

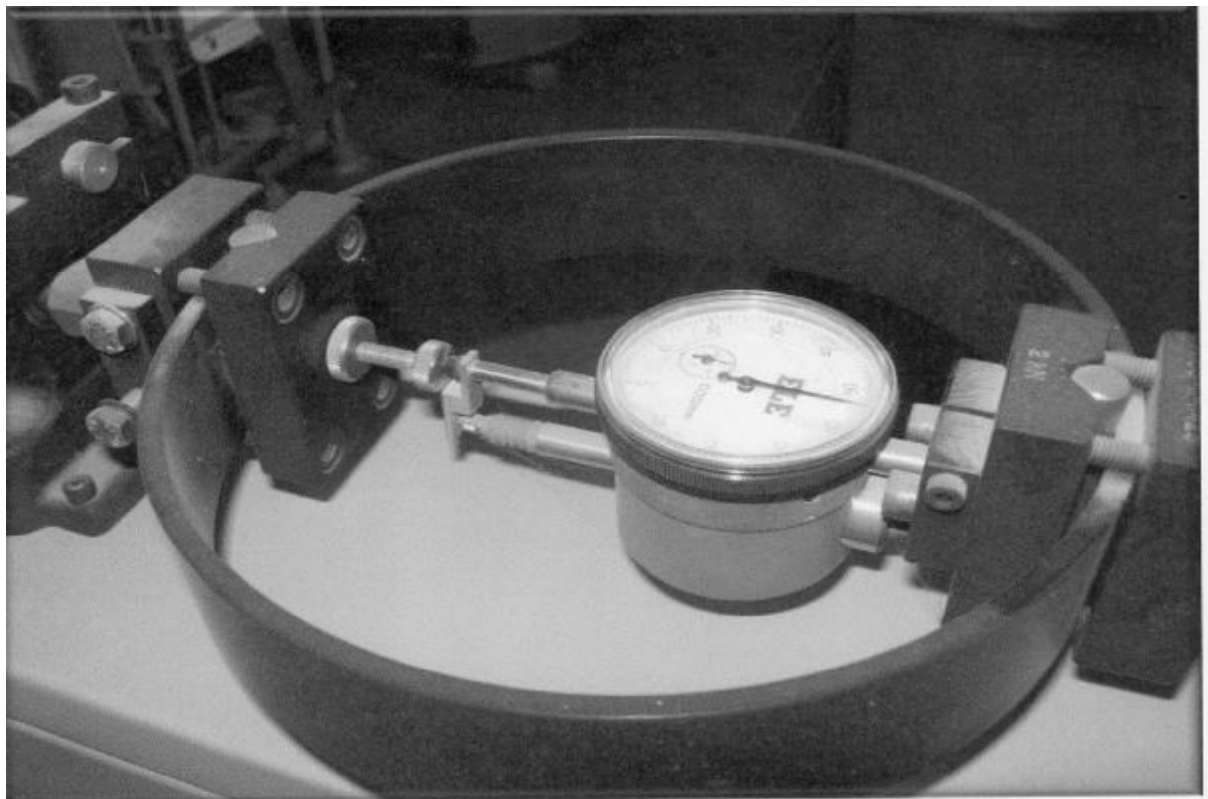
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εργαστηριακός έλεγχος συμπύκνωσης και φέρουσας ικανότητας μη συνεκτικού εδάφους και συσχέτιση με τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής.**



#### ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

Μιχαλοπούλου Ελένη

Τάχος Θωμάς

#### ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Το έδαφος, το μέρος δηλαδή του στερεού φλοιού της γης, που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του, είναι ένα στοιχείο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τους μηχανικούς, επειδή έχει πολλαπλή σημασία για μια μεγάλη ομάδα τεχνικών έργων, στην οποία περιλαμβάνονται και τα έργα υποδομής.

1. Ως ένα υλικό που δέχεται τα φορτία διαφόρων τεχνικών έργων (οικοδομικά, οδοποιίας, λιμενικά, κλπ.).
2. Ως δομήσιμο υλικό το οποίο μεταφερόμενο και τοποθετούμενο κατάλληλα διαμορφώνει εδαφικές κατασκευές με συγκεκριμένο σκοπό και ρόλο (επιχώματα, φράγματα κλπ.)

Ο τεχνικός λοιπόν που ασχολείται με τη μελέτη ή τη κατασκευή τέτοιων έργων, θα ασχοληθεί και με τη θεμελίωση τους, που αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα τους με θεμελιώδη σημασία. Για το σκοπό αυτό πρέπει να γνωρίζουμε καλά τις ιδιότητες του εδάφους και ιδιαίτερα την ικανότητα του να σηκώνει με ασφάλεια το βάρος των έργων αυτών.

Η επιστήμη που ασχολείται με τις ιδιότητες του εδάφους ονομάζεται Εδαφομηχανική. Έτσι το αντικείμενο της εδαφομηχανικής είναι η επίλυση των προβλημάτων που δημιουργεί το έδαφος στη περίπτωση της κατασκευής τεχνικών έργων.

Για το σκοπό αυτό απαιτείται:

- Η γνώση της σύστασης του εδάφους και
- Η γνώση της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους.

### **Διάκριση κλάδων εδαφομηχανικής.**

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η επιστήμη της εδαφομηχανικής στο θεωρητικό επίπεδο δανείζεται τις γνώσεις άλλων επιστημών, κυρίως της γεωλογίας και της μηχανικής.

Στα θέματα όμως του εδάφους η πείρα και η συστηματική κρίση είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη σωστή επίλυση των προβλημάτων.

Γίνεται λοιπόν φανερό ότι το εργαστηριακό μέρος γίνεται εξίσου σπουδαίο με το θεωρητικό και ίσως σπουδαιότερο στην επιστήμη της εδαφομηχανικής.

Για να εξασφαλίσουμε τις απαιτούμενες γνώσεις υποβάλλουμε δείγματα του εδάφους σε διάφορες εργαστηριακές δοκιμές, που σκοπό έχουν το προσδιορισμό της μηχανικής αντοχής των εδαφών για την αποφυγή άμεσων αλλά και μελλοντικών αντοχών από τα φορτία των τεχνικών έργων που μεταφέρονται σ' αυτά.

## Διάκριση των διαδικασιών που ακολουθούνται στις εργαστηριακές εργασίες.

- 1. Εργασίες υπαίθρου.** Είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη παραλαβή των εδαφικών δειγμάτων από τις περιοχές ελέγχου, με σκοπό την ανάλυση τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συγκεκριμένη εδαφική περιοχή.
- 2. Εργασίες εργαστηρίου.** Όταν τα δείγματα μεταφερθούν ασφαλή στο εργαστήριο μορφώνονται κατάλληλα, τοποθετούνται στις εργαστηριακές συσκευές, επεξεργάζονται και καταγράφονται οι μετρήσεις στα δελτία υπολογισμού.
- 3. Εργασίες γραφείου.** Περιλαμβάνουν όλες τις υπολογιστικές εργασίες για την εξαγωγή συμπερασμάτων με δεδομένα τα δελτία των μετρήσεων.

