διαδικασία δοκιμής

Καθαρίζουμε καλά τον ογκομετρικό κύλινδρο και γεμίζουμε τα  $\frac{3}{4}$  με απεσταγμένο νερό, διαβάζουμε και καταγράφουμε ακριβώς την αρχική στάθμη του νερού, παίρνουμε ένα κομμάτι του προς εξέταση δείγματος εδάφους με τέτοιο σχήμα ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί εύκολα στον ογκομετρικό κύλινδρο και το ζυγίζουμε με ακρίβεια 0.01 gr. Στην συνέχεια βαπτίζουμε το δείγμα μέσα σε λειωμένη παραφίνη έτσι ώστε να καλυφθεί με λεπτό υμένα. Ζυγίζουμε το παραφινομένο πλέον δείγμα και το τοποθετούμε μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο με νερό και σημειώνουμε την ένδειξη της νέας στάθμης του νερού. Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία για τουλάχιστον 3 φορές. Στο τέλος προσδιορίζουμε την υγρασία και το ειδικό βάρος του εδάφους.

#### 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

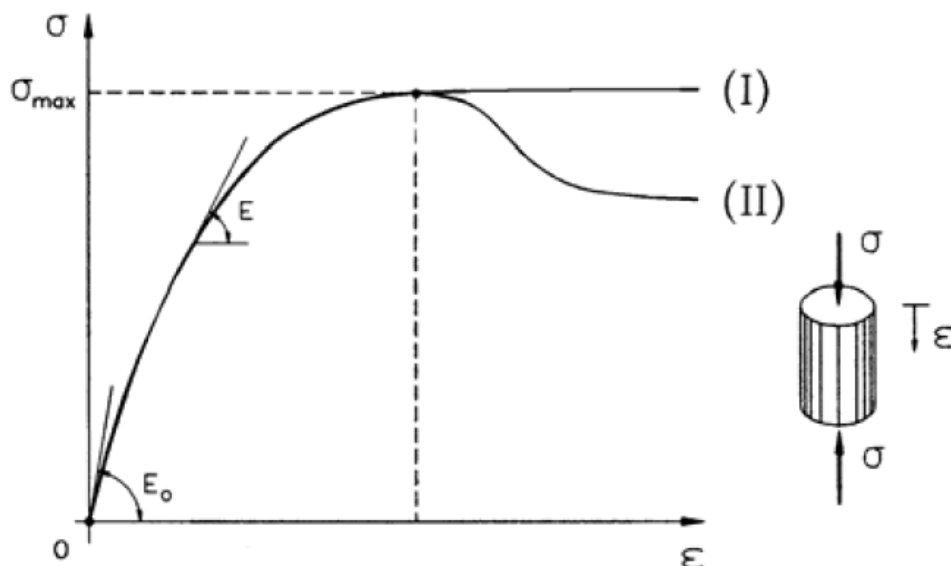
##### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ (ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ – ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗ ΣΥΣΚΕΥΗ) ΤΟΥ Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ.



Όταν σε ένα εδαφικό υλικό (όπως και σε οποιοδήποτε άλλο υλικό) επιβληθούν εξωτερικά φορτία, αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις. Το Σχήμα 1 παρουσιάζει τη μορφή μιας τυπικής καμπύλης τάσεων - παραμορφώσεων που προκύπτει κατά τη μονοαξονική θλίψη ενός κυλινδρικού δοκιμίου αργίλου. Η καμπύλη είναι όμοια με αντίστοιχες καμπύλες άλλων υλικών όπως το σκυρόδεμα, ο χάλυβας, τα πλαστικά υλικά κλπ. Το αρχικό τμήμα της είναι πρακτικά ευθύγραμμο με μέτρο ελαστικότητας  $E_0$ , ενώ στη συνέχεια η θλιπτική τάση αυξάνει με βαθμιαία μειούμενο ρυθμό, οπότε το μέτρο ελαστικότητας  $E$  μικραίνει. Με περαιτέρω αύξηση της παραμόρφωσης,

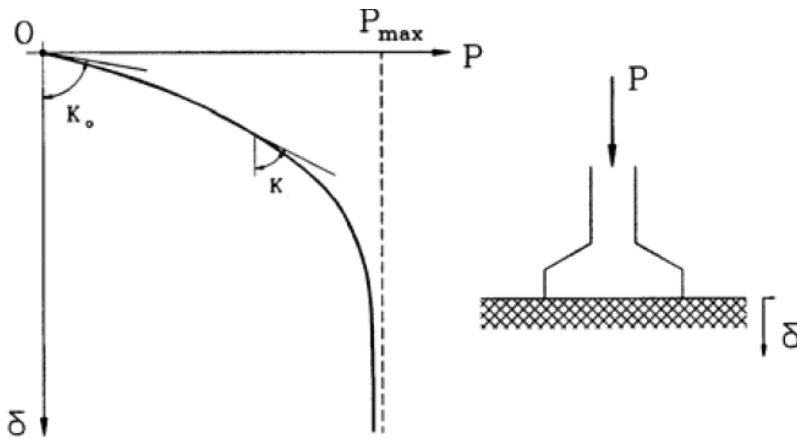
το υλικό φθάνει σε μία κατάσταση στην οποία η παραμόρφωση δεν συνοδεύεται πλέον από αντίστοιχη αύξηση της τάσης, αλλά είτε η τάση παραμένει σταθερή (I) είτε βαθμιαία μειώνεται (II). Η κατάσταση αυτή ονομάζεται κατάσταση αστοχίας και αντιστοιχεί στη μέγιστη φόρτιση που μπορεί να αναληφθεί από το υλικό. Η κατάσταση αστοχίας του εδάφους έχει καταστροφικές συνέπειες στα έργα Πολιτικού Μηχανικού, επειδή συνοδεύεται από σημαντικές παραμορφώσεις που υπερβαίνουν τις ανοχές των συνήθων κατασκευών. Το Σχήμα 2 παρουσιάζει την καμπύλη φορτίου - υποχώρησης ενός θεμελίου με αξονική φόρτιση το οποίο εδράζεται σε αμμώδες εδαφικό υλικό. Η μορφή της καμπύλης είναι όμοια με την καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων του Σχήματος 1. Με την αύξηση του φορτίου η υποχώρηση αυξάνει με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό, δηλαδή η κλίση  $K$  της καμπύλης μειώνεται. Όταν τελικά το φορτίο φθάσει την τιμή  $P_{max}$ , το έδαφος θεμελίωσης αστοχεί, δηλαδή η υποχώρηση αυξάνει ανεξέλεγκτα και το θεμέλιο "βυθίζεται"

Σχήμα 1 Καμπύλη φόρτισης αργίλου





Σχήμα 2 Καμπύλη φορτίου-υποχώρησης θεμελίου



στο έδαφος. Στο πρώτο παράδειγμα (Σχήμα 1) η αστοχία αφορά ένα εδαφικό στοιχείο στο οποίο επιβάλλεται μία ορισμένη εντατική κατάσταση ( $\sigma'_{zz} = \sigma_{max}$ ,  $\sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = \sigma'_{xy} = \sigma'_{yz} = \sigma'_{xz} = 0$ ) ή, ακριβέστερα, η αστοχία αφορά όλα τα εδαφικά στοιχεία του δοκιμίου επειδή έχουν την ίδια εντατική κατάσταση. Στο δεύτερο παράδειγμα (Σχήμα 2) η φόρτιση του θεμελίου προκαλεί την ανάπτυξη τάσεων στο έδαφος κάτω από το θεμέλιο, αλλά η ένταση των αναπτυσσόμενων τάσεων ποικίλει από θέση σε θέση. Στην περίπτωση αυτή η αστοχία του εδάφους συνδέεται με την αστοχία πολλών εδαφικών στοιχείων σε μια εκτεταμένη περιοχή κάτω από το θεμέλιο. Τα στοιχεία αυτά έχουν διαφορετικές εντατικές καταστάσεις, οι οποίες όμως είναι όλες καταστάσεις αστοχίας, δηλαδή κάθε εδαφικό στοιχείο στη ζώνη αστοχίας δεν μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερες τάσεις αλλά παραμορφώνεται απεριόριστα με το συγκεκριμένο συνδυασμό τάσεων της κατάστασης στην οποία ευρίσκεται.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι για κάθε (εδαφικό) υλικό υπάρχουν ορισμένοι συνδυασμοί τάσεων που οδηγούν σε απεριόριστες παραμορφώσεις. Οι συνδυασμοί αυτοί ονομάζονται εντατικές καταστάσεις αστοχίας. Το σύνολο των εντατικών καταστάσεων αστοχίας (δηλαδή το σύνολο των σημείων στον εξαδιάστατο χώρο των τάσεων) σχηματίζει μία "επιφάνεια" που ονομάζεται περιβάλλουσα των καταστάσεων αστοχίας ή, απλά, περιβάλλουσα αστοχίας.

Είναι προφανές ότι, εφόσον οι καταστάσεις αστοχίας συνδέονται με την παραμόρφωση του εδάφους, πρέπει να εκφράζονται ως προς τις ενεργές τάσεις,

σύμφωνα με την αρχή των ενεργών τάσεων. Έτσι, οι εντατικές καταστάσεις αστοχίας εκφράζονται από συνδυασμούς των ενεργών τάσεων. Ο προσδιορισμός του συνόλου των εντατικών καταστάσεων αστοχίας ενός εδαφικού υλικού είναι πολύ σημαντικός για την ασφάλεια των έργων, επειδή η σύγκριση των εντατικών καταστάσεων που αναπτύσσονται στο έδαφος λόγω των επιβαλλόμενων φορτίων με τις αντίστοιχες καταστάσεις αστοχίας δίνει το βαθμό ασφαλείας του έργου, δηλαδή τα περιθώρια ασφαλείας του έργου σε σχέση με την κατάσταση αστοχίας. Θα πρέπει να τονισθεί ότι υπάρχουν συνδυασμοί τάσεων που δεν οδηγούν σε αστοχία, όσο και αν αυξηθούν οι τάσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η ισότροπη συμπίεση, δηλαδή η κατάσταση κατά την οποία:

$$\sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = \sigma'_{zz} = p, \sigma'_{xy} = \sigma'_{zx} = \sigma'_{yz} = 0$$

Στην περίπτωση αυτή, όσο και αν αυξηθεί η ισότροπη πίεση  $p$ , το υλικό δεν αστοχεί (δηλαδή δεν παραμορφώνεται απεριόριστα). Μία άλλη εντατική κατάσταση που δεν οδηγεί σε αστοχία είναι η μονοδιάστατη συμπίεση. Στην περίπτωση αυτή με την αύξηση του φορτίου το υλικό "σκληραίνει" (η παραμορφωσιμότητά του μειώνεται) και δεν αστοχεί. Αντίθετα, η μονοαξονική θλίψη αλλά και άπειροι άλλοι συνδυασμοί τάσεων οδηγούν σε αστοχία, όταν οι τάσεις αυξηθούν "επαρκώς".

Στα επόμενα εδάφια μελετώνται οι συνδυασμοί των (ενεργών) τάσεων που οδηγούν σε αστοχία και προσδιορίζεται ποσοτικά η "επαρκής" ένταση που αναφέρθηκε προηγουμένως.

## ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΚΟΚΚΩΔΗ

### ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

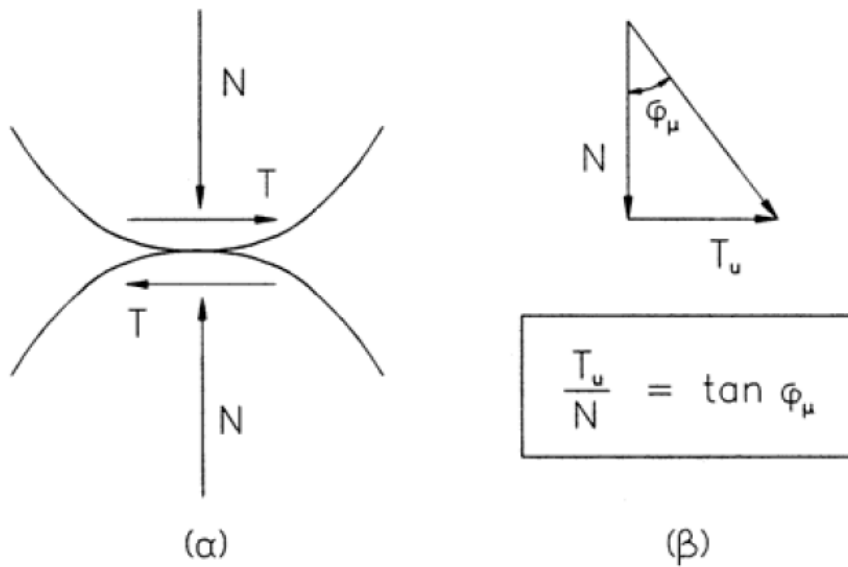
Τα κοκκώδη εδαφικά υλικά αποτελούνται από ασύνδετους ή χαλαρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους που σχηματίζουν τον εδαφικό σκελετό. Τα εξωτερικώς επιβαλλόμενα φορτία αναλαμβάνονται από τον εδαφικό σκελετό με την ανάπτυξη ορθών και διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων και

οδηγούν σε παραμορφώσεις που κυρίως οφείλονται σε ολισθήσεις και κυλίσεις μεταξύ των κόκκων. Είναι προφανές ότι η τριβή μεταξύ των κόκκων επηρεάζει σημαντικά την παραμόρφωση των εδαφικών υλικών. Ένας άλλος παράγοντας που επίσης συντελεί στην παραμόρφωση των εδαφών είναι η πραγματική συνοχή, η "συγκόλληση" δηλαδή των κόκκων λόγω ηλεκτροχημικών ή άλλων δυνάμεων. Στα αμμώδη εδαφικά υλικά η τριβή αποτελεί τον κύριο παράγοντα παραμορφώσεων, επειδή η επιρροή της πραγματικής συνοχής είναι αμελητέα, με εξαίρεση τις λεγόμενες "σιμεντωμένες" άμμους. Το Σχήμα 3α παρουσιάζει την επαφή μεταξύ δύο κόκκων αμμώδους υλικού και τις ορθές (N) και διατμητικές (T) δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των κόκκων. Ο θεμελιώδης νόμος της μηχανικής τριβής καθορίζει ότι για κάθε τιμή της ορθής δύναμης (N) ορίζεται η διατμητική αντοχή ( $T_a$ ) της επαφής μεταξύ των κόκκων από τη σχέση:

$$T_a = N \cdot \tan\varphi_\mu$$

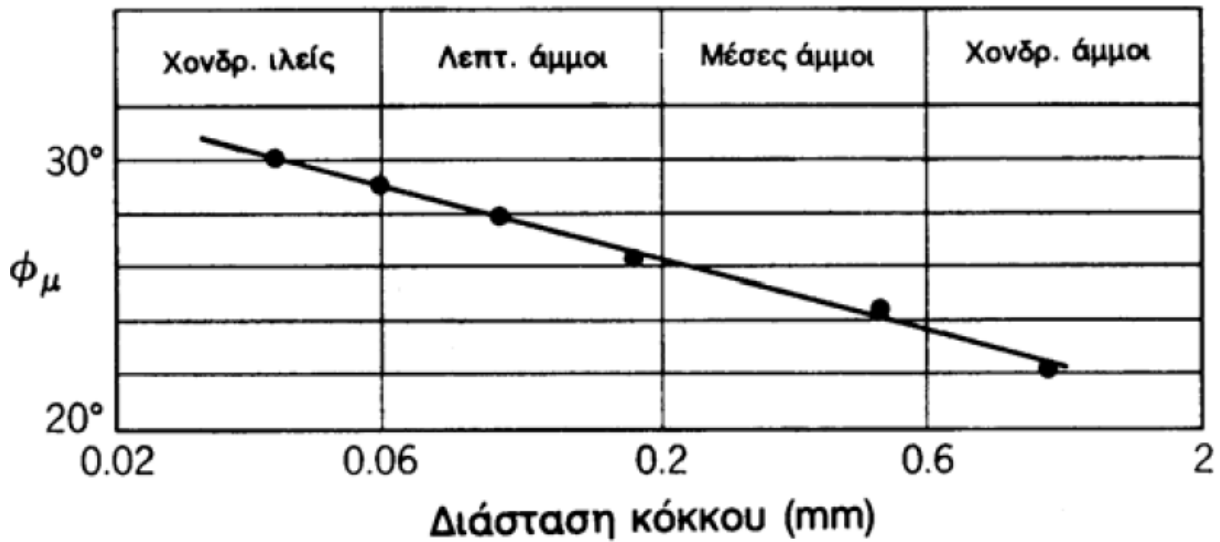
έτσι ώστε, αν η πραγματική διατμητική δύναμη (T) είναι μικρότερη από τη διατμητική αντοχή ( $T_a$ ), η επαφή μεταξύ των κόκκων είναι ευσταθής, ενώ, αν  $T = T_a$ , παρατηρείται ολίσθηση μεταξύ των κόκκων (υπέρβαση της διατμητικής αντοχής) και αναδιάταξή τους σε μία νέα δομή στην οποία η διατμητική δύναμη είναι μικρότερη από τη διατμητική αντοχή. Ο συντελεστής ( $\tan\varphi_\mu$ ) είναι σταθερά, χαρακτηριστική του υλικού των κόκκων, η οποία εξαρτάται από τον τύπο και την ομαλότητα της επιφάνειας επαφής μεταξύ των κόκκων και η γωνία  $\varphi_\mu$  ονομάζεται πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων (Σχήμα 3β).

Σχήμα 3 Δυνάμεις μεταξύ των κόκκων

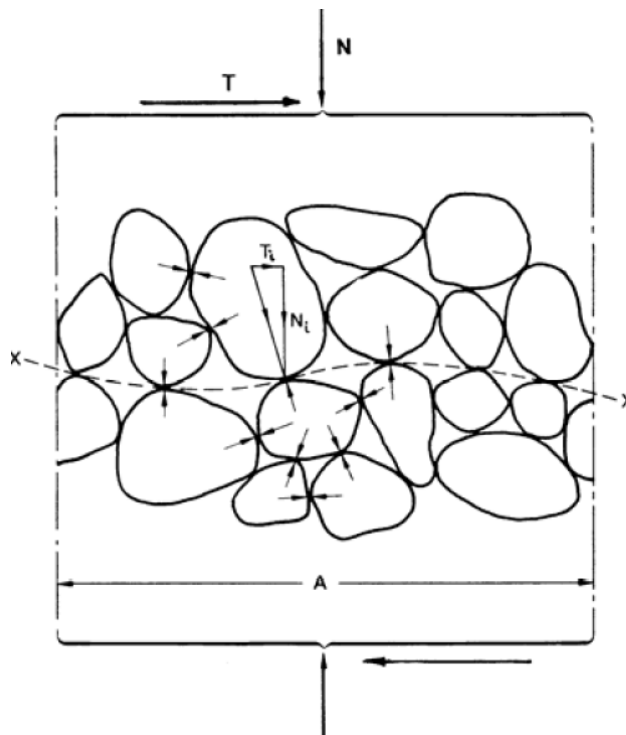


Εργαστηριακές μετρήσεις αποδεικνύουν ότι η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων εξαρτάται και από το μέγεθος των κόκκων. Το Σχήμα 4 παρουσιάζει τυπικές τιμές της πραγματικής γωνίας τριβής χαλαζιακών κόκκων ως προς τη διάσταση των κόκκων. Εάν σε ένα δοκίμιο κοκκώδους εδαφικού υλικού (που αποτελείται από πολλούς κόκκους) επιβληθούν εξωτερικά μία ορθή δύναμη (N) και μία διατμητική δύναμη (T) (βλέπε Σχήμα 5), στις επαφές μεταξύ των κόκκων θα αναπτυχθούν ορθές δυνάμεις (N<sub>i</sub>) και διατμητικές δυνάμεις (T<sub>i</sub>). Το μέγεθος των δυνάμεων N<sub>i</sub> και T<sub>i</sub> είναι διαφορετικό σε κάθε θέση και ικανοποιεί (προφανώς) τις στερεοστατικές συνθήκες ισορροπίας σε οποιοδήποτε τμήμα του δοκιμίου.

Σχήμα 4 Γωνία τριβής υλικού κόκκων



Σχήμα 5 Δυνάμεις μεταξύ των κόκκων



Λόγω της ποικιλίας των σχημάτων και μεγεθών των κόκκων του εδαφικού υλικού, στις επαφές μεταξύ των κόκκων αναπτύσσονται ορθές και διατμητικές δυνάμεις ακόμη και στην περίπτωση που εξωτερικά επιβάλλεται μόνον ορθή δύναμη (N). Βεβαίως, όσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερικώς επιβεβλημένη ορθή δύναμη (N) τόσο αυξάνει ο μέσος όρος των ορθών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων, όπως επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερικώς

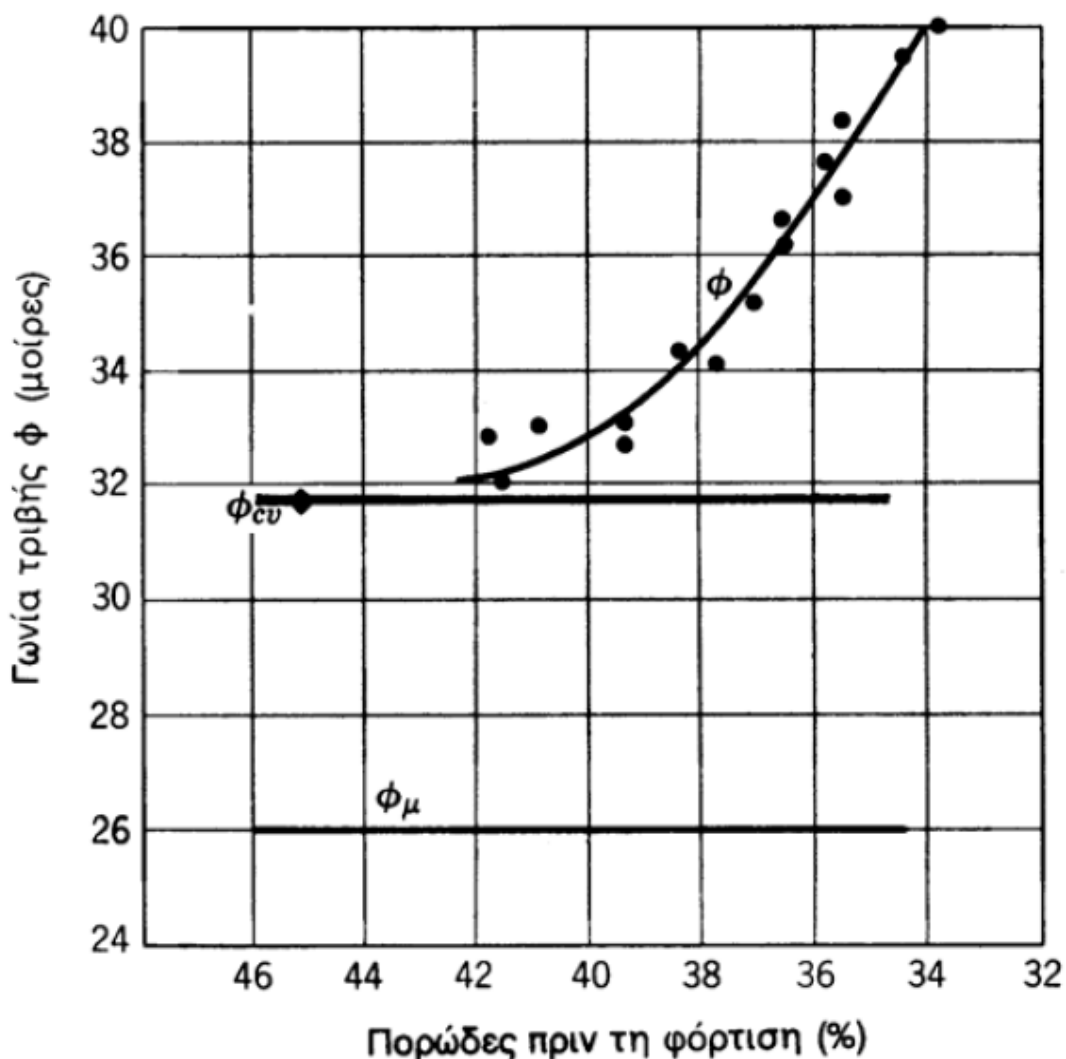
επιβεβλημένη διατμητική δύναμη (T) τόσο αυξάνει ο μέσος όρος των διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων. Εάν, λοιπόν, η εξωτερικώς επιβεβλημένη διατμητική δύναμη είναι αρκετά μεγάλη, τότε κάποιες από τις διατμητικές δυνάμεις μεταξύ των κόκκων θα υπερβούν τη διατμητική αντοχή της επαφής μεταξύ των κόκκων. Κατά συνέπεια, το ποσοστό των επαφών μεταξύ των κόκκων στις οποίες η διατμητική δύναμη υπερβαίνει τη διατμητική αντοχή της επαφής (δηλαδή:  $T_i/N_i = \tan\varphi_\mu$ ) αυξάνει όσο αυξάνει ο λόγος  $T/N$ . Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ακόμη και στην περίπτωση της ισότροπης συμπίεσης (οπότε  $T = 0$ ), σε κάποιο (μικρό) ποσοστό επαφών κόκκων συμβαίνει υπέρβαση της διατμητικής αντοχής του υλικού και, συνεπώς, ολισθήσεις. Οι ολισθήσεις αυτές, αν και διατμητικές σε μικροσκοπική κλίμακα, μακροσκοπικά (δηλαδή στη διάσταση του δοκιμίου) εμφανίζονται με τη μορφή ισότροπης συμπίεσης του εδαφικού υλικού. Με την αύξηση του λόγου  $T/N$ , το ποσοστό των επαφών των κόκκων που ολισθαίνουν αυξάνει και η παραμόρφωση του εδάφους μακροσκοπικά παρουσιάζει μία ισότροπη συνιστώσα (συμπίεση) και μία διατμητική συνιστώσα (στρέβλωση), η συμμετοχή της οποίας διαρκώς αυξάνεται. Τελικά, για κάποια τιμή του λόγου  $T/N$  ολισθαίνει ένα σημαντικό ποσοστό των επαφών μεταξύ των κόκκων, ώστε η μακροσκοπική παραμόρφωση του υλικού να εμφανίζεται σαν μια γενικευμένη ολίσθηση (απεριόριστη διατμητική παραμόρφωση). Στην κατάσταση αυτή το δοκίμιο δεν μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερη διατμητική δύναμη, έχει δηλαδή αστοχήσει μακροσκοπικά. Η εξωτερικώς επιβεβλημένη διατμητική δύναμη ( $T_\alpha$ ) στην κατάσταση αστοχίας ονομάζεται διατμητική αντοχή του υλικού και εξαρτάται από την ορθή δύναμη (N). Πειραματικές μετρήσεις δείχνουν ότι ο λόγος  $T/N$  u κατά την αστοχία είναι σταθερός και μπορεί να γραφεί με τη μορφή:

$$T_\alpha = N \cdot \tan\varphi$$

όπου η γωνία  $\varphi$  ονομάζεται (μακροσκοπική) γωνία τριβής του εδαφικού υλικού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η γωνία τριβής ( $\varphi$ ) εξαρτάται από την πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων ( $\varphi_\mu$ ), χωρίς όμως γενικά να ισούται με

αυτή. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων ( $\phi_{\mu}$ ), τόσο μεγαλύτερη είναι και η γωνία τριβής του εδαφικού υλικού ( $\phi$ ) όταν οι υπόλοιπες συνθήκες είναι ίδιες. Τέλος, η γωνία ( $\phi$ ) δεν είναι ιδιότητα του υλικού επειδή εξαρτάται και από την επιτόπου κατάσταση του υλικού: π.χ. αυξάνει, όταν αυξάνει η σχετική πυκνότητα ( $D_r$ ). Ή ισοδύναμα, όταν μειώνεται το πορώδες του κοκκώδους εδαφικού υλικού.

Σχήμα 6 Γωνία τριβής ως προς το πορώδες



Το Σχήμα 6 παρουσιάζει τη μεταβολή της γωνίας τριβής ( $\phi$ ) με το πορώδες για μια μεσόκοκκη άμμο. Στο ίδιο σχήμα σημειώνονται η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων ( $\phi_{\mu}$ ) και η χαρακτηριστική γωνία τριβής

( $\phi_{cv}$ ) που αντιστοιχεί στη χαλαρότερη δυνατή διάταξη των κόκκων (δηλαδή στη μέγιστη τιμή του πορώδους). Το μηχανικό ανάλογο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 7 καθιστά σαφή τη διαφορά μεταξύ των γωνιών ( $\phi$ ) και ( $\phi_{\mu}$ ): σε δύο "τριγωνικούς κόκκους" επιβάλλονται οι εξωτερικές δυνάμεις ( $N$ ) και ( $T_{\alpha}$ ), έτσι ώστε να επιτευχθεί μακροσκοπική αστοχία του υλικού, οπότε:

$$T_{\alpha} = N \cdot \tan \phi \quad (1)$$

όπου  $\phi$  είναι η γωνία τριβής του "εδαφικού υλικού". Στο μηχανικό ανάλογο του σχήματος η αστοχία εκφράζεται με ολίσθηση κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας επαφής μεταξύ των κόκκων, οπότε:

$$T_{\varepsilon, \alpha} = N_{\varepsilon} \cdot \tan \phi_{\mu} \quad (2)$$

όπου  $\phi_{\mu}$  είναι η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων. Επιπλέον, οι στερεοστατικές εξισώσεις ισορροπίας του κόκκου (I) υπό την επίδραση των δυνάμεων  $N$ ,  $T_{\alpha}$ ,  $N_{\varepsilon}$ ,  $T_{\varepsilon, \alpha}$  δίνουν:

$$N_{\varepsilon} = N \cos \delta + T_{\alpha} \sin \delta \quad (3\alpha)$$

$$T_{\varepsilon, \alpha} = T_{\alpha} \cos \delta - N \sin \delta \quad (3\beta)$$

και με απαλοιφή των  $N_{\varepsilon}$ ,  $T_{\varepsilon, \alpha}$  μεταξύ των σχέσεων (2) και (3) προκύπτει:

$$T_{\alpha} = N \cdot \tan (\phi_{\mu} + \delta) \quad (4)$$

Τελικώς, οι σχέσεις (1) και (4) δίνουν:

$$\phi = \phi_{\mu} + \delta \quad (5)$$

δηλαδή η (μακροσκοπική) γωνία τριβής του εδαφικού υλικού ( $\phi$ ) ισούται με το άθροισμα της πραγματικής γωνίας τριβής του υλικού των κόκκων ( $\phi_{\mu}$ ) και της γωνίας  $\delta$  (κλίση της πραγματικής επιφάνειας ολίσθησης ως προς το επίπεδο της εξωτερικώς επιβεβλημένης διατμητικής δύναμης). Στην προκείμενη περίπτωση  $\delta > 0$ , οπότε η μακροσκοπική διατμητική αντοχή του υλικού είναι μεγαλύτερη από την πραγματική διατμητική αντοχή της επαφής μεταξύ των κόκκων. Στην περίπτωση που η επιφάνεια ολίσθησης είναι οριζόντια ( $\delta = 0$ ) τότε:  $\phi = \phi_{\mu}$ , ενώ αν η επιφάνεια ολίσθησης έχει αρνητική κλίση ( $\delta < 0$ ) τότε:  $\phi < \phi_{\mu}$ . Η εξίσωση (5) έχει την ακόλουθη ενεργειακή εξήγηση: κατά την ολίσθηση του κόκκου (I)



ως προς τον (II) η σχετική κίνηση γίνεται κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου (με γωνία  $\delta$ ). Στην περίπτωση αυτή η οριζόντια δύναμη ( $T_a$ ) παράγει έργο και η κατακόρυφη δύναμη ( $N$ ) απορροφά έργο, ενώ αν η κίνηση γινόταν σε οριζόντιο επίπεδο έργο θα παρήγαγε μόνον η οριζόντια δύναμη ( $T_a$ ). Η κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο προκαλεί εκτός από την ολίσθηση (διατμητική παραμόρφωση) και διόγκωση του εδαφικού στοιχείου (αύξηση του ύψους του), κατά την οποία η ορθή δύναμη ( $N$ ) απορροφά έργο.

