

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΦΥΛΛΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ  
ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ-ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

**Ζησιμάτος Γεώργιος**  
Πανεπιστημιακός Υπότροφος

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

**Μανδρέκα Αθηνά - Αντωνία**  
**Σπηλιωτοπούλου Μαρία**

ΠΑΤΡΑ, 2015

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει την Πτυχιακή μας Εργασία αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε τον Εισηγητή και Επόπτη της πτυχιακής μας εργασίας, κύριο Ζησιμάτο Γεώργιο για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο θέμα, που μας ήταν ιδιαίτερα ευχάριστο.

**Πάτρα 2015**

Μανδρέκα Αθηνά-Αντωνία  
Σπηλιωτοπούλου Μαρία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι η παρουσίαση και η ψηφιοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών του μαθήματος Εδαφομηχανική Ι. Το εν λόγω θέμα επιλέχτηκε από εμάς λόγω του ενδιαφέροντός μας στο συγκεκριμένο μάθημα με σκοπό να κατανοήσουμε κάποια πράγματα όσο το δυνατόν καλύτερα.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε γενικά στην επιστήμη της εδαφομηχανικής. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις πειραματικές διαδικασίες καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο της καθεμίας.

Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα έντυπα της πειραματικής διαδικασίας κάθε πειράματος που φτιάξαμε εμείς, έχοντας εισάγει κάποιες τιμές με σκοπό να επαληθεύσουμε τις πράξεις μας. Τα έντυπα έχουν συνταχθεί σε πρόγραμμα excel.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ .....	6
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.2 ΔΟΚΙΜΕΣ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ .....	8
2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (ASTM D 2216).....	8
2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΕΔΑΦΩΝ (ASTM D 854).....	9
2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG(ASTM D 4318) .....	10
2.4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (ASTM C 136).....	17
2.5 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ-ΔΟΚΙΜΗ PROCTOR(ASTM D 1557) .....	27
2.6 ΔΟΚΙΜΗ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΟΡΩΔΕΣ (ASTM D 4404-84 ) .....	33
2.7 ΔΟΚΙΜΗ ΚΩΝΝΟΥ ΑΜΜΟΥ (ASTM d 1556-90 ).....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	37
3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	37
3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ .....	39
3.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	41
3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG.....	44
3.5 ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ .....	47
3.6 ΔΟΚΙΜΗ PROCTOR .....	48

3.7 ΔΟΚΙΜΗ ΚΩΝΟΥ ΑΜΜΟΥ .....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	54

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην παρούσα Πτυχιακή εργασία έχουμε ψηφιοποιήσει τις πειραματικές διαδικασίες του εργαστηρίου του μαθήματος «Εδαφομηχανική Ι». Αυτό έγινε με την βοήθεια του προγράμματος excel λόγω της ευχρηστίας του και των επιλογών που διαθέτει για την εισαγωγή συναρτήσεων και τη δημιουργία γραφημάτων.

Το ψηφιακό αρχείο που έχουμε δημιουργήσει αποτελείται από διάφορες καρτέλες. Η κάθε καρτέλα αντιπροσωπεύει καθένα από τα πειράματα του εργαστηρίου, τα οποία σας παρουσιάζουμε παρακάτω πιο αναλυτικά.

Οφείλουμε να τονίσουμε ότι προσπαθήσαμε η παρουσίαση των πειραμάτων και των υπολογισμών που τους συνοδεύουν να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή και κατανοητή.

Το κάθε πείραμα έχει συνταχθεί σε μορφή πίνακα με σκοπό να είναι ευανάγνωστο όταν εκτυπωθεί. Όλα τα στοιχεία, δεδομένα και αποτελέσματα, συνοδεύονται από τις απαραίτητες επεξηγήσεις.

## 1.2 ΔΟΚΙΜΕΣ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι δοκιμές που θα περιγράψουμε στη συνέχεια είναι σύμφωνα με τα παρακάτω πρότυπα :

<b>ΜΕΘΟΔΟΣ – ΠΡΟΤΥΠΑ</b>	<b>ΔΟΚΙΜΗ</b>
ASTM D-2216	Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας
ASTM D-854	Προσδιορισμός ειδικού βάρους
ASTM D-4318	Προσδιορισμός ορίων Atterberg
ASTM C-136	Κοκκομετρική Ανάλυση (ξηρή μέθοδος)
ASTM D-1557	Δοκιμή Proctor
ASTM D-4404-84	Δοκιμή Δείκτη πόρων και πορώδες
ASTM D-1556-90	Δοκιμή Ισοδυναμίου άμμου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

### 2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (ASTM D 2216)

Περιγραφή δοκιμής :

Η δοκιμή έχει σαν σκοπό τη μέτρηση της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους ( $W_w$ ) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους ( $W_s$ ), δηλαδή:

$$w = ( W_w / W_s ) * 100 \quad (\%)$$

Εξοπλισμός δοκιμής :

Θα χρησιμοποιήσουμε κάψες (γυάλινες ή μεταλλικές) για να τοποθετούμε τα δείγματα. Επιπλέον, θα χρησιμοποιήσουμε ζυγό ακριβείας (0.1 g ή καλύτερα 0.01 g).

- Το μέγεθος του εδάφους που λαμβάνεται για τον προσδιορισμό της υγρασίας εξαρτάται από τον τύπο του εδαφικού σχηματισμού και τη διατιθέμενη ποσότητα.
- Γενικά επιδιώκουμε μεγάλη ποσότητα δοκιμίου, διότι όσο μεγαλύτερη τόσο ακριβέστερος θα είναι ο προσδιορισμός, αφού τα προσδιοριζόμενα βάρη είναι μεγαλύτερα.
- Για να υπολογίσουμε την περιεκτικότητα σε νερό, θα ζυγίσουμε τα δείγματα αμέσως με ακρίβεια ( $w$ ). Στη συνέχεια το δοκίμιο ξηραίνεται στο φούρνο σε θερμοκρασία  $105^\circ - 110^\circ \text{C}$ .
- Ο χρόνος ξηράνσεως εξαρτάται από τον τύπο, την ποσότητα και το σχήμα του δοκιμίου. Για να είμαστε σίγουροι ότι το δοκίμιο έχει ξηραθεί εντελώς, συνιστάται χρόνος ξήρανσης 24 ώρες.
- Μετά την απομάκρυνσή του από το φούρνο, το δείγμα ψύχεται και ζυγίζεται εκ νέου ( $W_s$ ). Η περιεκτικότητα σε νερό υπολογίζεται ως



$$w = [(W - W_s) / W_s] * 100 \quad (\%).$$

Όταν η μέτρηση αναφέρεται σε δείγμα προερχόμενο από φυσική θέση (ύπαιθρο) ονομάζεται φυσική υγρασία.

## 2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΕΔΑΦΩΝ (ASTM D 854)

Περιγραφή δοκιμής :

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4 °C. Με δεδομένο ότι το ειδικό βάρος του νερού γ<sub>w</sub>, σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ισούται με 1, το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών γ<sub>s</sub> ενός εδάφους ισούται αριθμητικά με το λόγο του βάρους της στερεάς ύλης (δηλαδή μόνο το βάρος των κόκκων) προς τον αντίστοιχο όγκο.

Τρόπος εργασίας :

- Ο ογκομετρικός κύλινδρος ζυγίζεται και το βάρος αυτού αναγράφεται. Στη συνέχεια, γεμίζεται με απεσταγμένο νερό πραγματικής θερμοκρασίας δωματίου μέχρι τα 100 ml. Προσδιορίζεται κατόπιν το βάρος του ογκομετρικού κυλίνδρου με το νερό (W<sub>2</sub>) και καταγράφεται.
- Το εδαφικό δείγμα μπορεί να περιέχει τη φυσική του υγρασία ή να έχει ξηραθεί σε κλίβανο. Το βάρος του δείγματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 25 gr.
- Το δείγμα τοποθετείται μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο που στη συνέχεια γεμίζεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 100 ml. Λαμβάνεται το βάρος (W<sub>1</sub>) του κυλίνδρου με το περιεχόμενό του και η θερμοκρασία του περιεχομένου σε °C.

$$\gamma_s = W_s * \gamma_w / W_w$$

όπου :  $W_w = W_w + W_2 - W_1$

## 2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG (ASTM D 4318)

Περιγραφή δοκιμής :

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 τη 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.

Εξοπλισμός δοκιμής :

Συσκευή ορίου υδαρότητας (συσκευή Casagrande), κατάλληλο εργαλείο για χάραξη, κάψες για την μέτρηση της υγρασίας, γυάλινη πλάκα για τον προσδιορισμό του ορίου πλαστικότητας. Εξοπλισμός για την ανάμιξη - ύγρυνσης των εδαφών (δοχείο πορσελάνης - σπάτουλα - ογκομετρικό δοχείου νερού), ζυγαριά ακριβείας, κατά προτίμηση δύο δεκαδικών ψηφίων. Κόσκινο No40 και μικρό ταψάκι .

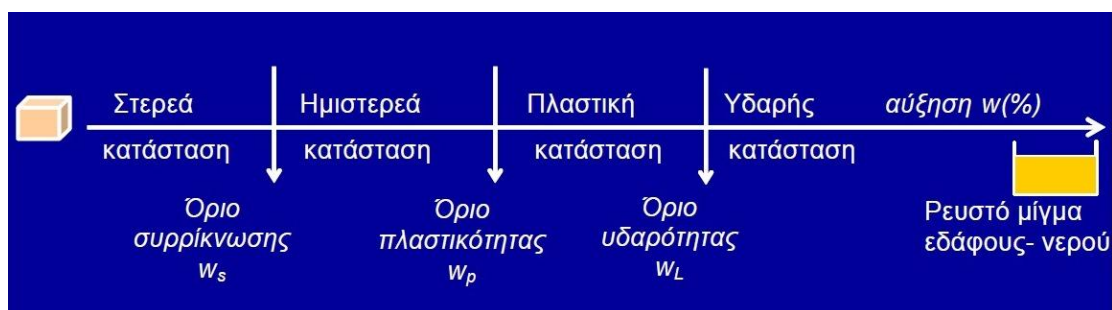
Η περιγραφή των ορίων είναι η εξής:

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 την 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 κορεσμένο 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.



Εικόνα 1. OPIA 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 Νο40. Συνήθως τα δείγματα που παίρνουμε

από την γεώτρηση χρειάζονται ξήρανση έτσι ώστε να διέρχονται από το κόσκινο Νο40. 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.