## Δειματοληψία.

**Δειματοληψία:** είναι η λήψη μικρής ποσότητας εδάφους από μία συγκεκριμένη περιοχή, με σκοπό το προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών και των παραμέτρων αντοχής του εδάφους.

Η δειματοληψία διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες δειγμάτων:

- 1. Διαταραγμένα:** θεωρούνται τα δείγματα που λαμβάνονται με τρόπο τέτοιο που έχει προκαλέσει διατάραξη του εδαφικού ιστού του και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε μόνο για το προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους.
- 2. 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.

Οι τρεις σπουδαιότεροι μέθοδοι δειματοληψίας είναι:

- Τα ορύγματα.
- Οι γεωτρήσεις.
- Οι δοκιμαστικοί ράβδοι.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Εργαστηριακός έλεγχος συμπίκνωσης και φέρουσας ικανότητας μη συνεκτικού εδάφους και συσχέτιση με τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής», «Laboratorial compaction and bearing capacity of a non – conesive soil and correlation with the shear strength parametres», στην αγγλική, πραγματοποιήθηκε από τους σπουδαστές του τμήματος, Ελένη Μιχαλοπούλου και Θωμά Τάχο. Επόπτης καθηγητής αρχικά ορίστηκε ο κύριος Παναγιώτης Κλουκίνας. Ύστερα από τη λήξη της συνεργασίας του με το τμήμα επόπτης καθηγητής ορίστηκε ο κύριος Σαραντόπουλος Αντρέας.

Αντικείμενο της παραπάνω πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη χονδρόκοκκου, μη συνεκτικού εδάφους, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως υλικό βάσης σε υπό κατασκευή χώρο στάθμευσης, εντός του Ανωτάτου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών, πλησίον κτιρίου νοσηλευτικής.

Οι εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν για τη μελέτη του παραπάνω εδάφους πραγματοποιήθηκαν κάνοντας χρήση του εργαστηριακού εξοπλισμού του εργαστηρίου Εδαφομηχανικής του τμήματος, υπό την εποπτεία και καθοδήγηση του κυρίου Παναγιώτη Κλουκίνα.

Οι δοκιμές που έγιναν είναι:

1. Μέθοδος κώνου και άμμου
2. Κοκκομετρική ανάλυση
3. Δοκιμή PROCTOR
4. Δοκιμή άμεσης διάτμησης
5. Δοκιμή CBR

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<b>Σελίδα</b>
Πρόλογος.	I
Περίληψη.	III
Περιεχόμενα.	IV
Εισαγωγή.	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Κοκκομετρία – Κατάταξη εδαφών.</b>	<b>6</b>
1.1 Κοκκομετρική ανάλυση των εδαφών.	6
1.1.1 Ανάλυση με κόσκινα.	6
1.1.2 Τρόπος εργασίας.	6
1.1.3 Υπολογισμοί.	10
1.1.4 Διερεύνηση κοκκομετρικής καμπύλης.	10
1.1.5 Παράμετροι κοκκομετρικής διαβάθμισης.	11
1.1.6 Εργαστηριακός εξοπλισμός.	12
1.1.6.1 Συσκευές.	12
1.1.6.2 Υλικά.	12
1.1.7 Παρατηρήσεις.	13
1.1.8 Έντυπο μετρήσεων.	13
1.2 Κατάταξη εδαφών.	15
1.2.1 Εισαγωγή.	15
1.2.2 Ιδιότητες των εδαφών που χρησιμοποιούνται για τη κατάταξη τους.	15
1.2.3 Κατάταξη των εδαφών με βάση το μέγεθος των κόκκων.	17
1.2.4 Κατάταξη εδαφών κατά AASHTO.	20
1.2.5 Ενοποιημένο σύστημα κατάταξης, USCS.	22
1.2.6 Συγκριτική κατάταξη εδαφών σύμφωνα με τα διάφορα συστήματα.	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Συμπύκνωση εδαφών.</b>	<b>27</b>
2.1 Εισαγωγή.	27
2.1.1 Συνθήκες συμπύκνωσης.	28
2.1.2 Χαρακτηριστικά συμπύκνωσης διαφόρων εδαφών.	29
2.2 Εργαστηριακή μέθοδος συμπύκνωσης εδαφών – Δοκιμή κατά Proctor.	31
2.2.1 Τρόπος εργασίας.	32
2.2.2 Υπολογισμοί.	34
2.2.3 Εργαστηριακός εξοπλισμός.	35
2.2.3.1 Συσκευές.	35
2.2.3.2 Υλικά.	35
2.2.4 Έντυπο μετρήσεων.	36
2.3 Μέτρηση επιτευχθείσας συμπύκνωσης επιτόπου του έργου – Μέθοδος κώνου και άμμου.	39
2.3.1 Τρόπος εργασίας – Υπολογισμοί.	40
2.3.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός.	43

2.3.2.1	Συσκευές.	43
2.3.2.2	Υλικά.	43
2.3.3	Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.	44
2.3.4	Έντυπο μετρήσεων.	45
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Διατμητική αντοχή.</b>	48
3.1	Εισαγωγή.	48
3.2	Δοκιμή άμεσης διάτμησης.	50
3.3	Τρόπος εργασίας.	52
3.4	Έλεγχος πριν τη δόκιμη.	53
3.5	Εργαστηριακός εξοπλισμός.	54
3.5.1	Συσκευές.	54
3.5.2	Υλικά.	54
3.6	Υπολογισμοί.	54
3.7	Έντυπο μετρήσεων.	55
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Φέρουσα ικανότητα.</b>	58
4.1	Εισαγωγή.	58
4.2	Καλιφορνιακός Δείκτης Φέρουσας Ικανότητας, CBR.	59
4.3	Τρόπος εργασίας.	60
4.4	Εργαστηριακός εξοπλισμός.	66
4.4.1	Συσκευές.	66
4.4.2	Υλικά.	66
4.5	Λειτουργία μηχανής για τη δοκιμή CBR, εργαστηρίου εδαφομηχανικής TEI.	67
4.5.1	Προδιαγραφές.	68
4.5.2	Εγκατάσταση – λειτουργία μηχανής.	68
4.6	Έντυπο μετρήσεων.	69
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Συσχετισμοί</b>	73
5.1	Συσχετισμός ξηράς πυκνότητας – γωνίας εσωτερικής τριβής.	73
5.2	Συσχετισμός Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας, CBR με γωνία εσωτερικής τριβής.	76
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Έντυπα μετρήσεων.</b>	77
6.1	Έντυπο κοκκομετρικής ανάλυσης.	78
6.2	Κατάταξη εδάφους.	80
6.3	Έντυπο εργαστηριακής δοκιμής συμπίκνωσης κατά Proctor.	82
6.4	Έντυπο προσδιορισμού εργοταξιακής συμπίκνωσης με προσδιορισμό της ξηράς πυκνότητας.	84
6.5	Έντυπο δοκιμής άμεσης διάτμησης.	86
6.6	Έντυπο δοκιμής Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας, CBR.	105
	Βιβλιογραφία.	109



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος και γενικότερα η επιστήμη της Εδαφομηχανικής περιλαμβάνουν πολλές λειτουργίες και επομένως και πολλές έννοιες και ορισμούς τα οποία και πρέπει να αναφέρουμε.