Το πρόσθετο έργο της ορθής δύναμης λόγω διόγκωσης του εδαφικού στοιχείου εκφράζεται με την αυξημένη (κατά  $\delta$ ) γωνία τριβής. Αντίθετα, αν η γωνία ( $\delta$ ) είναι αρνητική τότε το ύψος του δοκιμίου μειώνεται, δηλαδή το δοκίμιο συμπιέζεται και η ορθή δύναμη παράγει έργο. Στην περίπτωση αυτή η συμπίεση του δοκιμίου εκφράζεται με μείωση (κατά  $\delta$ ) της γωνίας τριβής.

Στα προηγούμενα θεωρήθηκε ότι ο λόγος  $T_a/N$  είναι σταθερός, δηλαδή ότι η γωνία τριβής ( $\phi$ ) των κοκκωδών εδαφών είναι ανεξάρτητη από την επιβαλλόμενη ορθή δύναμη ( $N$ ). Τούτο είναι ακριβές για μικρές μεταβολές της ορθής δύναμης (τάσης), ενώ για μεγαλύτερες μεταβολές εργαστηριακές μετρήσεις αποδεικνύουν ότι η γωνία ( $\phi$ ) μειώνεται ελαφρά με την αύξηση της ορθής τάσης. Η μείωση αυτή πρέπει να οφείλεται (τουλάχιστον μερικώς) σε αντίστοιχη μείωση της πραγματικής γωνίας τριβής ( $\phi_\mu$ ), λόγω εξομάλυνσης των επαφών μεταξύ των κόκκων (θραύσης των γωνιών) στις υψηλότερες ορθές τάσεις.

Η ανωτέρω μείωση της γωνίας ( $\phi$ ) είναι μικρή στο εύρος των ορθών τάσεων που συνήθως εμφανίζονται στα πρακτικά προβλήματα και κατά συνέπεια μπορεί να αμεληθεί στις περισσότερες περιπτώσεις.



#### 4.1. Διατμητική Αντοχή Εδαφών

Διατμητική αντοχή ενός εδάφους ονομάζεται η εσωτερική αντίσταση του εδάφους ανά μονάδα επιφανείας την οποία μπορεί να προσφέρει προκειμένου να αντισταθεί στην αστοχία κατά μήκος οποιουδήποτε επιπέδου στο εσωτερικό του. Η αντίσταση αυτή οφείλεται σε δύο αίτια: 1. Συνοχή ( $c$ ) και 2. Γωνία εσωτερικής τριβής ( $\varphi$ ).

##### 4.1.1. Συνοχή ( $c$ )

Οι κόκκοι είναι ηλεκτρισμένοι και αυτό δημιουργεί δυνάμεις έλξεως στις οποίες οφείλεται η συνοχή. Οι δυνάμεις αυτές έχουν πρακτική σημασία μόνο για τους πολύ μικρούς κόκκους και τελικά μόνο για την άργιλο. Οι δυνάμεις αυτές αντιστοιχούν σε μία μέση τάση  $\sigma_n$  εξαρτάται από την σύσταση των κόκκων, την μορφή και το αριθμό των σημείων επαφής μεταξύ κόκκων που είναι συναρτήσεις της δομής της αργίλου.

Εξάλλου, αν η άργιλος έχει υποστεί μια προσυμπύεση που προκάλεσε μείωση του δείκτη πόρων, δηλαδή αύξηση των σημείων επαφής και νέα διάταξη των κόκκων, δημιουργείται μια νέα εντατική κατάσταση, γιατί οι τάσεις που εφαρμόστηκαν αρχικά παραμένουν. Τελικά δημιουργείται μια συμπληρωματική ορθή τάση  $\sigma_\pi$ .

Η συνοχή μπορεί τελικά να θεωρηθεί σαν συνέπεια της τριβής των κόκκων υπό την ενέργεια των ορθών τάσεων  $\sigma_{\eta}$  και  $\sigma_{\pi}$  και έχουμε:

$$c = (\sigma_{\eta} + \sigma_{\pi}) \operatorname{tg} \varphi$$

Επι πλέον υπάρχουν οι τάσεις έλξεως που οφείλονται στην τριχοειδή ανύψωση καθώς και συνδέσεις που οφείλονται στις χημικές αλλοιώσεις των επιφανειών.

Με τον ορισμό αυτό η συνοχή εμφανίζεται σαν μια συνέπεια της τριβής. Η διαφορά μεταξύ άμμου και αργίλου οφείλεται έτσι στην ύπαρξη δυνάμεων στην επιφάνεια των κόκκων. Οι προχωρημένες αναλύσεις της συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η άμμος και η άργιλος έχουν την ίδια συμπεριφορά. Η πιο πάνω ανάλυση είναι αναγκαία για να καταλάβει κανείς την συμπεριφορά της αργίλου, αλλά για τις πρακτικές εφαρμογές είναι πιο απλό να χρησιμοποιηθεί το μέγεθος συνοχή  $c$ , αντί του πιο πολύπλοκου μεγέθους επιφανειακή τάση έλξεως ( $\sigma_{\eta} + \sigma_{\pi}$ ).

Η συνοχή  $c$  μεταβάλλεται:

- Όταν μεταβάλλεται η περιεκτικότητα σε νερό
- Όταν γίνεται μάλαξη του υλικού που μεταβάλλει την δομή.

Μία άργιλος τελείως ξηρή έχει συμπεριφορά στερεού σώματος. Μία άργιλος με μεγάλη ποσότητα νερού έχει την συμπεριφορά ενός υγρού. Μεταξύ των δύο ακραίων αυτών καταστάσεων υπάρχουν όλες οι ενδιάμεσες και για τον λόγο αυτό η συνοχή παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές.

Σημασία έχει επίσης ο βαθμός κορεσμού της αργίλου. Επειδή στο έδαφος η άργιλος είναι συνήθως κορεσμένη, αλλά περισσότερο εξαιτίας της δυσκολίας της μελέτης των ακόρεστων εδαφών (στα οποία συνυπάρχουν οι τρεις φάσεις, στερεή, υγρή και αέρια) περιορίζουμε την ανάλυση των φαινομένων της αντοχής στις κορεσμένες αργίλους.

Η μάλαξη της αργίλου ή μια απλή δόνηση ή ακόμα και η μεταφορά του δοκιμίου από την γεώτρηση στο εργαστήριο, μεταβάλλουν την δομή και μπορεί να έχουν εξαιρετικά μεγάλη επίδοση στην συνοχή. Πρόκειται για το φαινόμενο

της ευαισθησίας της αργίλου. Μετά την παρέλευση ενός ορισμένου χρόνου η συνοχή ξαναπαίρνει περίπου την αρχική της τιμή εξαιτίας του φαινόμενου της θιξοτροπίας. Ο Terzaghi χαρακτήρισε την ευαισθησία με τον συντελεστή Ευαισθησία = αντοχή ανεμπόδιστης θλίψεως του αδιατάρακτου δοκιμίου προς την αντοχή ανεμπόδιστης θλίψεως του δοκιμίου μετά την μάλαξη. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις τιμές της ευαισθησίας για τις διάφορες ποιότητες αργίλου.

Ευαισθησία	Χαρακτηρισμός της ευαισθησίας
<2	Χωρίς ευαισθησία
2 - 4	Μικρή ευαισθησία
4 - 8	Ευαίσθητη
8 - 16	Πολύ ευαίσθητη
16 - 64	Ρέουσα
64 >	Πολύ μεγάλης ρευστότητας

Η ευαισθησία των περισσότερων αργίλων είναι μικρότερη του 4.

Οι άργιλοι της Θεσσαλονίκης έχουν γενικά ευαισθησία μικρότερη του 2. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι σχεδόν αδύνατο να υπάρξει τελείως άκτο δοκίμιο και συνεπώς η ευαισθησία είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτή που προσδιορίζεται εργαστηριακά.

Το μέγεθος συνοχή δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί με πολύ ακρίβεια για τις πρακτικές εφαρμογές ιδίως φαίνεται ματαιοπονία να αναζητά με ακρίβεια για μεγέθη που για λόγους ανεξέλεγκτους μεταβάλλονται για 300 – 400 %, χωρίς αυτό να θεωρείται ότι αποτελεί εξαίρεση.

Για δοκιμές που γίνονται στο εργαστήριο συνήθως δίδεται η αντοχή με τη μάλαξη, δηλαδή δίνεται η ελάχιστη τιμή του  $c$ . Για τις επι τόπου δοκιμές έχουμε κάτι το ενδιάμεσο μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης τιμής.

#### 4.1.2. Γωνία Εσωτερικής Τριβής ( $\varphi$ )

Εσωτερική τριβή ονομάζεται η αντίσταση που συναντούν οι κόκκοι ενός εδάφους όταν κινούνται ως προς άλλους που βρίσκονται σε ακινησία. Η εσωτερική τριβή καθορίζεται από την γωνία ( $\varphi$ ) η οποία ονομάζεται και γωνία εσωτερικής τριβής, της οποίας η εφαπτομένη είναι ίση με τον λόγο της μεταξύ της αντίστασης προς την κύλιση του κόκκου σε ένα ορισμένο επίπεδο, και της δύναμης που ασκείται από τον ίδιο τον κόκκο κάθετα προς το αναφερόμενο επίπεδο.

$$\epsilon\varphi_{\varphi} = \frac{F_s}{Q}$$

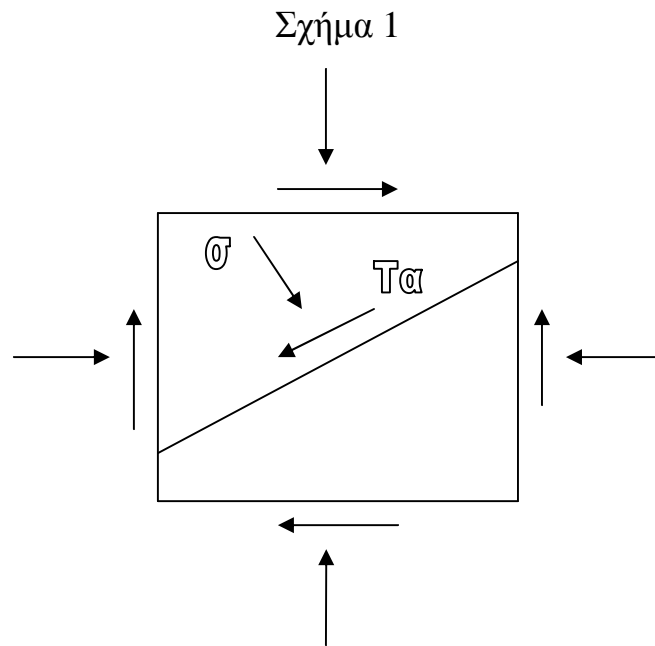
ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ
Λόγος κενών, $e$	$e \uparrow, \varphi \downarrow$
Γωνιώδες σχήμα, $A$	$A \uparrow, \varphi \uparrow$
Κοκκομετρική διαβάθμιση	$C_u \uparrow, \varphi \uparrow$
Επιφανειακή Τραχύτητα, $R$	$R \uparrow, \varphi \uparrow$
Υγρασία, $w$	$w \uparrow, \downarrow \varphi$ ελάχιστα
Μέγεθος κόκκων, $S$	Καμία επίδραση (με σταθερό $e$ )
Προστερεοποίηση ή προφόρτιση	Μικρή επίδραση

#### Παράγοντες που επηρεάζουν την γωνία ( $\varphi$ )

Το μέγεθος της εσωτερικής τριβής, που αντίθετα από την συνοχή εξαρτάται από την τραχύτητα των επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή, καθορίζεται από τον βαθμό λίπανσης των κόκκων και την τιμή της πίεσης. Η άργιλος και ιδιαίτερα τα κολλοειδή με την παρουσία υγρασίας ενεργούν σαν λιπαντικά μεταξύ χονδροειδών κόκκων του εδάφους και ελαττώνουν την εσωτερική τριβή. Η λιπαντική αυτή δράση της αργίλου είναι από τις σπουδαιότερες αιτίες που επηρεάζουν την ευστάθεια της εδαφικής μάζας.

## 4.2. Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb

Σύμφωνα με μια θεωρία του Mohr που αφορούσε την αστοχία των υλικών, ένα υλικό αστοχεί εξ αιτίας ενός κρίσιμου συνδυασμού της κύριας και της διατμητικής τάσης που ασκούνται σε κάποιο επίπεδο μέσα σε αυτό.

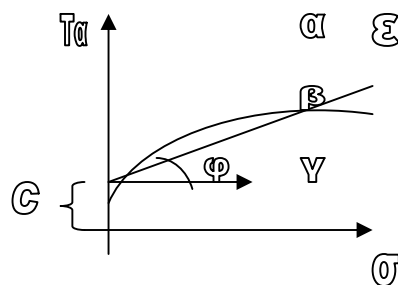


Έτσι η σχέση μεταξύ των δύο αυτών τάσεων θα έχει γενικά την μορφή:

$$\tau_{\alpha} = f(\sigma)$$

Η σχέση αυτή στην γενική περίπτωση θα εκφράζεται από μία καμπύλη:

Ή ισοδύναμα, όταν μειώνεται το πορώδες του κοκκώδους εδαφικού υλικού.



Σχήμα 2 περιβάλλουσα αστοχίας Mohr

Στα περισσότερα προβλήματα της εδαφομηχανικής η καμπύλη αυτή μπορεί να προσεγγιστεί από μία ευθεία  $\epsilon$  (Coulomb)

$$\tau_a = c + \sigma \tan \varphi$$

Όπου:  $c$  και  $\varphi$  παράμετροι διατμητικής αντοχής του εδάφους  
 οι οποίες καθορίζουν το μέγεθος της αντοχής του εδάφους.  
 $c$ : συνοχή  
 $\varphi$ : γωνία εσωτερικής τριβής

η ευθεία αυτή καλείται κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb. Η σημασία της ευθείας αυτής εξηγείτε ως εξής:

Αν η ορθή τάση  $\sigma$  και η διατμητική τάση  $\tau$  σε ένα επίπεδο μέσα στο εδαφικό υλικό έχουν τέτοιο συνδυασμό ώστε να προκύπτει το σημείο Α, τότε το υλικό βρίσκεται σε κατάσταση ευστάθειας (μη αστοχίας). Αν ο συνδυασμός των δύο τάσεων δίνει το σημείο Β τότε θα έχουμε αστοχία του υλικού. Συνδυασμός που να δίνει το σημείο Γ δεν υπάρχει διότι το υλικό θα έχει ήδη αστοχήσει.

### Αντοχή της αργίλου

#### Σχέση του Coulomb

Η σχέση του Coulomb που χαρακτηρίζει την αντοχή της αργίλου είναι

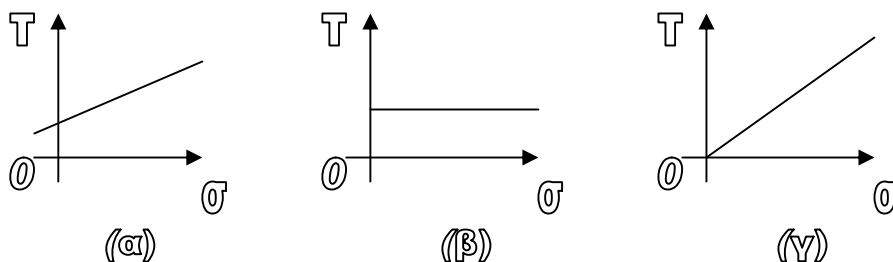
$$\tau = \sigma \tan \varphi + c \quad (1)$$

όπου  $\tau$  = η οριακή διατμητική τάση θραύσεως

$\sigma$  = η ορθή τάση στο επίπεδο θραύσεως

$\varphi$  = η γωνία τριβής

$c$  = η συνοχή



Σχήμα 1

Η αντοχή εξαρτάται για την άργιλο από την αντοχή στην διάτμηση, όπως και για την άμμο. Αλλά η άργιλος παρουσιάζει και αντοχή στις ορθές τάσεις: Η αντοχή στην ανεμπόδιστη θλίψη, σύμφωνα με τη θεωρία του Rankine έχει τιμή,

$$\sigma_p = c_0 \cot g \varphi (K_p - 1)$$

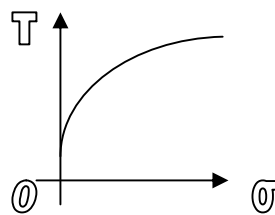
και η αντοχή στο εφελκυσμό

$$\sigma_a = -c \operatorname{tg} \varphi (1 - K_a)$$

όπου  $K_a = \frac{1}{K_p} = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{p}{4} - \frac{f}{2} \right)$  συντελεστής ενεργού ωθήσεως.

Η μορφή της περιβάλλουσας του Mohr-Coulomb είναι μία ευθεία που δεν περνά από την αρχή 0 των συντεταγμένων. βλέπε σχήμα (α).

Στην περίπτωση που  $\varphi = 0$  ή που, επειδή  $\sigma$  είναι ίσο με μηδέν, η τριβή δεν επεμβαίνει, η περιβάλλουσα γίνεται παράλληλη προς τον άξονα των  $\sigma$ . σχήμα (β). Υπάρχει θεωρία που δέχεται ότι και για τα συνεκτικά η πραγματική συνοχή μηδενίζεται και συνεπώς η περιβάλλουσα περνάει από το σημείο 0. Σχήμα (γ). Αλλά στην περίπτωση αυτή η συνοχή αντιστοιχεί σε μία αύξηση της ορθής τάσεως  $\sigma$  που γίνεται  $\sigma_1 = \sigma + \sigma_0 \operatorname{tg} \varphi$  και τελικά εμφανίζεται με την μορφή  $c = \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi$ .



Σχήμα 2

Η ευθύγραμμη περιβάλλουσα αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση. Τις περισσότερες φορές παρατηρείται μία καμπυλότητα σχήμα 2 που στις πρακτικές εφαρμογές δεν λαμβάνεται υπόψη. Η εξίσωση 1 αποτελεί κριτήριο θραύσεως. Σημαίνει δηλαδή ότι όταν η τάση  $\tau$  που ενεργεί για να προκαλέσει μετακίνηση των κόκκων κατά την διεύθυνση της, δεν ξεπερνά την τιμή που δίνει η σχέση αυτή, δεν παρατηρείται απαράδεκτη μετατόπιση των κόκκων, που μπορεί να θεωρηθεί σαν θραύση του εδάφους. Η σχέση 1 δεν επιτρέπει να υπολογισθεί η



τάση  $\tau$  όταν είναι γνωστή η τάση  $\sigma$ . Σημαίνει μόνο ότι για μία ορισμένη τιμή του  $\sigma$ , το  $\tau$  δεν πρέπει να ξεπεράσει μία οριακή τιμή, γιατί πέρα από την τιμή αυτή του εδάφους υφίσταται θραύση. Θα έπρεπε λοιπόν όπως και για την άμμο, η σχέση να γράφεται με μορφή ανισότητας,

$$\tau \leq \sigma \tan \phi + c$$

Το κριτήριο θραύσεως παρουσιάζεται με μορφή όσο δυνατό πιο απλή αφού καταλήγει σε μία γραμμική σχέση. Όταν όμως κανείς επιχειρήσει την λεπτομερή ανάλυση της σχέσεως αυτής διαπιστώνει ότι είναι τόσο πολύπλοκη που τελικά καταλήγει να είναι ανεφάρμοστη. Για τον λόγο αυτό εξάλλου γίνονται προσπάθειες να αντικατασταθεί με άλλη σχέση. Η πιο ενδιαφέρουσα είναι η χρησιμοποίηση εμπειρικών σχέσεων που βασίζονται στην χρησιμοποίηση των επί τόπου δοκιμών. Θα προσπαθήσουμε να αναπτύξουμε τους λόγους για τους οποίους το κριτήριο θραύσεως δημιουργεί προβλήματα. Αφού η μορφή του είναι απλή οι δυσκολίες βεβαίως πρέπει να αναζητηθούν στον προσδιορισμό των διαφόρων μεγεθών που υπεισέρχονται.

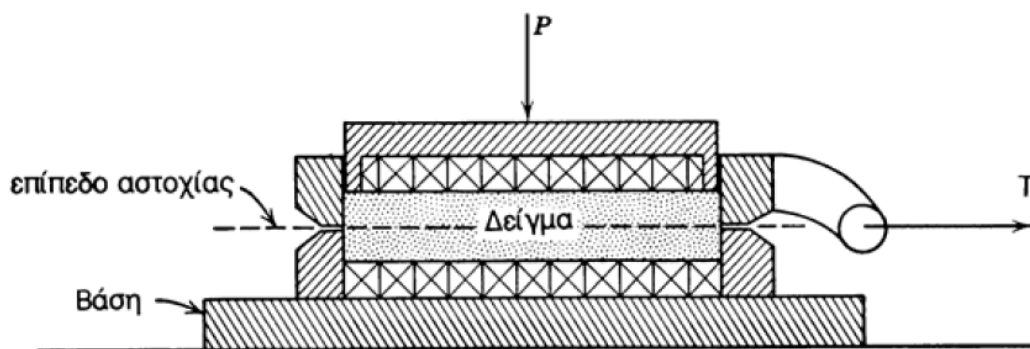
#### 4.3. Προσδιορισμός Παραμέτρων Αντοχής και Παραμόρφωσης Εδάφους.

Στο εδάφιο αυτό περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες εργαστηριακές δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής των εδαφών. Επειδή κατά τις δοκιμές αυτές καταγράφεται και η συμπεριφορά των δοκιμίων πριν από την αστοχία, προσδιορίζονται συνήθως και τα χαρακτηριστικά παραμορφωσιμότητας των εδαφών, όπως η συμπιεστότητα και οι παράμετροι της στερεοποίησης. Οι κυριότερες δοκιμές μέτρησης της διατμητικής αντοχής των εδαφών είναι:

- Άμεση Διάτμηση
- Ανεμπόδιστη Θλίψη
- Τριαξονική Δοκιμή

#### 4.3.1. Άμεση Διάτμηση

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



Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

- 1) Ταχεία αστράγγιστη δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου (UU)
- 2) Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου (CU)
- 3) Βραδεία δοκιμή με συνθήκες στράγγισης, στερεοποιημένου δοκιμίου (CD)

Οι τύποι της δοκιμής (1) και (2) εφαρμόζονται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου εξετάζεται η θραύση του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν να γίνει εκτόνωση της

πίεσεως του νερού των πόρων. Εμείς έχουμε πραγματοποιήσει τον τύπο δοκιμής (1).

Οι πηγές της διατμητικής αντοχής του εδάφους είναι:

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

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

$\tau$  : διατμητική αντοχή  $\text{Kg/cm}^2$

$c$  : συνοχή  $\text{Kg/cm}^2$

$\sigma$  : η κάθετη τάση στο επίπεδο διάτμησης  $\text{Kg/cm}^2$

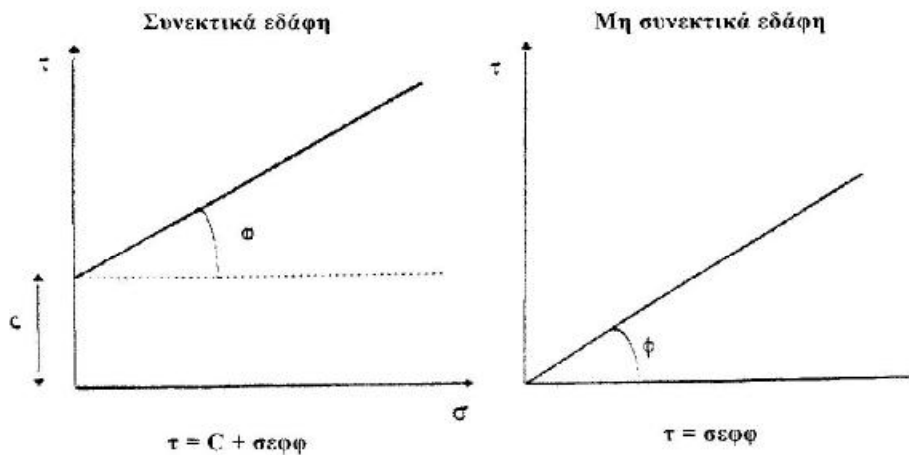
$\varphi$  : η γωνία εσωτερικής τριβής

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

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

- Τα μη συνεκτικά ( $c=0$ )
- Τα συνεκτικά ( $c \neq 0$ )

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης του Coulomb θα είναι:



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

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

### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΜΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΝΕΡΟΥ

Η διατμητική αντοχή των μη συνεκτικών εδαφών παρουσία νερού δεν αλλάζει με την διαφορά ότι αντί για ολικές τάσεις θα αναφέρονται οι ενεργές. Τούτο συμβαίνει διότι οι ενεργές τάσεις εκφράζουν τις δυνάμεις που μεταβιβάζονται μεταξύ των κόκκων του στερεού σκελετού του εδάφους. Έτσι η σχέση της διατμητικής αντοχής γίνεται:

$$T_a = \bar{s}_a \tan \phi$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τυπικές τιμές για την γωνία εσωτερικής τριβής διαφόρων μη συνεκτικών εδαφών.

Τύπος εδάφους	Γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi$ (°)
Άμμος με στρογγυλευμένους κόκκους	
Χαλαρή	27 – 30
Μέση	30 – 35
Πυκνή	35 – 38
Άμμος με γωνιώδεις κόκκους	
Χαλαρή	30 – 35
Μέση	35 – 40
Πυκνή	40 – 45
Χάλικες με λίγη άμμο	34 – 48
Ιλύες (πηλός)	26 – 35

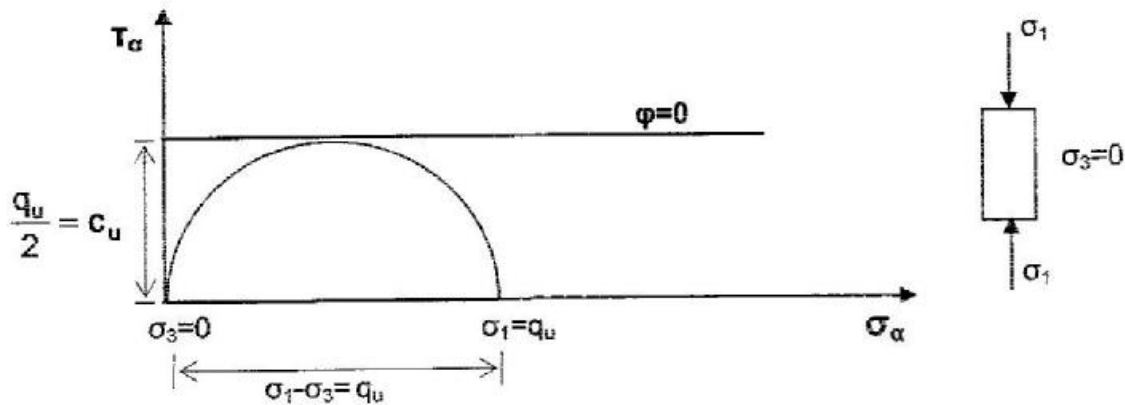
Τιμές γωνίας εσωτερικής τριβής χαρακτηριστικών μη συνεκτικών εδαφών

#### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η διατμητική αντοχή των συνεκτικών εδαφών παρουσιάζει πιο πολύπλοκη συμπεριφορά από αυτή των μη συνεκτικών. Εξαρτάται έντονα από την δυνατότητα στράγγισης του εδάφους και από το λόγο προστερεοποίησης της αργίλου.

Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή μπορεί να προσδιοριστεί και με την δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε δοκίμια αργίλου. Στην περίπτωση αυτή το κατακόρυφο φορτίο εφαρμόζεται γρήγορα στο κορεσμένο δοκίμιο αργίλου και επομένως επικρατούν αστράγγιστες συνθήκες.