Εικόνα 2. ΣΥΣΚΕΥΗ CASAGRANDE

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

1) **Δείκτης πλαστικότητας (IP):** 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:

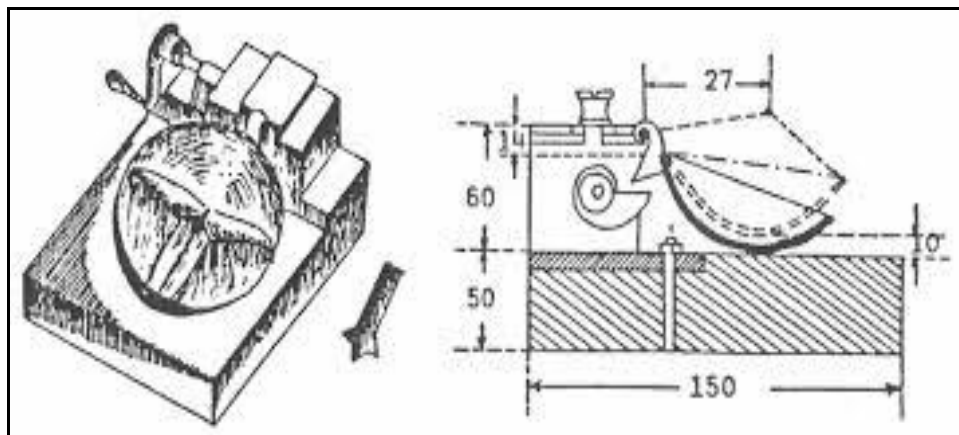
$$IP = LL - PL$$

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:

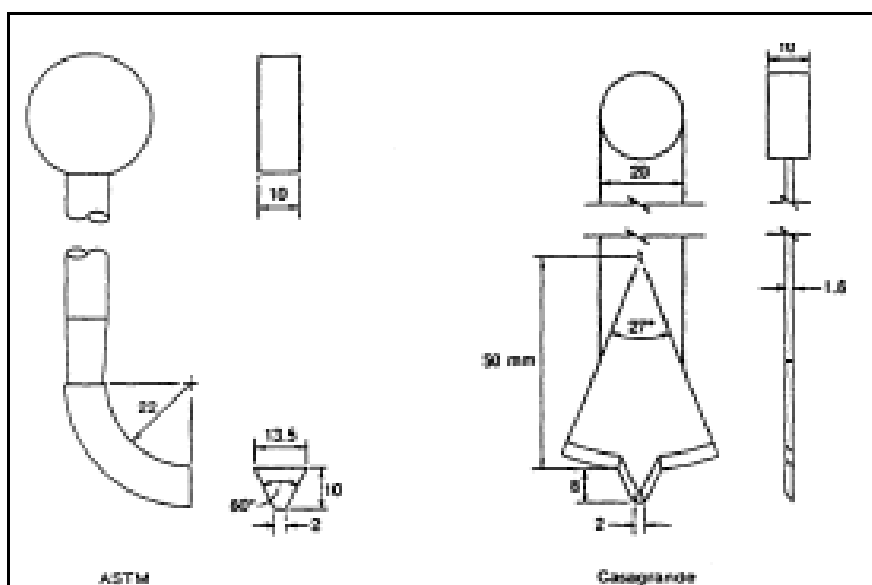
$$LI = (w_L - PL) / IP$$

Εργαστηριακός προσδιορισμός ορίων:

Θα χρησιμοποιείται όπως αναφέρθηκε το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο40 (0.425 mm). Το κοκκώδες – ξηρό υλικό, θα υγραίνεται ώστε να μεταβάλλεται η κατάσταση του. Με κατάλληλες μετρήσεις θα προσδιορίζουμε τα όρια Atterberg.



Εικόνα 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ CASAGRANDE

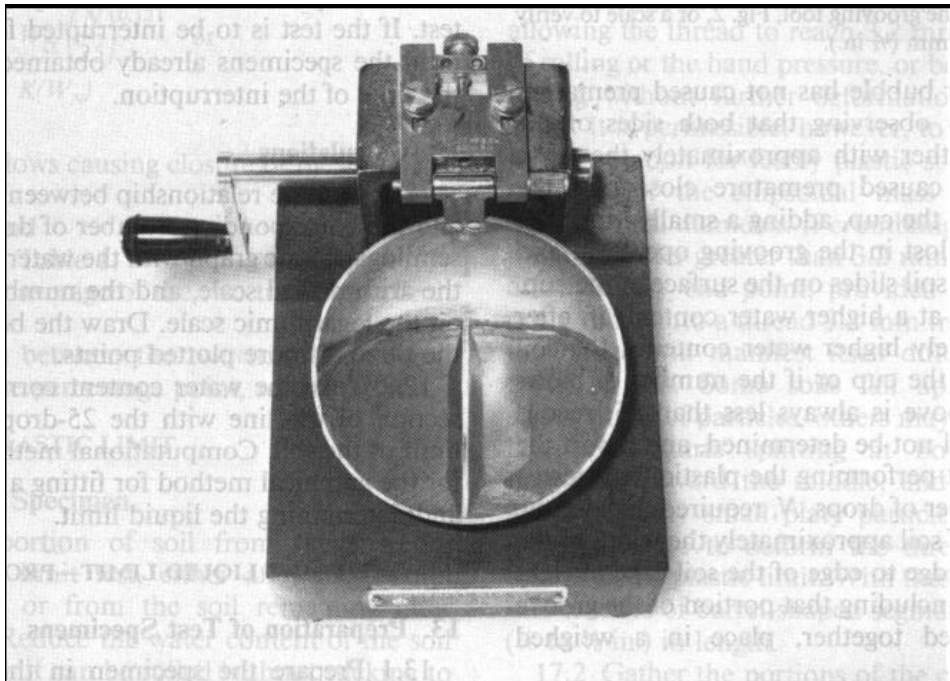


Εικόνα 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΧΑΡΑΞΗΣ

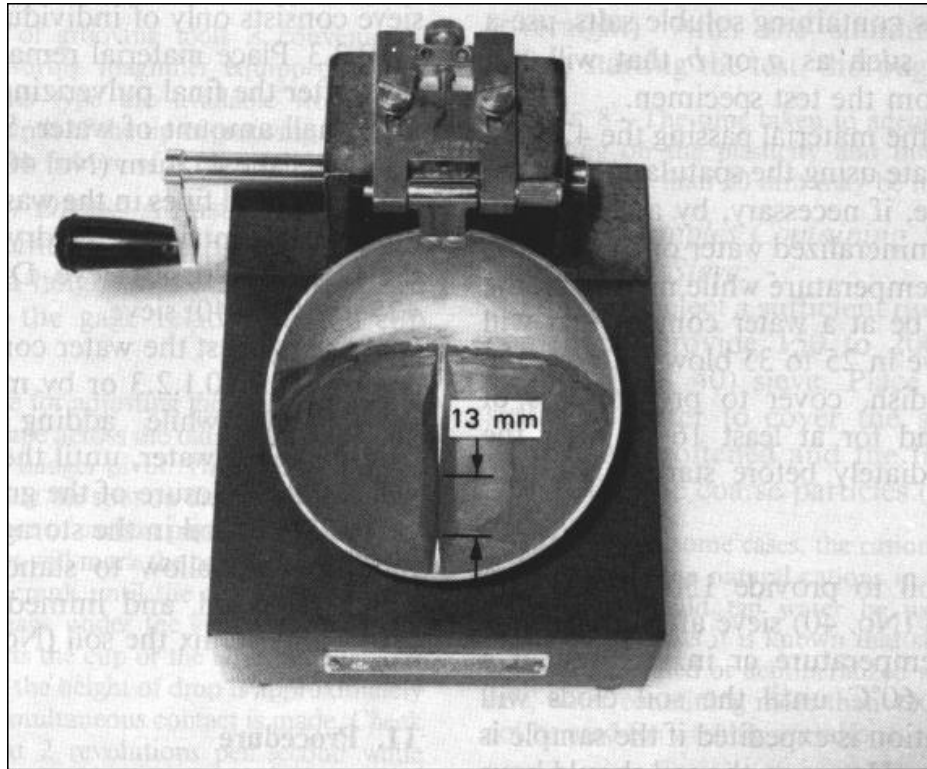
## Όριο υδαρότητας

Για να υπολογίσουμε το όριο υδαρότητας : Υγραίνουμε το δείγμα, το αναμιγνύουμε και το τοποθετούμε στην κάψα της συσκευής Casagrande έτσι ώστε να γεμίσει με δείγμα βάθους 1 cm. Με το ειδικό εργαλείο χάραξης, χαράζουμε το δείγμα σε όλο το μήκος του. Με ταχύτητα 2 στροφές ανά δευτερόλεπτο γυρίζουμε τον μοχλό, ώστε η κάψα να πραγματοποιεί πτώσεις.

Αν η χαραγή κλείσει 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 κλείσει σε διαφορετικό αριθμό από 25 χτύπους.



Εικόνα 5. Υλικό πριν την δοκιμή.



Εικόνα 6. Μετά τους κτύπους η χαραγή έχει κλείσει.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι προσδιορισμού:

- Πρώτον : Κάνουμε ένα πλήθος δοκιμών (3 με 5 δοκιμές) αλλάζοντας την περιεχόμενη υγρασία, αυξάνοντας σε κάθε δοκιμή το βαθμό ύγρυνσης του δείγματος. Κάθε δοκιμή θα χαρακτηρίζεται από τον αριθμό χτύπων N, όπου η χαραγή θα επουλώνεται, καθώς και από την περιεχόμενη υγρασία w (%) του δείγματος. Οι τιμές (N, w) σχεδιάζονται σε ένα ημιλογαριθμικό διάγραμμα και χαράζοντας την ευθεία που προσεγγίζει τα πειράματα, μπορούμε να παρεμβάλουμε την τιμή της περιεχόμενης υγρασίας w (LL) για N=25.
- Δεύτερον: Η κλίση της παραπάνω ευθείας είναι περίπου η ίδια για τους περισσότερους τύπους εδαφών. Οπότε μπορούμε με την διενέργεια μίας και μόνο δοκιμής να υπολογίσουμε το όριο υδαρότητας από τον παρακάτω τύπο:

$$LL(\%) = w * (N/25)^{0.121}$$

Όπου:

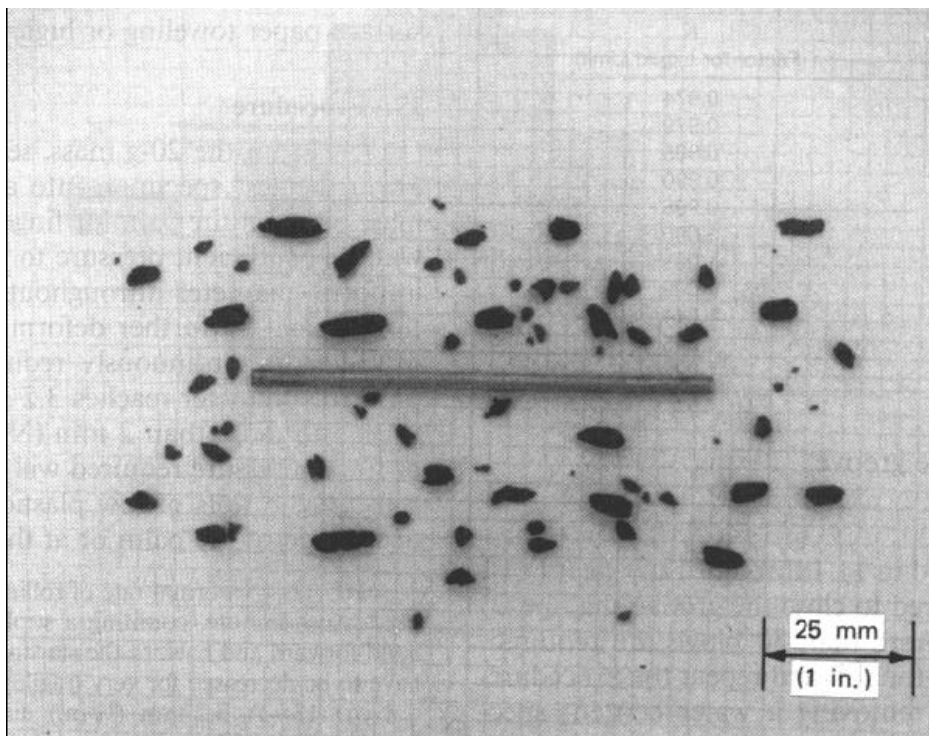
N : είναι ο αριθμός των χτύπων όπου επουλώνεται η χαραγή

w : η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος .

### Όριο πλαστικότητας

Να υπολογίσουμε το όριο πλαστικότητας : Υγραίνουμε το δείγμα και το πλάθουμε σε ίνες. Όταν οι ίνες θρυμματίζονται σε κομμάτια 1 ίντσας (25 mm), για διάμετρο ίνας = 3 mm, η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος είναι το όριο πλαστικότητας (PL). Θα μεταβάλουμε συνέχεια την ύγρανση του δείγματος πριν από κάθε δοκιμή, ώστε να «πετύχουμε» το όριο πλαστικότητας. Κάθε φορά που το δείγμα φτάνει το όριο πλαστικότητας, θα γίνεται προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας.