**Εδαφομηχανική:** μελέτη της φυσικής και μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους κατά τη διάρκεια κατασκευής έργου. Μελέτη του εδάφους σαν μέσο δράσης και υλικό δόμησης.

Έδαφος ως δομήσιμο υλικό είναι το έδαφος που χρησιμοποιείται σε υδραυλικά έργα, στην οδοποιία, σε κατασκευές φραγμάτων, κλπ. Το έδαφος από τη πλευρά του πολιτικού μηχανικού συναντάται καθημερινά ως μέσο δράσης τεχνικών έργων, ως υλικό κατασκευής, επιχωμάτων, φραγμάτων, κ.α..

Το έδαφος είναι ένα σύνολο ορυκτών στερεών κόκκων οι οποίοι προέρχονται από μηχανική ή χημική αποσύνθεση των πετρωμάτων. Ανάλογα με τη προέλευση των συστατικών τους, τα εδάφη διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες :

- Εδάφη που αποτελούνται κυρίως από προϊόντα χημικής και φυσικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων και
- Εδάφη οργανικής προέλευσης

Μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής γενικές κατηγορίες εδαφών :

- Άμμος και χάλικες
- Ανόργανη ιλύς
- Οργανική ιλύς
- Άργιλος
- Οργανική άργιλος και
- Τύρφη

Η στερεή φάση του εδάφους είναι κατά κύριο λόγο θρυμματισμένα τεμάχια βράχου, μερικά από τα οποία διακρίνονται μακροσκοπικά, δηλαδή με γυμνό μάτι, ενώ άλλα φαίνονται μόνο στο μικροσκόπιο. Τα μακροσκοπικά σωματίδια περιγράφονται σαν χονδρά κλάσματα, ενώ τα μικροσκοπικά σαν λεπτά κλάσματα. Ο διαχωρισμός τους γίνεται σαν συγκρατούμενα ή διερχόμενα από το κόσκινο Νο 200 μέσω της δοκιμής κοκκομετρικής ανάλυσης.

Τα εδάφη γενικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες ομάδες με βάση το μέγεθος των κόκκων που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ποσοστό και τη πλαστικότητα. Ο τρόπος με τον οποίο μεμονωμένοι κόκκοι διατάσσονται μεταξύ τους σε ένα έδαφος αναφέρεται ως εδαφική δομή.

Η συστηματική ταξινόμηση των εδαφών σε ομάδες δίνει πληροφορίες για τη μηχανική συμπεριφορά τους.

Τα εδάφη διακρίνονται σε :

- 1) Μη συνεκτικά εδάφη (ψαθυρά).



Εδάφη που η αντοχή τους εξαρτάται μόνο από τη τριβή των κόκκων που χαρακτηρίζεται από τη γωνία εσωτερικής τριβής,  $\phi$ . Η άμμος αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μη συνεκτικού εδάφους.

2) Συνεκτικά εδάφη.

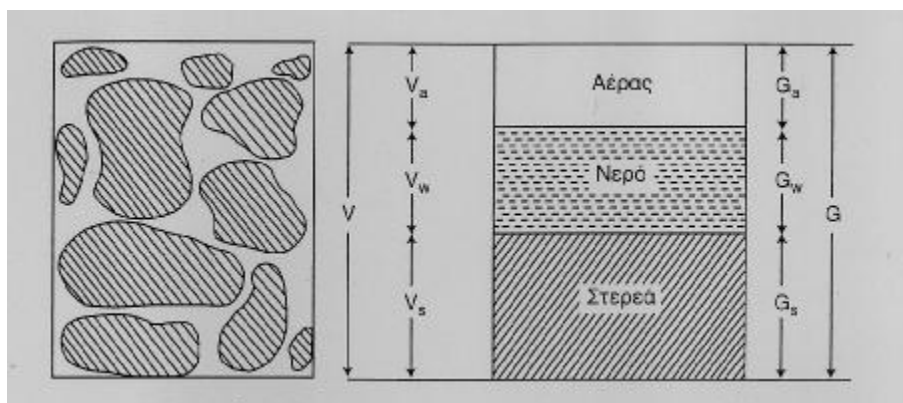
Είναι εκείνα στα οποία η αντοχή τους οφείλεται όχι μόνο στη τριβή αλλά και στη συνοχή,  $c$ , δηλαδή σε επιφανειακές δυνάμεις ανάμεσα στους κόκκους. Οι κόκκοι των αργιλικών ορυκτών είναι πάρα πολύ μικροί ώστε να είναι ορατοί με γυμνό μάτι.

Η προσπάθεια διαχωρισμού του εδάφους σε κατηγορίες γίνεται διότι είναι αδύνατον να γίνει η παρουσίαση των φυσικών ιδιοτήτων όλων των εδαφών με γενικό τρόπο. Ο αριθμός των φυσικών ιδιοτήτων που είναι απαραίτητος για τον πλήρη χαρακτηρισμό του εδάφους είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο αριθμό για τα άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές έργων πολιτικού μηχανικού. Το έδαφος είναι ένα υλικό που αποτελείται από στερεή, υγρή και αέρια φάση και αυτό το κάνει να παρουσιάζει σημαντική ανομοιογένεια.

### Οι τρεις φάσεις του εδάφους.

Ανάμεσα στους στερεούς κόκκους σχηματίζονται κενά ή πόροι, με ακανόνιστη μορφή, που πληρούνται με νερό ή αέρα ή και με τα δύο. Όταν δεν υπάρχει νερό στους πόρους μιλάμε για ξηρό έδαφος και όταν οι πόροι είναι εντελώς γεμάτοι με νερό μιλάμε για κορεσμένο έδαφος.

Το έδαφος χαρακτηρίζεται από τη κοκκώδη φύση της στερεάς φάσης του που συνδυάζεται με την υγρή και την αέρια φάση. Οι αναλογίες των τριών αυτών φάσεων έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη συμπεριφορά του εδαφικού υλικού. Η περιγραφή και η ανάλυση της συμπεριφοράς αυτής βασίζεται στη προσομοίωση ενός μοναδιαίου στοιχείου, όπου οι αναλογίες τους εκφράζονται είτε ως ποσοστά βάρους, είτε ως ποσοστά όγκου, με βασική παραδοχή ότι ο αέρας είναι αβαρής.



**Εικόνα 1:** Αναλογίες τριών φάσεων εδαφικών υλικών.

Σε ένα εδαφικό δείγμα όγκου  $V$  και βάρους  $G$  διακρίνουμε :

- Τον όγκο και το βάρος των στερεών :  $V_s$  ,  $G_s$
- Τον όγκο και το βάρος του ύδατος :  $V_w$  ,  $G_w$
- Τον όγκο του αέρα :  $V_a$

- Τον όγκο των κενών :  $V_v = V_a + V_w$

Ως παράμετροι που εκφράζουν την αναλογία των κενών χρησιμοποιούνται :

- το πορώδες ,  $n = \frac{V_v}{V}$  και
- ο δείκτης πόρων,  $e = \frac{V_v}{V_s}$

Από πλευράς ειδικού βάρους διακρίνουμε :

- το φαινόμενο ειδικό βάρος,  $\gamma = \frac{G}{V}$
- το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών,  $\gamma_s = \frac{G_s}{V_s}$
- το ξηρό ειδικό βάρος,  $\gamma_d = \frac{G_s}{V}$ , που αποτελεί χαρακτηριστική παράμετρο σε θέματα συμπίκνωσης.
- το ειδικό βάρος του νερού,  $\gamma_w = \frac{G_w}{V_w}$ .