Επειδή η πλευρική τάση είναι μηδενική υπάρχει μόνον ένας κύκλος του Mohr αστοχίας και η περιβάλλουσα μορφή:



Διατμητική αντοχή κορεσμένης αργίλου σε ανεμπόδιστη θλίψη

Η διατμητική τάση αστοχίας θα είναι:

$$T_{\alpha} = \frac{S_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u$$

Όπου  $q_u$  η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Στον πιο κάτω πίνακα δίνονται τυπικές τιμές της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για διάφορους τύπους αργίλων:

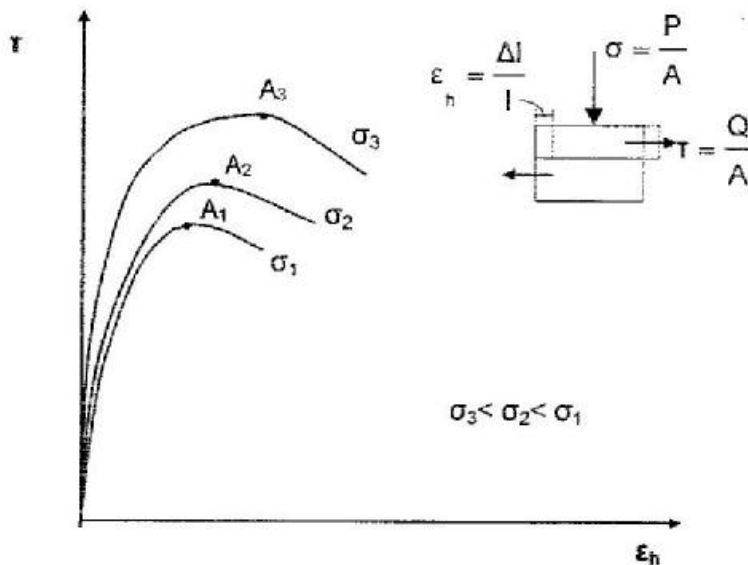
Χαρακτηρισμός αργίλου	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη $q_u=2c_u$ (KN/m <sup>2</sup> )
Πολύ μαλακή	0 – 25
Μαλακή	25 – 50
Μέση	50 – 100
Συμπαγής	100 – 200
Πολύ συμπαγής	200 – 400
Σκληρή	> 400

Συσχετισμός κατάστασης αργίλου με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ.

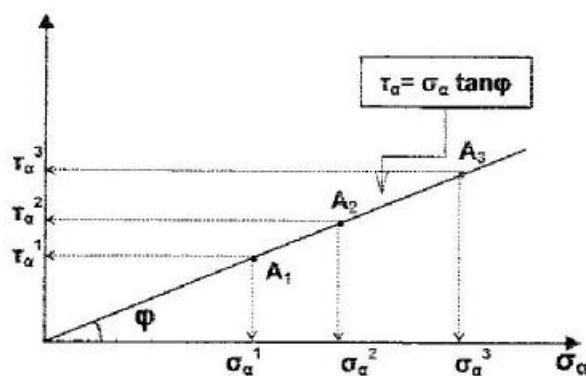
Ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής μπορεί να γίνει και με την δοκιμή άμεσης διάτμησης. Στην δοκιμή αυτή το επίπεδο αστοχίας είναι προκαθορισμένο και είναι το οριζόντιο. Για την κατασκευή της περιβάλλουσας

προσδιορίζονται απευθείας σημεία της από τα ζεύγη τιμών της ορθής τάσης και της διατμητικής τάσης αστοχίας που ενεργούν στο οριζόντιο επίπεδο χωρίς να είναι απαραίτητη η κατασκευή του κύκλου του Mohr αστοχίας. Συγκεκριμένα για κάθε δοκιμή καταγράφονται τα αποτελέσματα σε διαγράμματα της μορφής:



Δοκιμή άμεσης διάτμησης. Μεταβολή της διατμητικής τάσης  $T_a$  συναρτήσει της διατμητικής (οριζόντιας) παραμόρφωσης  $\epsilon_h$ .

Στην συνέχεια κατασκευάζεται διάγραμμα με συντεταγμένες τη διατμητική τάση  $T_a$  που αντιστοιχεί στην αστοχία ( $A_1$ ,  $A_2$ , και  $A_3$ ) και την αντίστοιχη ορθή τάση  $\sigma$ , όπου τοποθετούνται τα ζεύγη τιμών  $(\sigma_1, T_{a1})$ ,  $(\sigma_2, T_{a2})$  και  $(\sigma_3, T_{a3})$ . Τα τρία αυτά σημεία ορίζουν την περιβάλλουσα Mohr – Coulomb η οποία για την περίπτωση του μη συνεκτικού εδάφους έχει την μορφή:



Δοκιμή άμεσης διάτμησης. Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.

## Ειδικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Συσκευές διατμήσεως

Υπάρχουν διάφορες συσκευές διατμήσεως όπου η διατμητική τάση του εδαφικού υλικού επιβάλλεται κατά μια η δύο επίπεδες επιφάνειες τετραγωνικού η κυλινδρικού δοκιμίου. Στο συνήθη τύπο ο υποδοχέας του δοκιμίου αποτελείται από δύο δακτυλίους. Το δοκίμιο κρατείται μέσα σε αυτούς 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 διατμητική παραμόρφωση με ειδικά μηκυνσιόμετρα. Το πλαίσιο που κρατά το δοκίμιο θα πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η στρέβλωση του δοκιμίου.

- Σύστημα εφαρμογής του φορτίου

Έχουμε την περίπτωση το φορτίο να είναι κάθετο προς την επιφάνεια διάτμησης (επιβολή ορθής τάσης) και το φορτίο να είναι παράλληλο προς την επιφάνεια διάτμησης (επιβολή διατμητικής τάσης).

Το σύστημα επιβολής της ορθής τάσης θα πρέπει να είναι ικανό να διατηρεί σταθερή τάση σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής με ακρίβεια  $\pm 1\%$ .

Οι δυνατότητες του μηχανισμού επιβολής του φορτίου παράλληλα προς επίπεδο διάτμησης εξαρτώνται από το αν η δοκιμή γίνεται με ελεγχόμενη επιβολή φορτίου ή με ελεγχόμενη επιβολή παραμορφώσεως. Συνήθως επιβάλλεται διατμητική παραμόρφωση με σταθερή ταχύτητα με ανεκτή απόκλιση της τάξης των  $\pm 10\%$ . Η διατμητική παραμόρφωση επιβάλλεται κατά προτίμηση με ηλεκτρονικό τρόπο και το αντίστοιχο φορτίο μετράτε με ειδικά προσαρμοσμένο δακτύλιο.



- Πορόλιθοι

Οι πορόλιθοι θα πρέπει να αποτελούνται από υλικά όπως καρβίδια του πυριτίου, οξείδιο του αργίλου ή μέταλλο που δεν διαβρώνεται από την υγρασία ή ουσίες που βρίσκονται μέσα στο έδαφος.

Οι πορόλιθοι θα πρέπει να είναι αφενός μεν αρκετά τραχείς ώστε να εξασφαλίζουν τη συγκράτηση του δοκιμίου μέσα στο δακτύλιο και αφετέρου αρκετά λείοι, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση του εδάφους μέσα στους πόρους.

- Μετρητές παραμορφώσεων (Μηκυνσιόμετρα)

Για τη μέτρηση 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.

- Εξολκέας δείγματος

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

- Μορφωτής δοκιμίου με τα εξαρτήματά του

- ∅ Πλαίσιο μορφοποιήσεως

- ∅ Συρμάτινο πριόνι

- ∅ Μαχαίρια

- Κλίβανος ξηράνσεως

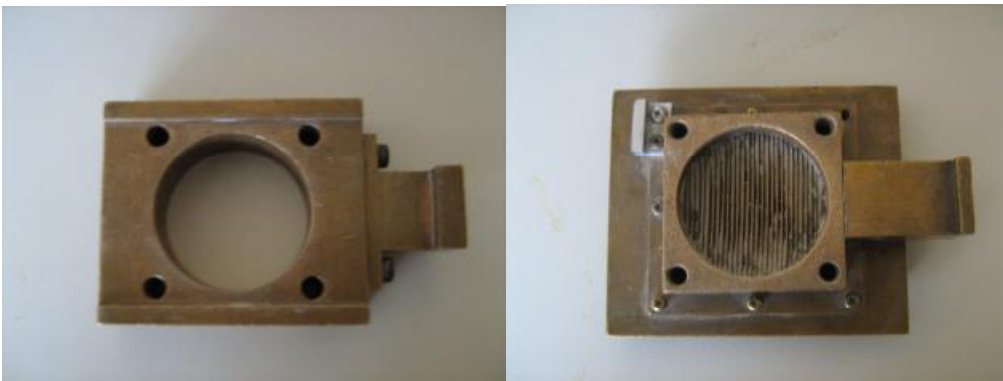
Κλίβανος ξηράνσεως ελεγχόμενης με θερμοστάτη ικανός να διατηρήσει θερμοκρασία  $110 \pm 5$  °C για την επιμέρους δοκιμή προσδιορισμού της υγρασίας.

- Ζυγοί ακριβείας 0.01 του γραμμαρίου

- Διάφορες άλλες συσκευές γενικής χρήσεως

Μαχαίρια, σπάτουλες, κάψες για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας, έντυπα, χαρτιά δοκιμής.

- Υγρός θάλαμος διατήρησης των δοκιμών.

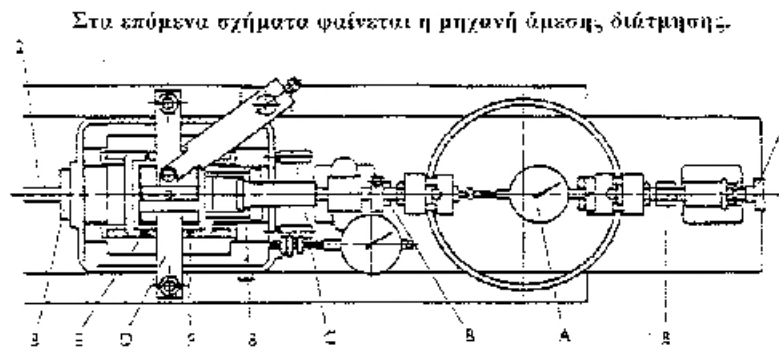




### Προπαρασκευή Δοκιμών

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

προσδιορίζεται η αρχική μάζα του δοκιμίου η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας του εδάφους. Αν η δοκιμή γίνεται σε δείγματα που έχουν αναζημωθεί, θα πρέπει να συμπυκνωθούν στην επιθυμητή υγρασία και πυκνότητα. Η συμπύκνωση μπορεί να γίνει μέσα στον ίδιο δακτύλιο άμεσης διάτμησης, μέσα σε καλούπι ίδιων ή μεγαλύτερων διαστάσεων. Μια ελάχιστη επιθυμητή διάμετρος κυκλικού δοκιμίου ή πλάτος ορθογωνικής διατομής δοκιμίου είναι 50mm περίπου. Ελάχιστο πάχος δοκιμίου μπορεί να είναι 12.5mm αλλά ποτέ λιγότερο από 6 φορές τη μέγιστη διάμετρο των κόκκων του υπό δοκιμή εδαφικού υλικού. Ελάχιστος λόγος διαμέτρου προς πάχους δοκιμίου 2:1.



1. Δακτύλιο ρύθμισης φορτίου
2. Άξονας φόρτισης
- A. Δακτύλιος φόρτισης απαιτούμενης ικανότητας, ευαισθησίας.
- B. Το σύνολο των εξαρτημάτων είναι όλα σε επαφή.
- C. Κιβώτιο διάτμησης τοποθετημένο σφιχτά.
- D. Ζυγός φόρτισης.
- E. Αποσυρμένες βίδες.
- F. Βίδες αποχωρισμού στο κιβώτιο διάτμησης βιδωμένες ώστε μόλις να ανυψώνεται το πάνω μέρος από το κάτω.

Είναι η απλούστερη δοκιμή προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής ενός εδάφους. Ένα εδαφικό δοκίμιο εμβαδού επιφάνειας A τοποθετείται μέσα σε μεταλλικό δοχείο το οποίο χωρίζεται οριζόντια σε δύο τμήματα. Το δοκίμιο

συνήθως έχει διάμετρο 6.33 cm (2.5in) και ύψος 2.54 cm (1in). Η κατακόρυφη τάση  $\sigma = P / A$  επιβάλλεται μέσω μεταλλικής πλάκας στο πάνω μέρος του δοχείου. Ακολούθως το ένα της συσκευής μετακινείται ως προς το άλλο εφαρμόζοντας έτσι μια διατμητική τάση  $\tau=Q/A$  στο δοκίμιο. Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρις ότου αστοχήσει το δοκίμιο. Οι δοκιμές επαναλαμβάνονται με άλλα δοκίμια από το ίδιο εδαφικό υλικό αλλάζοντας κάθε φορά το κατακόρυφο φορτίο οπότε αλλάζει και η διατμητική τάση που απαιτείται για να οδηγήσει σε αστοχία το δοκίμιο.

### Διαδικασία δοκιμής

1. Αρχικά παραλαμβάνουμε αδιατάρακτο δείγμα και διαμορφώνουμε με τους αντίστοιχους δακτυλίους της συσκευής διάτμησης στις συγκεκριμένες διαστάσεις.
2. Ρυθμίζουμε το σύστημα διάτμησης στην θέση παύσης.
3. Συναρμολογούμε το κιβώτιο διάτμησης σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Τα κιβώτια διάτμησης είναι προμηθευμένα με τους πορώδεις δίσκους και ένα λεπτότερο κάτω δίσκο μέσης.
  - Δυο πορώδεις δίσκοι, ο ένας πάνω και ένας κάτω χρησιμοποιούνται για πάχη δειγμάτων 25mm
  - Τρεις πορώδεις δίσκοι, ο ένας πάνω και δύο κάτω χρησιμοποιούνται για πάχη δειγμάτων 20mmΠρέπει να σημειωθεί ότι οι πορώδεις δίσκοι πρέπει να διαβραχούν πριν την διεξαγωγή της δοκιμής με βράσιμο μέσα σε νερό μέχρι να απομακρυνθούν όλες οι φυσαλίδες αέρα από τους δίσκους.
4. Χρησιμοποιούμε το δακτύλιο κοπής ο οποίος προσφέρεται για την κοπή αδιατάρακτων δειγμάτων.
5. Στην συνέχεια γίνεται μεταφορά του δοκιμίου στο κιβώτιο διάτμησης και ενεργούμε ακολούθως:

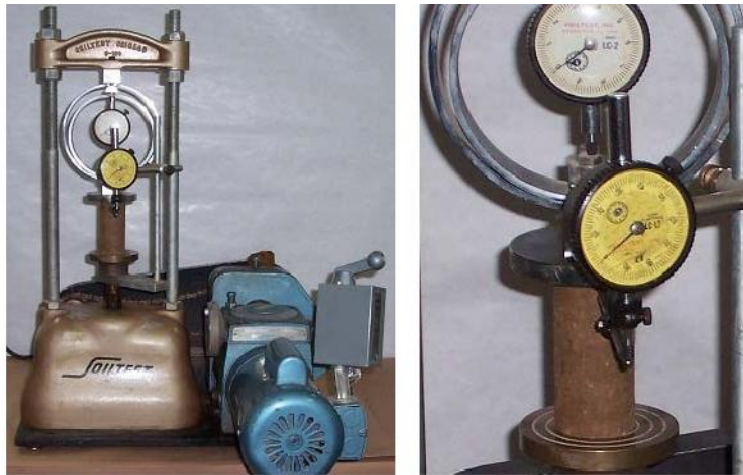
6. Τοποθετούμε τον κάτω πορώδη δίσκο ή δίσκους μέσα στο κιβώτιο διάτμησης.
7. Τοποθετούμε τον κόπτη με το δείγμα μέσα στο κιβώτιο διάτμησης με την επιφάνεια κοπής προς τα επάνω.
8. Μεταφέρουμε το δείγμα μέσα στο κιβώτιο διάτμησης χρησιμοποιώντας ένα ξύλινο μέχρι να εφαρμοστεί καλά στον κάτω πορώδη δίσκο ή δίσκους.
9. Συναρμολογούμε τον πάνω πορώδη δίσκο ή το δίσκο που μεταφέρει την επιβαλλόμενη ορθή τάση.
10. Εφαρμόζουμε στο δοκίμιο τάση. Η απαιτούμενη τάση στο δείγμα πρέπει να είναι σχετική με την μάζα που περιλαμβάνει το ζυγό φόρτισης και τα βάρη  $W$  :  

$$W = \frac{\sigma_n L^2}{9810} (Kg)$$
 , όπου το  $L$  αντιπροσωπεύει το μήκος του κουτιού σε mm και  $\sigma_n$  την τάση σε  $KN/m^2$
11. Η μηχανή διάτμησης είναι εφοδιασμένη με ένα μοχλό, σωστή ρύθμιση του οποίου επιτυγχάνεται με το βάρος εξισορρόπησης.
12. Η αρχική θέση του ζυγού φόρτισης μπορεί να επιτευχθεί ρυθμίζοντας τη λαβή του κοχλία μεταφοράς φορτίου. Έτσι για την εφαρμογή του φορτίου στο δείγμα τα βάρη προστίθεντο στον υποδοχέα βαρών με την λαβή τελείως κάτω ή με την λαβή να στηρίζει την ράβδο ορθής τάσης βαρών, γυρίζοντας αργά κάτω και για την μεταφορά του φορτίου στο δείγμα.

### Παρατηρήσεις

Η δοκιμή της άμεσης διάτμησης μπορεί να μας δώσει προσεγγιστικές τιμές των  $c$  και  $\phi$  σε πολύ σύντομο χρόνο.

#### 4.3.2. Ανεμπόδιστη Θλίψη



Η δοκιμή αποτελεί την πιο απλή εργαστηριακή μέθοδο γρήγορου προσδιορισμού αστράγγιστης διατμητικής αντοχής των εδαφών και διεξάγεται μονό στα συνεκτικά εδάφη, επειδή αυτά μπορούν να μορφοποιηθούν και να διατηρήσουν το σχήμα τους χωρίς την βοήθεια εγκιβωτισμού .

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM, η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται ως η θλιπτική πίεση για την οποία ένα κυλινδρικό αδιατάραχτο ή αναζυμωμένο εδαφικό δοκίμιο μη υποστηριζόμενο πλευρικά θα αστοχήσει σε μία δοκιμή απλής συμπίεσεως υπό έλεγχο τάσεων ή παραμορφώσεων .

Ως ανεμπόδιστη θλιπτική αντοχή λαμβάνεται είτε η μέγιστη τάση κατά τη στιγμή της αστοχίας, ή η τάση που ενεργεί όταν η αξονική παραμόρφωση φθάσει το 15%-20%. Σκοπός της δοκιμής είναι να καθοριστεί η θλιπτική αντοχή των συνεκτικών εδαφών, χωρίς στερεοποίηση, αποστράγγιση και πλευρική υποστήριξη.

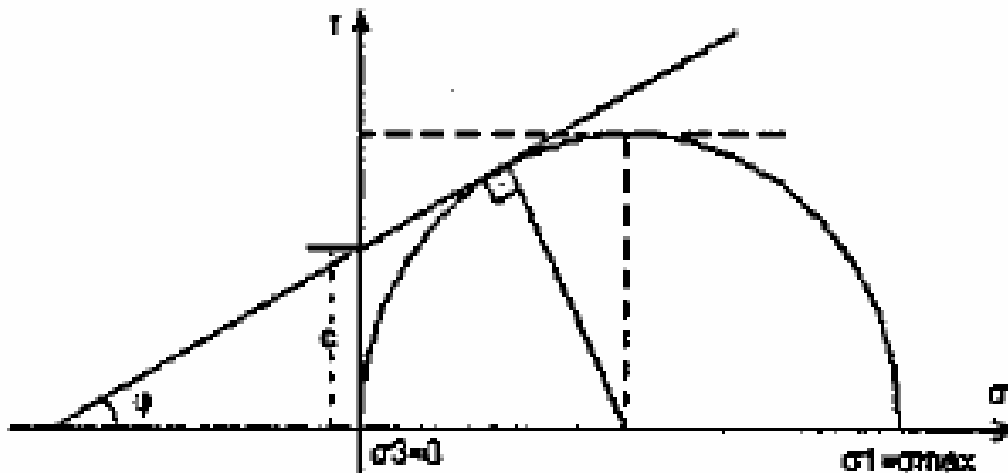
Το φορτίο αυξάνει σταδιακά μέχρι την αστοχία όπου λαμβάνει την μέγιστη τιμή  $P$ . Έχοντας προμετρήσει την διάμετρο - διατομή του δείγματος, υπολογίζουμε την τάση αστοχίας:

$$\sigma_{\max} = P / A$$

Λόγω της μονοαξονικής φόρτισης, η τάση αστοχίας είναι μία κύρια τάση ( $\sigma_1$ ). Μία πρώτη εκτίμηση της συνοχής του εδάφους είναι:

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

Η παραπάνω τιμή δεν συμβαδίζει με την πραγματική τιμή της συνοχής, ειδικά όταν η γωνία τριβής διαφέρει από το 0. Η παραπάνω τιμή διορθώνεται χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της γωνίας τριβής που προκύπτει από την μέτρηση της κλίσης του επιπέδου αστοχίας. Το επίπεδο αστοχίας παρουσιάζει γωνία  $45^\circ + \phi/2$  ως προς την διεύθυνση φόρτισης ( $\sigma_1$ ). Έτσι μετρώντας την κλίση, μπορούμε να έχουμε μία πρώτη εκτίμηση για την γωνία τριβής.



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

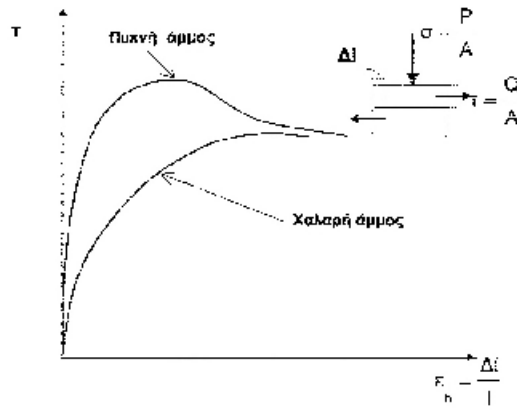
Η ανηγμένη τιμή της συνοχής, έχοντας εκτιμήσει την γωνία τριβής είναι:

$$c = \frac{\sigma_{\max}}{2} \left( \frac{1 - \sin f}{\cos f} \right)$$

### ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

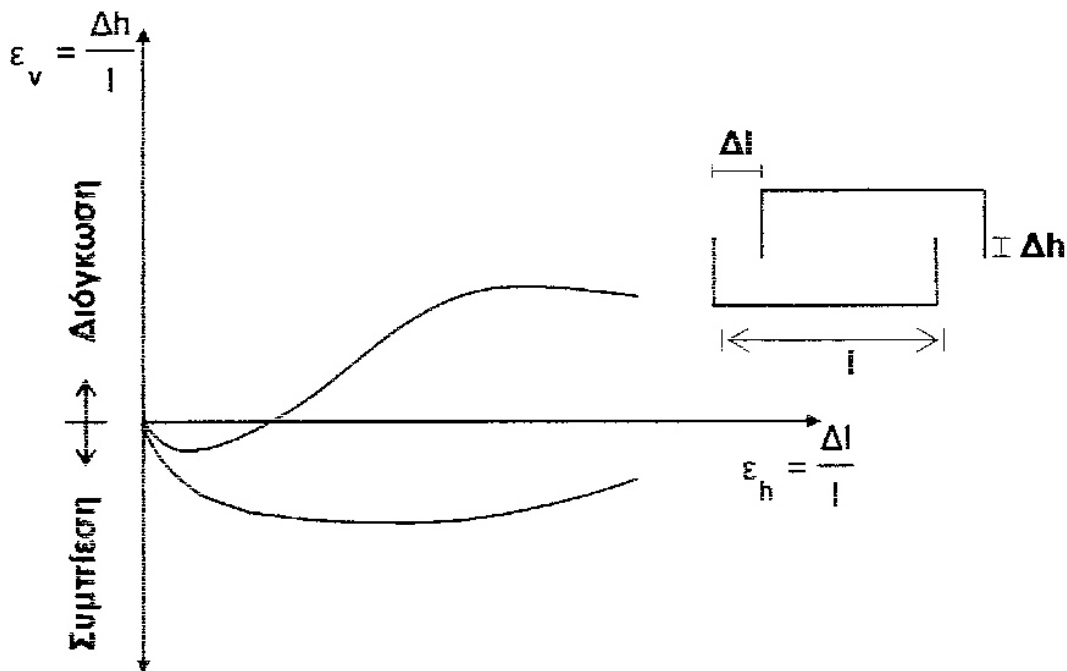
Η μορφή των καμπυλών διατμητικής τάσης – οριζόντιας παραμόρφωσης ποικίλει ανάλογα με την σχετική πυκνότητα ενός μη συνεκτικού υλικού. Έτσι τα αποτελέσματα των δοκιμών άμεσης διάτμησης για την ίδια άμμο σε πυκνή και χαλαρή κατάσταση έχουν την μορφή:





Διατμητική τάση συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης για πυκνή και χαλαρή άμμο.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί η διαφοροποίηση των δοκιμών ως προς την κατακόρυφη παραμόρφωση (συμπίεση – διόγκωση):



Μεταβολή του ύψους του δοκιμίου συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης για πυκνή και χαλαρή άμμο.

### Ειδικός Εργαστηριακός Εξοπλισμός

- Συσκευή θλίψεως: Μπορεί να είναι χειροκίνητη ή μηχανοκίνητη με ελεγχόμενη ταχύτητα επιβολής της παραμόρφωσης του δοκιμίου.
- Μετρητής παραμορφώσεως: Ο μετρητής παραμορφώσεως θα πρέπει να είναι βαθμολογημένος δίσκος σε διαστήματα των 0.03mm και να έχει διαδρομή τουλάχιστον 20% του μήκους του δοκιμίου ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή που θα συμπληρώνει τις απαιτήσεις αυτές.
- Μορφοτής δοκιμίου με τα εξαρτήματα του
  - Ø Πλαίσιο μορφοποιήσεως
  - Ø Συρμάτινο πριόνι
  - Ø Μαχαίρια
- Εξολκέας δείγματος.

Χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των δειγμάτων από τον δειγματολήπτη. Η εξαγωγή του δείγματος θα πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη του δείγματος και με διεύθυνση εξολκεύσεως την ίδια με αυτή της δειγματοληψίας.
- Κλίβανος ξηράνσεως ελεγχόμενος με θερμοστάτη ικανός να διατηρήσει θερμοκρασία  $110 \pm 5$  °C για την επιμέρους δοκιμή προσδιορισμού της υγρασίας.
- Ζυγοί ακριβείας 0.01 και 0.1 του γραμμαρίου  
Δοκίμια μικρότερα από 100 γραμμάρια θα πρέπει να ζυγίζονται με ακρίβεια 0.1 του γραμμαρίου.
- Διάφορες άλλες συσκευές γενικής χρήσεως (μαχαίρια, σπάτουλες, κάψες για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας, έντυπα, χαρτιά δοκιμής)

### Προπαρασκευή Δοκιμών

Κατά την μόρφωση των αδιατάρακτων δοκιμών δίνεται πολύ μεγάλη προσοχή για την αποφυγή διαταράξεως του δείγματος κατά την εξαγωγή του από τον δειγματολήπτη. Αν παρατηρείται οποιαδήποτε διατάραξη του δείγματος

κατά την εξόλκευση του από τον δειγματολήπτη τότε ο σωλήνας που περιέχει το δείγμα θα πρέπει να κόβεται η εγκάρσια ή κατά μήκος του, έτσι ώστε να διευκολύνεται η εξαγωγή του δοκιμίου χωρίς διατάραξη.

Κατά την διάρκεια μόρφωσης του δοκιμίου θα πρέπει να τηρούνται όλες οι προφυλάξεις, ώστε να εμποδίζεται η αλλαγή 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 την μόρφωση της κυλινδρικής επιφάνειας.

Όταν το δείγμα περιέχει χαλίκια που δυσχεραίνουν την μόρφωση, 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.

Προσδιορίζεται το βάρος του δοκιμίου.

Αν για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όλο το δοκίμιο, φυλάσσονται αντιπροσωπευτικά τεμάχια που αποκόπηκαν από το ίδιο δείγμα και τοποθετούνται αμέσως σε αεροστεγές δοχείο.

Το δοχείο 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.

Ο λόγος ύψος προς την διάμετρο του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 2 έως 3. τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διάμετρο 35mm και ύψος 72mm.

### Πορεία δοκιμής

Τοποθετούμε το δοκίμιο στη συσκευή φορτίσεως (θλίψεως) στο κέντρο της κάτω πλάκας. Ρυθμίζουμε την συσκευή έτσι ώστε η άνω πλάκα να βρίσκεται

σε επαφή με την άνω επιφάνεια του δοκιμίου και μηδενίζουμε τον μετρητή των παραμορφώσεων.

Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο έτσι ώστε η παραμόρφωση που θα επιτυγχάνεται να είναι της τάξεως των 0,5 έως 2% ανα λεπτό και γίνεται καταγραφή των παραμορφώσεων ανά 30 δευτερόλεπτα. Η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ολική διάρκεια της δοκιμής να μην ξεπερνά τα δέκα λεπτά προκειμένου για δοκίμια που δεν προστατεύονται με αεροστεγή μεμβράνη. Η επιβολή του αξονικού θλιπτικού φορτίου συνεχίζεται μέχρι να παρατηρηθεί μείωση του φορτίου με αυξανόμενες παραμορφώσεις ή μέχρι να φτάσει η παραμόρφωση στην τιμή 20%.

#### Διαδικασία δοκιμής

Τα αδιατάρακτα δοκίμια λαμβάνονται από τους δειγματολήπτες προσεκτικά ώστε να μην διαταραχτεί ο ιστός τους και μεταβληθεί η φυσική τους υγρασία , ενώ τα διαταραγμένα παρασκευάζονται με μία διαδικασία συμπύκνωσης στοχεύοντας ώστε η υγρασία και η συμπύκνωση τους να είναι οι επιθυμητές.