Δεν είναι πάντα δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας (οι ίνες θρυμματίζονται πολύ πριν φτάσουν τα 3 mm διάμετρο, η περαιτέρω αύξηση της υγρασίας δε, οδηγεί στο όριο υδαρότητας οπότε το δείγμα χάνει τις ιδιότητες της εύπλαστης μάζας). Σε αυτήν την περίπτωση το έδαφος (το λεπτόκοκκο κλάσμα) θα χαρακτηρίζεται ως μη πλαστικό – Non Plastic (NP).



**Εικόνα 7. Δοκιμή ορίου πλαστικότητας**



## **2.4 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΞΗΡΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (ASTM C 136)**

Η κοκκομετρική ανάλυση είναι η πρώτη και η σημαντικότερη από τις δοκιμές που γίνονται με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφικών υλικών.

Γενικά

Η κοκκομετρική ανάλυση θεωρείται διεθνώς η καταλληλότερη εργαστηριακή δοκιμή για την μηχανική κατάταξη των εδαφών. Η καταλληλότητα ή μη εδαφών για θεμελιώσεις, έργα οδοποιίας και λοιπά συγκοινωνιακά έργα (σιδηροδρομικά δίκτυα, αεροδρόμια), κατασκευή φραγμάτων και αναχωμάτων, επιχωμάτων, προσχώσεων κλπ., εξαρτάται από την κοκκομετρική ανάλυση, δηλαδή, τον προσδιορισμό της σχετικής συμμετοχής κάθε κλάσματος στο δείγμα.

Οι πληροφορίες που παίρνουμε από την κοκκομετρική ανάλυση μπορούν να μας διευκολύνουν στο να προβλέψουμε την συμπεριφορά εδαφών, όσον αφορά την αντοχή και παραμόρφωση, την κίνηση του υπόγειου νερού (διήθηση), 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.



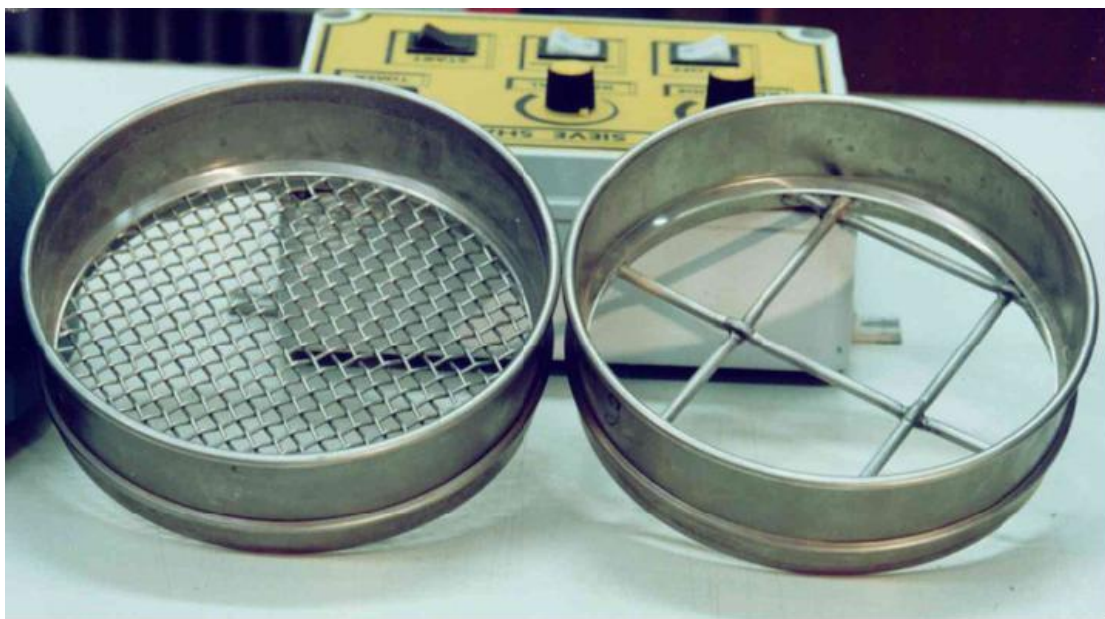
**Εικόνα 8. Διάταξη κοκκομετρικής δοκιμής**

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα, τετραγωνικών ανοιγμάτων, των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 101.6 mm, το οποίο κατακρατεί τα πλέον χονδρόκοκκα υλικά, έως και 0.075 mm (τυποποιημένο φίλτρο No200), 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 No200 (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).



**Εικόνα 9. Κόσκινα μικρής σπής**



**Εικόνα 10. Κόσκινα μεγάλης σπής**

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 (No200) 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, οφείλεται στο γεγονός της παρουσίας συσσωματώσεων κόκκων, στην ανομοιομορφία στο σχήμα των κόκκων, 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 ξήρασης 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 No200, 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 ανώτερο (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.

## Χαρακτηριστικά Κόσκινα

Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης εδαφών της ASTM, τα παρακάτω κόσκινα χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τα εδαφικά υλικά σε κατηγορίες:

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

## Ενεργό μέγεθος - Συντελεστής ομοιομορφίας

Η γενικότερη έκφραση της διαβάθμισης των εδαφών εκφράζεται με δύο όρους με το ενεργό μέγεθος και το συντελεστή ομοιομορφίας.

Το ενεργό μέγεθος των κόκκων ( $D_{10}$ ) ορίζεται ως η μέγιστη διάμετρος από την οποία διέρχεται το 10% κατά βάρος εδαφικών κόκκων και συνδέεται με την ευκολία που περνάει το νερό από το έδαφος.

Το D αναφέρεται στο μέγεθος του κόκκου, τη φαινομενική μέση διάμετρο των κόκκων του εδάφους και ο δείκτης 10 δηλώνει το ποσοστό που είναι μικρότερο.

Μία ένδειξη για το εύρος του μεγέθους των κόκκων μας δίνεται από τον συντελεστή ομοιομορφίας, που είναι ο λόγος που λαμβάνεται με την διαίρεση της μέγιστης διαμέτρου του 60% διερχόμενου κατά βάρος εδαφικών κόκκων προς το ενεργό μέγεθος και δίνεται από την παρακάτω σχέση (Hazen):

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Μεγάλη τιμή του συντελεστή  $C_u$  δηλώνει ότι τα  $D_{10}$  και  $D_{60}$  διαφέρουν αισθητά. Δεν μας δίνει πληροφορίες για τυχόν χάσματα στη διαβάθμιση όπως π.χ. όταν απουσιάζει ή υπάρχει σε μικρές ποσότητες το ποσοστό ενός μεγέθους. Μεγάλη τιμή του συντελεστή ομοιομορφίας δείχνει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά κατανεμημένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους κόκκους και δίνει μία γενική εικόνα του μεγίστου μεγέθους κόκκων. Το έδαφος με συντελεστή ομοιομορφίας 1 αποτελείται από κόκκους της ίδιας διαμέτρου, ενώ όταν ο συντελεστής ομοιομορφίας παίρνει την τιμή 300 το έδαφος δείχνει καλή διαβάθμιση και έχει μέγιστο μέγεθος κόκκων 25.4 mm. Εδάφη που έχουν τιμές  $C_u$  μικρότερους 4 ή 5 καλούνται ομοιόμορφα και αυτά με τιμές  $C_u$  μεγαλύτερες του 10 καλούνται καλώς διαβαθμισμένα.

Μικρή τιμή του ενεργού μεγέθους δείχνει ότι το έδαφος περιέχει σημαντικό ποσοστό λεπτών κόκκων.

Όπως και στο σκυρόδεμα όπου το ενεργό μέρος που καθορίζει τις ιδιότητες αυτού είναι το τσιμέντο, έτσι και στα μικτά εδάφη, το ενεργό μέρος αποτελεί το λεπτομερές κλάσμα (κολλοειδής άργιλος) ενώ το υπόλοιπο είναι γενικά αδρανές υλικό.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά ASTM αν το ποσοστό που διέρχεται από το φίλτρο No200 είναι άνω του 12%, δεν μπορεί να προσδιοριστεί το  $D_{10}$ , κατά συνέπεια ούτε τα  $C_u$  και  $C_c$ . Σε αυτήν την περίπτωση, η ταξινόμηση δεν λαμβάνει υπόψη τα παραπάνω μεγέθη. Για Διερχόμενο του No200 μεταξύ 10 και 12 % και αν δεν υπάρχουν αποτελέσματα υδραυλικής δοκιμής με αραιόμετρο (δοκιμή η οποία συνιστάται για διερχόμενο του No200 άνω του 5%), ως  $D_{10}$  θα λαμβάνεται η διάσταση του No200 (0.075 mm).

## Συντελεστής καμπυλότητας

Ο συντελεστής καμπυλότητας ( $C_c$ ) είναι ένα μέτρο του σχήματος της καμπύλης ανάμεσα στα χαρακτηριστικά μεγέθη  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  και  $D_{60}$  και δίνεται από τον τύπο:

$$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} D_{60})$$

Τιμές του  $C_c$  διάφορες του 1, υποδηλώνουν ότι λείπουν κάποια μεγέθη κόκκων ανάμεσα σε αυτά τα όρια. Τα  $D_{15}$  και  $D_{85}$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της καταλληλότητας ενός εδάφους για σχεδιασμό φίλτρου σε χωμάτινο φράγμα ή σε υδρογεωτρήσεις.

## Διαδικασία δοκιμής

1. Επιλέγουμε 500 g δείγματος το οποίο έχει ψηθεί και ξηραθεί. Προσέχουμε ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό. Πλύσιμο δείγματος - κονιοποίηση. Το βάρος του δείγματος μπορεί να μεταβληθεί σύμφωνα με την μέγιστη διάσταση των κόκκων του δείγματος. Οι προδιαγραφές των δοκιμών καθορίζουν το ελάχιστο βάρος του δείγματος, ώστε τα αποτελέσματα της δοκιμής να είναι αντιπροσωπευτικά για το έδαφος.
2. Αν το δείγμα περιέχει και χαλίκια μπορεί να αποφευχθεί το πλύσιμο του δείγματος. Προσέχουμε, επίσης, να μην καταστρέψουμε το κόσκινο και να μην χάσουμε δείγμα. Αν περιέχεται σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού ακολουθεί κονιοποίηση, πλύσιμο του δείγματος, ξήρανση με φούρνο και η διαδικασία συνεχίζεται την επόμενη μέρα.
3. Ζυγίζουμε το ξηρό ψημένο δείγμα. Περνάμε το δείγμα μέσα από μία σειρά κόσκινων ξεκινώντας από πάνω με το μεγαλύτερο της σειράς και τελειώνοντας προς τα κάτω με το μικρότερο. Για αμμώδη έως λεπτόκοκκα εδάφη προτείνονται οι παρακάτω δύο σειρές:

Τυπική ακολουθία	Διάμετρος Κόσκινου (mm)	Εναλλακτική σειρά	Διάμετρος Κόσκινου (mm)
	75		75
	6.3		6.3
4	4.75	4	4.75
10	2	10	2.0
20	0.85	30	0.84
40	0.425	50	
100	0.150	100	0.150
200	0.075	200	0.075

**Εικόνα 11. Τυπικές ακολουθίες κόσκινων για την κοκκομετρική δοκιμή.**

Για δείγματα μεγαλύτερου κοκκομετρικού μεγέθους και μεγαλύτερου βάρους χρησιμοποιείται ανάλογη σειρά. Τα βάρη των δειγμάτων κυμαίνονται από 1500 g για χαλίκια μεγέθους 19 mm έως 5000 g για χαλίκια μέσης διαμέτρου.