Οι παραπάνω σχέσεις είναι κλασσικές σχέσεις της Εδαφομηχανικής και ευρύτατα γνωστές. Ο μηχανικός οδοποιίας θα πρέπει, εκ παραλλήλου, να γνωρίζει τη φυσική σημασία και τη τάξη μεγέθους για όλες τις παραπάνω παραμέτρους του εδάφους, επειδή είναι υποχρεωμένος να αντιμετωπίζει και να επιλύει πρακτικά προβλήματα χωρίς να διαθέτει πλήρη αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων.

Οι αριθμητικές τιμές του φαινόμενου ειδικού βάρους των φυσικών εδαφών κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 1,5 και 2 t/m<sup>3</sup>. Το εύρος των τιμών είναι πιο περιορισμένο για το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών  $\gamma_s = 2,6 \div 2,8 \text{ t/m}^3$ , ενώ το ειδικό βάρος του νερού λαμβάνεται πάντοτε  $\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3$ .

Η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους εκφράζεται από δυο παραμέτρους :

- τη φυσική υγρασία,  $W = \frac{G_w}{G_s}$  (%), που είναι η παράμετρος που συνηθέστερα χρησιμοποιείται σε έργα οδοποιίας και
- το βαθμό κορεσμού,  $S_r = \frac{V_w}{V_v}$ , που εκφράζει το ποσοστό των πόρων που έχει πληρωθεί με νερό.

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

Πίνακας 1: Σχέσεις μεταξύ των φυσικών μεγεθών του εδάφους.

Μεγέθη	Συμβολισμοί	Ορισμοί	Διαστάσεις	Κορεσμένο έδαφος $w_s$	Μη κορεσμένο έδαφος $w$	$n$	$e$	$\gamma$	$\gamma_d$
Περιεκτικότητα σε νερό	$w$	$\frac{P_w}{P_s} = \frac{V_w \gamma_w}{P_s}$	$l^3$	-	-	$w = \frac{(n - n_a) \gamma_w}{(1-n) \gamma_s}$	$w = \frac{e - n_a(1+e)}{\gamma_s} \gamma_w$	$w = \frac{\gamma - \gamma_d}{\gamma_d}$	-
Περιεκτικότητα σε νερό κορ. Εδαφούς	$w_s$	$\frac{(V_w + V_a) \gamma_w}{P_s}$	$l$	-	-	$w_s = \frac{n \gamma_w}{(1-n) \gamma_s}$	$w_s = \frac{e \gamma_w}{\gamma_s}$	$w_s = \frac{(1+w) \gamma_w}{\gamma_s} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$	$w_s = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Πορόδες	$n$	$\frac{V_v}{V}$	$l$	$n = \frac{w_s \gamma_s}{w_s \gamma_s + \gamma_w}$	$n = \frac{w \gamma_s + n_a \gamma_w}{w \gamma_s + \gamma_w}$	$n = n_w + n_a$	$n = \frac{e}{1+e}$	$n = 1 - \frac{\gamma}{(1+w) \gamma_s}$	$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}$
Δείκτης πυκν.	$e$	$\frac{V_v}{V_s}$	$l$	$e = \frac{w_s \gamma_s}{\gamma_w}$	$e = \frac{w \gamma_s + n_a \gamma_w}{(1-n_a) \gamma_w}$	$e = \frac{n}{(1-n)}$	-	$e = \frac{\gamma_s(1+w)}{\gamma} - 1$	$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d}$
Φαινόμενο βάρος εδαφούς	$\gamma$	$\frac{P}{V} = \frac{P_s + P_w}{V_s + V_w + V_a}$	$l^3$	$\gamma = \frac{(1+w_s) \gamma_s + \gamma_w}{w_s \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma = \frac{(1-n_a) \gamma_s + n_a \gamma_w}{w \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma = \frac{\gamma_s(1-n) + n_a \gamma_w}{(1-n) \gamma_s}$	-	-	$\gamma = \gamma_d(1+w)$
Φαν. βάρος ξηρ. εδαφούς	$\gamma_d$	$\frac{P_s}{V_s + V_a}$	$l^3$	$\gamma_d = \frac{\gamma_s \gamma_w}{w_s \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma_d = \frac{(1-n_a) \gamma_s}{w \gamma_s + \gamma_w}$	$\gamma_d = (1-n) \gamma_s$	$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$	-
Πορόδες αέρα	$n_a$	$\frac{V_a}{V}$	$l$	$n_a = 0$	-	-	-	$n_a = 1 - \frac{(w \gamma_s + \gamma_w) \gamma}{(1+w) \gamma_w \gamma_s}$	$n_a = 1 - \frac{w \gamma_d}{\gamma_w} - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$
Πορόδες νερού	$n_w$	$\frac{V_w}{V}$	$l$	$n_w = n$	$n_w = w \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$	-	$n_w = \frac{w \gamma_s}{(1+e) \gamma_w}$	$n_w = \frac{\gamma w}{(1+w) \gamma_w}$	$n_w = \frac{w \gamma_d}{\gamma_w}$
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

Πίνακας 2: Τυπολόγιο φυσικών εδαφικών μεγεθών

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ – ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ**

### **1.1 Κοκκομετρική ανάλυση των εδαφών.**

Σκοπός της κοκκομετρικής ανάλυσης, είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους των κόκκων που αποτελούν το έδαφος, καθώς και του ποσοστού επί του ολικού βάρους, το οποίο αντιπροσωπεύουν τα διάφορα μεγέθη αυτών. Τα μεγέθη των κόκκων που αποτελούν τα εδάφη μπορεί να διαφέρουν σε ευρεία κλίμακα, με αποτέλεσμα τα συστατικά των εδαφών να ομαδοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες, οι συνηθέστερες των οποίων είναι: χάλικες, άμμοι, ιλύες και άργιλοι. Οι δύο πρώτες αποτελούν χονδρόκοκκα αδρανή υλικά (αδρομερές κλάσμα), ενώ οι τελευταίες τα λεπτόκοκκα αδρανή υλικά (λεπτομερές κλάσμα).

Για τη κοκκομετρική ανάλυση χονδρόκοκκου μη συνεκτικού υλικού, ακολουθείται η μέθοδος των κόσκινων (μηχανική ανάλυση), ενώ για την ανάλυση του λεπτόκοκκου υλικού ακολουθείται η μέθοδος με το υδρόμετρο – μέθοδος STOKES (μέθοδος καθίζησης).

Γενικά, η κοκκομετρική ανάλυση είναι μια δοκιμή η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στη πράξη για, γενικά, μη συνεκτικά εδάφη.