Μετρούμε την ακριβή διάμετρο των βάσεων του δείγματος σε τρεις θέσεις ανά 120 μοίρες, υπολογίζουμε τον μέσο όρο των μετρήσεων και την καταγράφουμε. Μετρούμε το ακριβές μήκος του δείγματος σε τρεις θέσεις , υπολογίζουμε τον μέσο όρο και το καταγράφουμε. Τοποθετούμε προσεκτικά το δείγμα στη συσκευή θλίψεως μεταξύ των χαλύβδινων βάσεων και το κεντράρουμε στη κάτω βάση. Ρυθμίζουμε το έμβολο επιβολής της κατακόρυφου φορτίσεως έτσι ώστε η ανώτερη βάση μόλις να εφάπτεται στο δείγμα. Εφαρμόζουμε αργά ένα μικρό αξονικό φορτίο και όταν αρχίζουν να παρουσιάζονται οι πρώτες παραμορφώσεις μηδενίζουμε την ένδειξη του μηκυνσιόμετρου των κατακόρυφων παραμορφώσεων και την ένδειξη του δυναμομετρικού δακτυλίου. Αφαιρούμε το δοκίμιο από τη συσκευή συμπίεσεως και λαμβάνουμε δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας και επεξεργαζόμαστε τα αποτελέσματα.

## Παρατηρήσεις

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

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

Στα αναζυμωμένα δοκίμια πρέπει να γίνεται προσπάθεια ώστε να έχουν τον ίδιο δείκτη πόρων και την φυσική υγρασία με τα αδιατάρακτα δείγματα.

Στην περίπτωση που τα δοκίμια τα οποία είναι τοποθετημένα στην συσκευή θλίψεως είναι προστατευμένα με αεροστεγή μεμβράνη η ταχύτητα των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων μπορεί να είναι μικρότερη και συνεπώς η όλη διάρκεια της δοκιμής μεγαλύτερη για καλύτερα αποτελέσματα της δοκιμής.

### 4.3.3. Τριαξονική Δοκιμή

Η δοκιμή τριαξονικής θλίψης είναι ουσιαστικά μία εξέλιξη της μονοαξονικής δοκιμής, όπου είναι δυνατός ο έλεγχος της παράπλευρης τάσης - πίεσης ( $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_r$ ). Είναι έτσι δυνατή η διενέργεια πολλών δοκιμών με διαφορετικά σετ ( $\sigma_1, \sigma_3$ ) που οδηγούν στην αστοχία, σχεδιασμός των αντίστοιχων κύκλων Mohr, της περιβάλλουσας αστοχίας και τέλος της εκτίμησης των παραμέτρων  $\phi, c$ . Επιπλέον είναι δυνατός ο έλεγχος της πίεσης - υπερπίεσης πόρων και των συνθηκών στράγγισης. Στην συνέχεια παρουσιάζεται μία τυπική διάταξη τριαξονικής δοκιμής.



### Σύντομη περιγραφή πειράματος τριαξονικής δοκιμής

Το πείραμα είναι αρκετά σύνθετο, θα περιγραφούν τα βασικά στάδια μίας αστράγγιστης δοκιμής χωρίς μέτρηση της πίεσης πόρων:

- Μορφώνεται το δείγμα σε κυλινδρικό δοκίμιο. Η πλέον συνηθισμένη διάμετρος είναι 35 mm. Η μόρφωση γίνεται προσεκτικά ώστε να μην διαταραχθεί το δείγμα.
- Το δείγμα τοποθετείται μεταξύ πωρόλιθων, πλακών φόρτισης. Στεγανοποιούμε το δείγμα χρησιμοποιώντας ελαστική μεμβράνη.
- Κλείνουμε ερμητικά την κυψέλη με το σύστημα περίσφιξης. Τοποθετούμε την κυψέλη μεταξύ των εμβόλων φόρτισης.
- Γεμίζουμε την κυψέλη νερό, απαερώνουμε και συνδέουμε την διάταξη επιβολής υδροστατικής πίεσης (στήλες υδραργύρου ή κομπρεσέρ ή έμβολα με σερβομηχανισμό). Ανεβάζουμε την υδατική πίεση στο επιθυμητό σημείο. Το δείγμα είναι σε ομοιόμορφη - υδροστατική πίεση  $\sigma_r = \sigma_{1,2,3}$ . Μηδενίζουμε την μέτρηση κατακόρυφου φορτίου.

- Επιβάλλουμε αξονικό φορτίο στο δείγμα (P). Μετράμε το φορτίο P και την αξονική παραμόρφωση Δl.
- Το δοκίμιο αστοχία όταν με την αύξηση της παραμόρφωσης, το φορτίο μένει σταθερό ή μειώνεται. Καταγράφουμε το οριακό φορτίο για να κάνουμε τους υπολογισμούς αντοχής.

### Υπολογισμοί

Η παράπλευρη πίεση  $\sigma_r$  είναι ίση με την κύρια τάση  $\sigma_3$  (και  $\sigma_2$ ). Πριν την επιβολή του κατακόρυφου φορτίου η κύρια τάση  $\sigma_1$  είναι ίση επίσης με την παράπλευρη πίεση. Το κατακόρυφο φορτίο επιβάλλει μία αύξηση της  $\sigma_1$  κατά ένα μέγεθος  $q$  που ονομάζεται «απόκλιση». Είναι δε:

$$q = P/A$$

Η κύρια τάση  $\sigma_1$  κατά την αστοχία είναι:

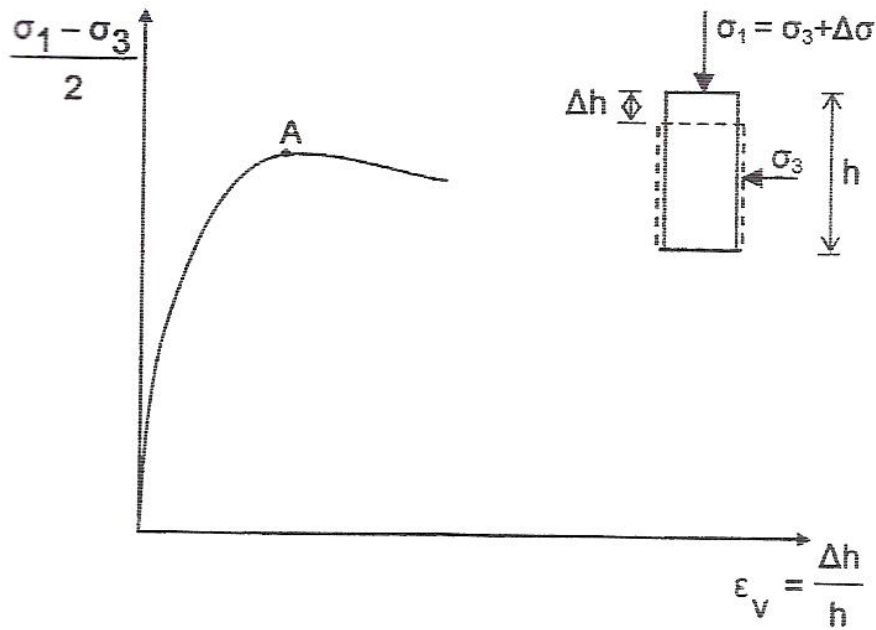
$$\sigma_1 = \sigma_r + q$$

Με το σετ τιμών ( $\sigma_1, \sigma_3$ ) σχεδιάζεται ένας κύκλος Mohr αστοχίας. Η εκτίμηση των παραμέτρων  $\phi, c$  γίνεται από μία σειρά πειραμάτων που αντιπροσωπεύονται από κύκλους Mohr, οπότε είναι δυνατή η σχεδίαση της περιβάλλουσας αστοχίας.

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ

### ΔΟΚΙΜΗ

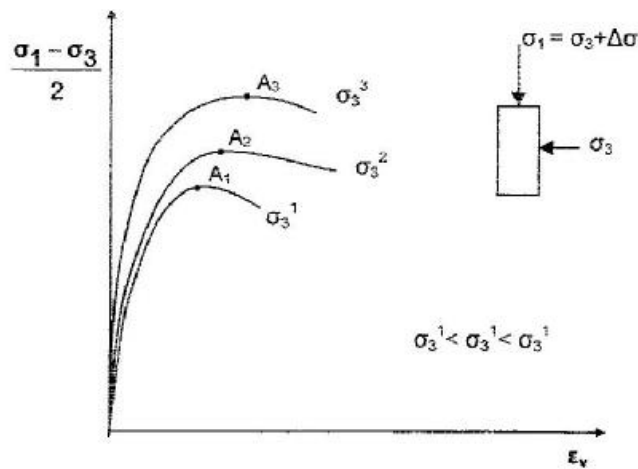
Η διαδικασία της δοκιμής ενός δοκιμίου άμμου στην τριαξονική δοκιμή είναι η εξής: Στο δοκίμιο επιβάλλεται αρχικά μια ολόπλευρη υδροστατική πίεση  $\sigma_3$ . Ακολούθως αυξάνεται η κατακόρυφη πίεση  $\sigma_1$  μέσω του κατακόρυφου στελέχους, μέχρις ότου το δοκίμιο οδηγηθεί σε αστοχία. Τα αποτελέσματα καταγράφονται σε διάγραμμα της μορφής:



Τριαξονική δοκιμή. Μεταβολή της κατακόρυφης τάσης  $\sigma_1$  για διάφορες τιμές της πλευρικής τάσης  $\sigma_3$ .

Η κορυφή του διαγράμματος A αντιστοιχεί στην αστοχία του υλικού.

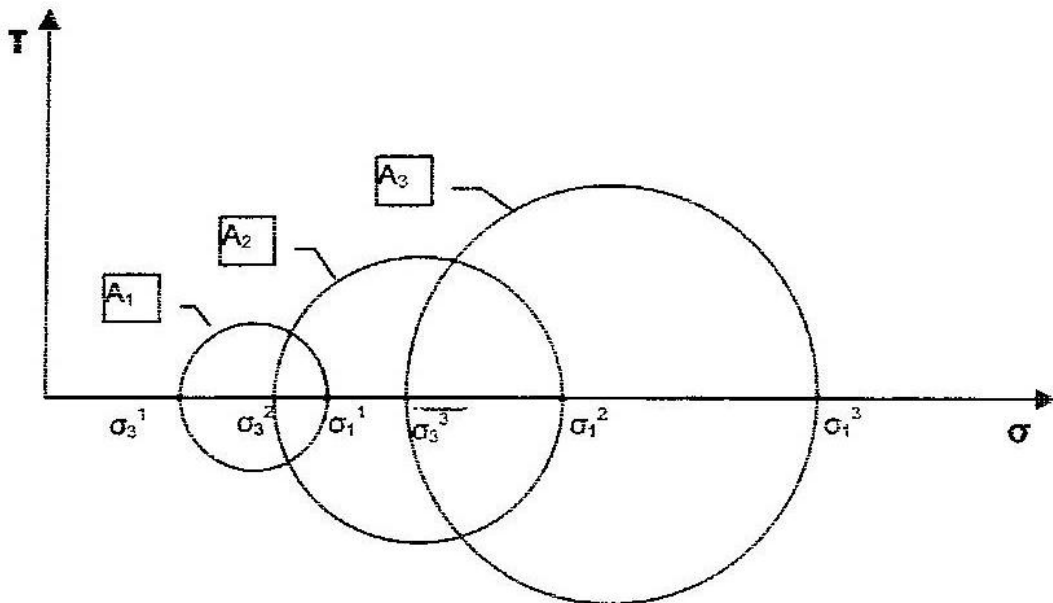
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε άλλο δοκίμιο της ίδιας άμμου με διαφορετική ολόπλευρη πίεση  $\sigma_3$  αυτή τη φορά. Το φορτίο αστοχίας θα είναι διαφορετικό. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί με κάθε φορά διαφορετικές πλευρικές πιέσεις (μεγαλύτερες ή μικρότερες) και τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά θα έχουν την μορφή:



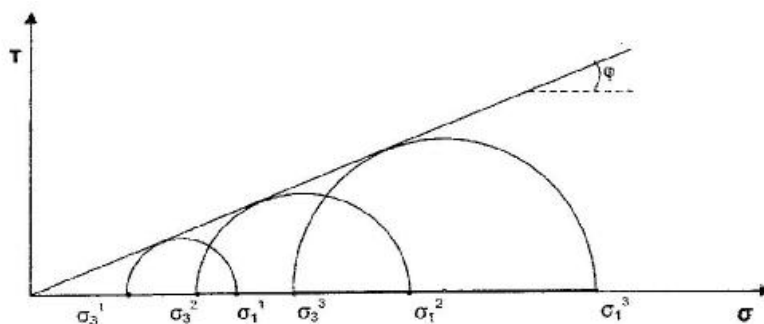
Τριαξονική δοκιμή. Μεταβολή της κατακόρυφης τάσης  $\sigma_1$  συναρτήσει της κατακόρυφης παραμόρφωσης  $\epsilon_v$ .



Κάθε εντατική κατάσταση σε κάθε σημείο ενός υλικού εκφράζεται από τον κύκλο του Mohr. Επομένως υπάρχει και ένας κύκλος Mohr που αντιστοιχεί στην εντατική κατάσταση τη στιγμή της αστοχίας. Αν λοιπόν κατασκευάσουμε τους τρεις κύκλους Mohr που αντιστοιχούν στην εντατική κατάσταση των σημείων  $A_1, A_2, A_3$  θα προκύψει το εξής διάγραμμα:



Τριαξονική δοκιμή. Κύκλοι του Mohr που αντιστοιχούν στις τάσεις αστοχίας. Εφόσον οι κύκλοι αυτοί αντιστοιχούν σε κατάσταση αστοχίας του υλικού, σύμφωνα με την θεωρία των Mohr – Coulomb θα εφάπτονται στην περιβάλλουσα. Επομένως ακολούθως την αντίστροφη διαδικασία, εφόσον υπάρχουν οι κύκλοι αστοχίας, η περιβάλλουσα αστοχίας (περιβάλλουσα του Mohr) υποχρεωτικά θα εφάπτεται σ' αυτούς:

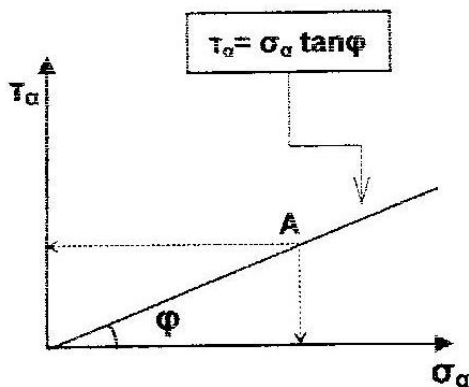


Μη συνεκτικά εδάφη. Περιβάλλουσα αστοχίας Mohr – Coulomb.

Σε κάθε τυχαίο σημείο A της περιβάλλουσας θα εφάπτεται ένας κύκλος αστοχίας. Ταυτόχρονα το σημείο αυτό ορίζει ένα ζεύγος τιμών ορθής τάσης  $\sigma_a$  και διατμητικής τάσης  $\tau_a$  των οποίων ο συνδυασμός οδηγεί το υλικό σε αστοχία. Η εξίσωση της περιβάλλουσας θα είναι:

$$\tau_a = \sigma_a \tan \varphi$$

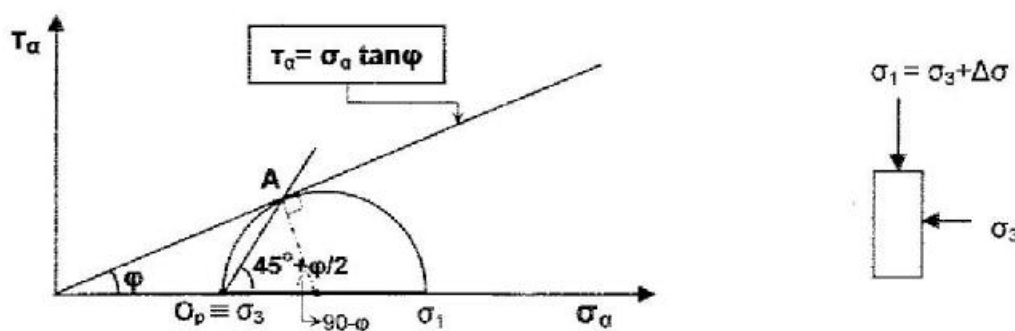
Όπου  $\varphi$  η γωνία εσωτερικής τριβής του εδαφικού υλικού.



Σημείωση: οι υποδείκτες a στα  $\tau_a$  και  $\sigma_a$  χρησιμοποιήθηκαν για να τονιστεί το γεγονός ότι αναφέρονται σε αστοχία

Μη συνεκτικά εδάφη. Γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$

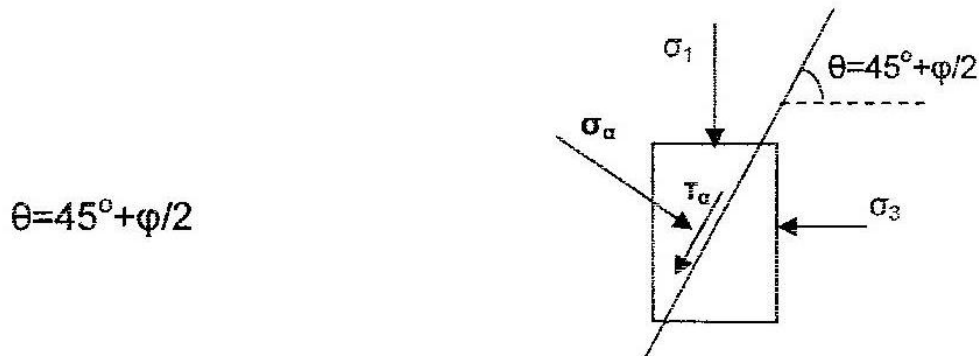
Απομένει ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του επιπέδου ολίσθησης ο οποίος γίνεται ως εξής:



Διεύθυνση του επιπέδου αστοχίας.

Το σημείο A, σημείο επαφής του κύκλου Mohr με την περιβάλλουσα αντιπροσωπεύει τις τάσεις στο επίπεδο αστοχίας. Σύμφωνα με τον ορισμό του πόλου αυτός συμπίπτει με την  $\sigma_3$ . Η διεύθυνση του επιπέδου αστοχίας

προκύπτει αν ενώσουμε τον πόλο με το σημείο A. Από γεωμετρία προκύπτει ότι η διεύθυνση του επιπέδου αστοχίας  $O_p - A$  σχηματίζει γωνία με την οριζόντια.



Μετά το τέλος της τριαξονικής δοκιμής είναι δυνατόν να παρατηρηθούν τα ίχνη των επιπέδων αστοχίας μέσα στο δοκίμιο και να μετρηθεί η κλίση τους.

### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΑ ΠΡΟΣΦΟΡΗΜΕΝΩΝ

#### ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ.

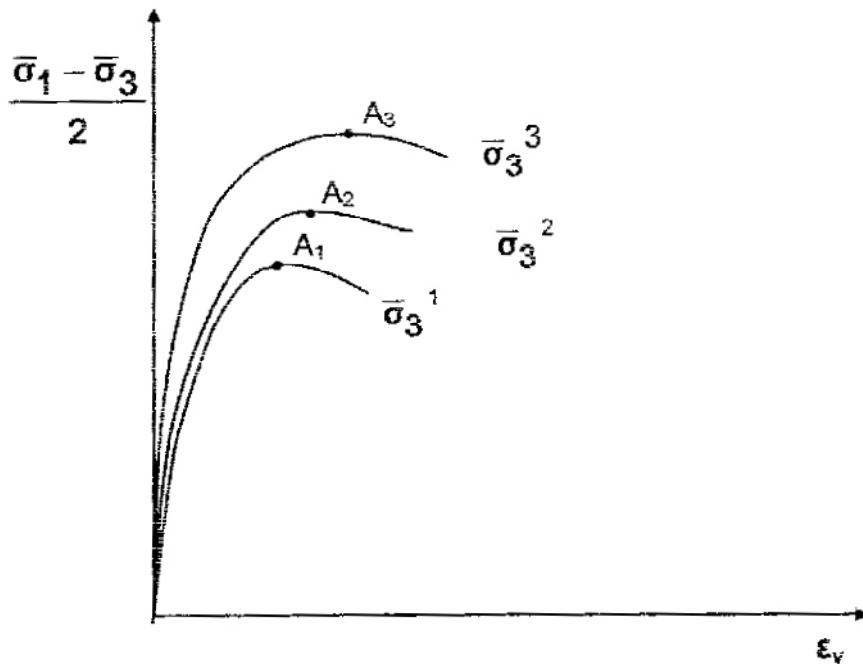
Η μελέτη της διατμητικής αντοχής των κανονικά προφορτισμένων αργίλων γίνεται με την τριαξονική δοκιμή:

Ένα δοκίμιο κορεσμένης, κανονικά προφορτισμένης αργίλου υποβάλλεται σε ολόπλευση υδροστατική πίεση  $\sigma_3$ . Η πίεση αυτή παραλαμβάνεται αρχικά από το νερό των πόρων και προκαλεί την υπερπίεσή του. Μέσω συστήματος αποστράγγισης το νερό των πόρων του δοκιμίου αφήνεται να στραγγίσει, να εκτονωθεί έτσι η υπερπίεση και την τάση να παραλαμβάνουν τελικά οι στερεοί κόκκοι οπότε θα έχουμε αύξηση της ενεργού τάσης κατά  $\sigma_3$ . Κατόπιν αυξάνεται η κατακόρυφη τάση μέσω του στελέχους επιβολής του φορτίου να γίνεται πλήρης στράγγιση ώστε η αύξηση του φορτίου κάθε φορά να ισοδυναμεί με αύξηση της ενεργού τάσης. Το είδος αυτό της δοκιμής λέγεται: τριαξονική δοκιμή με στερεοποίηση και στράγγιση (CD δοκιμή – consolidated – Drained)

Η CD δοκιμή προσομοιάζει πραγματικές συνθήκες κατασκευής ενός τεχνικού έργου σε κορεσμένη άργιλο όπου ο ρυθμός κατασκευής του είναι όσο

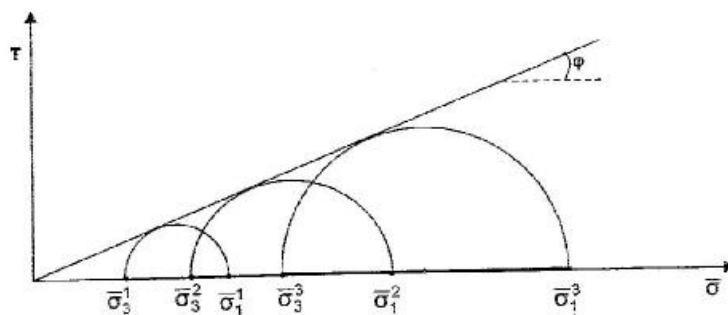
αργός χρειάζεται ώστε κατά την διάρκεια κατασκευής του να γίνεται πλήρης εκτόνωση των υπερπιέσεων του νερού των πόρων.

Μετά την διεξαγωγή των δοκιμών παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε διαγράμματα της μορφής:



Ακολούθως κατασκευάζονται οι κύκλοι του Mohr αστοχίας και προκύπτει η περιβάλλουσα και η σχέση της διατμητικής αντοχής:

$$T_a = \bar{s}_a \tan \bar{f}$$



Κανονικά προφορτισμένες άργιλοι. Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb

Η γωνία εσωτερικής τριβής  $\bar{f}$  στις κανονικά προφορτισμένες αργίλους είναι αρκετά μικρότερη από αυτή των μη συνεκτικών εδαφών.

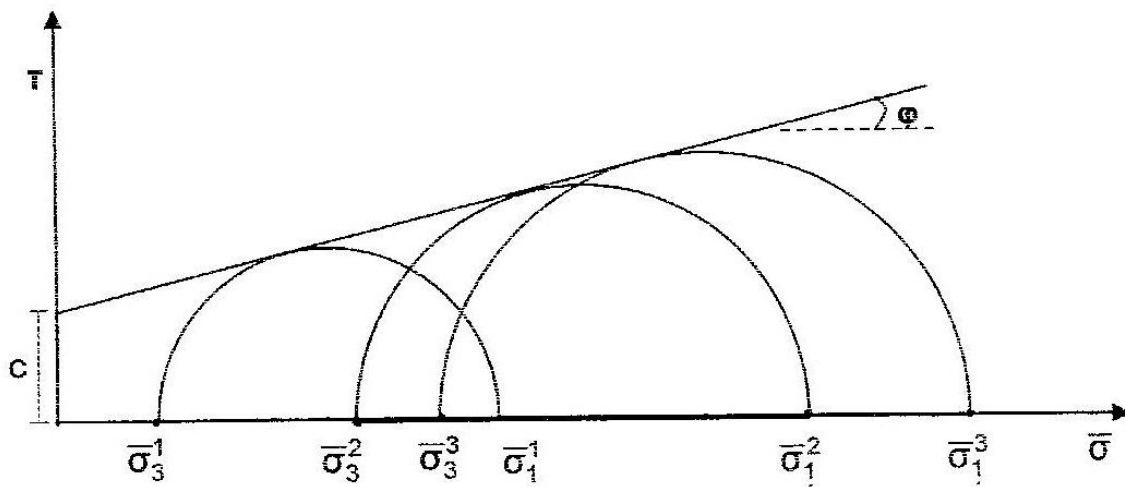
Η διαδικασία της δοκιμής με στερεοποίηση και στράγγιση (CD) είναι πολύ χρονοβόρα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται πολύ συχνότερα η δοκιμή με στερεοποίηση – χωρίς στράγγιση (δοκιμή CU – Consolidated – Undrained). Αρχικά το δοκίμιο υποβάλλεται σε πλευρική τάση  $\sigma_3$  και αφήνεται να στερεοποιηθεί. Ακολούθως κλείνονται οι βαλβίδες στράγγισης του νερού των πόρων και στο δοκίμιο επιβάλλεται κατακόρυφο φορτίο  $\Delta\sigma$  έως ότου τελικά αστοχήσει. Κατά την διάρκεια της δοκιμής μετρείται η πίεση του νερού των πόρων, οπότε η ενεργός τάση σε κάθε βήμα της δοκιμής και επομένως και στην αστοχία προκύπτει ως την διαφορά της ολικής επιβαλλόμενης πίεσης μείον την πίεση του νερού των πόρων:  $\bar{s}_{1\alpha} = \sigma_{1\alpha} - \Delta u_\alpha$

### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Για την μελέτη της διατμητικής αντοχής των υπερεστεροποιημένων αργίλων εκτελείται η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε πιο πάνω  $\sigma_3$  να είναι μικρότερη από την μέγιστη τάση προφόρτισης της αργίλου  $\bar{s}_\rho$  ( $\bar{s}_3 < \bar{s}_\rho$ ).

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την κατασκευή της περιβάλλουσας η σχέση της διατμητικής αντοχής γίνεται:

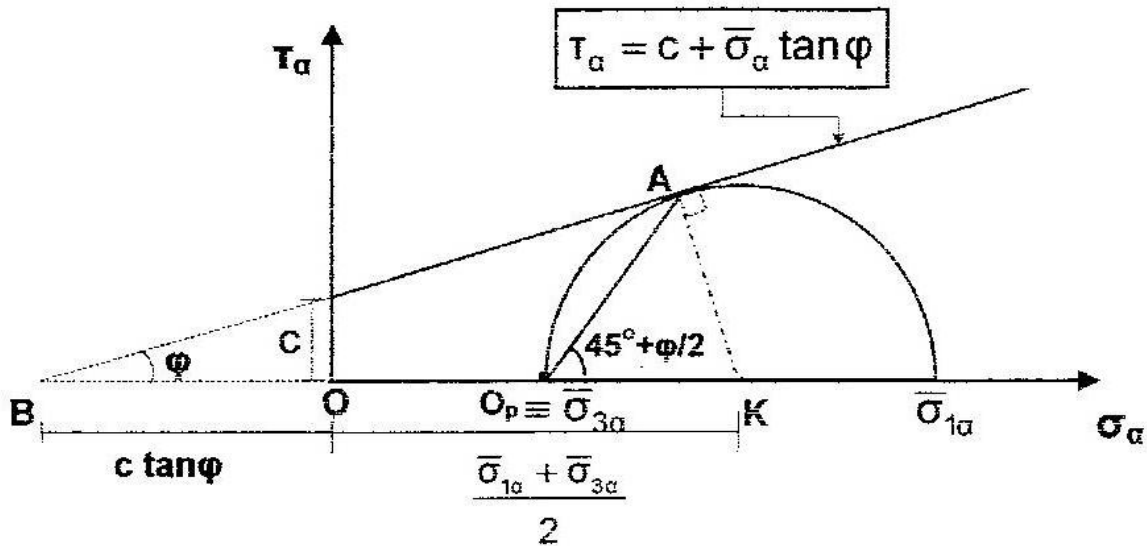
$$T_\alpha = c + \bar{s}_a \tan \bar{f}$$



Υπερφορτισμένες άργιλοι. Περιβάλλουσα αστοχίας

Το μέγεθος  $c$  καλείται συνοχή και εκφράζει την διατμητική αντοχή της αργίλου όταν η ορθή τάση είναι μηδενική (για  $\sigma = 0$ ,  $\tau = c$ )

Για την εύρεση της διεύθυνσης του επιπέδου αστοχίας εργαζόμαστε όπως παραπάνω:



Υπερφορτισμένες άργιλοι. Διεύθυνση επιπέδου αστοχίας

Από τον κύκλο του Mohr αστοχίας προκύπτει όπως πιο πάνω η διεύθυνση του επιπέδου αστοχίας  $\theta = 45^\circ + \varphi/2$  και οι εξής σχέσεις διατμητικής αντοχής:

$$\sin \varphi = \frac{AK}{AB} = \frac{\frac{\bar{\sigma}_{1\alpha} - \bar{\sigma}_{3\alpha}}{2}}{\frac{\bar{\sigma}_{1\alpha} + \bar{\sigma}_{3\alpha}}{2} + c \cot \varphi}$$

Από την σχέση αυτή με μετασχηματισμούς προκύπτουν οι εξής χρήσιμες σχέσεις:

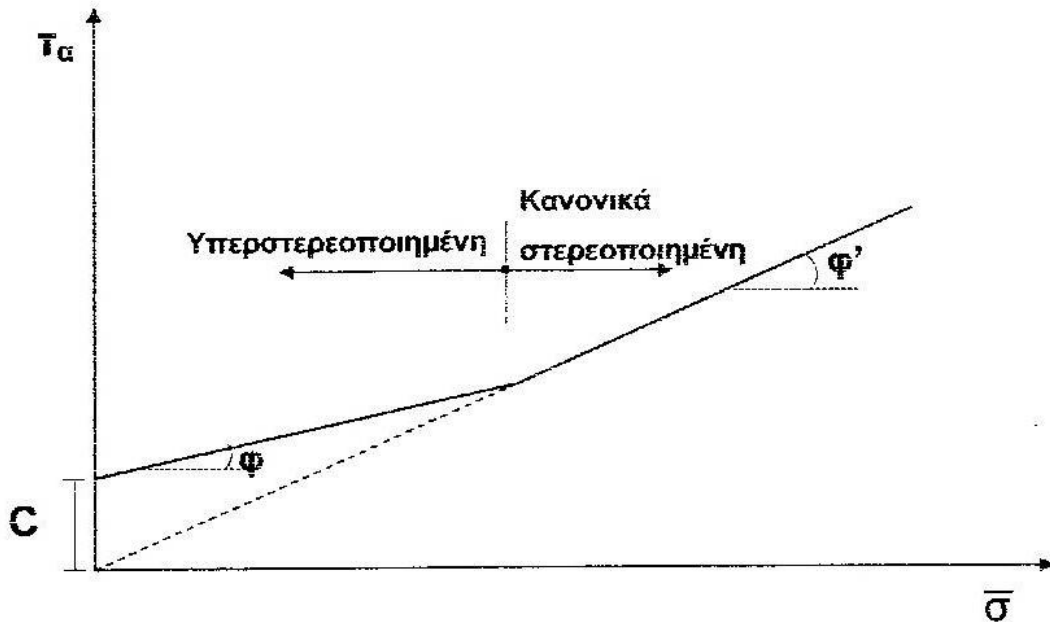
$$\bar{\sigma}_{1\alpha} - \bar{\sigma}_{3\alpha} = 2c \cos \varphi + (\bar{\sigma}_{1\alpha} + \bar{\sigma}_{3\alpha}) \sin \varphi$$

$$\bar{\sigma}_{1\alpha} = \bar{\sigma}_{3\alpha} N_\varphi + 2c \sqrt{N_\varphi}$$

$$\bar{\sigma}_{3\alpha} = \frac{\bar{\sigma}_{1\alpha}}{N_\varphi} - \frac{2c}{\sqrt{N_\varphi}}$$

$$\text{όπου: } N_\varphi = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

Στην περίπτωση που η τριαξονική δοκιμή ξεκινήσει με ολόπλευρη πίεση  $\sigma_3 < \sigma_p$  στην συνέχεια των δοκιμών ξεπεράσει την τιμή της μέγιστης τάσης προφόρτισης τότε η περιβάλλουσα που θα προκύψει θα έχει την μορφή:



Περιβάλλουσα ενεργών τάσεων για στερεοποιημένες αργίλους

### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΚΟΡΕΣΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ ΣΕ

### ΑΣΤΡΑΓΓΙΣΤΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Πολλές φορές η διαδικασία κατασκευής ενός τεχνικού έργου (π.χ. ενός μεγάλου επιχώματος ή ενός φράγματος) θεμελιωμένο σε κορεσμένη άργιλο μπορεί να γίνει με γρήγορο ρυθμό έτσι ώστε να μην υπάρξει ο απαραίτητος χρόνος για την διαφυγή του νερού. Τότε η κατασκευή του έργου γίνεται σε αστράγγιστες συνθήκες όπου έχουμε παραλαβή του πρόσθετου φορτίου από το νερό των πόρων και επομένως ανάπτυξη υπερπιέσεων σε αυτό καθόλη την διάρκεια κατασκευής του έργου. Είναι απαραίτητη επομένως η μελέτη της συμπεριφοράς των αργίλων σε αστράγγιστες συνθήκες.