4. Τοποθετούμε τη σειρά των κόσκινων σε ένα ηλεκτρομαγνητικό δονητή (οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις) για 5 με 10 λεπτά ανάλογα με την δυσκολία που εμπεριέχει η ποσότητα του υλικού.
5. Αφαιρούμε τα δείγματα από τη συσκευή, ζυγίζουμε τα κόσκινα για να βρούμε το συγκρατούμενο υλικό. Αθροίζουμε αυτά τα βάρη και συγκρίνουμε το τελικό με το αρχικό βάρος μετά το ψήσιμο. Εντοπίζουμε τυχόν απώλειες δείγματος. Αν παρατηρήσουμε έλλειψη δείγματος μεγαλύτερη από 2% η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί.
6. Υπολογίζουμε το ποσοστό συγκρατούμενου σε κάθε κόσκινο διαιρώντας το βάρος του συγκρατούμενου με το αρχικό συνολικό βάρος του δείγματος, πριν λάβει χώρα η διαδικασία του κοσκινίσματος.
7. Υπολογίζουμε το ποσοστό του διερχόμενου ξεκινώντας από το 100% και αφαιρώντας σταδιακά το ποσοστό του συγκρατούμενου σε κάθε κόσκινο.  
*Παράδειγμα:* Έστω το βάρος του αρχικού δείγματος 500 g και από το κόσκινο Νο4 (το πρώτο της σειράς) συγκρατήθηκε ποσότητα δείγματος 9.700 g. Το διερχόμενο είναι συνεπώς  $(500-9.7=)$  490.3 g.



Το ποσοστό του συγκρατούμενου είναι  $(9.7/500)*100=1.9\%$  και το ποσοστό του διερχόμενου είναι  $(100-1.9)=98.1\%$ . Εν γένει το ποσοστό του διερχομένου είναι η διαφορά του ποσοστού του συνολικά διερχόμενου μείον το ποσοστό του συγκρατούμενου.

8. Σχεδιάζουμε την καμπύλη σε ένα ημιλογαριθμικό χαρτί όπου στον οριζόντιο (λογαριθμικό) άξονα τοποθετείται το μέγεθος των κόκκων και στον κατακόρυφο το ποσοστό των διερχομένων. Αν το ποσοστό των διερχομένων από το κόσκινο Νο200 είναι μεγαλύτερο από 12% συνιστάται η διενέργεια της υδραυλικής δοκιμής. Για τη σχεδίαση της κοκκομετρικής καμπύλης, μπορεί να χρησιμοποιείται ένα λογισμικό φύλλων υπολογισμών (όπως το Microsoft Excel). Από την ιστοσελίδα του εργαστηρίου είναι διαθέσιμο ένα τέτοιο λογισμικό (GrainSizeGraph.xls), με την βοήθεια του οποίου σχεδιάζονται τα γραφήματα.

### **Αξιολόγηση της κοκκομετρικής καμπύλης**

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

### **Καλά διαβαθμισμένο έδαφος**

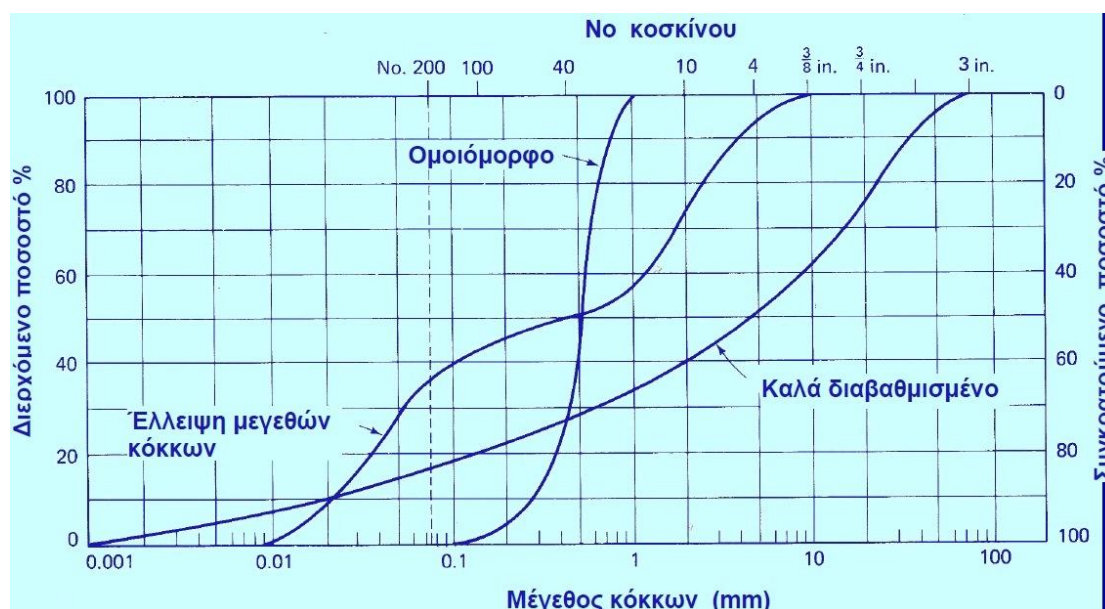
Ένα καλά διαβαθμισμένο έδαφος, είναι σχετικά σταθερό, ανθίσταται στη φθορά και τη διάβρωση, μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να αποκτήσει μεγάλη πυκνότητα με αποτέλεσμα να αναπτύσσει μεγάλη αντοχή στη διάτμηση και φέρουσα ικανότητα.

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

## Έδαφος κακής διαβάθμισης

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

Ένα έδαφος όπου απουσιάζει μία γκάμα διαστάσεων είναι επίσης κακής διαβάθμισης. Εκτός των προβλημάτων που οφείλονται στην κακή συμπίκνωση, το έδαφος αυτό είναι ευαίσθητο στη διέλευση του νερού, το οποίο συμπαρασύρει τους κόκκους λεπτότερης διαμέτρου και έτσι δημιουργούνται κενά με δυσμενείς επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους. Η κοκκομετρική καμπύλη ενός τέτοιου εδάφους θα παρουσιάζει ένα οριζόντιο σκέλος .



Εικόνα 12. Σκαριφήματα κοκκομετρικών αναλύσεων

## 2.5 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ-ΔΟΚΙΜΗ PROCTOR (ASTM D 1557)

Με τον όρο **συμπύκνωση** εννοούμε : την τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα.

Με την συμπύκνωση επιτυγχάνουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, μείωση των καθιζήσεων και της διαπερατότητάς του. Η σημασία της διαδικασίας συμπύκνωσης έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα συμπυκνωμένα εδάφη χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα για ασφαλέστερες κατασκευές.

Ο **βαθμός συμπύκνωσης** ενός εδάφους εκφράζεται με την ξηρή πυκνότητα του εδάφους. Επομένως, η μεταβολή της τιμής της ξηρής πυκνότητας μετά από συμπύκνωση, εκφράζει τη μεταβολή όγκου για το ίδιο ξηρό βάρος, δηλαδή εκφράζει το βαθμό συμπύκνωσης του υλικού. Η μέγιστη συμπύκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα του εδάφους επιτυγχάνεται με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος που ευνοεί τη μείωση της συνοχής και των τριβών μεταξύ των εδαφικών κόκκων, καθώς και της διατμητικής αντοχής του εδάφους, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται γρήγορη αναδιάταξη των κόκκων σε πυκνότερη δομή.

Επομένως, αν μεταβάλλουμε την περιεκτικότητα σε νερό του εδαφικού δείγματος, διατηρώντας σταθερή την ενέργεια συμπύκνωσης (βάρος σφύρας, ύψος πτώσης, αριθμό κτύπων ανά στρώση, διατομή στρώσεων) και κάνουμε το διάγραμμα μεταβολής του ξηρού φαινόμενου βάρους  $\gamma_d$  σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό  $m$  (%), τότε παίρνουμε μία καμπύλη που παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή του  $\gamma_d$  για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό  $m$ , που χαρακτηρίζεται σαν **βέλτιστη υγρασία**  $m_{opt}$  κατά Proctor (optimum).

Αν αυξήσουμε την ενέργεια συμπύκνωσης αυξάνεται και η μέγιστη τιμή του  $\gamma_d$  και μειώνεται η τιμή optimum της περιεκτικότητας σε νερό. Η μορφή της καμπύλης συμπύκνωσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Η τιμή της βέλτιστης υγρασίας αυξάνεται λογαριθμικά με την αύξηση των λεπτόκοκκων στο έδαφος, ενώ εμφανίζει γενικά γραμμική σχέση με την αύξηση του ποσοστού της λεπτής άμμου.

Proctor EN 13186-2 (23/5/2013)

Σύμφωνα με την ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-03-00: 2009

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13286-2 προδιαγράφει νέες μήτρες και νέους κόπανους. Η δοκιμή προσδιορισμού της σχέσεως υγρασίας - πυκνότητας εδαφών με τη μέθοδο συμπύκνωσης Proctor χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μίας πυκνότητας αναφοράς, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του βαθμού συμπύκνωσης των στρώσεων στην κατασκευή δρόμων και έργων πολιτικού μηχανικού για μίγματα ασύνδετων ή και υδραυλικά σταθεροποιημένων υλικών.

Ισχύει για υλικά με μέγιστο κόκκο (D) 63 mm και διερχόμενο από το κόσκινο 31,5 mm από > 75%.

Η επιλογή της μεθόδου γίνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα του προτύπου EN 13286-1:2003

Μέθοδος δοκιμής			Εύρος μεγέθους των κόκκων
Proctor	2,5 kg βάρος κοπάνου	100 mm καλούπι	Μέγιστο μέγεθος 16 mm
		150 mm καλούπι	75 – 100 ποσοστό που περνάει 31,5 mm
	4,5 kg βάρος κοπάνου	100 mm καλούπι	Μέγιστο μέγεθος 16 mm
		150 mm καλούπι	75 – 100 ποσοστό που περνάει 31,5 mm
	15 kg βάρος κοπάνου	250 mm	75 – 100 ποσοστό που περνάει 63 mm

Η δοκιμή μπορεί να γίνει με 6 διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τον μέγιστο κόκκο του υλικού, την απαιτούμενη ποσότητα του δείγματος και το μέγεθος της μήτρας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σφυρί 2,5 kg – 4,5 kg – 15 kg.

Το μέγεθος της μήτρας επιλέγεται ανάλογα με τον μέγιστο κόκκο (D). Αν περισσότερο από 25% του υλικού παραμένει στο κόσκινο των 63 mm η δοκιμή δεν είναι κατάλληλη.

### ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Προσοχή πρέπει να δοθεί, ώστε τα σχετικά με τον εξοπλισμό π.χ. διακριβώσεις να είναι σύμφωνα με το EN 932-5:2012

Μήτρες σύμφωνα με τον πίνακα:

Μήτρα Proctor	Διάμετρος d1 mm	Ύψος h1 mm	Πάχος	
			Τοίχωμα w mm	Βάση t mm
A	100,0 ±1,0	120,0 ±1,0	7,5 ±0,5	11,0 ±0,5
B	150,0 ±1,0	120,0 ±1,0	9,0 ±0,5	14,0 ±0,5
C	250,0 ±1,0	200,0 ±1,0	14,0 ±0,5	20,0 ±0,5

Κόπανοι σύμφωνα με τον πίνακα:

Κόπανος	Βασικές απαιτήσεις		
	Μάζα κόπανου mR kg	Διάμετρος βάσης d2 mm	Ύψος πτώσης h2 mm
A	2,50 ± 0,02	50,0 ± 0,5	305 ± 3
B	4,50 ± 0,04	50,0 ± 0,5	457 ± 3
C	15,00 ± 0,04	125,0 ± 0,5	600 ± 3

## ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

Η απαιτούμενη ποσότητα του δείγματος θα επιλέγεται σύμφωνα με τον πίνακα:

% διερχόμενο από το κόσκινο:			Προετοιμασία παράγραφος:	Μάζα δείγματος kg	Μήτρα Proctor
16 mm	31,5 mm	63 mm			
100	–	–	6.4	15	A
				40	B
75 to 100	100	–	6.5.1	40	B
< 100	75 to 100	100	6.5.2	40	B
–	< 75	75 to 100	6.5.3	200	C

Ζυγίζω το δείγμα. Έπειτα, αφαιρώ και ζυγίζω το υλικό που παραμένει στο κόσκινο 31,5 mm . Υπολογίζω την υγρασία του υπερμεγέθους  $w_o$  και την πυκνότητα του  $\rho_{so}$  (EN 1097-6). Μετά χωρίζω το διερχόμενο από το 31,5 mm σε τουλάχιστον 5 δείγματα περίπου 6 kg το καθένα. Αναμιγνύω με διαφορετικά ποσοστά υγρασίας, ώστε τελικά 2 σημεία να βρίσκονται κάτω από την βέλτιστη τιμή και δύο πάνω από αυτή.

Τροποποιημένη Proctor Κόππανος 4,5 kg – Μήτρα B

Ύψος πτώσης 457 mm – 5 στρώσεις

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή CBR. Έχουμε :

I. Ζυγίζω την μήτρα B μαζί με την βάση (5 g) και σημειώνω το βάρος της  $m_1$ . Μετρώ την εσωτερική διάμετρο με ακρίβεια 0,5 mm (αυτό έχει γίνει για όλες τις διακριβωμένες μήτρες και υπάρχει διαθέσιμος σχετικός πίνακας)

II. Τοποθετώ την προέκταση – κολάρο της μήτρας, λιπαίνω το εσωτερικό της και την τοποθετώ στον κόππανο.

III. Φέρνω κοντά το ένα από τα δείγματα που έχω προετοιμάσει και βάζω με μία σέσουλα ποσότητα τέτοια ώστε να καλύψει (όταν συμπυκνωθεί) λίγο παραπάνω από το ένα τρίτο του κυρίως σώματος της μήτρας.

IV. Εφαρμόζω 56 κτύπους

Επαναλαμβάνω τα βήματα III & IV, ώστε τελικά η πάνω επιφάνεια του υλικού να μην υπερβαίνει πάνω από 10 mm το άνω χείλος του κυρίως σώματος της μήτρας.

VI. Αφαιρώ το κολάρο και ισοπεδώνω την μήτρα με προσοχή χρησιμοποιώντας τον χάρακα επιπεδότητας. Αν ξεφύγει κάποια πετρούλα την αντικαθιστώ με λεπτότερο υλικό πιέζοντας το με τα δάχτυλα να κολλήσει στο κενό που δημιουργήθηκε.

VII. Ζυγίζω την μήτρα μαζί με το υλικό και την βάση της μήτρας (5 g) και σημειώνω ως m<sub>2</sub>.

VIII. Αφαιρώ το υλικό από την μήτρα και υπολογίζω την περιεχόμενη υγρασία, την οποία και σημειώνω ως w. (EN 1097-5)

IX. Συνεχίζω ομοίως για τα υπόλοιπα 4 δείγματα ώστε να πάρω πέντε σημεία ή τουλάχιστον 3 αν το υλικό είναι γνωστό .

#### Υπολογισμοί και παρουσίαση αποτελεσμάτων

Υπολογίζω τον εσωτερικό όγκο της μήτρας, V. Υπολογίζω την πυκνότητα κάθε συμπυκνωμένου δείγματος χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\rho = (m_2 - m_1) / V$$

Όπου :

$\rho$  : πυκνότητα

$m_1$  : βάρος μήτρας και ξηρού υλικού

$m_2$  : βάρος μήτρας και υγρού υλικού

V : όγκος της μήτρας

Υπολογίζω την ξηρή πυκνότητα κάθε συμπυκνωμένου δείγματος χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\rho_d : (100 * \rho) / (100 + w)$$

όπου :

$\rho_{\Delta}$  : ξηρή πυκνότητα

$\rho$  : πυκνότητα

$w$  : υγρασία %

\*Για υλικά που έχουν παραμένον στα κόσκινα 16 – 31,5 ή 63 mm (<25%) πρέπει να γίνεται διόρθωση σύμφωνα με το παράρτημα C. Χωρίς διόρθωση η ξηρή πυκνότητα θα είναι πιο μικρή από την πραγματική και η περιεχόμενη υγρασία μεγαλύτερη.

Φτιάχνω διάγραμμα (ξηρή πυκνότητα – περιεχόμενη υγρασία %) και υπολογίζω από το διάγραμμα τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα και την αντίστοιχη βέλτιστη υγρασία. Στο ίδιο διάγραμμα σχεδιάζω και την καμπύλη που αντιστοιχεί σε κενά 0% με την βοήθεια της εξίσωσης

$$\rho_{\Delta} = (1 - 0,01 * V) / (\rho_s^{-1} + 0,01 * w * \rho_w^{-1})$$

όπου :

$\rho_{\Delta}$  : ξηρή πυκνότητα



## 2.6 ΔΟΚΙΜΗ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΟΡΩΔΕΣ (ASTM D 4404-84 )

Ο συνολικός όγκος  $V$  ενός ξηρού εδαφικού δείγματος αποτελείται από τον όγκο της στερεής φάσης (εδαφικοί κόκκοι)  $V_s$  και από τον όγκο των κενών  $V_v$  που αφήνουν μεταξύ τους οι κόκκοι.

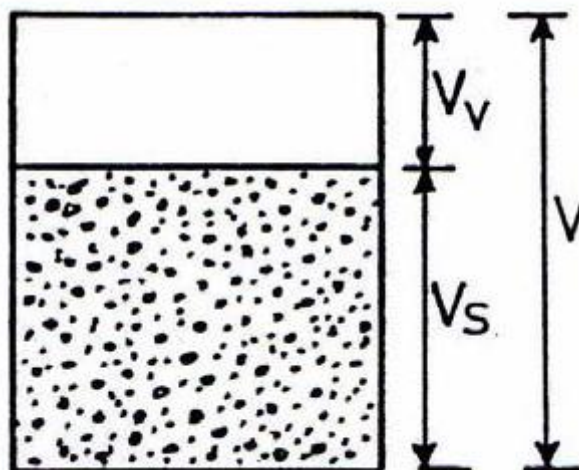
Σαν πορώδες ( $n$ ) χαρακτηρίζουμε τον λόγο του όγκου των κενών  $V_v$  προς τον ολικό όγκο  $V$  του εδάφους, ενώ σαν λόγο κενών ή δείκτη πόρων ( $e$ ) παίρνουμε το λόγο του όγκου των κενών  $V_v$  προς τον όγκο της στερεάς φάσης  $V_s$  (ή  $V - V_v$ ).

$$n = V_v / V, e = V_v / V_s$$

Οι σχέσεις που συνδέουν το πορώδες και τον δείκτη πόρων είναι:

$$n = e / (1 + e) \quad \text{και} \quad e = n / (1 - n)$$

Το πορώδες εκφράζεται είτε με δεκαδικό αριθμό (π.χ.  $n = 0,44$ ), είτε με ποσοστό % (π.χ.  $n = 44\%$ ).



Εικόνα 13. Φάσεις εδάφους

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το πορώδες ενός εδάφους είναι το μέγεθος, το σχήμα, η ομοιομορφία και η διάταξη των κόκκων του. Στην τελευταία περίπτωση επεμβαίνουν οι συνθήκες ιζηματογένεσης του εδάφους.

Για να κατανοήσουμε τον ρόλο που παίζει η διάταξη των κόκκων στη διαμόρφωση του πορώδους εξετάζουμε διάφορες διατάξεις ισομεγεθών σφαιρών με κλειστή δομή. Σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε τη δυνατότητα να πάρουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στοίβαξης (διάταξης) των σφαιρών: την κυβική, τη ρομβική και την πυκνή στοίβαξη. Στην κυβική στοίβαξη το πορώδες και ο δείκτης πόρων έχουν τις μεγαλύτερες τιμές ( $n=0,48$  και  $e=0,91$ ). Στη ρομβική στοίβαξη οι τιμές μειώνονται σε  $n=0,41$  και  $e=0,70$ , ενώ στην πυκνή στοίβαξη γίνονται ακόμη μικρότερες ( $n=0,26$  και  $e=0,35$ ). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του πορώδους και του δείκτη πόρων σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις είναι ανεξάρτητες από το μέγεθος των σφαιρών.

Την επίδραση του σχήματος των κόκκων στη διαμόρφωση του πορώδους μπορούμε να διαπιστώσουμε εξετάζοντας το ποσοστό των μαρμαρυγιακών κόκκων σε χαλαρή ομοιόμορφη άμμο. Με την αύξηση του ποσοστού αυτού επέρχεται και ανάλογη αύξηση του πορώδους.

Σε ανομοιόμορφα εδάφη το πορώδες ελαττώνεται σημαντικά, γιατί οι μικρότεροι κόκκοι εισέρχονται στα κενά που αφήνουν μεταξύ τους οι μεγαλύτεροι κόκκοι.

Στα συνεκτικά εδάφη το πορώδες κατά κανόνα είναι πολύ μεγάλο. Υπάρχουν μαλακές άργιλοι που το πορώδες τους φθάνει μέχρι και 90%.

Τόσο το πορώδες όσο και ο δείκτης πόρων προσδιορίζονται σε αδιατάρακτα δείγματα από την πυκνότητα των κόκκων του εδάφους  $\rho_s$  (πυκνότητα στερεάς φάσης) και την πυκνότητα του ξηρού εδάφους  $\rho_d$ .

$$n = 1 - (\rho_d / \rho_s)$$

Νεογενής, ιζηματογενής άργιλος, ιλύ, τύρφη	90 – 70%
Μαλακός άργιλος	70 – 50%
Πλαστική άργιλος	50 – 30%
Σκληρή άργιλος	30 – 15%
Σχιστολιθική άργιλος	15 – 5%
Ομοιόμορφη φυσική άμμος	50- 25%
Ανομοιόμορφο αμμοχάλικο	30 – 15%

**Εικόνα 14. Πορώδες τυπικών εδαφών**

## 2.7 ΔΟΚΙΜΗ ΚΩΝΟΥ ΑΜΜΟΥ

### (ASTM d 1556-90 )

Η δοκιμή κώνου άμμου πραγματοποιείται σύμφωνα με την οδηγία E 106-86/2, ASTM D1556-90 .

1. Συσσκευή προσδιορισμού πυκνότητας. Αποτελείται από μία φιάλη και από έναν μεταλλικό κώνο
2. Ζυγοί: ικανότητας 10 Kgr και ακρίβειας 1 g & ικανότητας 500 gr και ακρίβειας 0.1 g
3. Άμμος: Διερχόμενη στο Νο 10 και συγκρατούμενη στο Νο 200
4. Κλίβανος
5. Διάφορα όργανα: μικρή αξίνα, κουτάλα, λεκάνη ξηράνσεως, πλαστικές σακούλες, βούρτσα

Διαδικασία δοκιμής :

1. Ζυγίζεται φιάλη με τον κώνο και την άμμο και καταγράφεται το βάρος. Προετοιμάζεται η επιφάνεια όπου θα γίνει η δοκιμή, ώστε να είναι επίπεδη.
2. Τοποθετείται η πλάκα της συσκευής σταθερά με τη βοήθεια ήλων.
3. Σκάβεται η οπή της δοκιμής από την οπή της πλάκας προσεκτικά, ώστε να μην διαταραχθεί το έδαφος που περιβάλλει την οπή. Το μέγεθος της οπής που θα ανοιχθεί δίνεται στο παρακάτω πίνακα.
4. Τοποθετείται όλο το εδαφικό υλικό σε σακούλα με προσοχή, ώστε να γεμίσει η οπή της δοκιμής με άμμο.
5. Τοποθετείται η φιάλη με τον κώνο ανεστραμμένη (με τον κώνο προς τα κάτω) στην οπή της πλάκας και ανοίγεται η οπή της φιάλης, ώστε να γεμίσει η οπή της δοκιμής με άμμο.
6. Αφού γεμίσει η οπή της δοκιμής με άμμο κλείνουμε τη βαλβίδα της φιάλης.
7. Ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος τη φιάλης του κώνου και της εναπομένουσας άμμου.
8. Ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του εδαφικού υλικού.
9. Αναμειγνύεται το υλικό καλά και ζυγίζεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, για τον προσδιορισμό της υγρασίας.
10. Ξηραίνεται και ζυγίζεται το δείγμα για το προσδιορισμό της υγρασίας.