#### **1.1.1 Ανάλυση με κόσκινα.**

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

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

#### **1.1.2 Τρόπος εργασίας.**

Τα δείγματα για μηχανική ανάλυση βρίσκονται σε διαταραγμένη κατάσταση, λαμβάνονται από το προς εξέταση υλικό με τη χρησιμοποίηση της συσκευής διαχωρισμού δειγμάτων ή με τη μέθοδο του τετραμερισμού και είναι αντιπροσωπευτικά του σχηματισμού που εξετάζεται.

Ξηραίνουμε στο φούρνο το δείγμα εδάφους και μετά διαλύουμε τα συσσωματώματα των κόκκων του εδάφους. Αν απαιτείται ελαττώνουμε τη ποσότητα του εδάφους με τετραμερισμό ή μέσα από διαχωριστικό υποδοχέα. Ζυγίζουμε αντιπροσωπευτικό δείγμα με ακρίβεια 1,00 gr ή 0,10 gr, σε εξάρτηση με τη ποσότητα του δείγματος. Η ποσότητα του

δείγματος που θα ληφθεί για τη δοκιμή εξαρτάται από τη μέγιστη διάμετρο των κόκκων.  
Ειδικότερα :

- Υλικό με τουλάχιστον 95% διερχόμενο από το κόσκινο Νο 8 (2,36mm): 500gr
- Υλικό με τουλάχιστον 90% διερχόμενο από το κόσκινο Νο 4 (4,75mm) και περισσότερο των 5% συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 8: 500gr

Δείγματα με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκου πρέπει να έχουν βάρη, μετά τη ξήρανση όχι μικρότερα από αυτά που φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

<b>Ονομαστικό μέγιστο μέγεθος κόκκου σε cm</b>	<b>Ελάχιστο βάρος δείγματος σε gr</b>
0.965	1000
1.270	2500
1.930	5000
2.540	10000
3.810	15000
5.080	20000
6.350	25000
7.620	30000
8.890	35000

**Πίνακας 1.1:** Ελάχιστο βάρος δείγματος αδρόκοκκου για κοκκομετρική ανάλυση.

Θέτουμε την ανάλογη ποσότητα δείγματος σε λεκάνη, πλένουμε το δείγμα και το περνάμε από το κόσκινο Νο 10. Πλένουμε το δείγμα που παραμένει στο κόσκινο μέχρι διαύγειας του νερού. Έτσι το δείγμα που παραμένει στο κόσκινο είναι καθαρό και απαλλαγμένο από ιλύ και άργιλο. Μεταφέρουμε τα υλικά που παρέμειναν στα κόσκινα μετά τη πλύση σε μεταλλικά δοχεία και τα αποξηραίνουμε στο φούρνο. Το διερχόμενο υλικό από το κόσκινο Νο 10, που έχει μαζευτεί σε λεκάνες αφήνεται να ξηραθεί στον αέρα και αφού τριφτεί ξηραίνεται στο φούρνο. Το διερχόμενο κλάσμα μέχρι και το κόσκινο Νο 10, ονομάζεται κλάσμα χαλίκων και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του τα χονδρά κόσκινα. Το συγκρατούμενο κλάσμα από το κόσκινο Νο 10, μέχρι το κόσκινο Νο 200, είναι το κλάσμα άμμων, ενώ το διερχόμενο κλάσμα από το κόσκινο Νο 200, είναι το κλάσμα λεπτόκοκκων εδαφών και χρησιμοποιείται στην ανάλυση λεπτόκοκκου δείγματος, με καθίζηση.

Η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα συνιστάται στο κοσκίνισμα του εδαφικού δείγματος από μια σειρά κοσκίνων με προοδευτικά μικρότερο άνοιγμα οπής. Στην Ελλάδα

χρησιμοποιούνται Αμερικανικά κόσκινα τετραγωνικών οπών και συνεπώς ο όρος «διαμέτρηση» υποδηλώνει τη διάσταση της πλευράς της τετραγωνικής βροχίδας.

Τα νούμερα των κοσκίνων και το άνοιγμα της οπής δίνονται στο παρακάτω πίνακα.

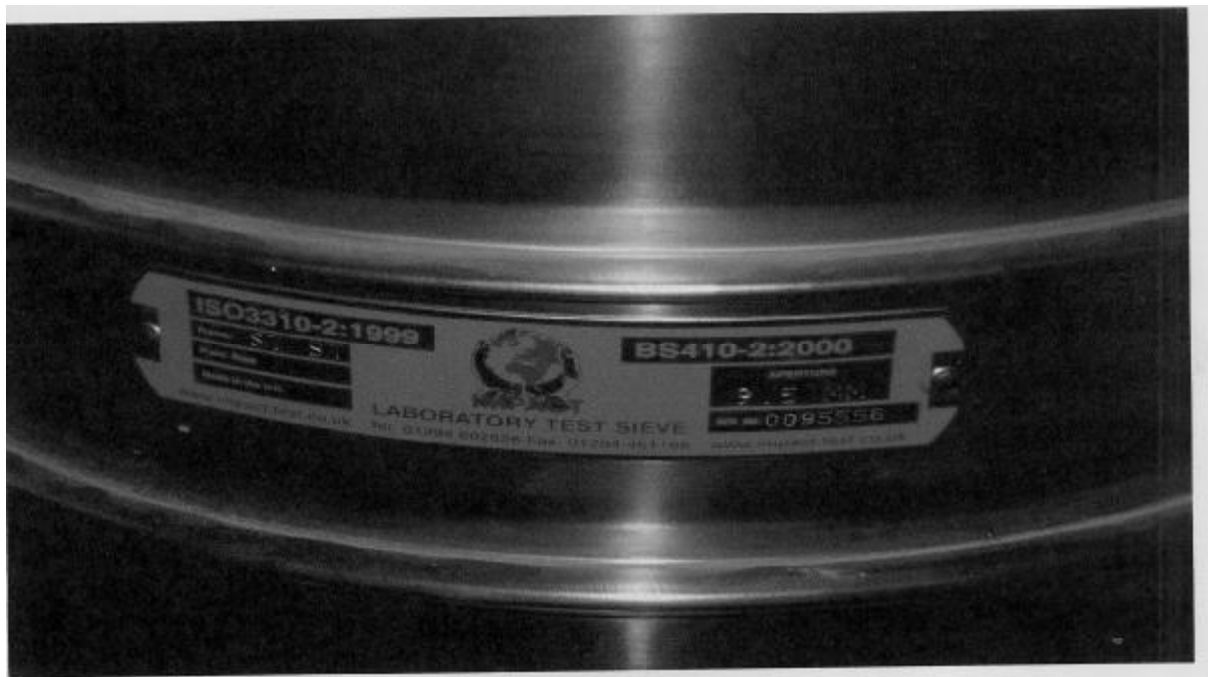
Αριθμός κοσκίνων	Κόσκινο No	Άνοιγμα οπής $d_i$ (mm)
	2''	50,8
	1''	25,4
	$\frac{3}{4}$ ''	19,1
4	4	4.750
6		3.350
8		2.360
10	10	2.000
16		1.180
20	20	0.850
30	30	0.600
40	40	0.425
50		0.300
60		0.250
80		0.180
100	100	0.150
140		0.106
170		0.088
200	200	0.075
270		0.053

**Πίνακας 1.2:** πρότυπα μεγέθη  
Κοσκίνων κατά U.S.C.S.

Θέτουμε το δείγμα εντός της μηχανής κοσκινίσματος και ξεκινάμε τη διαδικασία αφού πρώτα ζυγίσουμε το δείγμα. Εν συνεχεία ζυγίζουμε τη συγκρατούμενη ποσότητα σε κάθε κόσκινο και συμπληρώνουμε το δελτίο κοκκομετρικής ανάλυσης.