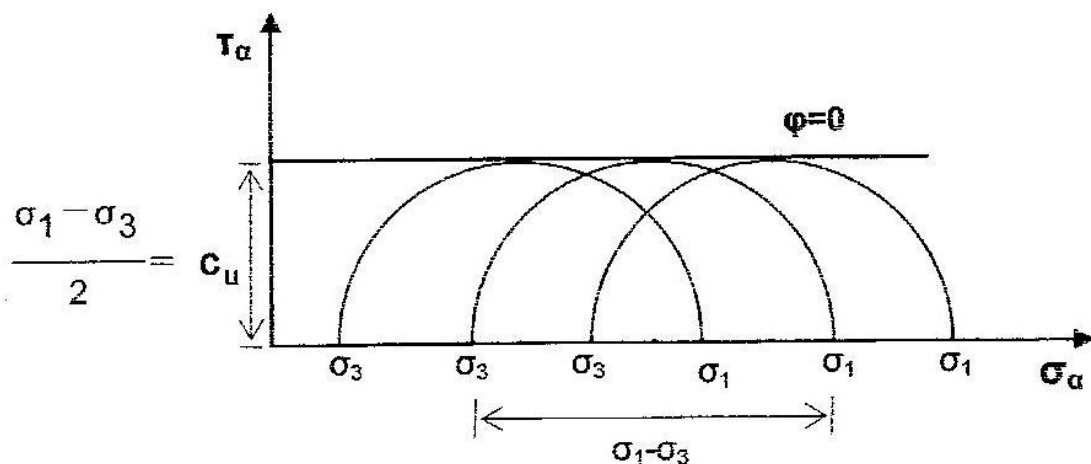
Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε την τριαξονική δοκιμή χωρίς στερεοποίηση – χωρίς στράγγιση (Δοκιμή UU – Unconsolidated – Undrained) η διαδικασία της οποίας συνοπτικά έχει ως εξής:

Μετά την τοποθέτηση του δοκιμίου στο κέλυφος της συσκευής επιβάλλεται η πλευρική πίεση  $\sigma_3$  χωρίς να επιτρέπεται η διαφυγή του νερού των πόρων. Ακολούθως επιβάλλεται η πρόσθετη κατακόρυφη τάση  $\Delta\sigma$  και – πάλι χωρίς στράγγιση – το δοκίμιο οδηγείται σε αστοχία. Η διαδικασία αυτή γίνεται πολύ γρήγορα. Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι η περιβάλλουσα είναι οριζόντια γραμμή και επομένως η γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi = 0$ . Για το λόγο αυτό οι συνθήκες χωρίς στερεοποίηση – χωρίς στράγγιση λέγονται και συνθήκες  $\varphi = 0$ . Η διατμητική τάση αστοχίας  $T_a$  είναι ίση με την συνοχή του δοκιμίου που στην περίπτωση αυτή καλείται αστράγγιστη συνοχή

$$c_u.$$

$$T_a = c_u.$$

Επίσης παρατηρούμε ότι η τάση  $\Delta\sigma$  που απαιτείται για να οδηγηθεί σε αστοχία το δοκίμιο που είναι ίση με  $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$ , είναι ίδια ανεξαρτήτως της τιμής της  $\sigma_3$ .



Περιβάλλουσα αστοχίας για δοκιμή χωρίς στράγγιση – χωρίς στερεοποίηση UU



## Παρατηρήσεις

Για κάθε πλήρη σειρά δοκιμών τριαξονικής φορτίσεως πρέπει να θραύονται σε διαφορετικές πλευρικές πιέσεις, τρία τουλάχιστον δείγματα οπότε χαράσσονται και τρεις κύκλοι του Mohr. Η περιβάλλουσα της αντοχής προκύπτει τότε σαν η κατά την καλύτερη προσέγγιση εφαπτομένη των τριών κύκλων.

Συμπερασματικά δε η περιγραφείσα δοκιμή τριαξονικής θλίψεως έναντι της δοκιμής απευθείας διατμήσεως ως προς τα κάτωθι:

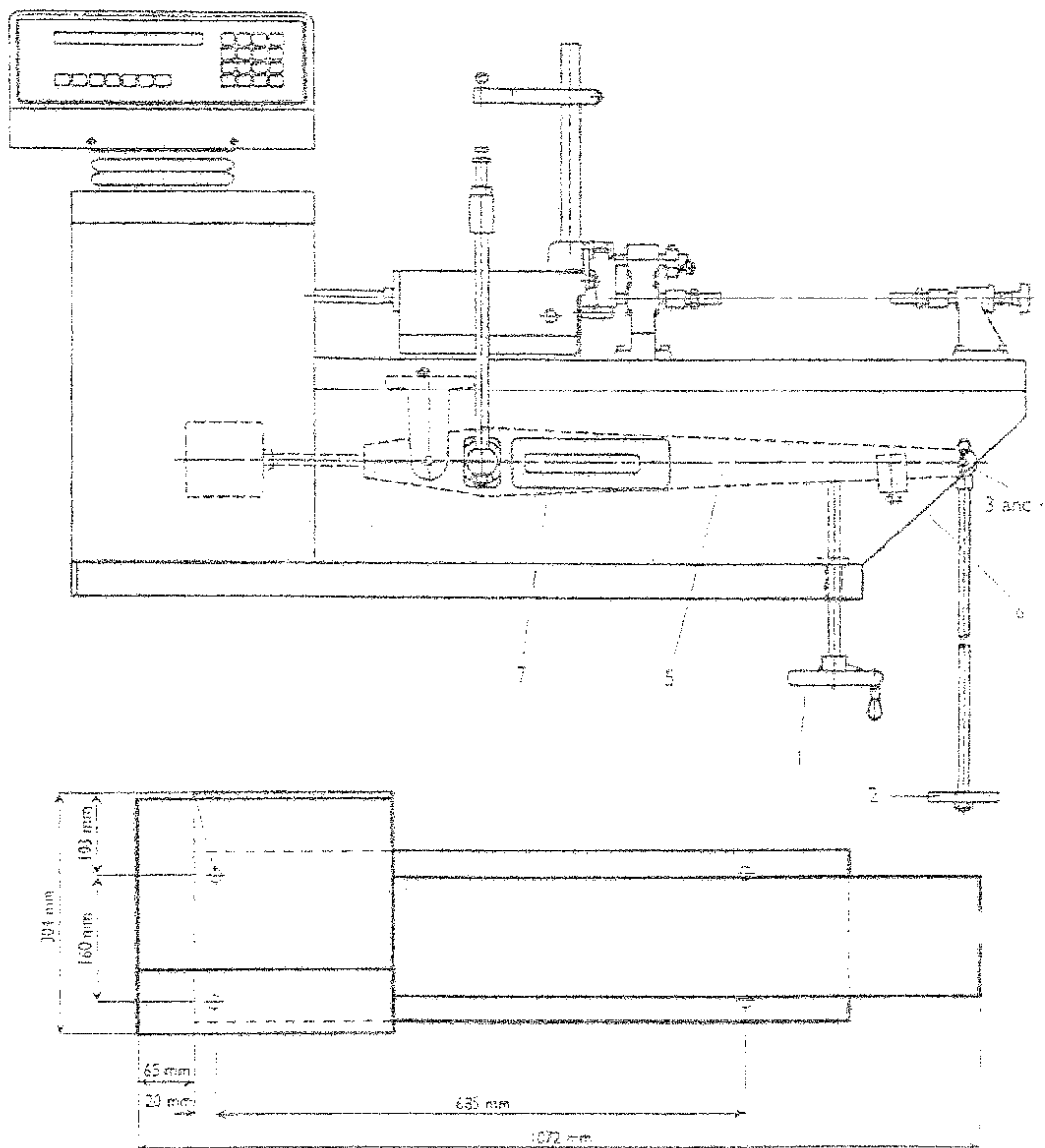
1. Η δοκιμή εκτελείται κάτω από συνθήκες ανάλογες προς τις πραγματικές συνθήκες του εδάφους.
2. Ελέγχεται πλήρως η πίεση του νερού των πόρων, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των ενεργών τάσεων, οι οποίες ως γνωστό συμμετέχουν στην ανάπτυξη της διατμητικής αντοχής των εδαφών.
3. Η δοκιμή προσαρμόζεται εύκολα στις ειδικές απαιτήσεις αναλόγως προς τις ανάγκες έρευνας.

## 5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ



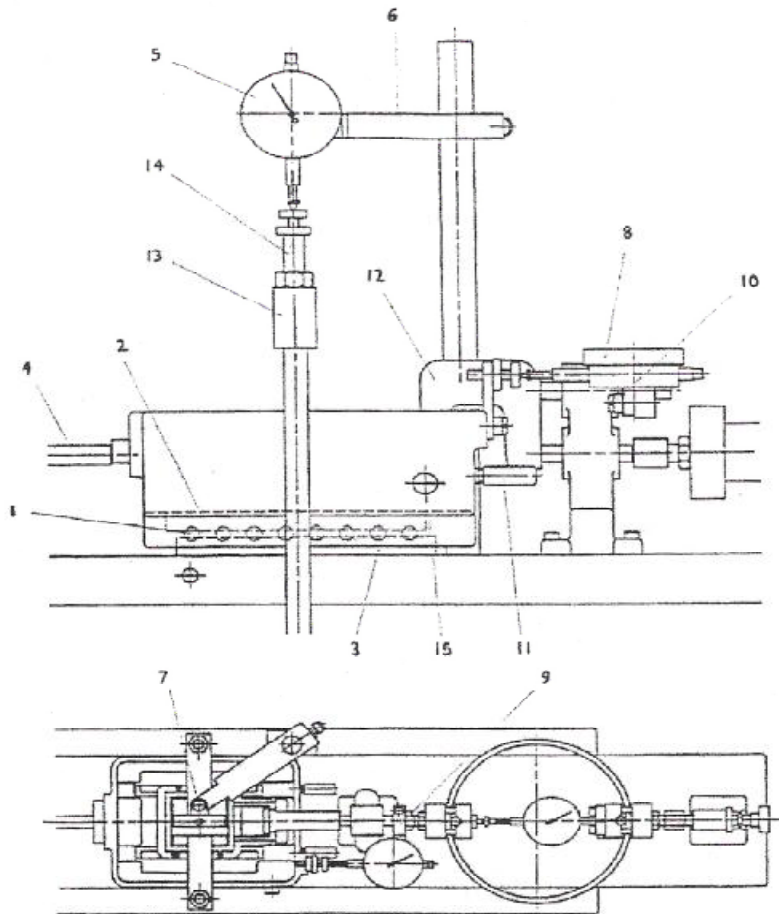
Δοκιμή άμεσης διάτμησης του εργαστηρίου του Τ.Ε.Ι Πάτρας





**ΣΧΗΜΑ 1. Χερούλι ανύψωσης και αναρτήρας φορτίου.**

1. Χερούλι ανύψωσης
2. Αναρτήρας βάρους
3. Οριζόντιος άξονας
4. Κατακόρυφος άξονας
5. Αναρτήρας
6. Συρτό βαρίδιο
7. Σχισμές



**ΣΧΗΜΑ 2. Βαγόني διάτμησης και μηκυνσιόμετρον.**

1. Ρουλεμάν
2. Πάνω γραμμή τροχιάς
3. Κάτω κύρια γραμμή τροχιάς
4. Άξονας φόρτισης
5. Μηκυνσιόμετρο κατακόρυφης παραμόρφωσης
6. Βραχίονας
7. Βίδα
8. Μηκυνσιόμετρο οριζόντιας παραμόρφωσης
9. 'Λαιμός' οδήγησης του άξονα του βραχίονα
10. Βίδα
11. Βίδα ασφάλισης
12. 'Λαιμός'
13. Ζυγός φορτίου
14. Άξονας
15. Πώμα αποστράγγισης

## 5.1. Εισαγωγή

Μικροεπεξεργαστής ελέγχου.

LCD οθόνη (υγρών κρυστάλλων).

Απευθείας είσοδος μέσω επαφής του ευαίσθητου πληκτρολογίου. Γρήγορη προσπέλαση και επιστροφή για να δοθούν τα δεδομένα. Πλήρως μεταβλητή ταχύτητα από 0.00001 μέχρι 9.99999 mm/min. Δέχεται δείγματα διαμέτρου μέχρι 100 mm.

Η χρήση του ελεγχόμενου μέσω μικροεπεξεργαστή κίνησης και η εισαγωγή δεδομένων μέσω πληκτρολογίου παρέχει στη συσκευή μία ευρεία ποικιλία χαρακτηριστικών η οποία περιλαμβάνει παύση και αλλαγή ταχύτητας κατά την διάρκεια της δοκιμής, αυτοδιαγνώσεις και πολλά άλλα χαρακτηριστικά. Η επιστροφή στα αρχικά δεδομένα παρέχει έναν σίγουρο τρόπο αντιστροφής του κιβωτίου διάτμησης είτε όταν ετοιμάζεται για μια καινούρια δοκιμή είτε όταν συνεχίζει με τις υπόλοιπες διαδικασίες της δοκιμής.

Η ασφαλής κίνηση προς τα εμπρός / προς τα πίσω του ορίου αλλαγής εφαρμόζεται σαν 'στάνταρτ'.

Τα ηλεκτρονικά ελέγχου είναι αποθηκευμένα σε ένα μοντέρνο διαμορφωμένο εξάρτημα το οποίο είναι ρυθμιζόμενο για βέλτιστη εικόνα όψης.

Η συσκευή περικλείεται από μια γερή κατασκευασμένη θήκη και έχει σχεδιαστεί για μεγάλη αντοχή στους κραδασμούς.

Είναι εφοδιασμένη με " βαγόνι", αναρτήρα φορτίου και μοχλό ο οποίος με βάρος B παρέχει δεκαπλάσια δύναμη P (10:1).

Βάση αντοχής παρέχεται προαιρετικά. Αριθμός καταλόγου 26-2112/20

## 5.2. Λίστα εξαρτημάτων

<b>Είδος</b>	<b>Ποσότητα</b>
Μηχανή διάτμησης	1
Μοχλοβραχίονας φορτίου	1
Χερούλι ανύψωσης	1
Βαγόνι	1
Ρουλεμάν	2
Παξιμάδια σύνδεσης και ασφάλισης Του δακτυλίου φορτίου	2
Κύριος οδηγός	1
RS232 25 είσοδος πρίζας	1
RS232 25 κάλυμμα εισόδου	1

## 5.3. Προδιαγραφές

<b>Προδιαγραφές</b>	<b>Μήκος</b>	<b>Πλάτος</b>	<b>Ύψος</b>
Διαστάσεις (Συμπεριλαμβάνοντας τον αναρτήρα φορτίου)	325mm	1075 mm	845mm
Μέγιστο μέγεθος δείγματος	100mm		
Μέγιστο φορτίο σχεδιασμού	1000Kg		
Δείγμα διαμέτρου 60 mm με	100Kg		
10:1 αναλογία σε τάση	2.8N/mm <sup>2</sup>		
Μέγιστη δύναμη διάτμησης	5 KN		
Βάρος χωρίς την βάση	70Kg		
Βάρος βάσης	18Kg		

## 5.4. Εγκατάσταση

### Τοποθέτηση

Βεβαιωθείτε ότι ο πάγκος πάνω στον οποίο θα τοποθετηθεί η μηχανή διάτμησης είναι επίπεδος και ικανός να αντέξει το συνολικό βάρος της μηχανής. Με σκοπό να προσαρμοστεί ο αναρτήρας φορτίου ο πάγκος πρέπει να έχει ύψος το λιγότερο 650mm. Η βάση της μηχανής πρέπει να τοποθετηθεί πάνω στον πάγκο έτσι ώστε ο μοχλοβραχίονας του φορτίου να εξέχει από την άκρη του πάγκου κατά προσέγγιση 130mm. Αυτό γίνεται για να παρέχεται ευκολία χρήσης τόσο στο χερούλι ανύψωσης όσο και στον αναρτήρα. Για ασφαλή λειτουργία συνιστάται η μηχανή να είναι στερεωμένη στον πάγκο. Επίσης για μεγαλύτερη ασφάλεια κατά την χρήση της τα πόδια στήριξης πρέπει να είναι καρφωμένα στο πάτωμα.

### Ηλεκτρικά

Ελέγξτε ότι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος είναι σύμφωνη με την απαιτούμενη που αναγράφεται στην ετικέτα η οποία βρίσκεται στο πίσω μέρος του μηχανήματος και η σύνδεση γίνεται σύμφωνα με τους κανονισμούς I.E.E. ή τις τοπικές προδιαγραφές.

Η μηχανή λειτουργεί με ένταση ρεύματος 13 amp όταν συνδέεται με την κατάλληλη πρίζα 3 καλωδίων σύμφωνα με την ετικέτα.

Σημείωση : συνδέστε το καλώδιο στην πρίζα ως εξής :

Καφέ σύρμα	L	
Μπλε σύρμα	N	ουδέτερο
Πράσινο / κίτρινο σύρμα	E	εδάφους

Χερούλι ανύψωσης και αναρτήρας φορτίου (σχήμα 1) Βιδώστε το χερούλι (1) στο σκελετό της μηχανής. Ταιριάξτε τον αναρτήρα φορτίου (2) στο τέλος του μοχλού μέσω περόνης (3) και των συνδετήρων R(4).

Η μηχανή διάτμησης είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε ο μοχλοβραχίονας κατάλληλα συναρμολογημένος (5) να πολλαπλασιάζει το δοσμένο φορτίο επί 10.

Για παράδειγμα : 1 kg βάρος δίνει 10 kg φορτίο στο δείγμα.

Ισορροπείστε τον μοχλό στην οριζόντια θέση προσαρμόζοντας το συρτό βαρίδιο ισορροπίας (6)

Βαγόني διάτμησης (σχήμα 2)

Το βαγόني κινείται πάνω σε δύο ρουλεμάν κινούμενο ανάμεσα στην πάνω γραμμή τροχιάς (2) και στην κάτω γραμμή τροχιάς (3).

Τοποθετείστε τα ρουλεμάν και το βαγόني κεντρικά στην τροχιά και ελέγξτε αν κινείται ελεύθερα.

Συνδέστε το βαγόني στον άξονα φόρτισης (4).

Δακτύλιος φορτίου (σχήμα 3).

Υπάρχει μια ποικιλία από δυναμόμετρα τα οποία είναι διαθέσιμα για χρήση με εύρος τιμών των ενδείξεων από 2.0 KN έως 4.5 KN.

Δύο ειδικοί σχιστοί προσαρμοστές (1) παρέχονται για να ενώσουν το δυναμόμετρο στο σύστημα ρύθμισης (2) και το κιβώτιο διάτμησης (3).

Χειριστείτε τον προσαρμοστή (4) και το λαιμό (5) για να συνδεθεί κατάλληλα το δυναμόμετρο.

Με σκοπό να προσαρμόσουμε το αυξανόμενο μέγεθος της αναπόσπαστης προεξοχής που υποδεικνύεται στο δυναμόμετρο είναι απαραίτητο να αντιστρέψουμε τον προσαρμοστή κατάλληλα (2).

Κιβώτιο διάτμησης. Μια σειρά από κιβώτια διάτμησης είναι διαθέσιμα για την υποδοχή δειγμάτων διαφόρων μεγεθών. Καθένα είναι κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από μη σιδηρούχο υλικό και είναι εφοδιασμένο από ένα πλήρες σύστημα αποτελούμενο από :



- (1) άνω και κάτω τμήματα του κιβωτίου διάτμησης.
- (2) άνω και κάτω δακτυλίους διάτμησης.
- (3) άνω και κάτω πορώδεις λίθους.
- (4) ζεύγος από βίδες ευθυγράμμισης.
- (5) ζεύγος από βίδες διαχωρισμού των δύο τμημάτων του κιβωτίου διάτμησης.

#### Στοιχεία βάρους

Για την εφαρμογή του φορτίου στο δείγμα τα βάρη προστίθενται στον υποδοχέα βαρών με την λαβή τελείως κάτω να στηρίζει την ράβδο ορθής τάσης βαρών.

Μηκυσιόμετρο κατακόρυφης και οριζόντιας παραμόρφωσης (σχήμα 2)

Το μηκυσιόμετρο της κατακόρυφης παραμόρφωσης (5) ακουμπά απευθείας σε έναν βραχίονα (6) και ασφαρίζεται με μια βίδα (7).

Το μηκυσιόμετρο της οριζόντιας παραμόρφωσης (8) ακουμπά απευθείας στο λαιμό που οδηγεί τον άξονα του βραχίονα (9) και ασφαρίζεται με μια βίδα (10).

Μετρητές οριζόντιας και κατακόρυφης παραμόρφωσης (σχήμα 5).

Ο μετρητής της κατακόρυφης παραμόρφωσης (1) είναι εφοδιασμένος με ένα βραχίονα διαχωρισμού (2) ο οποίος συνδέεται γύρω από αυτόν και ακουμπά στον επάνω βραχίονα (3) που ασφαρίζεται με την βοήθεια μιας βίδας (4).

Ομοίως και ο μετρητής της οριζόντιας παραμόρφωσης (5) είναι εφοδιασμένος με ένα βραχίονα διαχωρισμού (6) ο οποίος ακουμπά στον λαιμό που οδηγεί τον άξονα του βραχίονα (7) και ασφαρίζεται με μια βίδα (8).

Για λόγους εύκολης αναγνώρισης οι μετρητές είναι σημειωμένοι με "V" για την κατακόρυφη παραμόρφωση και "H" για την οριζόντια.

Συναρμολόγηση του κιβωτίου διάτμησης (σχήμα 2,3,4).

Είναι σημαντικό να ασφαρίζεται το κιβώτιο διάτμησης στο φορέα χρησιμοποιώντας τις βίδες ασφάλισης (11 σχήμα 2 και 10 σχήμα 8).

Επιλέξτε το απαιτούμενο κιβώτιο διάτμησης και αφαιρέστε όλα τα ελάσματα εκτός από το τελευταίο (2 σχήμα 4).

Τοποθετείστε το κιβώτιο διάτμησης στο φορέα συνδέοντας τις προεξοχές του πάνω τμήματος (11 σχήμα 4) με το λαιμό (12 σχήμα 2)

Σημείωση : Ίσως είναι απαραίτητο να προσαρμόσετε τη θέση του δακτυλίου φόρτισης (4 σχήμα 3) για να το κατορθώσετε.

Βιδώστε τις δύο βίδες ασφάλισης του κιβωτίου διάτμησης (11 σχήμα 2) και σφίξτε για να ασφαλίσει το κιβώτιο στον φορέα.

#### 5.5. Χειριστήρια / Περιγραφή

Δίκτυο (1), σχήμα 7.

Βρίσκεται στο πίσω μέρος της μηχανής. Ο διακόπτης αυτός τροφοδοτεί τη συσκευή με ρεύμα . ( ON / OFF)

Διακόπτης επανεκκίνησης είναι τοποθετημένος συνεχόμενα στο δίκτυο του διακόπτη, στο πίσω μέρος της μηχανής και προστατεύει το ηλεκτρικό κύκλωμα από πιθανή καταστροφή λόγω υπερφόρτωσης. Πιέζοντας τον διακόπτη απενεργοποιείται ο μηχανισμός. Όταν ο διακόπτης ρεύματος ανάβει αρχικά στη μονάδα θα ακουστεί το "μπιπ" και το ταμπλό θα δείξει ' SHEAR BOX «SYSTEM CHECK» ' Αυτό θα παραμείνει κατά προσέγγιση για 2 sec. Κατά τη διάρκεια του οποίου πραγματοποιούνται μια σειρά από αυτόματους ηλεκτρονικούς ελέγχους. Όταν η έλεγχος τελειώσουν το ταμπλό θα δείξει είτε :

' (MANUAL) = STOP = x.xxxxx mm/min'

' [MODEL] /Enter speed#.# # # # # #mm/min ή

' (RS -232) = STOP = 00.00000 mm/min'

' [ ] RXTX [ ]' ή

' (RS -232) = STOP = 0.000000 in/min '

' [     ] RXTX[     ]'

Σημείωση : x.xxxxx δηλώνει την τελευταία συγκρατημένη στη μνήμη ταχύτητα.

Επιλογή τρόπου λειτουργίας.

Το πλήκτρο [ Mode ] χρησιμεύει στην επιλογή του τρόπου λειτουργίας από τις επιλογές του συστήματος. Αυτοί είναι:

- Manual                      Ελέγχεται από το μπροστινός χειριστήριο ελέγχου με τα κουμπιά και τα πλήκτρα
- Serial                        Ελέγχεται μέσω σειριακής θύρας K.8 232
- Set 0 to datum            Ρυθμίστε την θέση δεδομένων για επαναφορά στη λειτουργία δεδομένων
- Set – up                      Πρωτόκολλο διαμόρφωσης σειριακής θύρας και διάφορες λειτουργίες του συστήματος (μονάδες / τύπος / αντίθεση / διαγνωστικά).

Όταν το πλήκτρο [ Mode ] πιέζεται επαναλαμβανόμενα τότε στην τελευταία γραμμή του ταμπλό θα εμφανιστούν διαδοχικά τα παρακάτω

' [ Enter] [ Mode ] : Manual or [ Exit]'

' [ Enter ] [ Mode ]: Serial or [ Exit] '

' [ Enter ] [ Mode ] : Set 0 to datum or [ Exit] [ Enter ] '

' [ Enter ] [ Mode ]: Set - up or [ Exit]'

Όταν ο επιθυμητός τρόπος λειτουργίας εμφανίζεται στην οθόνη πιάστε το πλήκτρο [ Enter ] για να επιλέξετε αυτόν ή πιάστε το πλήκτρο [ Exit] για να τον αποβάλλετε και να γυρίστε στον ισχύοντα τρόπο.

Χειροκίνητη λειτουργία

Η οθόνη θα δείξει:

' (MANUAL) = STOP = x.xxxxx mm/min'

' [Mode] / Enter speed #.# # # # # # mm/min'

Η επάνω γραμμή δείχνει την κατάσταση του συστήματος και την προεπιλεγμένη ταχύτητα.

Η προεπιλεγμένη ταχύτητα μπορεί να αλλάξει οποιαδήποτε στιγμή μέσω πληκτρολογίου με την πληκτρολόγηση αριθμών. Η νέα ταχύτητα θα φαίνεται στην τελευταία γραμμή στο μέρος # και θα γίνει ενεργεί όταν πατηθεί το [ Enter ]. Το πλήκτρο [ Clear ] μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση λανθασμένης πληκτρολόγησης πριν την πληκτρολόγηση του [ Enter ]. Τα ακολουθούμενα μηδενικά δεν απαιτείται να πληκτρολογηθούν. Δεν είναι απαραίτητο να πληκτρολογηθεί το δεκαδικό σημείο.