Μέγιστο κόκκου	μέγεθος	Ελάχιστος όγκος οπής δοκιμής	Ελάχιστο δείγματος	βάρος για προσδιορισμό υγρασίας
	Κόσκινο	cm <sup>3</sup>		(gr)
	No 4	712		100
	12.5mm	1425		250
	25mm	2173		500
	50mm	2850		1000

1. Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας και ξηρού βάρους εδαφικού υλικού που συλλέχθηκε.

$$w = (W - W_s) / W_s * 100$$

w= % υγρασία στο υλικό της οπής

W= υγρό βάρος δείγματος (gr)

W<sub>s</sub>= ξηρό βάρος δείγματος (gr)

$$W_s \text{ tot} = W_{\text{tot}} / (w + 1)$$

W<sub>tot</sub>= βάρος υγρού υλικού από την οπή (gr)

W<sub>s tot</sub>= βάρος ξηρού υλικού από την οπή (gr)

$$V = (W_{\text{sand}} - W_x) / \gamma_{\text{sand}}$$

$$\gamma_d = W_s \text{ tot} / V$$

V= όγκος της οπής (cm<sup>3</sup>)

W<sub>sand</sub>= βάρος της άμμου που χρησιμοποιήθηκε (gr)

W<sub>x</sub>= βάρος της άμμου εντός του κώνου (gr)

γ<sub>sand</sub> = φαινόμενο βάρος άμμου (gr/cm<sup>3</sup>)

γ<sub>d</sub> = ξηρή πυκνότητα υλικού (gr/cm<sup>3</sup>)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ	1Η ΔΟΚΙΜΗ	2Η ΔΟΚΙΜΗ	3Η ΔΟΚΙΜΗ
<b>ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ</b>	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ .....	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ .....	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ .....
Βάρος κάψας (απόβαρο) (gr)	28,66	22,92	23,12
Βάρος ΥΓΡΟΥ δείγματος και κάψας (gr)	45,64	46,9	54,56
Βάρος ΥΓΡΟΥ δείγματος (gr)	16,98	23,98	31,44
ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΜΕ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΚΛΙΒΑΝΟ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ			
Βάρος ΞΗΡΟΥ δείγματος και κάψας (gr)	42,44	42,44	49,08
Βάρος ΞΗΡΟΥ δείγματος W <sub>s</sub> (gr)	13,78	19,52	25,96
Βάρος νερού W <sub>w</sub> (gr)	3,2	4,46	5,48
Περιεχόμενη φυσική υγρασία w(%) = (W <sub>w</sub> /W <sub>s</sub> )*100	<b>23,22</b>	<b>22,85</b>	<b>21,11</b>
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ W (%)</b>			<b>22,4</b>

Στον παραπάνω πίνακα γίνεται ο υπολογισμός της φυσικής υγρασίας. Η τελική φυσική υγρασία θα προκύψει από τρία δείγματα (τρεις στήλες). Για κάθε δοκιμή ζυγίζουμε την κάψα που θα τοποθετήσουμε το δείγμα και την αναγράφουμε στο κελί που αναφέρει **«Βάρος κάψας (απόβαρο)»**.

Έπειτα ζυγίζουμε την κάθε κάψα μαζί με το εδαφικό υλικό και αναγράφουμε την τιμή στα κελιά **«Βάρος ΥΓΡΟΥ δείγματος και κάψας»**. Το βάρος υγρού δείγματος θα μας εμφανιστεί αυτόματα, διότι του έχουμε εισάγει ότι η τιμή του είναι η διαφορά των δύο ανωτέρω τιμών που αναφέραμε.

Αφού έχουμε τοποθετήσει τις κάψες με το εδαφικό υλικό στον κλίβανο, μετά από 24 ώρες ζυγίζουμε πάλι τις κάψες με το ξηρό εδαφικό υλικό και το αναγράφουμε στα κελιά **«Βάρος ΞΗΡΟΥ δείγματος και κάψας»**. Το βάρος του ξηρού δείγματος θα εμφανιστεί αυτόματα, διότι του έχουμε εισάγει ότι η τιμή είναι η διαφορά του βάρους ξηρού δείγματος και κάψας μείον το βάρος της κάψας.

Επίσης, θα εμφανιστεί και η τιμή στο βάρος νερού, διότι προέρχεται από την αφαίρεση του υγρού δείγματος μείον τον βάρος του ξηρού δείγματος. Ο τύπος υπολογισμού του φυσικής υγρασίας αναφέρεται και πάνω στον πίνακα.

### 3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΟΚΚΩΝ (ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΡΑΣΜΟΥ)		1Η ΔΟΚΙΜΗ	2Η ΔΟΚΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΦΙΑΛΗΣ		A	A
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ ΚΕΛΣΙΟΥ		
W1	ΒΑΡΟΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΦΙΑΛΗΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟΥ (gr)	435,5	436
W2	ΒΑΡΟΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΦΙΑΛΗΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ (gr)	343,5	343,5
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Η' ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ		
	ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Η' ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ (ΑΠΟΒΑΡΟ) (gr)	198,5	198,5
ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ			
	ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Η' ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ ΚΑΙ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (gr)	346	346,8
W S	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (gr)	147,5	148,3
Γw	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ)	0,99777	0,99777
W w	ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ $W_w = W_s + W_2 - W_1$	55,5	55,8
	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,65
	<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>		<b>2,65</b>

Στον παραπάνω πίνακα προσδιορίζουμε το ειδικό βάρος ενός εδαφικού υλικού. Αναγράφουμε την θερμοκρασία που πραγματοποιείται η πειραματική διαδικασία διότι επηρεάζει το ειδικό βάρος του νερού.

Τα κελιά **«ΒΑΡΟΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΦΙΑΛΗΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟΥ»**, **«ΒΑΡΟΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΦΙΑΛΗΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ»**, **«ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Η' ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ (ΑΠΟΒΑΡΟ)»**, **«ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Ή ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ ΚΑΙ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»**, τα συμπληρώνουμε στο εργαστήριο κατόπιν ζυγίσεως τους.

Το κελί **«ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»** προκύπτει αυτόματα από την αφαίρεση **«ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Ή ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ ΚΑΙ ΞΗΡΟΥ ΥΛΙΚΟΥ»** μείον **«ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ Η' ΠΟΤΗΡΙ ΖΕΣΕΩΣ (ΑΠΟΒΑΡΟ)»**, λόγω του αυτοματισμού.

Το βάρος του νερού προκύπτει από την πράξη :  $W_w = W_s + W_2 - W_1$ , όπως αναφέρεται και στο έντυπο των υπολογισμών.

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το ειδικό βάρος των στερεών μέσω του τύπου :

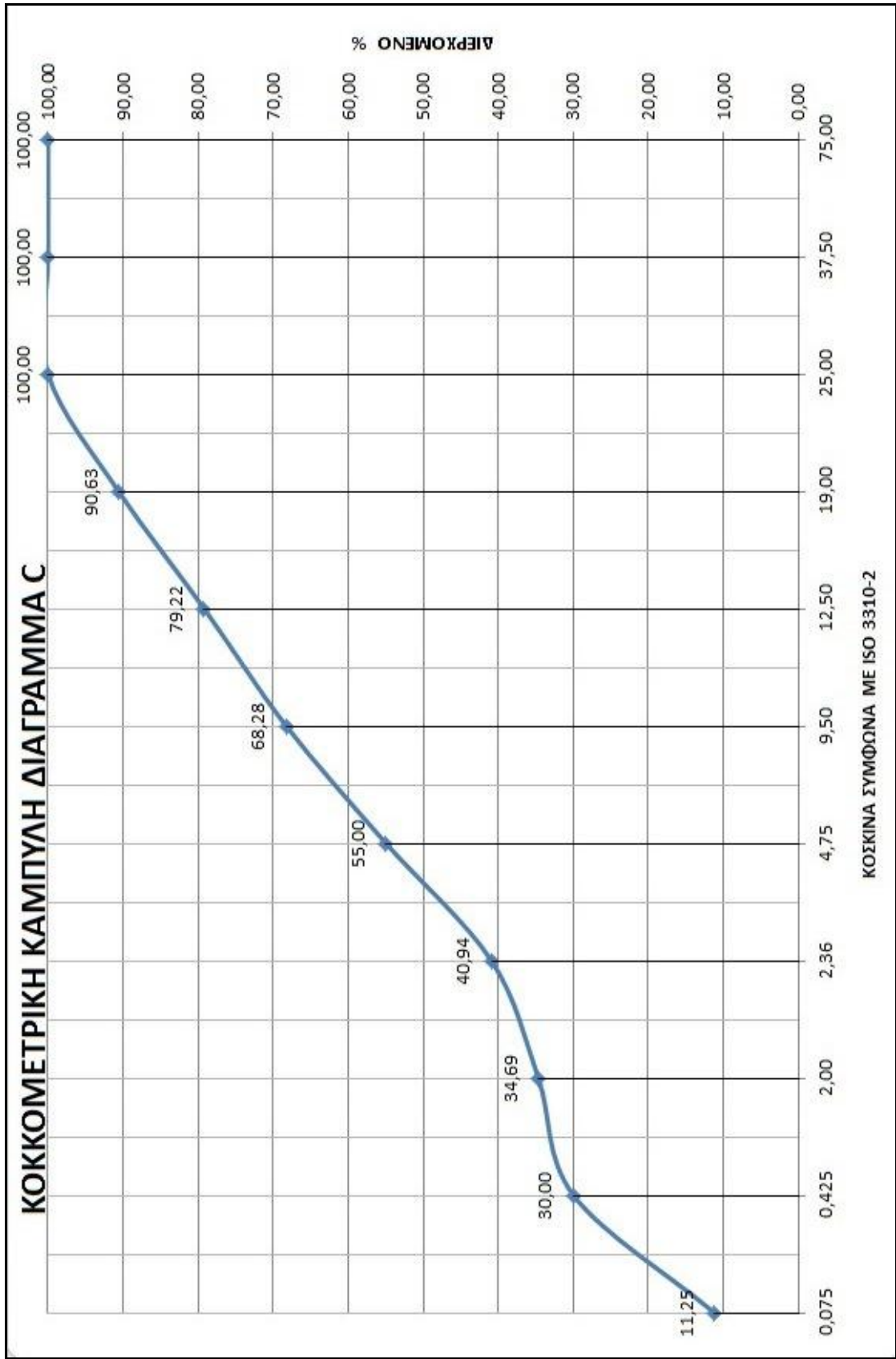
$$\gamma_s = (\gamma_w * W_s) / W_w.$$

Το τελικό ειδικό βάρος των στερεών προκύπτει ως ο μέσος όρος των δύο ανωτέρω δοκιμών.