**Εικόνα 1.1:** Μηχανή κοσκίνισματος (εργαστηρίου εδαφομηχανικής ΤΕΙ Πατρών).



**Εικόνα 1.2:** Κόσκινα (εργαστηρίου εδαφομηχανικής ΤΕΙ Πατρών).



### 1.1.3 Υπολογισμοί.

Δια ζυγίσεων βρίσκεται το συγκρατούμενο κατά βάρος επί κάθε κοσκίνου ποσοστό  $S_i$  και από αυτά τα διερχόμενα ποσοστά  $d_i$  τα οποία και συνήθως αναφέρονται στη κοκκομετρική καμπύλη:

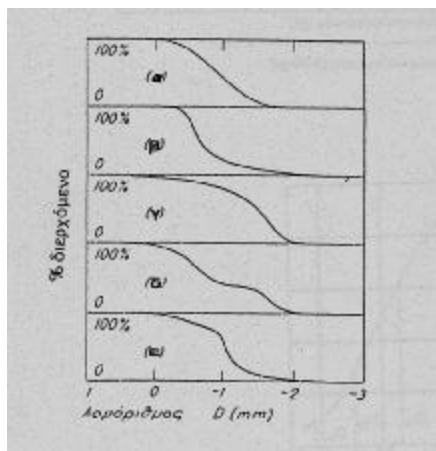
$$\delta_n = 100 - \sum_{i=1}^n S_i$$

Έτσι δημιουργούνται για το σύνολο των κοσκίνων ζεύγη τιμών  $d_i$  (άνοιγμα οπής),  $d_i$  (διερχόμενο ποσοστό), τα οποία μεταφέρονται σε κατάλληλο διάγραμμα ημιλογαριθμικής κλίμακας και δίνουν χαρακτηριστικά σημεία της κοκκομετρικής καμπύλης.

### 1.1.4 Διερεύνηση κοκκομετρικής καμπύλης.

Η θέση, η κλίση και η μορφή της κοκκομετρικής καμπύλης μέσα στο αντίστοιχο διάγραμμα είναι σε θέση να δώσουν πληροφορίες για το είδος του εδαφικού υλικού.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται ορισμένες τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες.



**Σχήμα 1.1:** Τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες.

(α) καμπύλη κανονικής κατανομής.

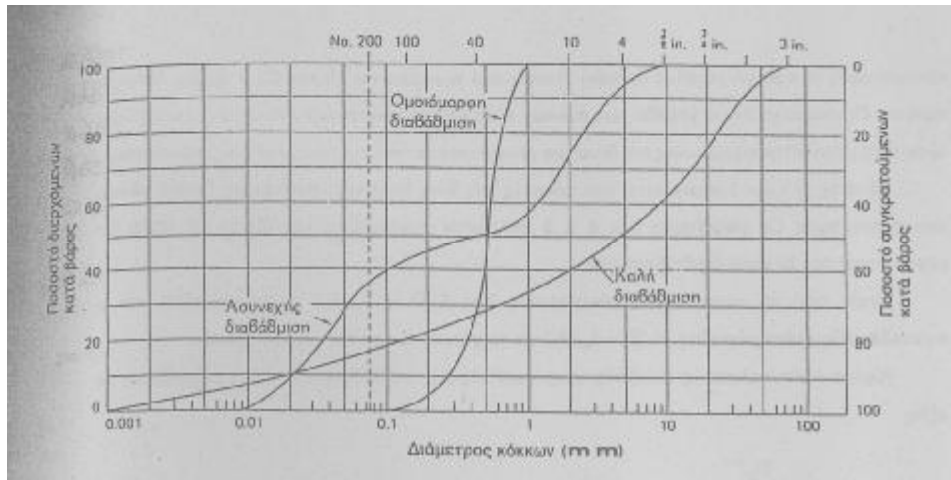
(β), (γ) καμπύλες εδαφών με χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα συστατικά διαφόρου ομοιομορφίας.

(δ), (ε) σύνθετες καμπύλες.

Η καμπύλη (α) είναι ο συνήθης τύπος, καλά διαβαθμισμένο έδαφος. Όταν το δείγμα εδάφους παρίσταται με αυτή τη καμπύλη υπάρχει μια ισόρροπη κατανομή στα μεγέθη των κόκκων εκατέρωθεν της  $D_{50}$  (διάμετρος που αντιστοιχεί σε ποσοστό 50%) και καλή αντιπροσώπευση αυτών σε μεγάλο εύρος. Το έδαφος στη περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται σαν καλά διαβαθμισμένο (well-graded).

Όταν η κοκκομετρική διαβάθμιση του εδάφους μοιάζει με αυτή που παρίσταται από τη καμπύλη (β) το πλέον χονδρόκοκκο μισό του δείγματος είναι σχετικά ομοιόμορφο, ενώ το μέγεθος των κόκκων του λεπτότερου μισού ποικίλει ευρέως. Αντίθετα η καμπύλη (γ) αντιστοιχεί σε δείγμα στο οποίο οι μεγαλύτεροι κόκκοι έχουν πολύ διαφορετικά μεγέθη, ενώ οι λεπτότεροι είναι περισσότερο ομοιόμορφοι. Τέλος οι καμπύλες (δ) και (ε) θεωρούνται σύνθετες.

Γενικά οι καμπύλες (β), (γ), (δ) και (ε) της εικόνας αντιπροσωπεύουν εδάφη φτωχά διαβαθμισμένα. Παρουσιάζουν ασυνέχεια στη διαβάθμισή τους γι' αυτό και χαρακτηρίζονται σαν gap-graded. Φτωχά διαβαθμισμένα χαρακτηρίζονται ακόμη και τα εδάφη με ομοιόμορφη διαβάθμιση (uniform).



**Σχήμα 1.2:** Τυπικές κατανομές κοκκομετρικής διαβάθμισης.

### 1.1.5 Παράμετροι κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Η κοκκομετρική καμπύλη αποτελεί ολοκληρωμένη σχηματική αναπαράσταση της κοκκομετρίας του εδάφους. Σε μια προσπάθεια απλοποίησης των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, έχουν προταθεί δείκτες οι οποίοι εκφράζουν μεγέθη ή αναλογίες που προκύπτουν από τη κοκκομετρική καμπύλη. Εδώ σαν παράμετροι κοκκομετρικής διαβάθμισης αναφέρονται οι όροι: ενεργό μέγεθος κ.α., με σπουδαιότερο το συντελεστή ομοιομορφίας ή συντελεστή του Hazen.