Η συσκευή ελέγχεται, από τα εξής πλήκτρα εντολών :

- [STOP] Ακυρώνει όλες τις κινήσεις και λειτουργίες Η μηχανή σταματά
- [FWD] Μετακινείται προς τα εμπρός με την προεπιλεγμένη ταχύτητα Στιγμιαία
- [REV] Μετακινείται προς τα πίσω με την προεπιλεγμένη ταχύτητα Συνεχόμενα
- [FAST+FWD] Μετακινείται προς τα εμπρός με γρήγορη ταχύτητα Στιγμιαία
- [FAST+REV] Μετακινείται προς τα πίσω με γρήγορη ταχύτητα Συνεχόμενα
- [PAUSE] Βλέπε pause mode Συνεχόμενα
- [RUN] Μετακινείται προς τα εμπρός Με την προεπιλεγμένη ταχύτητα Συνεχόμενα
- ◀ Ξαναγυρίστε στα δεδομένα (if Datum 0 to set) Συνεχόμενα

Η κατάσταση του συστήματος εμφανίζεται στην οθόνη ως εξής

= STOP =	Σταθερά	Η συσκευή σταματά κανονικά.
->> RUN à	Παλλόμενο	κατάσταση λειτουργίας μετακίνηση προς τα εμπρός με την προεπιλεγμένη ταχύτητα.
->	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα εμπρός με την Προεπιλεγμένη ταχύτητα
<-	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα πίσω με την Προεπιλεγμένη ταχύτητα
<-<-	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα εμπρός με γρήγορη Ταχύτητα
	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα πίσω με γρήγορη Ταχύτητα.
PAUSE	Σταθερά	Παύση στην τρέχουσα λειτουργία
STOP	Παλλόμενο	Σταμάτημα με υπερμετατόπιση του προς τα ->>
<-<- STOP	Παλλόμενο	Σταμάτημα με υπερμετατόπιση του προς τα πίσω ορίου
◀<-<-	Παλλόμενο	Επιστροφή στα δεδομένα
◀->>	Παλλόμενο	Επιστροφή στα δεδομένα

Λειτουργία παύσης.

Εάν το πλήκτρο παύσης πιεστεί κατά τη διάρκεια μιας κατάστασης λειτουργίας τότε η συσκευή θα σταματήσει. Πιέστε το [ PAUSE] πάλι για να συνεχιστεί η λειτουργία. Ενώ η συσκευή είναι σταματημένη στο [ PAUSE], μια ταχύτητα παύσης μπορεί να εισαχθεί μέσω του πληκτρολογίου. Αυτή η νέα ταχύτητα θα λειτουργήσει όταν η παύση [ PAUSE ] απενεργοποιηθεί, πιέζοντας το [PAUSE] πάλι και θα διατηρηθεί κατά τη διάρκεια του [PAUSE MODE] πιέζοντας

οποιοδήποτε πλήκτρο εκτός αυτό της παύσης θα εγκαταλείψει το [PAUSE MODE] και θα ξαναγυρίσει στη προεπιλεγμένη ταχύτητα.

Σημείωση : Η ταχύτητα παύσης προβάλλεται με ένα ' \* ' στην επάνω γραμμή της οθόνης : '(MANUAL) PAUSE

\* 2.34567 mm/min'

Σειριακή κατάσταση

Το ταμπλό θα δείξει:

' K8 232 = 8TOP = 0.00000 mm.min '

' [ ]RXTX[ ]'

Η άνω γραμμή δείχνει την κατάσταση του συστήματος και την ζητούμενη ταχύτητα.

Η τελευταία γραμμή δείχνει τους λαμβανόμενους χαρακτήρες (RX) στα αριστερά και τους μεταδιδόμενους χαρακτήρες (TX) στα δεξιά. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση μπορεί να είναι τηλεκατευθυνόμενη από ένα κομπιούτερ ή τερματικό με σειριακό τρόπο επικοινωνίας. Η ταχύτητα μπορεί να είναι προγραμματισμένη στην κλίμακα 0.00000 μέχρι 9.99999 mm/min για μέτρα ή 0.0000000 μέχρι 0.399999 in/min για ίντσες. Η κατεύθυνση ελέγχεται πληκτρολογώντας ' + ' ή ' - ' χαρακτήρα ( + για εμπρός και - για πίσω) πριν από την ταχύτητα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ : Για ταχύτητα 3.25400 mm/min ή 00.125400 in/min στην UP κατεύθυνση, η ακολουθούμενη ASCII συμβολοσειρά πρέπει να πληκτρολογηθεί ως εξής : + 3.25400 (μέτρα ) ή + 0.125400 (ίντσες). Όλα τα έξι ψηφία και το δεκαδικό (μετρικό) ή όλα τα επτά ψηφία και το δεκαδικό (ίντσες) πρέπει να πληκτρολογηθούν και η συμβολοσειρά να τερματίσει με ένα συνδυασμό επιστροφής όπως επιλέχθηκε από το σειριακό τρόπο λειτουργίας 8 31 - up. Εάν η εντολή έγινε δεκτή από το σύστημα, θα τερματίσει ξαναδείχνοντας την ίδια συμβολοσειρά. Αν η συσκευή, δεν μετακινείται προς την ζητούμενη κατεύθυνση επειδή είναι στην οριακή διακοπή ή στη θέση MAX η

ακολουθούμενη συμβολοσειρά θα εμφανιστεί ως εξής : + 0.00000 (metric) ή + 0.000000 (imperial).

Εάν η συμβολοσειρά πληκτρολογηθεί λανθασμένα τότε θα εμφανιστεί η παρακάτω συμβολοσειρά : \*COMMAND ERROR. \*

Η ακολουθία της εντολής / απάντησης πρέπει να διατηρείται από την πηγή ελέγχου συνεχώς. Όταν η λειτουργία αλλάζει από χειροκίνητη σε σειριακή η συσκευή θα σταματήσει και θα περιμένει σταματημένη μέχρι να λάβει μία σειριακή εντολή.

Επιπρόσθετες σειριακές εντολές (μετρικό).

Εντολή	Απάντηση	Λειτουργία
PAST +	PAST +	Το έμβολο μετακινείται προς τα εμπρός με 40 mm/min για 25 in
PAST	PAST -	Το έμβολο μετακινείται προς τα πίσω με 40 mm/min για 250 in
MAX + **	MAX + **	Θέσε το επάνω όριο ** in από την τωρινή θέση
MAX ‘!’*	MAX -**	Θέσε το επάνω όριο στο ** in από την τωρινή θέση. Το προκαθορισμένο μέγιστο είναι ± 99 in
PON	+***	Επιστροφή της τρέχουσας θέσης ±*** σχετικά με το σημείο στο οποίο η τελευταία εντολή MAX έχει εκδοθεί.

Κατάσταση A,B,C,D,E,F,G,H,I,J Επιστροφή κατάστασης συστήματος.

A = Συσκευή σταματημένη.

B = Η συσκευή κινείται μπροστά.

C= Η συσκευή κινείται προς τα πίσω.

D = Όριο εμβόλου προς τα εμπρός.

E = Όριο εμβόλου προς τα πίσω.

F = Μέγιστο όριο προς τα εμπρός.

G = Μέγιστο όριο προς τα πίσω.

H = Λάθος βήμα.

I = Για μελλοντική χρήση.

J = Για μελλοντική χρήση.

Εναλλακτικές σειριακές εντολές (σε ίντσες).

Εντολή	Απάντηση	Λειτουργία
MAX + **	M/ X + **	Θέσε το επάνω όριο στο **in από την τρέχουσα θέση.
MAX - **	MAX - **	Θέσε το κατώτερο όριο στο **in από την τρέχουσα θέση. Το προκαθορισμένο μέγιστο είναι $\pm 3.9$ in και στην κλίμακα $\pm 3.9$ in
POSN	+ ***	Επιστροφή της τρέχουσας θέσης $\pm ***$ σχετικά με το σημείο στο οποίο η μέγιστη εντολή έχει εκδοθεί.

Η εντολή πρέπει να δοθεί όπως έχει αναφερθεί παραπάνω και πρέπει να τερματίσει με επιστροφή σε συνδυασμό όπως επιλέχθηκε από την σειριακή λειτουργία δει - up.

Εάν η εντολή γίνει δεκτή από το σύστημα η απάντηση θα δοθεί με πανομοιότυπο τερματισμό.



Εάν η εντολή είναι λάθος πληκτρολογημένη έχει χρησιμοποιηθεί λάθος τερματισμός και η ακολουθούμενη συμβολοσειρά θα εμφανιστεί:

\* COMMAND ERROR \* .Πάλι ο επιλεγμένος τερματισμός θα απευθυνθεί σε αυτήν την συμβολοσειρά.

Η ακολουθία της εντολής / απάντησης πρέπει να διατηρείται από την πηγή ελέγχου συνεχώς.

Η κατάσταση του συστήματος εμφανίζεται στην οθόνη ως εξής

= STOP =	Σταθερά	Η συσκευή σταματά κανονικά
->>RUN->	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα εμπρός με προγραμματισμένη ταχύτητα
	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα εμπρός με γρήγορη ταχύτητα
<<<-	Παλλόμενο	Μετακίνηση προς τα πίσω με γρήγορη ταχύτητα
=[+]=	Παλλόμενο	Σταμάτημα με υπερμετατόπιση του ορίου FORWARD
=[-]	Παλλόμενο	Σύστημα με υπερμετατόπιση του ορίου BACKWARD
=MAX=	Παλλόμενο	Σταμάτημα στο MAX + όριο
=MIN=	Παλλόμενο	Σταμάτημα στο MAX – όριο
◀<<<-	Παλλόμενο	Επιστροφή στο datum
◀->>>	Παλλόμενο	Επιστροφή στο datum

Πιέστε το STOP για να ακυρώσετε χειροκίνητα οποιαδήποτε σειριακή εντολή και να αναγκάσετε τη συσκευή να σταματήσει. Χρησιμοποιείτε το πλήκτρο Mode για να επιλέξετε οποιοδήποτε από τους εναλλακτικούς τρόπους λειτουργίας.

Return to datum

Τοποθετήστε το σύστημα στην απαιτούμενη θέση δεδομένων. Πιέστε το Mode μέχρι η τελευταία γραμμή στην οθόνη να δείξει: ' [ Enter] [ Mode] : Set 0 Datum or [Exit] '

Πιέστε το Enter ώστε να θέσετε έναν εσωτερικό μετρητή στο μηδέν. Η ένδειξη θα επιστραφεί στη τρέχουσα τελευταία γραμμή και ένα ◀ σύμβολο θα εμφανιστεί στην επάνω γραμμή για να δείξει ότι η ένδειξη έχει τεθεί. Πιέστε το πλήκτρο ◀ οποιαδήποτε μεταγενέστερη στιγμή θέτοντας το datum για να τεθεί σε λειτουργία το Return to

datum με γρήγορη ταχύτητα. Η συσκευή θα σταματήσει στη θέση datum. Η ακολουθία Return to datum μπορεί να τερματίσει πιέζοντας οποιοδήποτε από τ' άλλα πλήκτρα εντολής. Το Datum μπορεί να απαλειφθεί επιλέγοντας τον χειροκίνητο τρόπο.

Set- up Mode.

Το ταμπλό θα δείξει το < Set-up > Μενού :  
'<SET-UP> [1]' Σειριακή διάταξη  
' Version number [2]' Επιλογές συστήματος [Exit]

Πιέστε το πλήκτρο [1] για να διαμορφώσετε το πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας.

Πιέστε το πλήκτρο [2] για να επιλέξετε τις επιλογές του συστήματος (μόνο το εργοστάσιο το θέτει).

Πιέστε το πλήκτρο [Exit] για να επιστρέψετε στην τρέχουσα λειτουργία  
< SET-UP > πλήκτρο [1] Σειριακή διάταξη επικοινωνίας.

Το ταμπλό θα δείξει:

\* < SET-UP > Σειριακή διάταξη πρόσοψης ( K8- 232)'

' Baud Rate : 9600[< ] [>] [Enter] [Exit] \*

Η επάνω γραμμή υποδεικνύει τον τύπο της επικοινωνίας.

Η τιμή της μεταβλητής ταχύτητας, μεταφοράς δεδομένων Baud Rate μπορεί να τεθεί από την κλίμακα του 50 σε 19.200 Baud.

Πιέστε τα πλήκτρα [ ◀ ] ή [ ▶ ] μέχρι να εμφανιστεί η επιθυμητή μεταβλητή ταχύτητα.

Πιέστε το [ Enter] για να επιλέξετε την ενδεικνυόμενη τιμή και να συνεχίσετε με τη διαμόρφωση της παραμέτρου στην ακολουθία :

Data Bits : 8 [ < ] [ > ] [ Enter ] [ Exit ] ' 7 ή 8

STOP Bits : 1 [ < ] [ > ] [ Enter ] [ Exit ] ' 1 ή 2

Parity : Off [ < ] [ > ] [ Enter ] [ Exit ] ' Off/Even/Odd

' Terminator : CR [ < ] [ > ] [ Enter ] [ Exit ] ' CR/LF/CRLF/LFCR

' Echo Mode : off [ < ] [ > ] [ Enter ] [ Exit ] ' OFF/ON

Χρησιμοποιείστε τα πλήκτρα [ ◀ ] [ ▶ ] και [ Ent] για να επιλέξετε τις απαιτούμενες ρυθμίσεις όπως παραπάνω.

Πιέστε το πλήκτρο [Exit] για να επιστρέψετε στο < SET-UP > μενού όταν οι ρυθμίσεις είναι ικανοποιητικές.

Σημείωση : Επιστροφή λειτουργίας , είναι για χρήση με βουβό τερματισμό. Όλοι οι λαμβανόμενοι χαρακτήρες θα επιστρέψουν πίσω στο τερματικό και θα προστεθεί σε οποιοδήποτε εμφανιζόμενο διαδοχικά στην οθόνη.

## 5.6. Λειτουργία.

Συνιστάται αυτό το τμήμα να διαβαστεί μαζί με το κεφάλαιο 12 του Soil Laboratory Testing Vol 2 από K H Head (90- 008).

Τοποθέτηση δείγματος (σχήματα 4 και 6).

Τοποθετείστε το σύστημα διάτμησης στη χαλαρή θέση.

Το κουτί διάτμησης θα συναρμολογηθεί όπως δείχνει το σχήμα 4. Σημείωση. Αργότερα τα κουτιά διάτμησης εφοδιάζονται με 3 πορώδεις λίθους και ένα

λεπτότερο χαμηλά, τοποθετημένο δίσκο πίεσης. Δύο πορώδεις λίθοι ένας επάνω και ένας κάτω χρησιμοποιούνται για δείγμα 25 mm πάχους. Τρεις πορώδεις λίθοι, ένας επάνω και δύο κάτω χρησιμοποιούνται για δείγμα πάχους 20 mm. Οι πορώδεις λίθοι πρέπει να εμποτιστούν, πριν διεξαχθεί η δοκιμή στράγγισης, βράζοντας τους σε νερό μέχρι όλα τα σημάδια αέρα να εξαλειφθούν από αυτούς.

Χρήση του κόφτη δείγματος (σχήματα 4 και 6).

Ο κόφτης δείγματος προσφέρεται σαν εξάρτημα για το κόψιμο του αδιατάρακτου δείγματος από το αρχικό.

Για να μεταφέρετε το δείγμα στο κιβώτιο διάτμησης η διαδικασία είναι η εξής:

Τοποθετείστε τους κάτω πορώδεις λίθους στο κουτί διάτμησης συναρμολογώντας το στο βαγόνι.

Τοποθετείστε τον κόφτη με το δείγμα στο κουτί διάτμησης με την όψη κοψίματος προς τα πάνω (σχήμα 6).

Μεταφέρατε το δείγμα στο κουτί διάτμησης χρησιμοποιώντας ένα ξύλο πίεσης μέχρι να καθίσει σταθερά το δείγμα πάνω από τον χαμηλότερο πορώδες λίθο.

Συναρμολογείστε τον επάνω πορώδες λίθο (21 σχήμα 4) και τον δίσκο πίεσης (31 σχήμα 4).

Εφαρμόστε την κανονική τάση (σχήματα 1,2 και 4)

Η κανονική τάση που ασκείται πάνω στο δείγμα εξαρτάται από τον ζυγό φορτίου και τα βάρη  $\Psi$ .

$$W = \sigma_{\eta} * L^2 / 9810 \text{ (kg)}$$

όπου :  $L$  = το μήκος του κουτιού σε mm  $\sigma_{\eta}$  = η τάση σε KN/cm<sup>2</sup>

Η μηχανή διάτμησης είναι εφοδιασμένη με ένα μοχλό ισορροπίας φορτίου, καλά προσαρμοσμένο με την βοήθεια του βάρους ισορροπίας.

Η αρχική θέση του μοχλού φορτίου και του ζυγού φορτίου (13 σχήμα 2) μπορεί να κατορθωθεί προσαρμόζοντας το χερούλι ανύψωσης (1 σχήμα 1) και τον άξονα φορτίου (14 σχήμα 2).

Σημείωση : Ανάλογα με το βαθμό στερεοποιήσεως του δείγματος, συχνά απαιτείται να αρχίσει η δοκιμή με το μπράτσο του μοχλού φορτίου πάνω από την οριζόντια θέση.

Για να εφαρμοστεί το φορτίο στο δείγμα τα βάρη μπορούν να προστεθούν στον αναρτήρα βάρους, (2 σχήμα 1), με το χερούλι ανύψωσης υποστηρίζοντας το μπράτσο του μοχλού φορτίου και μετά σιγά, γυρίζοντας το μοχλό προς τα κάτω για να μεταφερθεί το φορτίο στο δείγμα.

Θέστε το ρυθμό παραμόρφωσης όπως αναφέρεται στο τμήμα 5.

Έλεγχος πριν τη δοκιμή.

A. Δακτύλιος φορτίου με απαιτούμενη ικανότητα / ευαισθησία και σωστή τοποθέτηση.

B. Ο μηχανισμός με τα εξαρτήματα, να είναι όλα σε επαφή, από τον προσαρμοστή δακτυλίου φορτίου (1) μέχρι το κοχλία επιβολής παραμόρφωσης φορτίου (2). Ο. Το κουτί διάτμησης να είναι στερεωμένο στο βαγόνι  $\ddot{u}$ . Ο

ζυγός φορτίου να είναι σωστά τοποθετημένος με το μηκυσιόμετρο κατακόρυφης παραμόρφωσης.

Ε. Οι βίδες ευθυγράμμισης να έχουν αφαιρεθεί.

Κ. Οι βίδες διαχωρισμού του κουτιού διάτμησης ξεβιδώνονται για να σηκωθεί το επάνω τμήμα από το κάτω και κατόπιν αφαιρούνται.

Προς τα εμπρός δοκιμή διάτμησης.

Τρέξτε την μηχανή προς τα εμπρός (Forward) για να αρχίσει η διάτμηση.

Κατά την διάρκεια μιας δοκιμής, σημαντικός είναι ο έλεγχος για ικανή κίνηση των αντίστοιχων εξαρτημάτων.

Καταγράψτε τα δεδομένα όπως απαιτείται.

Πατήστε το ' Stop' μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής. Αναφέρεται στο τμήμα 5.

Ολοκλήρωση της δοκιμής διάτμησης προς τα εμπρός.

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής 6.5, ίσως να είναι αναγκαίο .-υ, διεξαχθεί επανάληψη αυτής προς τα εμπρός στο ίδιο δείγμα για να προσδιοριστεί η εναπομένουσα διατμητική αντοχή.

Γυρίστε το κουτί διάτμησης στην αρχική θέση υπό κανονικό φορτίο. Αν χρησιμοποιείται τον τρόπο ' Return to datum' βλ. τμήμα 5.8.

Όταν τα δύο τμήματα του κιβωτίου διάτμησης είναι ευθυγραμμισμένα, βιδώστε τις βίδες μέχρι να παρατηρηθεί μια μικρή αλλαγή φορτίου, τότε η χαλαρότητα (μπόσικα) του όλου θα έχει εξαλειφθεί.

Διεξάγετε ελέγχους πριν την δοκιμή και αρχίστε τον επαναληπτικό έλεγχο διάτμησης.

Επαναλάβετε σύμφωνα με τις απαιτήσεις (βλ. τμήμα Return to datum).

Αντιστροφή δοκιμής εναπομένουσας διατμητικής αντοχής. Αυτή η τεχνική γίνεται όταν ο χειριστής επιθυμεί να καταγράψει πληροφορίες

για την διάτμηση και προς τις δυο κατευθύνσεις. Για την απόκτηση των επιθυμητών αποτελεσμάτων απαιτούνται αρκετές επαναλήψεις.

Πριν αρχίσει η διαδικασία του προς τα πίσω ελέγχου διάτμησης, ο χειριστής πρέπει να προσαρμόσει και να ελέγξει το δυναμόμετρο τόσο στην θλίψη όσο και στον εφελκυσμό.

Ελέγξτε το δείγμα για αρχική διάτμηση

Κατά την ολοκλήρωση της αρχικής διάτμησης σβήστε την συσκευή. Εάν απαιτείται επανάληψη τρέξτε την συσκευή προς τα πίσω χρησιμοποιώντας το 'Return to datum'.

#### 5.7. Πληροφορίες.

Head, K. H ' Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2 ' (90 - 0080).

BS 1377 : Part 7 Soils for Civil engineering Purposes : Shear Strength Tests (90-0420/17).

ASTM D3080 ' Direct Shear test of Soils Under Consolidation Drained Conditions (90-0460).

#### 5.8. . Συντήρηση.

Κατά την ολοκλήρωση συχνών δοκιμών διάτμησης με στράγγιση.

Στραγγίξτε τον φορέα (σχήμα 2)

Κατά την ολοκλήρωση κάθε ελέγχου διάτμησης το κιβώτιο πρέπει να στραγγίζει.

Μετακινήστε, καθαρίστε και στεγνώστε το κουτί διάτμησης, εκτός από τους πορώδεις λίθους.

Όταν η συσκευή δεν χρησιμοποιείται, οι πορώδεις λίθοι πρέπει να διατηρούνται σε απαερωμένο ύδωρ.

Σβήστε την συσκευή από τον κύριο αγωγό τροφοδοσίας.

Περιοδικά (σχήμα 2).

Ελέγξτε για ελεύθερη κίνηση των ρουλεμάν.

Ελέγξτε αν ο φορέας διάτμησης και ο κύριος οδηγός των ρουλεμάν είναι καθαροί και δεν έχουν εδαφικό υλικό.

Ελέγξτε για ελεύθερη κίνηση του λαιμού και λαδώστε τον ελάχιστα.

Ελέγξτε τον άξονα του ζυγού φορτίου για καθαριότητα.

Κιβώτιο ταχυτήτων.

#### 5.9. Διαθέσιμα ανταλλακτικά για 26 - 2112/01 και 26 - 2112/02, 26 2112/K

Διαθέσιμα κιβώτια διάτμησης.

- > Πορώδεις λίθοι χ 2
  - 60 mm διάμετρο 26-2181/10
  - 100 mm διάμετρο 26 - 2197/10
  - 2.5 inch διάμετρο 26-2213/10
- > Βίδες ευθυγράμμισης κιβωτίου διάτμησης χ 2
  - 60 mm διάμετρο 1150A0408
  - 100 mm διάμετρο 1150A0458
  - 2.5 inch διάμετρο 1150A0458
- > Βίδες διαχωρισμού κιβωτίου διάτμησης χ 2
  - 60 mm διάμετρο 1150A0409
  - 100 mm διάμετρο 1150A0459
  - 2.5 inch διάμετρο 1150A0459



## 5.10. Εξαρτήματα

### Αριθμός καταλόγου

26-2181	Κιβώτιο διάτμησης με 60 mm διάμετρο
26-2197	Κιβώτιο διάτμησης με 100 mm διάμετρο
26-2213	Κιβώτιο διάτμησης με 2.5 inch διάμετρο
26-2112/20	Βάση κατακόρυφη παραμόρφωση DTI
82-8291 26-	Οριζόντια παραμόρφωση DTI μετρητής
2151 27-1689	Κατακόρυφη παραμόρφωσης Μονάδα
27 – 1437	Μέτρηση της κατακόρυφης παραμόρφωσης
27-1697 27 –	Μέτρηση οριζόντιας παραμόρφωσης
1445	Μονάδα μέτρησης της οριζόντιας. παραμόρφωσης

## 6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

#### ΜΕ ΤΙΣ ΔΥΟ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ –

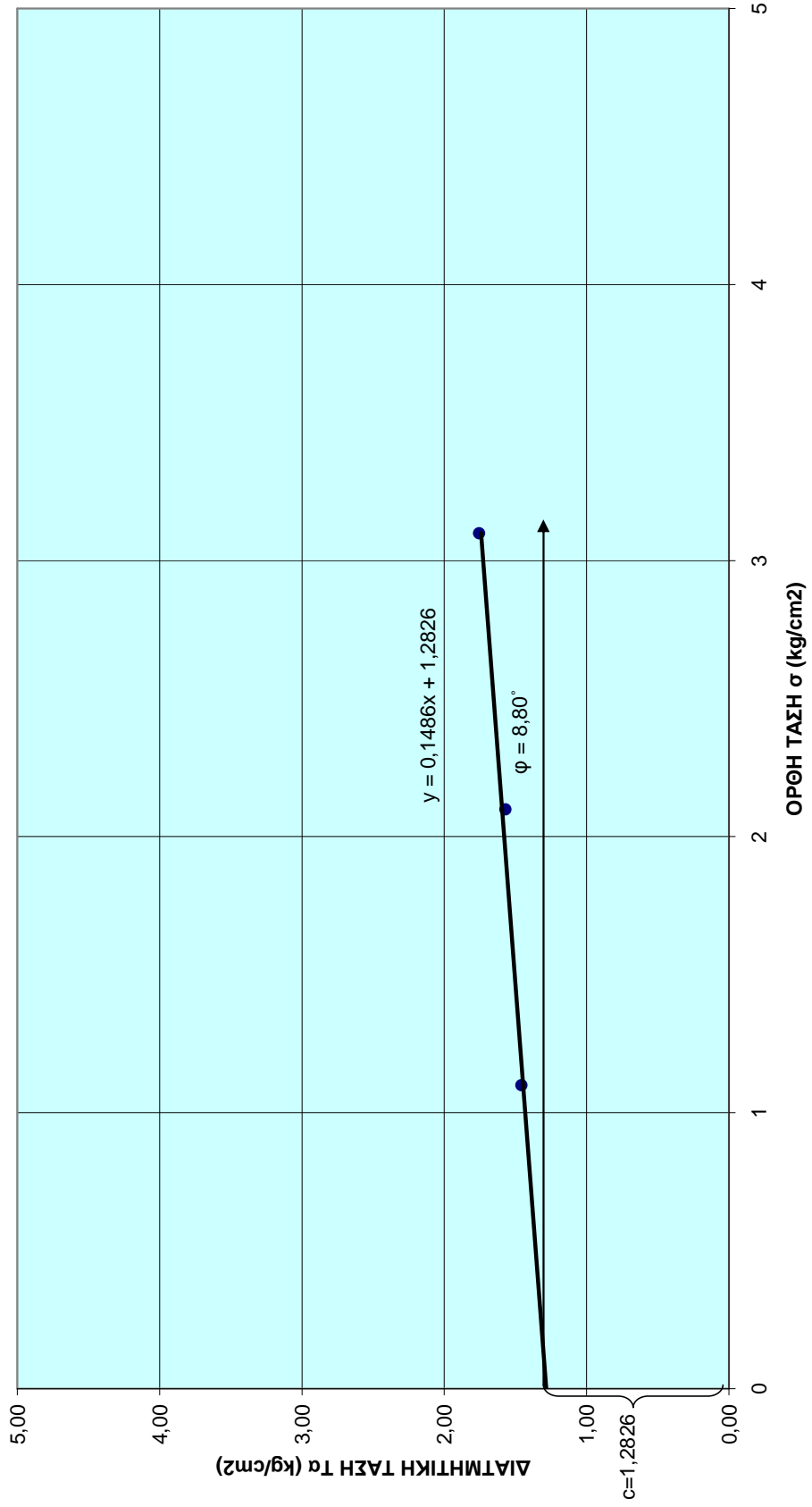
#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### ΔΟΚΙΜΗ 1.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	37,94
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	34,49
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	3,45
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	16,82
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	17,67
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	19,52

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	41,2	44,4	49,6
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμες=40 Kg φορτίου)	103	111	124
ΒΑΡΟΣ (gr)	134,27	115,23	114,81
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	1,46	1,57	1,76