### 3.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΕΝΤΥΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ				
ΚΟΣΚΙΝΑ	ΚΟΣΚΙΝΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	
ISO 3310-2 (mm)	ASTM E1	Gr	gr	%
75,00	3"	0	6400	100,00
37,50	1 1/2"	0	6400	100,00
25,00	1"	0	6400	100,00
19,00	3/4"	600	5800	90,63
12,50	1/2"	730	5070	79,22
9,50	3/8"	700	4370	68,28
4,75	N 4	850	3520	55,00
2,36	N 8	900	2620	40,94
2,00	N 10	400	2220	34,69
0,425	N 40	300	1920	30,00
0,075	N 200	1200	720	11,25
<b>ΥΠΟΔΟΧΕΑΣ</b>		660		
<b>ΣΥΝΟΛΟ (gr)</b>		<b>6340</b>		
<b>ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)</b>		<b>60</b>		
<b>ΓΙΑ ΑΠΩΛΕΙΑ &gt;1% Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ</b>				
<b>ΑΠΩΛΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (%)</b>		<b>0,94</b>		
<b>D10</b>		ΑΠΟ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ 10% ΧΤΥΠΑΜΕ ΤΗΝ ΚΑΠΥΛΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ		
<b>D30</b>		ΑΠΟ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ 30% ΧΤΥΠΑΜΕ ΤΗΝ ΚΑΠΥΛΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ		
<b>D60</b>		ΑΠΟ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ 60% ΧΤΥΠΑΜΕ ΤΗΝ ΚΑΠΥΛΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΑΞΟΝΑ		
Cu	#ΔΙΑΙΡ./0!			
Cc	#ΔΙΑΙΡ./0!			



Στον παραπάνω πίνακα υπολογίζουμε την κοκκομετρική ανάλυση ενός δείγματος. Η στήλη «**συγκρατούμενο βάρος**» συμπληρώνεται στο εργαστήριο μετά την εισαγωγή του εδαφικού υλικού στα κόσκινα και ενεργοποίηση της συσκευής δόνησης τους.

Στη συνέχεια, οι στήλες **Διερχόμενο σε (gr) και (%)** συμπληρώνονται αυτόματα, λόγω των αυτοματισμών. Η στήλη διερχόμενο σε (gr) υπολογίζεται μέσω του τύπου :

**Διερχόμενο = Συνολικό βάρος δείγματος – Αθροιστικό συγκρατούμενο.**

Έπειτα, το διερχόμενο (%) είναι :

**Διερχόμενο (gr) / Συνολικό βάρος δείγματος \* 100.**

Εφόσον, έχουμε υπολογίσει το διερχόμενο (%), μπορούμε να έχουμε το διάγραμμα της κοκκομετρικής καμπύλης. Στον άξονα Y έχουμε το διερχόμενο (%), στον άξονα X έχουμε το άνοιγμα της οπής των κοσκίνων σε mm. Λόγω εισαγωγής των σπηλών με εντολή στο διάγραμμα, η συμπλήρωσή του γίνεται αυτόματα.

Σκοπός της δημιουργίας του διαγράμματος είναι ο υπολογισμός των συντελεστών Cc και Cu, όπου:

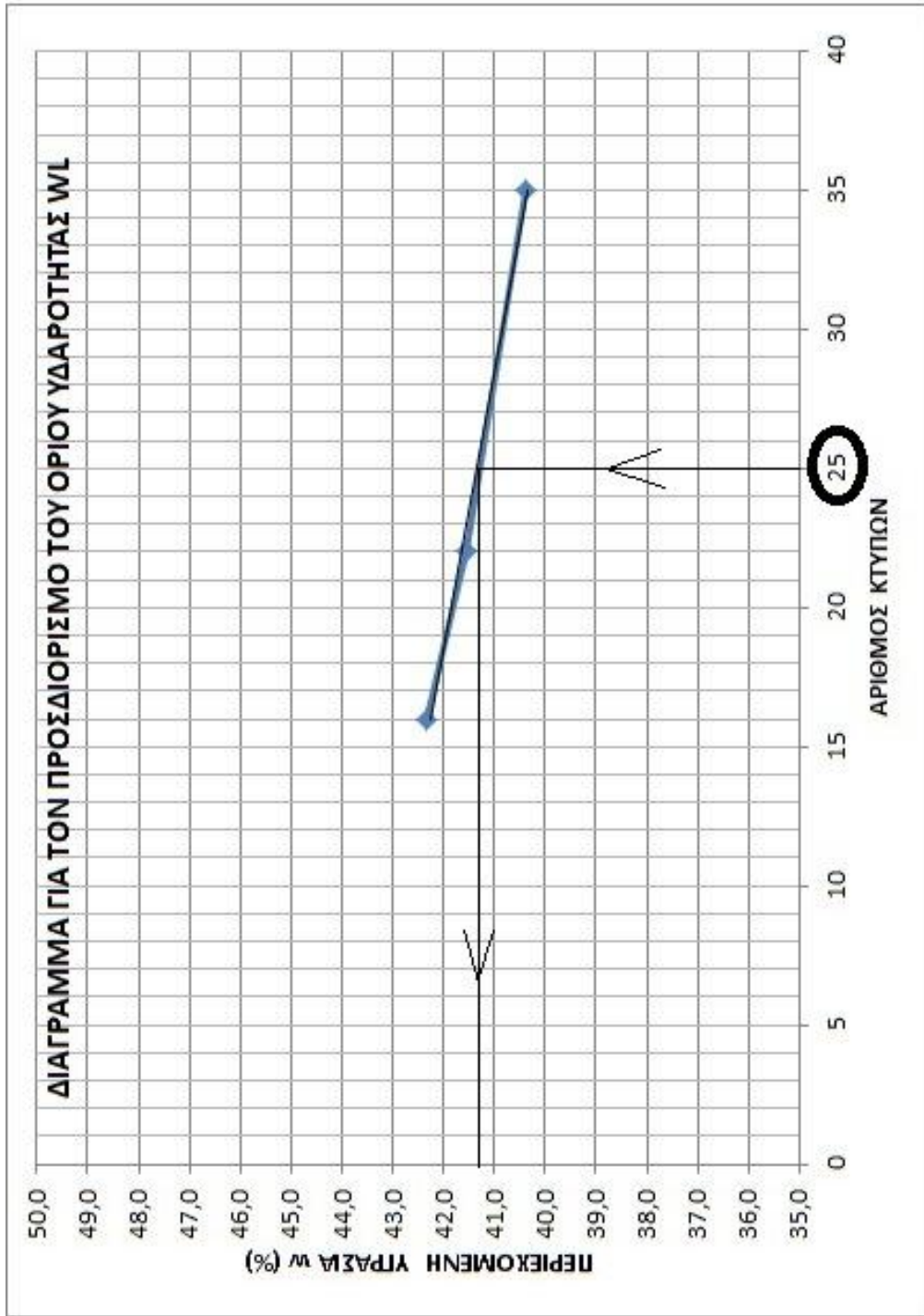
$$Cu = D60 / D10 ,$$

$$Cc = D30^2 / (D10 * D60).$$

Οι δείκτες 10,30 και 60 αφορούν τα ποσοστά διερχόμενων στον άξονα Y του διαγράμματος, D είναι η αντίστοιχη τιμή σε mm στον άξονα X. Αφού έχουμε χτυπήσει την καμπύλη σύμφωνα με το αντίστοιχο ποσοστό και μετά στον άξονα X μπορούμε να υπολογίσουμε τους δύο συντελεστές. Με τους συντελεστές Cc και Cu μπορούμε να κατατάξουμε το δείγμα μας.

### 3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ

	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (WL)			ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (WP)		
	A	B	Γ	Δ	Ε	ΣΤ
<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ</b>						
<b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ</b>	35	22	16			
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ (ΑΠΟΒΑΡΟ) (gr)	16,13	16,27	14,66	17,25	15	16,12
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	29,76	27,85	26,53	20,75	18,35	19,55
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr)	<b>13,63</b>	<b>11,58</b>	<b>11,87</b>	<b>3,5</b>	<b>3,35</b>	<b>3,43</b>
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΨΑΣ (gr)	25,84	24,45	23	20,19	17,81	19
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (gr) <b>Ws</b>	<b>9,71</b>	<b>8,18</b>	<b>8,34</b>	<b>2,94</b>	<b>2,81</b>	<b>2,88</b>
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr) <b>Ww</b>	<b>3,92</b>	<b>3,4</b>	<b>3,53</b>	<b>0,56</b>	<b>0,54</b>	<b>0,55</b>
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ <b>w%</b>	<b>40,4</b>	<b>41,6</b>	<b>42,3</b>	<b>19,0</b>	<b>19,2</b>	<b>19,1</b>
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ				ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ		
ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (WL)	41	ΑΠΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ		CL - ΙΣΧΝΗ ΑΡΓΙΛΟΣ		
ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (WP)	19	ΑΚΕΡΑΙΟΣ				
ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (IP)	22	>10				



Με την ανωτέρω διαδικασία υπολογίζουμε το όριο υδαρότητας. Η διαδικασία είναι όμοια με την πρώτη εργαστηριακή άσκηση «**φυσική υγρασία**», μέχρι το σημείο υπολογισμού της φυσικής υγρασίας.

Η διαφορά με την πρώτη εργαστηριακή άσκηση είναι ότι τα τρία δείγματά μας τα έχουμε τοποθετήσει σε ειδικό «κόπανο», οι κτύποι αναφέρονται στις επαναλήψεις που έχουμε κάνει σηκώνοντας το βάρος του κοπάνου και αφήνοντάς το να πέσει στο δείγμα μας. Έτσι συμπυκνώνουμε το δείγμα μας.

Εφόσον έχουμε υπολογίσει τις τρεις υγρασίες, εισάγονται αυτομάτως τα ζεύγη κτύποι και υγρασία. Έχοντας ως δεδομένο τους 25 κτύπους, χτυπάμε την ευθεία που έχει σχηματιστεί και βρίσκουμε την υγρασία που αντιστοιχεί στο όριο υδαρότητας, βλέπε διάγραμμα πειράματος.

Ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας πραγματοποιείται από τις στήλες Δ, Ε και ΣΤ.