Το ενεργό μέγεθος (effective size), που αποδίδεται και με τους όρους ενεργός ή δρώσα διάμετρος, είναι η διάμετρος  $D_{10}$ , που αντιστοιχεί στη τιμή 10% διερχόμενου, κατά βάρος, του κοκκομετρικού διαγράμματος. Επομένως τα σωματίδια είναι κατά ποσοστό 10% λεπτότερα και κατά ποσοστό 90% χονδρόκοκκα από το ενεργό μέγεθος. Μικρή τιμή του ενεργού μεγέθους δείχνει ότι το έδαφος περιέχει σχετικά σημαντικό ποσοστό λεπτών κόκκων, ενώ μεγαλύτερη τιμή δείχνει σχετικά μικρότερο ποσοστό λεπτών κόκκων.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας (coefficient of uniformity)  $C_u$  ή  $U$ , είναι ο λόγος που λαμβάνεται με διαίρεση της μέγιστης διαμέτρου των μικρότερων 60% κατά βάρος εδαφικών κόκκων προς το ενεργό μέγεθος, δηλαδή δίνεται από το τύπο του Hazen  $C_u = d_{60} / d_{10}$ . Μεγάλη τιμή του  $C_u$  σημαίνει ότι τα μεγέθη είναι καλά κατανομημένα από τους μικρότερους προς τους μεγαλύτερους κόκκους και δίνει μια γενική εικόνα του μέγιστου μεγέθους των κόκκων. Έδαφος με  $C_u = 1$  αποτελείται από κόκκους της ίδιας διαμέτρου (ισόκοκκο). Γενικά εδάφη που έχουν τιμές  $C_u$  μικρότερες του 4 ή 5 καλούνται ομοιόμορφα και εδάφη με τιμές μεγαλύτερες του 10 καλά διαβαθμισμένα.

Εκτός από το συντελεστή ομοιομορφίας χρησιμοποιείται και ο συντελεστής ετερομορφίας,  $H$ ,  $H = d_{85} / d_{15}$  για το χαρακτηρισμό κυρίως των άμμων.

Ακόμα ο συντελεστής διαβάθμισης (coefficient of curvature)  $C_c$  (ή  $C_z$ ) εκφράζεται ως εξής:

$$C_c \text{ ή } C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

όπου:

$D_{30}$ : διάμετρος που αντιστοιχεί στο 30% διερχόμενο κατά βάρος

Για  $C_z \approx 1 \Rightarrow$  καλά διαβαθμισμένο

Για  $C_z \ll 1$  και  $C_z \gg 1$  φτωχά διαβαθμισμένο.

Τέλος, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κοκκωδών κυρίως εδαφών σχετίζονται άμεσα με τη κοκκομετρική διαβάθμισή τους. Γενικά η καλή διαβάθμιση ενός εδάφους σημαίνει ότι αυτό είναι σχετικά σταθερό, ανθίσταται στη φθορά και διάβρωση, μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να αποκτήσει μεγάλη πυκνότητα με αποτέλεσμα να αναπτύσσει μεγάλη αντοχή στη διάτμηση και φέρουσα ικανότητα. Αντίθετα ένα έδαφος κακής διαβάθμισης δεν περιέχει επαρκή ποσότητα λεπτομερούς κλάσματος για να πληρώσει τα κενά μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων, έτσι ακόμα και μετά από συμπύκνωση θα έχει ανοιχτή ή πορώδη δομή, άρα ευκολότερη μετακίνηση των κόκκων και μικρότερη φέρουσα ικανότητα.

### **1.1.6 Εργαστηριακός εξοπλισμός.**

#### **1.1.6.1 Συσκευές.**

- 1) Ζυγός ευαισθησίας 0,1% του βάρους του προς εξέταση δείγματος.
- 2) Πρότυπα αμερικανικά κόσκινα, τα πλέγματα των οποίων είναι τετραγωνικών οπών. Αυτά πρέπει να είναι προσαρμοσμένα σε στερεά πλαίσια κατασκευασμένα κατά τρόπο, που να αποφεύγεται απώλεια υλικού κατά το κοσκίνισμα. Πρέπει επίσης να εκλέγονται κόσκινα κατάλληλων διαστάσεων ανάλογα με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που επιθυμούμε.
- 3) Δοχεία (λεκάνες) κατάλληλων μεγεθών
- 4) Συσκευή διαχωρισμού δειγμάτων
- 5) Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας 110 – 115 °C
- 6) Αναδευτήρας
- 7) Μηχανή κοσκίνισματος

#### **1.1.6.2 Υλικά.**

Εδαφικό δείγμα για κοκκομετρική ανάλυση το οποίο έχει προέλθει από τη μέθοδο του τετραμερισμού.

### **1.1.7 Παρατηρήσεις.**

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

- 1) Στην αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος.
- 2) Στο χρόνο κοσκινίσματος.
- 3) Στο θρυμματισμό των εδαφικών κόκκων.
- 4) Στις μεταγίσεις των εδαφικών δειγμάτων για την αποφυγή απώλειας υλικού

### **1.1.8 Έντυπο μετρήσεων.**

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΕΝΤΥΠΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

<b>ΕΡΓΟ</b>	
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	

Αριθμός κόσκινου	Ανοιγμα κόσκινου (mm)	Συγκρατούμενο βάρος (gr)	Διερχόμενο βάρος	
			gr	%
3"	76,20			
2 1/2"	63,50			
2"	50,80			
1 1/2"	38,10			
1 1/4"	31,75			
1"	25,40			
3/4"	19,05			
5/8"	15,88			
1/2"	12,70			
3/8"	9,353			
1/4"	6,35			
No 4	4,76			
No 8	2,38			
No 10	2,00			
No 16	1,19			
No 30	0,59			
No 40	0,420			
No 50	0,297			
No 80	0,177			
No 100	0,149			
No 200	0,074			
	Παιπάλη			
<b>Ολικό βάρος</b>				

**Παρατηρήσεις:**

<b>Ο εκτελέσας τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης εργαστηρίου</b>

## **1.2 Κατάταξη εδαφών.**

### **1.2.1 Εισαγωγή.**

Απαραίτητη βάση για την εδραίωση μιας επιστήμης, είναι η ταξινόμηση των στοιχείων που αποτελούν το αντικείμενο της. Για τα εδάφη χρησιμοποιείται στην εδαφομηχανική η ταξινόμηση με βάση τις διαστάσεις των κόκκων, η οποία επιτρέπει να ορισθούν τα βασικά μεγέθη: χάλικες, άμμος, ίλος και άργιλος.

Τα εδάφη όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι ετερογενή μίγματα των διαφόρων επιμέρους εδαφικών υλικών με πρόσμιξη νερού και αέρα. Οι ανεξέλεγκτες συνθήκες κάτω από τις οποίες έχουν σχηματιστεί, έχουν σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη απεριόριστης ποικιλίας φυσικών εδαφών που παρουσιάζουν μικρές ή μεγάλες διαφορές στις ιδιότητες τους και στα χαρακτηριστικά της μηχανικής συμπεριφοράς τους. Πράγματι γεωλογικά μπορούν να είναι υλικά ευρύτατου φάσματος από τον υγρή, συμπαγή και σκληρό βράχο, μέχρι τις χαλαρές εναποθέσεις απορριμμάτων σε θέσεις παλιών χωματερών. Μεταξύ αυτών των δύο ακραίων, αλλά όχι ασυνήθιστων περιπτώσεων, υπάρχει στη φύση ένα άπειρο πλήθος διαφορετικών εδαφών.