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 1

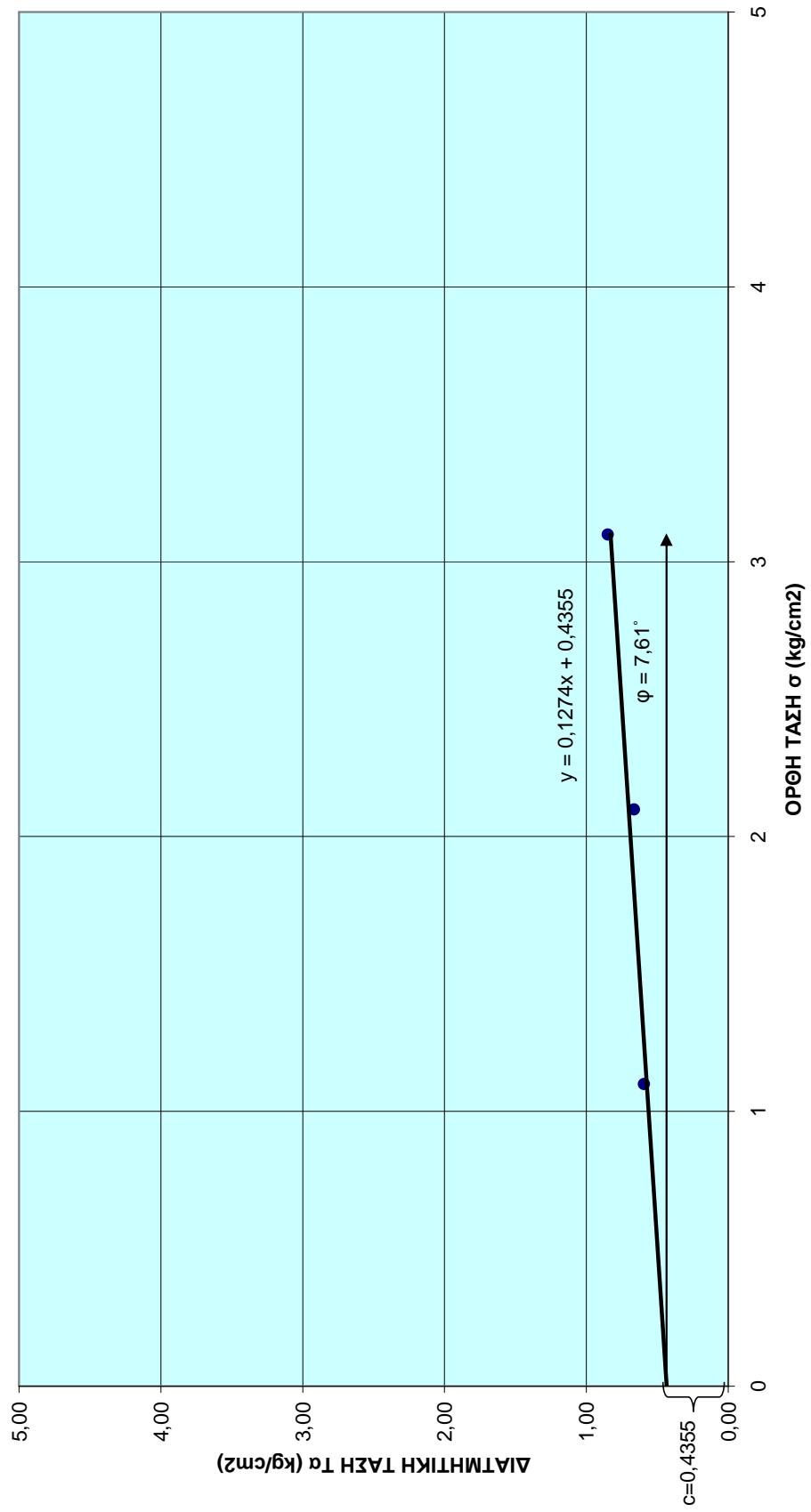


## ΔΟΚΙΜΗ 2.

		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	31,08
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	29,07
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	2,01
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	16,82
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	12,25
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	16,41

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	16,8	18,8	24
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμές=40 Kg φορτίου)	42	47	60
ΒΑΡΟΣ (gr)	85,37	82,45	78,50
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_a$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	0,59	0,67	0,85

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 2

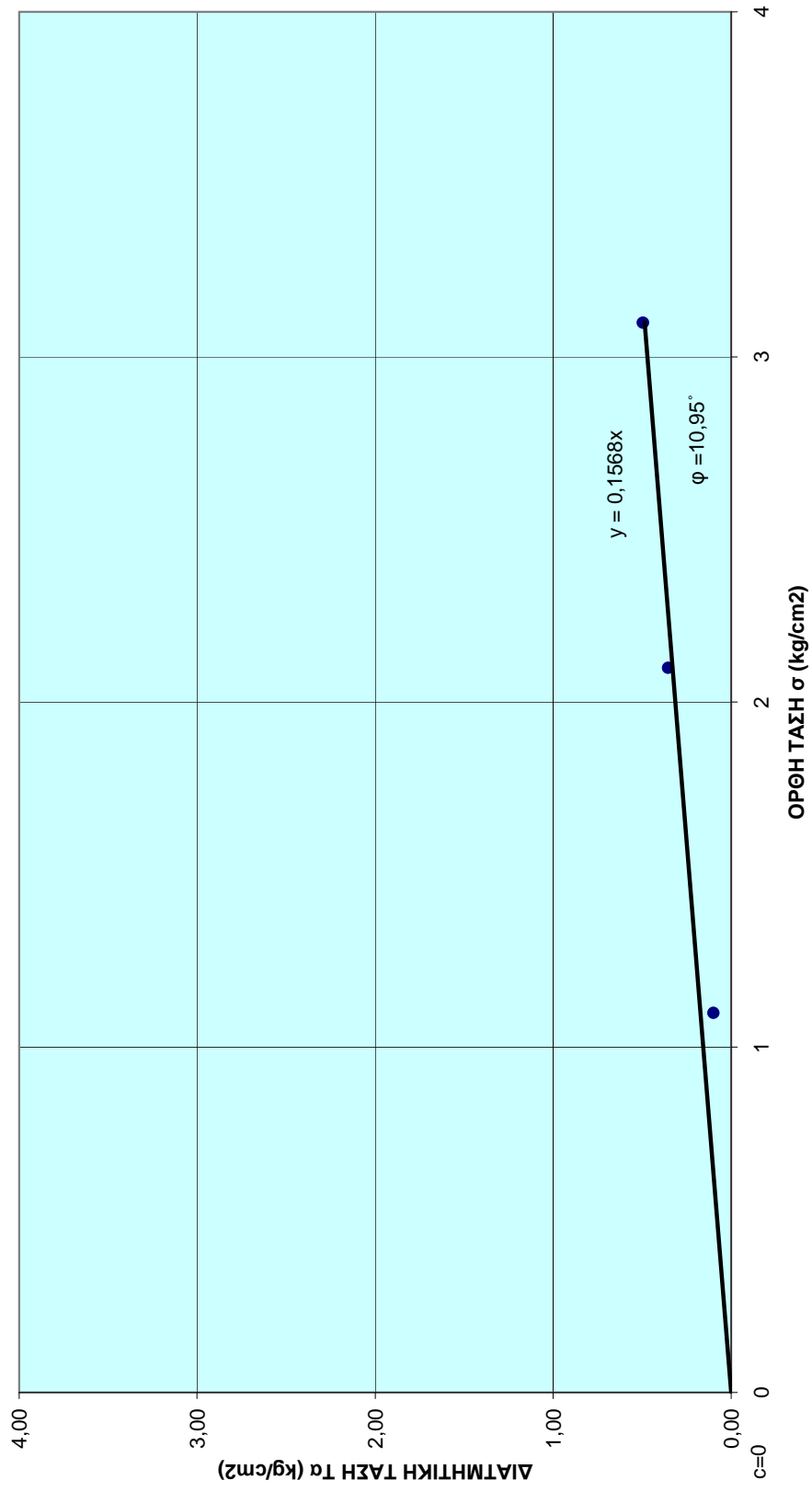


### ΔΟΚΙΜΗ 3.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	25,03
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	23,35
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	1,68
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	16,82
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	6,53
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	25,73

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	2,8	10	14
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμές=40 Kg φορτίου)	7	25	35
ΒΑΡΟΣ (gr)	114	113,2	114,38
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	0,10	0,35	0,50

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 3



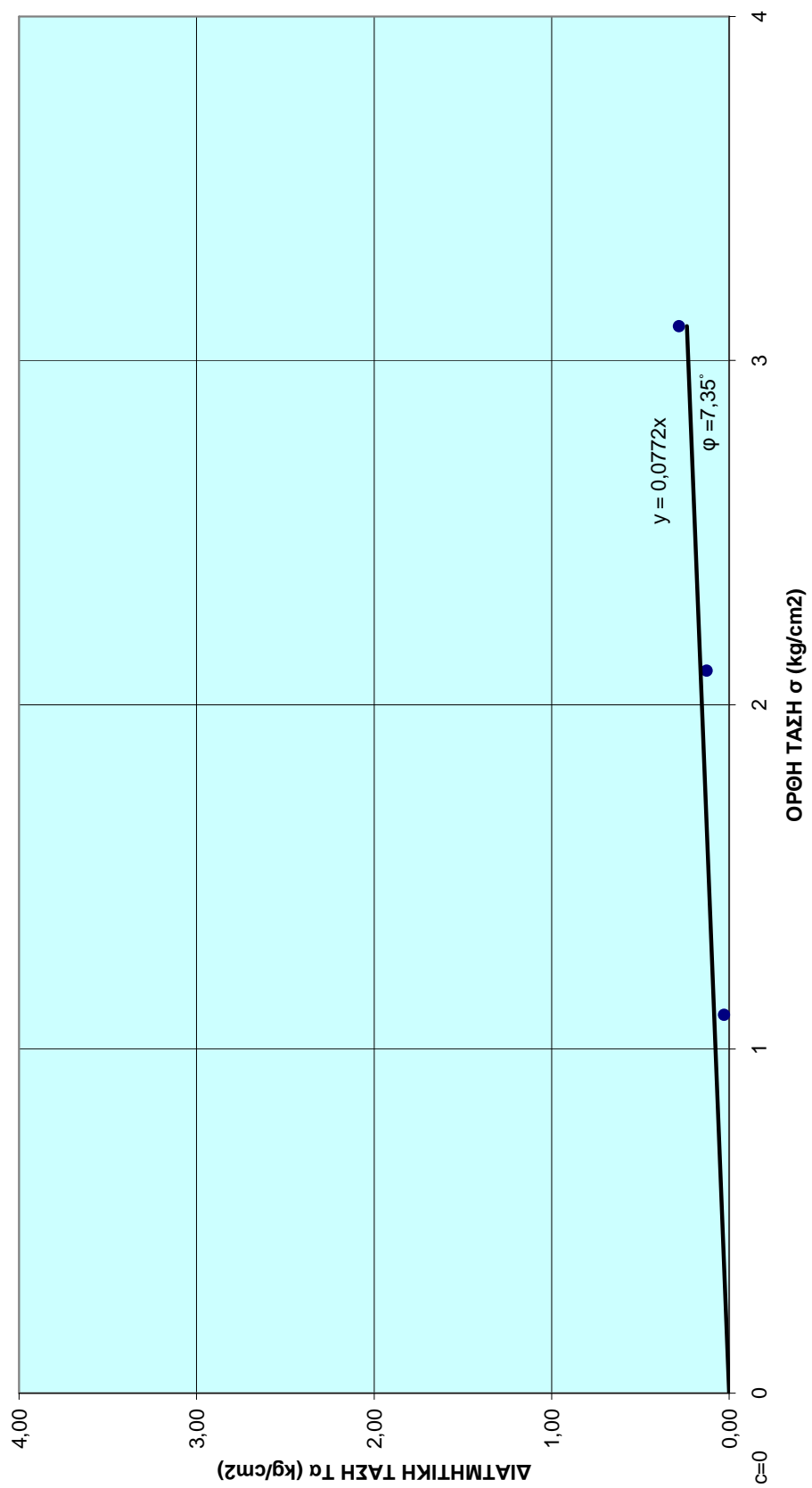
#### ΔΟΚΙΜΗ 4.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	30,85
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	28,12
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	2,73
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	18,41
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	9,71
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	28,12

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	0,8	3,6	8
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμες=40 Kg φορτίου)	2	9	20
ΒΑΡΟΣ (gr)	108,63	110,32	108,94
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	0,03	0,13	0,28



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 4

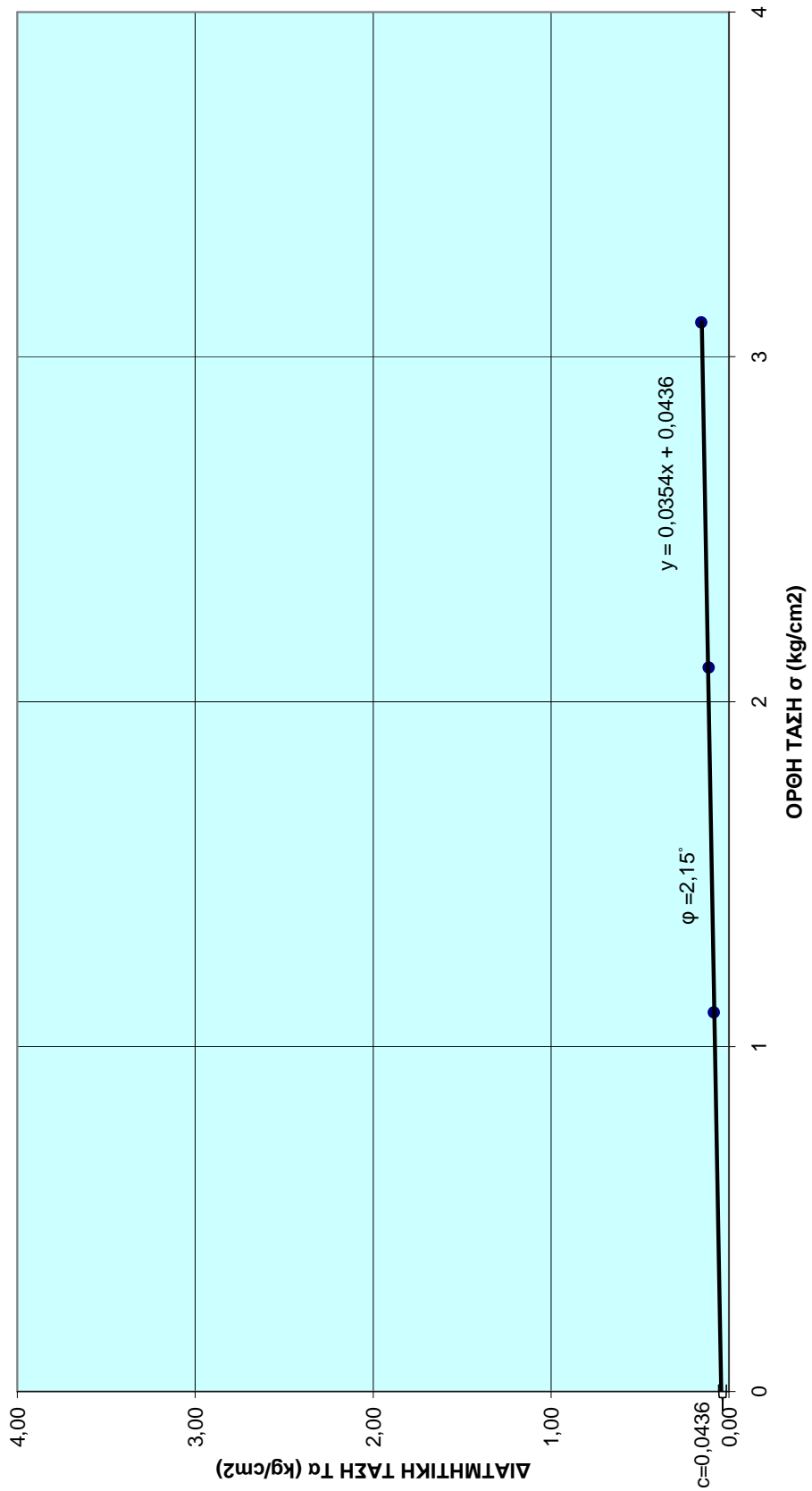


## ΔΟΚΙΜΗ 5.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	27,71
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	25,41
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	2,3
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	16,84
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	8,57
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	26,84

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ (cm <sup>2</sup> ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	2,4	3,2	4,4
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμές=40 Kg φορτίου)	6	8	11
ΒΑΡΟΣ (gr)	109,5	109,19	112,68
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0,08	0,11	0,16

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 5

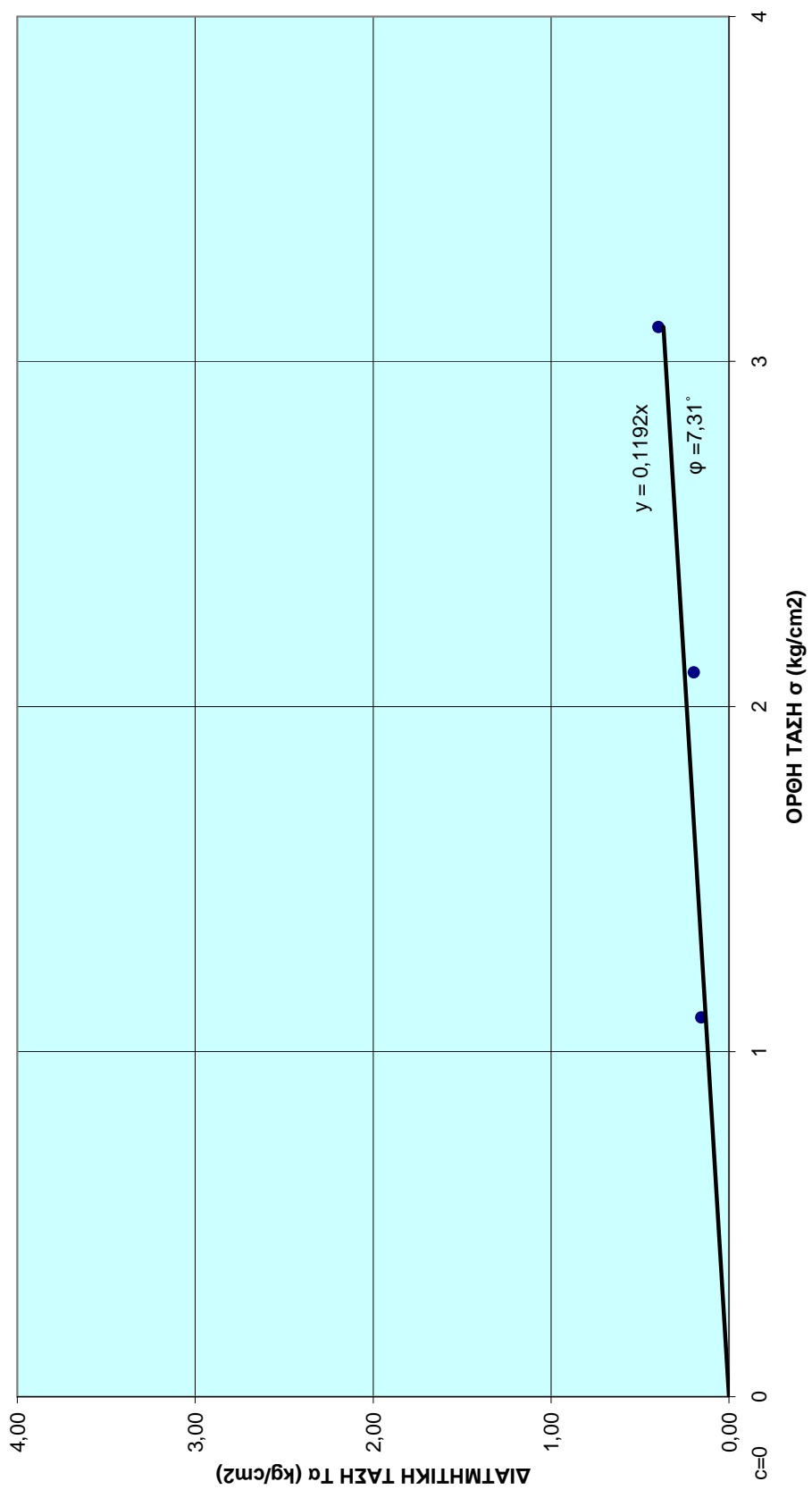


## ΔΟΚΙΜΗ 6.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	41,54
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	37,03
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	4,51
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	18,41
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	18,62
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	24,22

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	4,4	5,6	11,2
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμες=40 Kg φορτίου)	11	14	28
ΒΑΡΟΣ (gr)	113,1	110,73	112,08
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_a$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	0,16	0,20	0,40

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 6

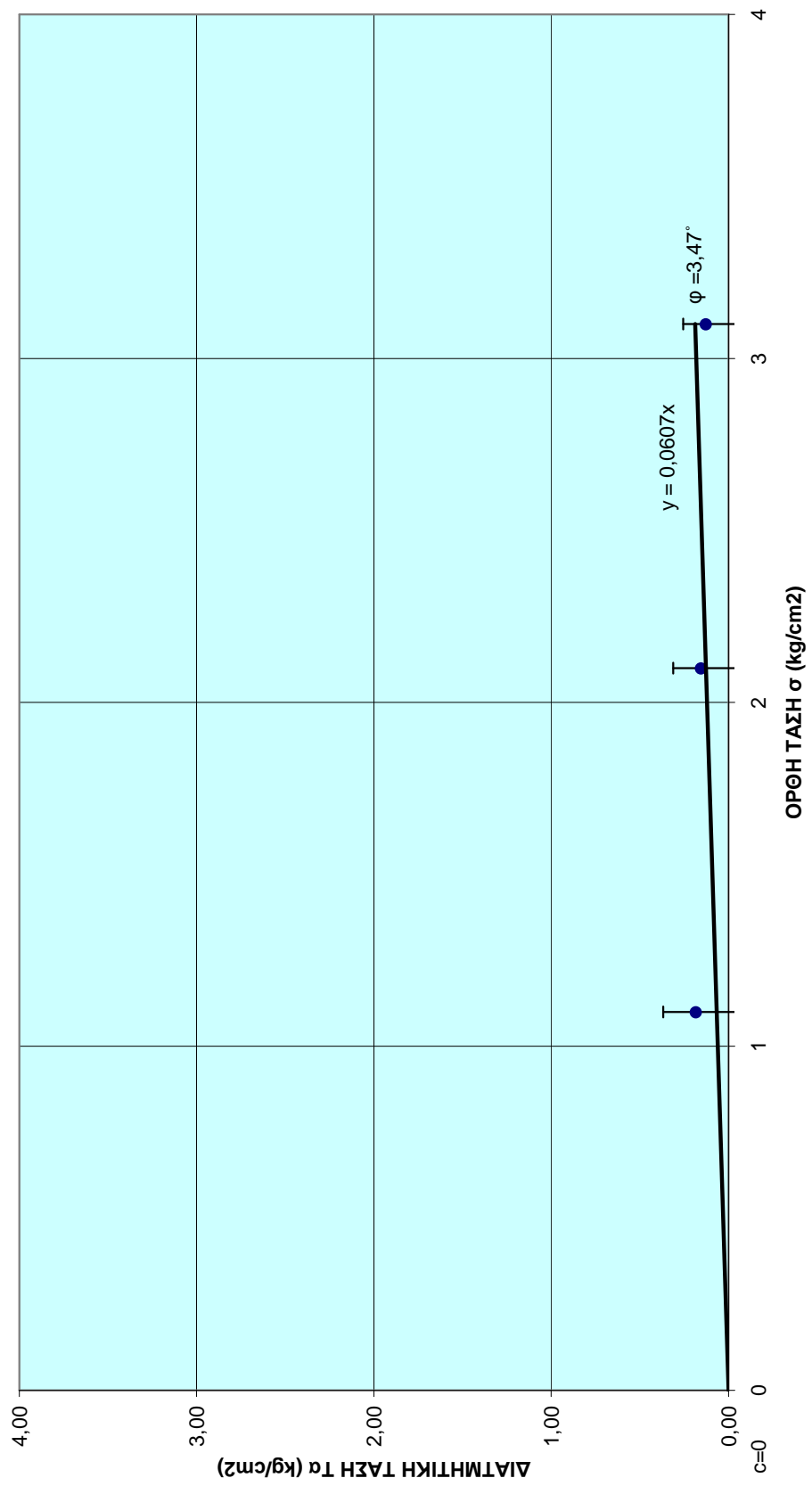


## ΔΟΚΙΜΗ 7

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	37,65
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	34,67
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	2,98
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	18,41
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	16,26
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	18,33

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	5,2	4,4	3,6
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμες=40 Kg φορτίου)	13	11	9
ΒΑΡΟΣ (gr)	113,1	110,73	112,08
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	0,18	0,16	0,13

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 7



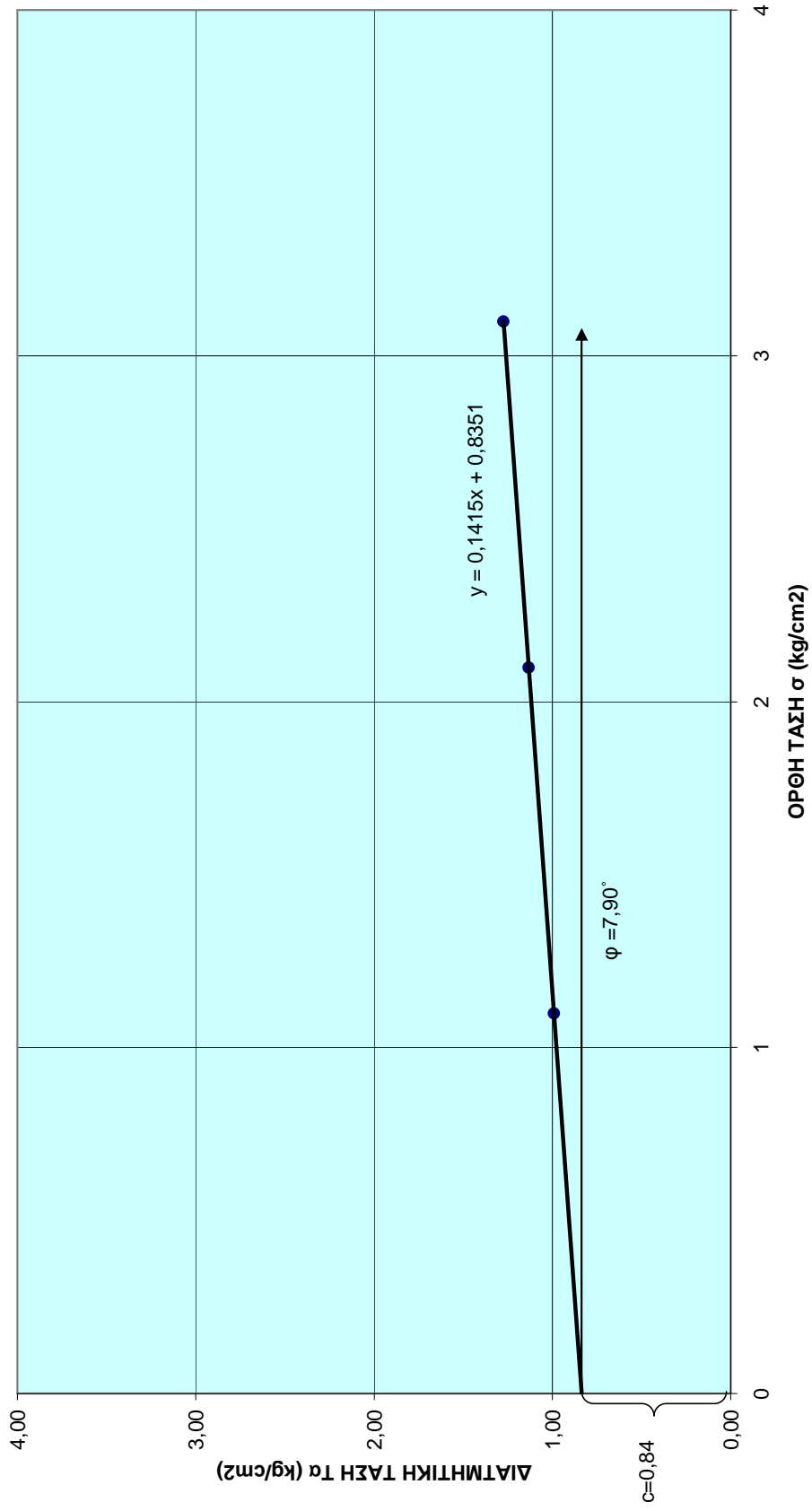
## ΔΟΚΙΜΗ 8

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	37,76
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	35,76
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	2
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	12,54
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	23,22
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	8,61

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $cm^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $kg/cm^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	28	32	36
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμες=40 Kg φορτίου)	70	80	90
ΒΑΡΟΣ (gr)	113,1	110,73	112,08
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ ( $kg/cm^2$ )	0,99	1,13	1,27



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 8

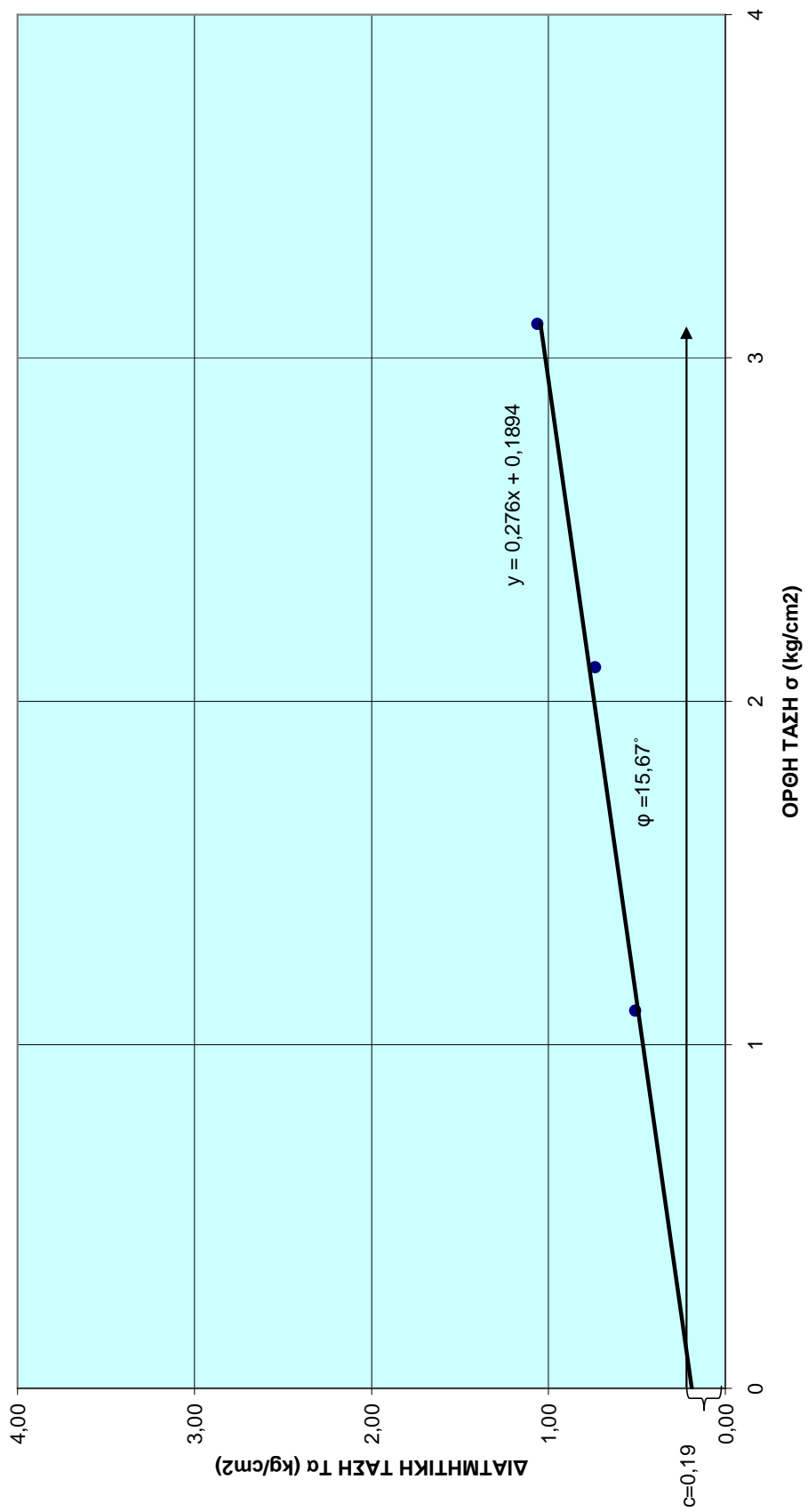


## ΔΟΚΙΜΗ 9

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ		A
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C2	39,45
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	C3	35,67
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	C2-C3	3,78
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (gr)	C5	12,54
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	C3-C5	23,13
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	C4/C6	16,34

ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $\pi d^2/4$ ( $\text{cm}^2$ ) (d=6cm)	28,26	28,26	28,26
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ $\sigma$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	1,1	2,1	3,1
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΥΝΑΜΗ H (Kg)	14,4	20,8	30
ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (σε γραμμές) (οι 100 γραμμες=40 Kg φορτίου)	36	52	75
ΒΑΡΟΣ (gr)	113,1	110,73	112,08
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $T_\alpha$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	0,51	0,74	1,06

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
ΔΟΚΙΜΗ 9

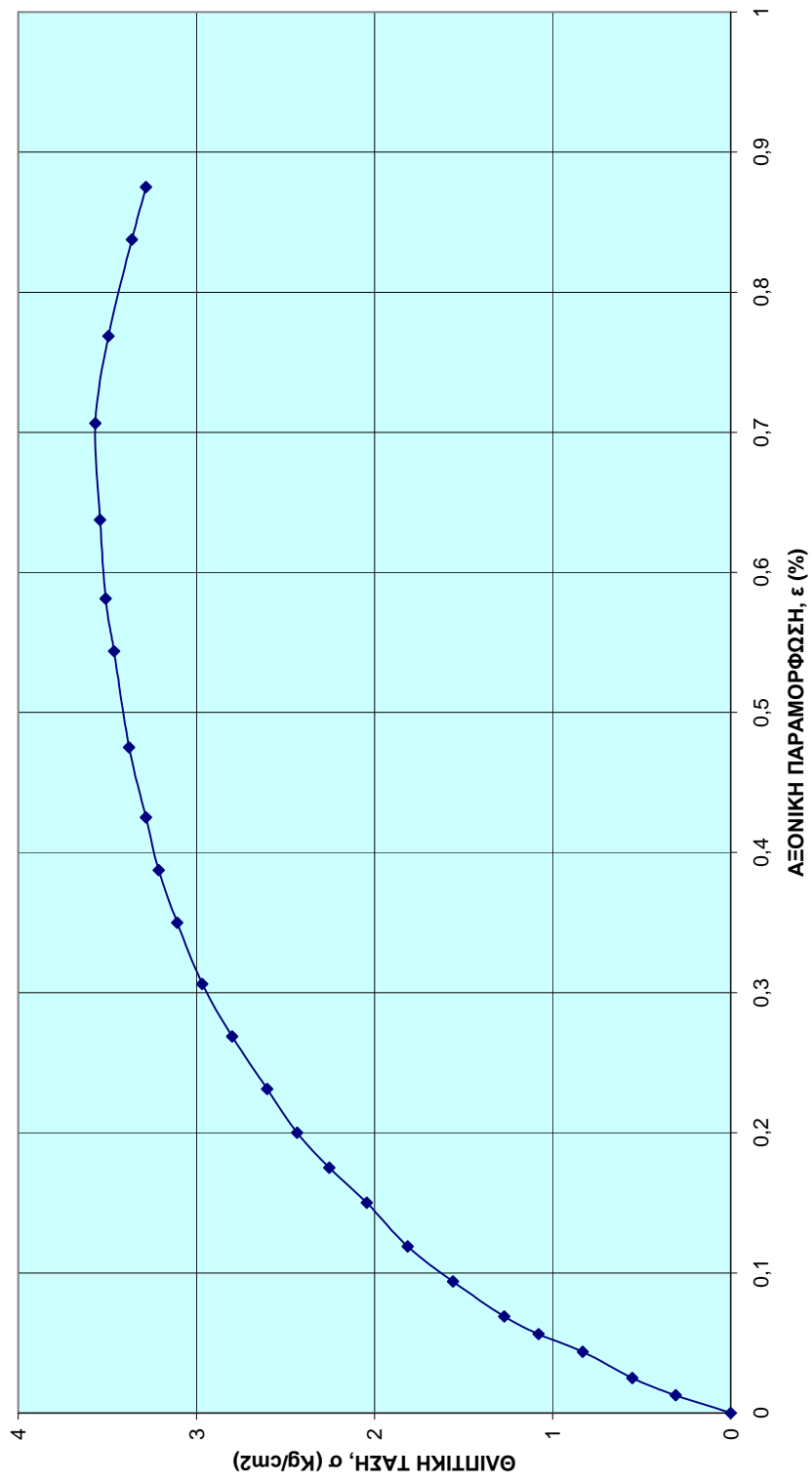


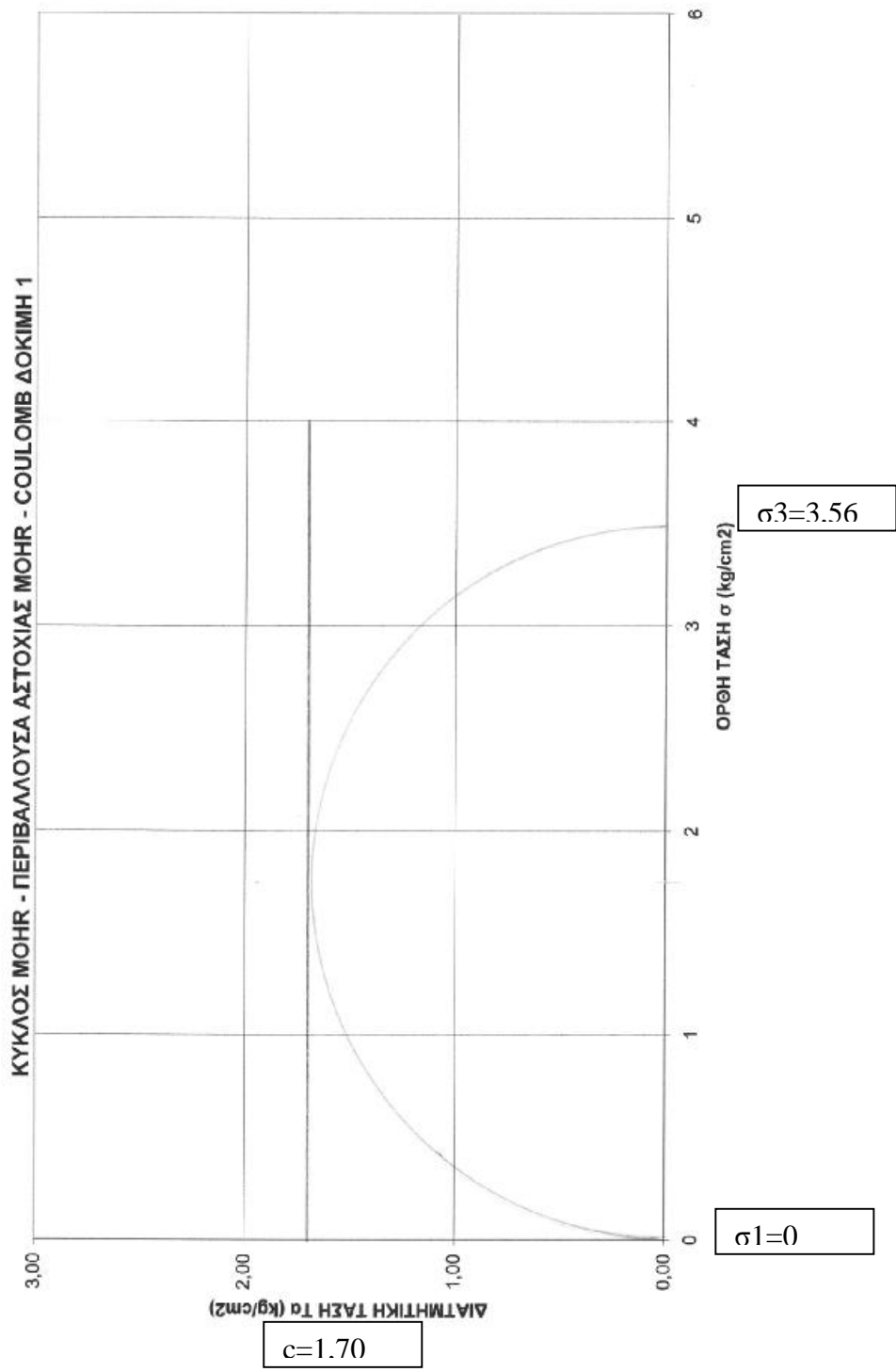
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ  
ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ (ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ  
ΦΟΡΤΙΣΗ)- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΔΟΚΙΜΗ 1

ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔL (mm)	ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ $\epsilon = \Delta L / L$ (%)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ $A' = A / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ P (Kg)	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $\sigma_c = P / A'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0
0,2	0,0125	45,91	14,0	0,30
0,4	0,025	46,50	25,1	0,55
0,7	0,04375	47,41	37,7	0,83
0,9	0,05625	48,04	48,9	1,07
1,1	0,06875	48,68	57,6	1,27
1,5	0,09375	50,03	70,7	1,55
1,9	0,11875	51,45	82,2	1,81
2,4	0,15	53,34	92,7	2,04
2,8	0,175	54,95	102,2	2,25
3,2	0,2	56,67	110,4	2,43
3,7	0,23125	58,98	118,0	2,60
4,3	0,26875	62,00	126,9	2,79
4,9	0,30625	65,35	134,5	2,96
5,6	0,35	69,75	140,9	3,10
6,2	0,3875	74,02	145,6	3,21
6,8	0,425	78,85	148,8	3,28
7,6	0,475	86,36	153,1	3,37
8,7	0,54375	99,37	157,0	3,46
9,3	0,58125	108,27	159,1	3,50
10,2	0,6375	125,08	160,5	3,53
11,3	0,70625	154,35	161,7	3,56
12,3	0,76875	196,07	158,4	3,49
13,4	0,8375	279,02	152,4	3,36
14	0,875	362,73	148,8	3,28

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΔΟΚΙΜΗ 1

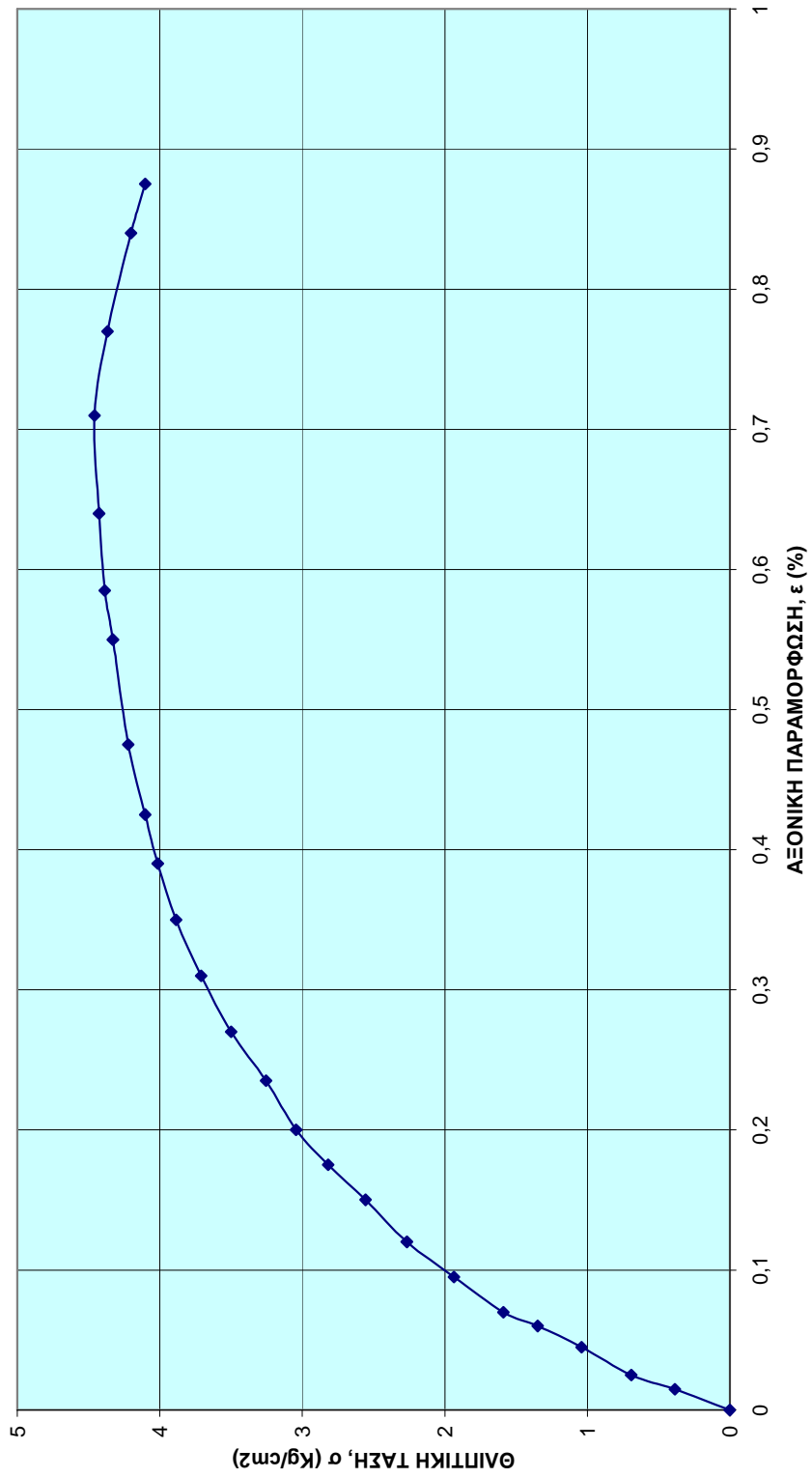




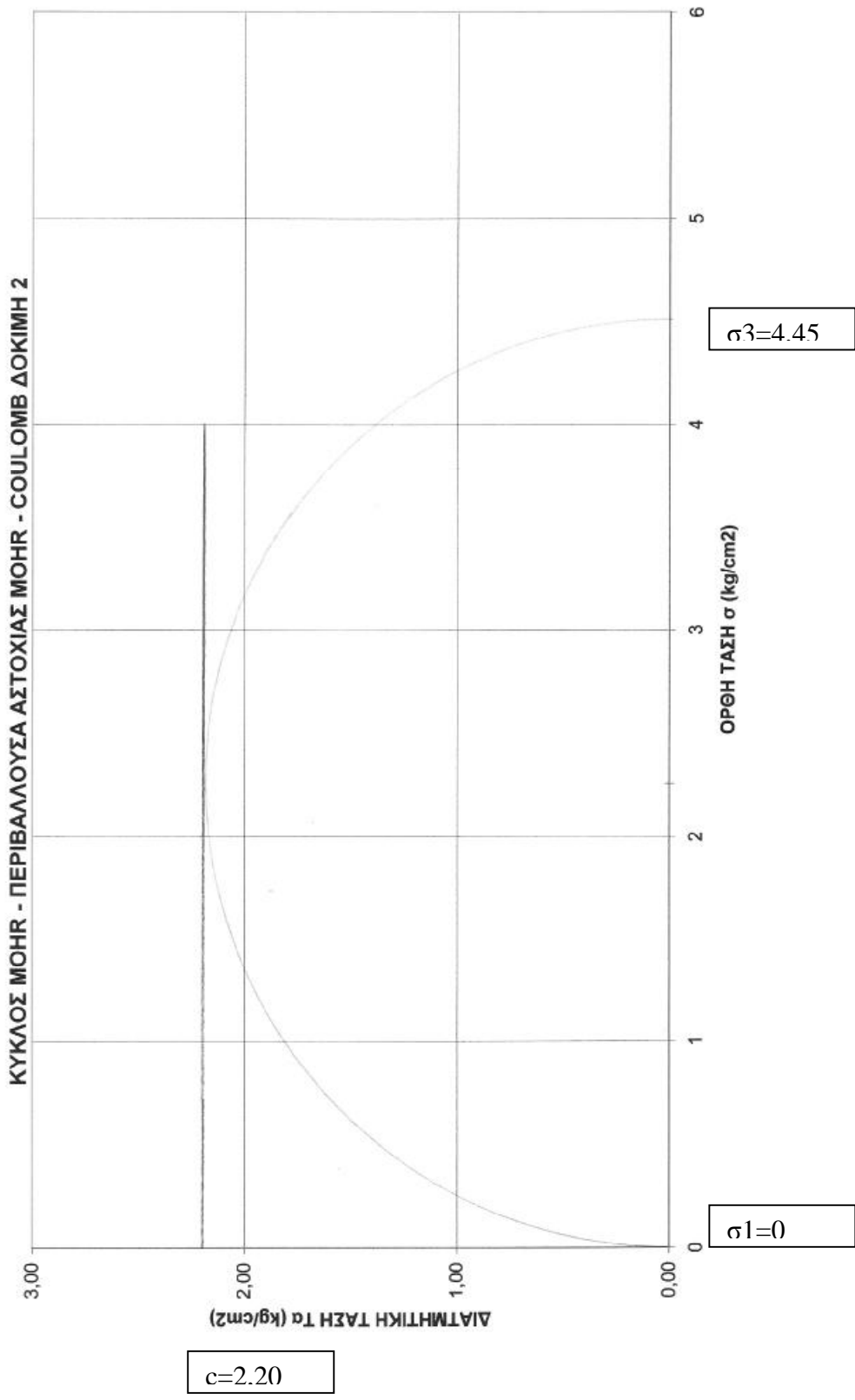
## ΔΟΚΙΜΗ 2

ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔL (mm)	ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ $\epsilon = \Delta L / L$ (%)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ $A' = A / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ P (Kg)	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $\sigma = P / A$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0
0,3	0,015	46,03	17,5	0,38
0,5	0,025	46,50	31,4	0,69
0,9	0,045	47,47	47,2	1,04
1,2	0,06	48,23	61,1	1,34
1,4	0,07	48,75	72	1,58
1,9	0,095	50,10	87,8	1,93
2,4	0,12	51,52	102,8	2,26
3	0,15	53,34	115,9	2,55
3,5	0,175	54,95	127,8	2,81
4	0,2	56,67	138	3,04
4,7	0,235	59,27	147,5	3,25
5,4	0,27	62,11	158,7	3,50
6,2	0,31	65,71	168,2	3,70
7	0,35	69,75	176,2	3,88
7,8	0,39	74,33	182	4,01
8,5	0,425	78,85	186	4,10
9,5	0,475	86,36	191,4	4,22
11	0,55	100,75	196,3	4,32
11,7	0,585	109,25	198,9	4,38
12,8	0,64	125,94	200,7	4,42
14,2	0,71	156,35	202,2	4,45
15,4	0,77	197,13	198	4,36
16,8	0,84	283,35	190,5	4,20
17,5	0,875	362,73	186	4,10

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΔΟΚΙΜΗ 2



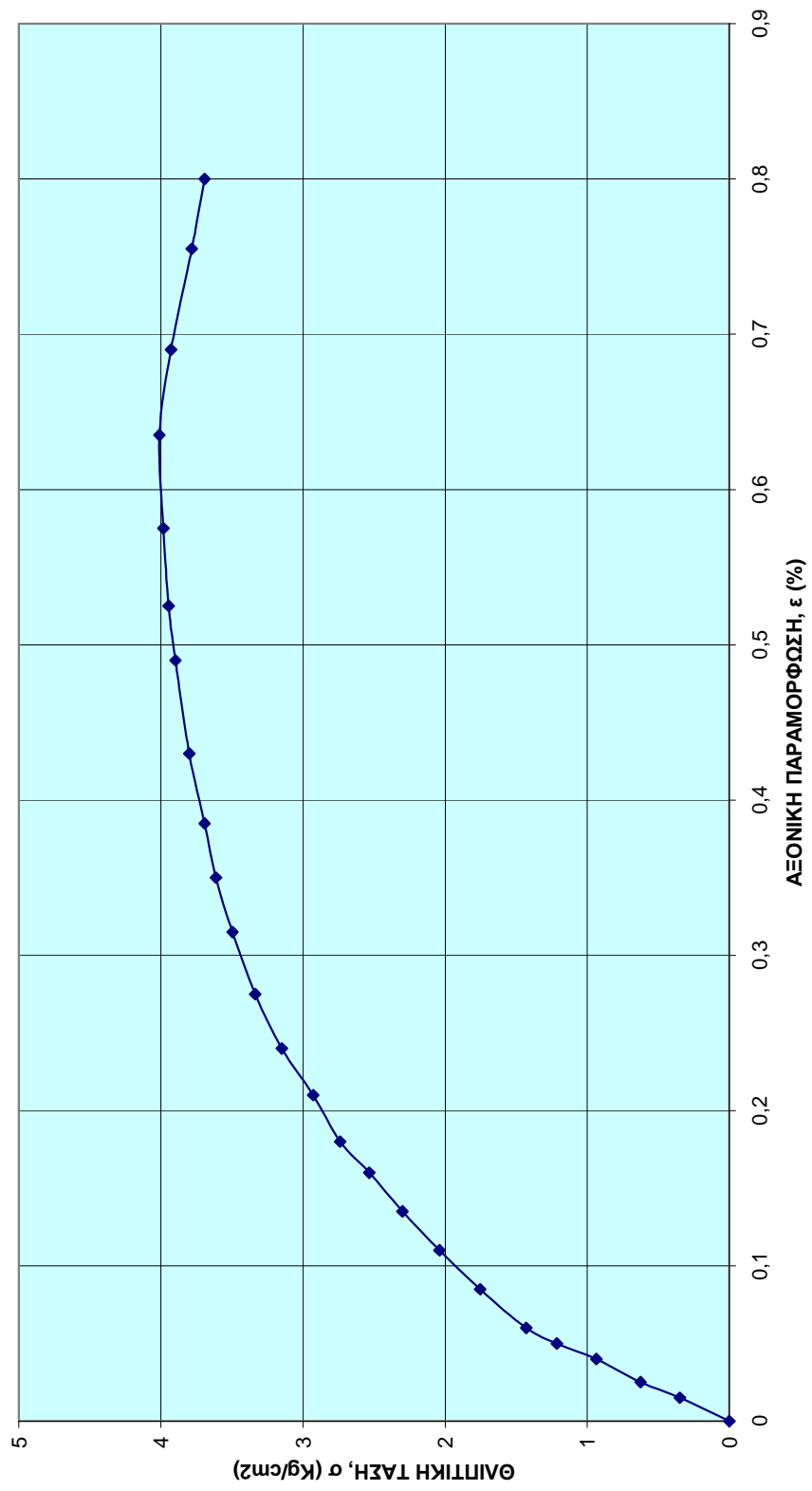


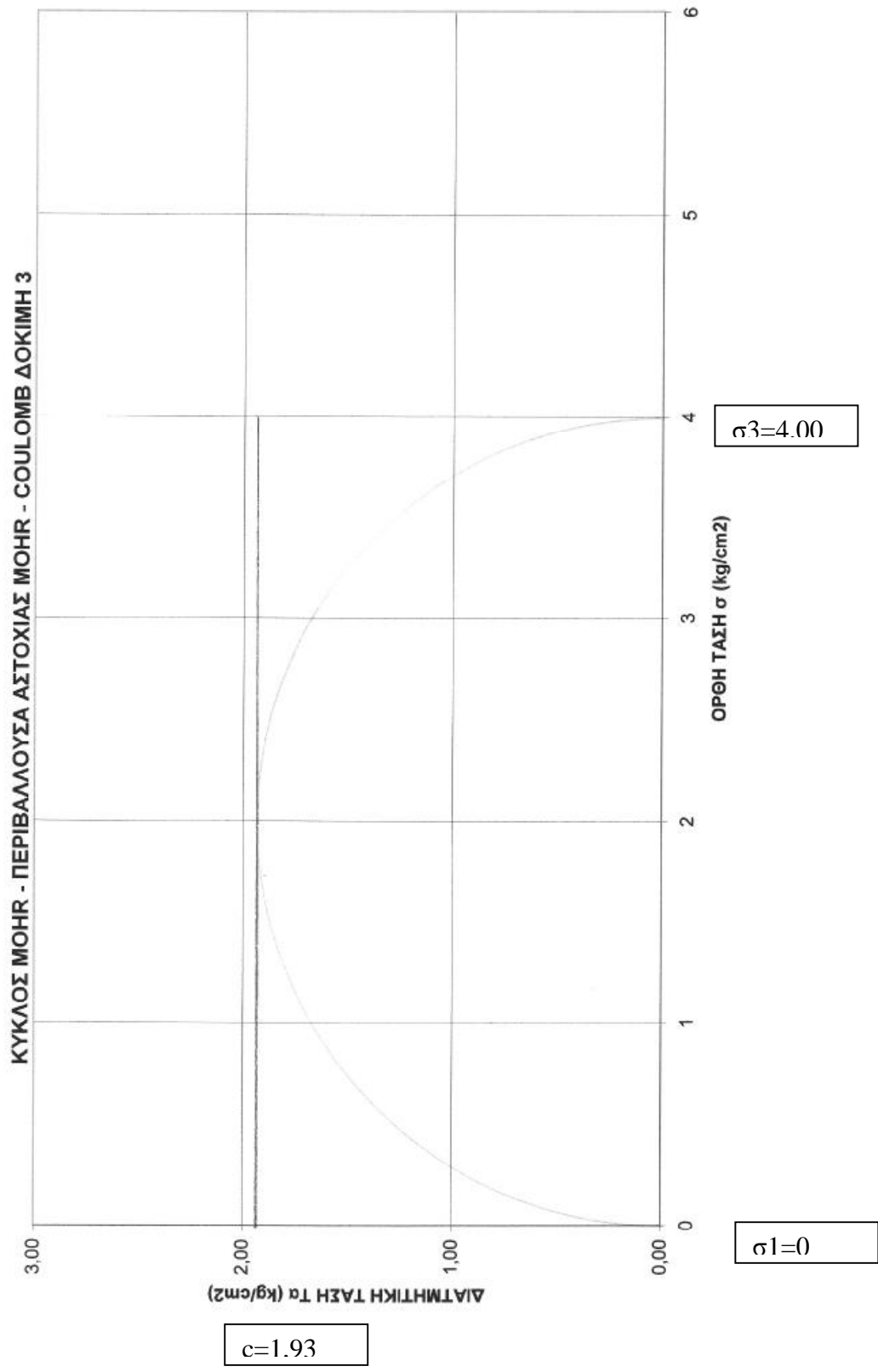


### ΔΟΚΙΜΗ 3

ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔL (mm)	ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ $\varepsilon = \Delta L / L$ (%)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ $A' = A / (1 - \varepsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ P (Kg)	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ $\sigma = P / A$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0
0,3	0,015	46,03	15,8	0,34
0,5	0,025	46,50	28,3	0,62
0,8	0,04	47,23	42,4	0,93
1	0,05	47,72	55	1,21
1,2	0,06	48,23	64,8	1,42
1,7	0,085	49,55	79,5	1,75
2,2	0,11	50,94	92,5	2,04
2,7	0,135	52,41	104,3	2,30
3,2	0,16	53,97	114,9	2,53
3,6	0,18	55,29	124,2	2,73
4,2	0,21	57,39	132,8	2,92
4,8	0,24	59,66	142,8	3,14
5,5	0,275	62,54	151,3	3,33
6,3	0,315	66,19	158,5	3,49
7	0,35	69,75	163,8	3,61
7,7	0,385	73,72	167,4	3,69
8,6	0,43	79,54	172,3	3,80
9,8	0,49	88,90	176,7	3,89
10,5	0,525	95,45	178,9	3,94
11,5	0,575	106,68	180,6	3,98
12,7	0,635	124,22	181,9	4,00
13,8	0,69	146,26	178,2	3,93
15,1	0,755	185,06	171,5	3,78
16	0,8	226,70	167,4	3,69

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΔΟΚΙΜΗ 3





## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τις παρατηρήσεις που έγιναν στα πλαίσια αυτής της εργαστηριακής διερεύνησης μπορούν να διατυπωθούν τα εξής συμπεράσματα:

Στις δοκιμές της άμεσης διάτμησης που βλέπουμε παραπάνω πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλες με την ίδια συσκευή. Στις δοκιμές από 1-6 είναι με την χειροκίνητη συσκευή, ενώ 7,8 και 9 είναι με την ηλεκτροκίνητη συσκευή. Παρατηρούμε ότι οι τιμές της διατμητικής τάσης είναι πολύ μικρές με αποτέλεσμα να μην έχουμε ομοιομορφία στα αποτελέσματα της συνοχής στα εδαφικά μας δείγματα.

Οι τιμές της συνοχής, από δοκιμές άμεσης διάτμησης δεν μπορούν να είναι συγκρίσιμες με αυτές από ανεμπόδιστη θλίψη.

Η τριαξονική δοκιμή θα μπορούσε να μας δώσει καλύτερα αποτελέσματα διότι είναι πιο αξιόπιστη συσκευή από τις υπόλοιπες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Θ. ΒΑΛΛΑΛΑΣ ΟΜΟΤ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΟΥ  
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ (Ασκήσεις και προβλήματα) Γ.ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ Ν.ΜΑΝΟΥ  
– ΑΝΔΡΕΑΔΟΥ Θ.ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ Ι ΚΑΙ ΙΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ  
ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ – ΠΑΓΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΙΙ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΡ. ΕΙΡΗΝΗ ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ

PROSPECTUS ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ (Internet)