Ο προσδιορισμός του δείκτη πλαστικότητας γίνεται από τον τύπο :

$$\mathbf{IP\ (\%) = WL(\%) - WP(\%)}$$

### 3.5 ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ

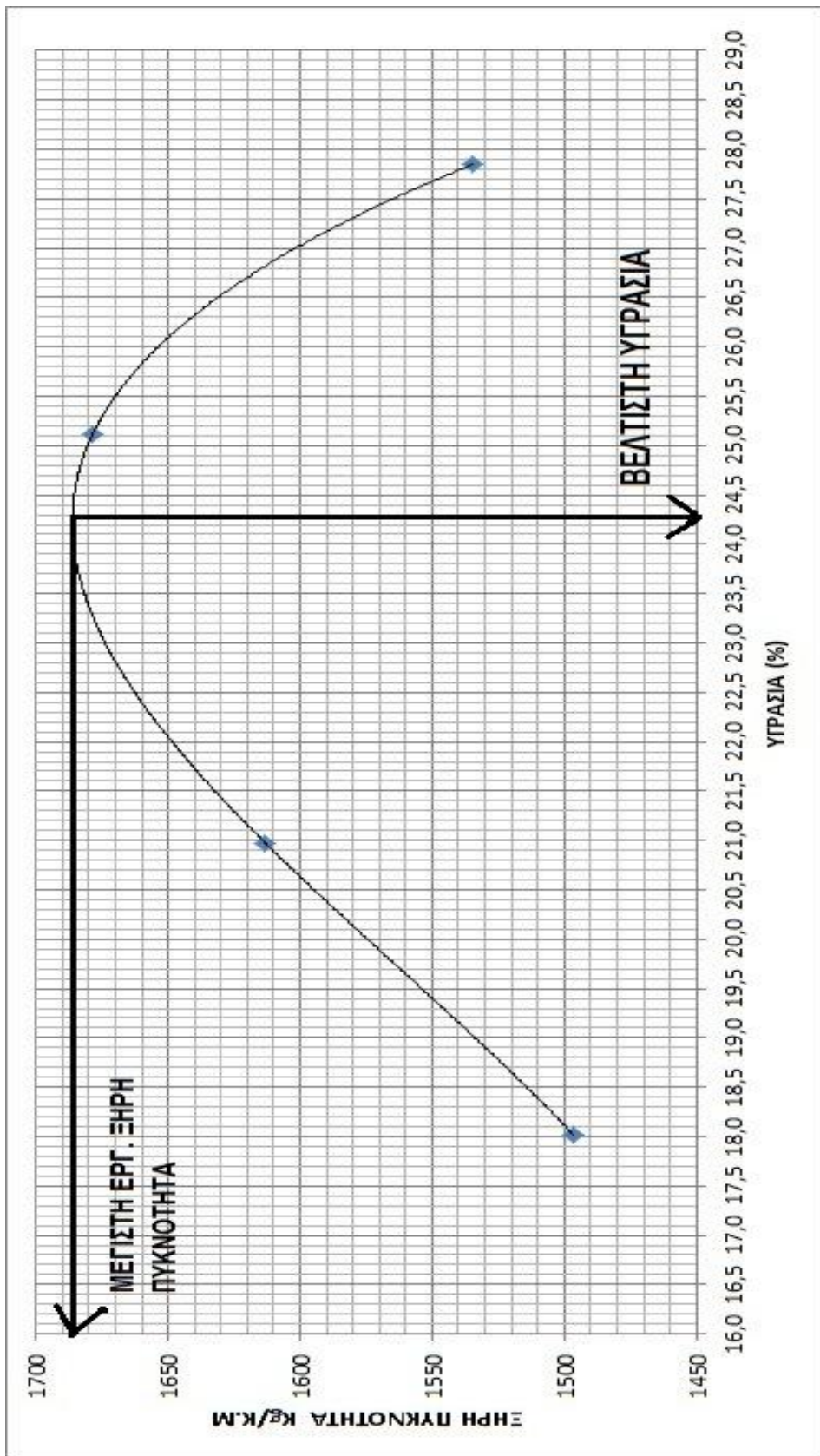
ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ				
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	1Η ΔΟΚΙΜΗ	2Η ΔΟΚΙΜΗ	3Η ΔΟΚΙΜΗ
	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ (gr)	45	42	48
	ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (W) (gr)	40	33	46
	ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ (gr)	5	9	2
	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ	0,89		
	ΟΓΚΟΣ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ	5,62	10,11	2,25
	ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ	360	450	510
	ΑΡΧΙΚΗ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ	330	420	480
	ΟΓΚΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ	30	30	30
	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	24,38	19,89	27,75
	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	12		
	ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	35,71	29,46	41,07
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	2,70		
	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	13,23	10,91	15,21
	ΟΓΚΟΣ ΤΩΝ ΚΕΝΩΝ	11,15	8,97	12,54
	ΠΟΡΩΔΕΣ	45,75	45,13	45,19
	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΡΩΝ	0,84	0,82	0,82
	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ	1,00		
	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ	38,42	39,40	39,30
	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>			
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΠΟΡΩΔΕΣ	45,36		
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ	0,83		
	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΒΑΘΜΟ ΚΟΡΕΣΜΟΥ	39,04		

### 3.6 ΔΟΚΙΜΗ PROCTOR

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	1η	2η	3η	4η
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΥΠΟΥ : d → cm	10,16			
h → cm	11,64			
$V_t \text{ cm}^3 = (3.14 \cdot d^2)/4$	943,21			
ΒΑΡΟΣ ΤΥΠΟΥ → gr	2004			
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ: gr	3670	3845	3985	3855
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ W → gr	1666	1841	1981	1851
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %</b>	<b>18,0</b>	<b>21,0</b>	<b>25,1</b>	<b>27,8</b>
ΥΓΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ $\gamma = W/V_t$	1,77	1,95	2,10	1,96
ΞΗΡΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ $\gamma_d$	1,497	1,613	1,679	1,535
<b>ΞΗΡΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ <math>\gamma_d</math></b>	<b>1497</b>	<b>1613</b>	<b>1679</b>	<b>1535</b>
ΜΕΓΙΣΤΗ ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (ΑΠΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (ΑΠΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ)				

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ				
ΔΟΚΙΜΗ	1η	2η	3η	4η
Βάρος ΥΓΡΟΥ δείγματος και κάψας (gr)	42,8	51,8	68,4	60,02
Βάρος ΞΗΡΟΥ δείγματος και κάψας (gr)	38,25	44,5	56,6	48,45
Βάρος κάψας (απόβαρο) (gr)	13	9,7	9,6	6,9
Βάρος νερού Ww (gr)	4,55	7,3	11,8	11,57
Βάρος ΞΗΡΟΥ δείγματος Ws (gr)	25,25	34,8	47	41,55
Περιεχόμενη φυσική υγρασία w(%) $w(\%) = (Ww/Ws) \cdot 100$	18,0	21,0	25,1	27,8





Σκοπός της ανωτέρω διαδικασίας είναι η εύρεση της βέλτιστης υγρασίας και της μέγιστης ξηρής εργαστηριακής πυκνότητας.

Οι δύο ανωτέρω τιμές δίνονται από το παραπάνω διάγραμμα. Από την καμπύλη που σχηματίζεται οι συντεταγμένες του υψηλότερου σημείου μάς δίνουν αυτές τις τιμές (βλέπε σχήμα).

Οι τιμές της ξηρής εργαστηριακής πυκνότητας υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\gamma_d = \{ \gamma / (w + 100) \} * 100$$

Για την κατασκευή του διαγράμματος χρειαζόμαστε την φυσική υγρασία των δειγμάτων καθώς και την ξηρή εργαστηριακή πυκνότητα, όπως έχουμε τονίσει στην πειραματική διαδικασία.

### 3.7 ΔΟΚΙΜΗ ΚΩΝΟΥ ΑΜΜΟΥ

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1</b>	
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ + ΝΕΡΟΥ gr	7025
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ gr	1783
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ gr	5242
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ 18 ΒΑΘΜΟΥΣ ΚΕΛΣΙΟΥ	0,99862
ΟΓΚΟΣ ΦΙΑΛΗΣ cm <sup>3</sup>	5249

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΕΥΡΕΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ</b>	
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ + ΑΜΜΟΥ gr	9651
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ gr	1783
ΒΑΡΟΣ ΑΜΜΟΥ gr	7868
ΟΓΚΟΣ ΦΙΑΛΗΣ cm <sup>3</sup>	5249
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΑΜΜΟΥ gr/ cm <sup>3</sup>	1,50

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΝΟΥ</b>	
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ + ΑΜΜΟΥ gr (ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΝΑΤΡΟΠΗ)	9651
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ + ΑΜΜΟΥ gr (ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΤΡΟΠΗ)	7500
ΒΑΡΟΣ ΑΜΜΟΥ ΣΤΟ ΚΩΝΟ	2151

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΗΝ ΥΠΑΙΘΡΟ</b>	
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ + ΑΜΜΟΥ gr ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ	9651
ΒΑΡΟΣ ΦΙΑΛΗΣ + ΚΩΝΟΥ + ΑΜΜΟΥ gr ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ	6074
ΒΑΡΟΣ ΑΜΜΟΥ ΣΤΗΝ ΟΠΗ + ΚΩΝΟ	3577
ΒΑΡΟΣ ΑΜΜΟΥ ΣΤΗΝ ΟΠΗ	1426
ΟΓΚΟΣ ΟΠΗΣ	951
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ	452
ΒΑΡΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΑ + ΥΓΡΟ ΕΔΑΦΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΠΗ	2700
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΠΗ	2248
ΥΓΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	2,36

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΠΗ</b>	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	A1
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	15
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ + ΥΓΡΟ ΔΕΙΓΜΑ	115
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ + ΞΗΡΟ ΔΕΙΓΜΑ	103
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ	12
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	88
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	13,6

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΖΗΤΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ</b>	
ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ $\gamma_d$	2,08
ΜΕΓΙΣΤΗ ΞΗΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ proctor	0
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ proctor	0
ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ	#ΔΙΑΙΡ./0!
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ (ΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ 95% ΕΩΣ 98%)	

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE>
2. <http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/struct/LabTest.pdf>
3. <http://www.paver.gr/el/technical-issues/test-instructions/36-2012-07-25-12-56-16.html>
4. [http://www.geo.auth.gr/883/pdf/Typologio\\_Edafomixanikis.pdf](http://www.geo.auth.gr/883/pdf/Typologio_Edafomixanikis.pdf)
5. [http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/229/pol\\_00599.pdf?sequence=1](http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/229/pol_00599.pdf?sequence=1)
6. <http://www.paver.gr/el/technical-issues/test-instructions/77-proctor-en-13186-2.html>
7. <http://www.paver.gr/el/technical-issues/test-instructions/24-en933-4.html>
8. [http://www.geostand.gr/?page\\_id=280](http://www.geostand.gr/?page_id=280)
9. <http://psxmmagn.blogspot.gr/2010/12/iso-iec-170252005.html>
10. [https://www.google.gr/search?q=%CF%83%CF%85%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%B7+casagrande&biw=1920&bih=955&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqj=2&ved=0CCqQsARqFQoTCN\\_FhrfFssgCFUfaGgodCSoEcA#imgrc=9zEB0IPeAXF1TM%3A](https://www.google.gr/search?q=%CF%83%CF%85%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%B7+casagrande&biw=1920&bih=955&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqj=2&ved=0CCqQsARqFQoTCN_FhrfFssgCFUfaGgodCSoEcA#imgrc=9zEB0IPeAXF1TM%3A)
11. <http://www.pavetest.gr/proionta/edafika-ylika/oria-atterberg-ydarothta-kai-plastikothta/syskeyh-casagrande-xeirokinhth.html>
12. <http://1epal-vront.chi.sch.gr/domiko/S3AtterbergLimits.pdf>
13. <https://www.google.gr/search?q=%CE%BA%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B1&biw=1920&bih=955&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqj=2&ved=0CCQsARqFQoTCLbY14LJssgCFYa0GgodZJEFoQ#imgrc=krli6Xwxt7I60M%3A>
14. [http://civil.teipir.gr/web/uploads/ANAKOINOSEIS%20KATHIGITON/EDAFOERG\\_ASKISEIS\\_1X12.pdf](http://civil.teipir.gr/web/uploads/ANAKOINOSEIS%20KATHIGITON/EDAFOERG_ASKISEIS_1X12.pdf)

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Όρια Atteberg .....	11
Εικόνα 2. Συσκευή Casagrande .....	12
Εικόνα 3. Περιγραφή συσκευής Casagrande.....	13
Εικόνα 4. Περιγραφή εργαλείων χάραξης .....	13
Εικόνα 5. Υλικό πριν την δοκιμή. ....	14
Εικόνα 6. Μετά τους κτύπους η χαραγή έχει κλείσει. ....	15
Εικόνα 7. Δοκιμή ορίου πλαστικότητας.....	16
Εικόνα 8. Διάταξη κοκκομετρικής δοκιμής .....	18
Εικόνα 9. Κόσκινα μικρής οπής .....	19
Εικόνα 10. Κόσκινα μεγάλης οπής.....	19
Εικόνα 11. Τυπικές ακολουθίες κόσκινων για την κοκκομετρική δοκιμή. ....	24
Εικόνα 12. Σκαριφήματα κοκκομετρικών αναλύσεων.....	26
Εικόνα 13. Φάσεις εδάφους.....	33
Εικόνα 14. Πορώδες τυπικών εδαφών.....	34