Το γεγονός αυτό έχει τις εξής δύο σοβαρές συνέπειες:

- Τη δυσκολία πρότασης γενικών θεωριών και μεθόδων που να μπορούν να εφαρμοστούν, με αποδεκτή ακρίβεια, σε υλικά τόσο διαφορετική συμπεριφοράς.
- Την ανάγκη διαχωρισμού και κατάταξης των εδαφών σε κατηγορίες.

Για το λόγο αυτό επινοήθηκαν διάφορα συστήματα κατάταξης των εδαφών. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η ένταξη των εδαφών με κοινά χαρακτηριστικά σε ομάδες ώστε να είναι δυνατή η απομνημόνευση των ιδιοτήτων τους και της συμπεριφοράς τους.

Η κατάταξη των εδαφών είναι πολύ χρήσιμη για την αναγνώριση τους, προκειμένου να κατασκευαστούν διάφορα τεχνικά έργα (οδοποιία, φράγματα, αεροδιάδρομοι, σιδηροδρομικές γραμμές κ.α.).

Αναγνώριση σημαίνει διάκριση, κατάταξη σημαίνει ταξινόμηση σε ομάδες. Η αναγνώριση είναι πληροφορία πραγματική, ενώ η κατάταξη ερμηνευτική.

### **1.2.2 Ιδιότητες των εδαφών που χρησιμοποιούνται για τη κατάταξη τους.**

Η ένταξη των εδαφών σε ομάδες σε κάποιο σύστημα κατάταξης γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ομάδα να δίνει ενδείξεις που αφορούν στις γενικές ιδιότητες των εδαφών και στη συμπεριφοράς τους. Έτσι γίνεται δυνατή η χονδρική εκτίμηση των τριών κύριων ιδιοτήτων ενός εδάφους, δηλαδή, της διαπερατότητας, της συμπιεστότητας και της αντοχής σε διάτμηση.

Για τη κατάταξη των εδαφών είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πάρα πολλές ιδιότητες τους, που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- τις ιδιότητες των εδαφικών κόκκων.
- τις ιδιότητες του εδάφους σαν άθροισμα κόκκων.

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες δίνονται στο παρακάτω πίνακα.

Ιδιότητες εδαφικών κόκκων	Ιδιότητες του εδάφους σαν άθροισμα κόκκων
Χρώμα	Δομή
Υφή και διαβάθμιση	Φυσική περιεχόμενη υγρασία
Σχήμα κόκκων	Λόγος κενών ή πορώδες
Ορυκτολογική σύσταση	Πυκνότητα ή σχετική πυκνότητα
Δυνατότητα ανταλλαγής ιόντων	Διαπερατότητα και τριχοειδές
Οσμή και περιεχόμενη οργανική ύλη	Συνεκτικότητα
Ειδικό βάρος εδαφικών κόκκων	Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη
Πλαστικότητα	Ευαισθησία και θιξοτροπία
Όριο υδαρότητας	Μέγιστη πυκνότητα και βέλτιστη υγρασία
Όριο πλαστικότητας	Αντοχή
Δείκτης πλαστικότητας	Συνοχή
Όριο συρρίκνωσης	Γωνία εσωτερικής τριβής
Λόγος συρρίκνωσης	Καλλιφορνιακός λόγος φέρουσας ικανότητας (C.B.R.)
Χημική σύσταση	Μέτρο αντίδρασης υπεδάφους
Τιμή pH	Αντίσταση σε διείσδυση
Διαστολή	Τιμή προτύπου διείσδυσης
Σκληρότητα	Ελαστικότητα και συμπιεστότητα
	Δείκτης συμπίεσης ή διόγκωσης

**Πίνακας 1.3 :**Ιδιότητες χρησιμοποιούμενες για τη κατάταξη των εδαφών.

Γενικά οι ιδιότητες των εδαφικών κόκκων είναι από τη φύση τους μόνιμες, ενώ αντίθετα οι ιδιότητες του εδάφους σαν άθροισμα κόκκων μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες.

Αν αναφερθούμε σε μερικές από αυτές μπορούμε να πούμε τα εξής: η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής επηρεάζονται πολύ από τις συνθήκες της δοκιμής ενώ η συνεκτικότητα και η επί τόπου πυκνότητα των επιφανειακών εδαφών υπόκεινται σε εποχιακές μεταβολές.

Το χρώμα δεν είναι κατάλληλη ιδιότητα για να βασιστεί ένα σύστημα κατάταξης. Μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί σαν δευτερεύουσα ιδιότητα για τη κατάταξη. Η περιεχόμενη φυσική υγρασία προσδιορίζεται απλά και εύκολα, αλλά και αυτή δεν αποτελεί βασική ιδιότητα για τη κατάταξη.

Η πιο εκτεταμένη ιδιότητα των εδαφών που χρησιμοποιείται για τη κατάταξη τους είναι η υφή. Αυτό προκύπτει από το μεγάλο αριθμό συστημάτων κατάταξης που έχουν προταθεί κατά καιρούς και βασίζονται στην υφή (άνω των 50) και από το γεγονός ότι πολλά από τα συστήματα αυτά (περίπου 20) χρησιμοποιούνται σήμερα. Οι λόγοι που δημιουργήθηκαν τόσα πολλά συστήματα είναι δύο:

1. Τα όρια μεταξύ των εδαφικών κλασμάτων καθορίζονται αυθαίρετα δεδομένου ότι η κατανομή των μεγεθών των κόκκων στη φύση αποτελεί μια συνέχεια.

2. Τα συστήματα αυτά προτείνονται από μελετητές που μελετούν τα εδάφη από διαφορετικές απόψεις.

Η υφή του εδάφους προσδιορίζεται εύκολα και οικονομικά. Η διαδικασία όμως της δοκιμής δεν είναι γρήγορη ιδιαίτερα στο λεπτόκοκκο τμήμα του εδάφους. Η δυσκολία όλων των κατατάξεων με βάση την υφή οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυσικές ιδιότητες των λεπτόκοκκων εδαφών, που ενδιαφέρουν το μελετητή μηχανικό, δεν παρέχονται από τα χαρακτηριστικά της υφής.

Στα λεπτόκοκκα εδάφη είναι δυνατόν να παρατηρηθούν πολλές διαφορές μεταξύ των χαρακτηριστικών που οφείλονται στα μεγέθη των κόκκων και στις φυσικές ιδιότητες τους, όμως οι κοκκομετρικές καμπύλες του λεπτόκοκκου κλάσματος του εδάφους χρησιμοποιούνται ακόμη πάρα πολύ, σαν αποκλειστική βάση, για τη κατάταξη των εδαφών λόγω της απλότητας της κατάταξης τους και λόγω του ότι για την εφαρμογή της δεν απαιτείται ιδιαίτερη εμπειρία. Βασική επίσης ιδιότητα κατάταξης των εδαφών είναι η πλαστικότητα με βάση τα όρια Atterberg.

### **1.2.3 Κατάταξη των εδαφών με βάση το μέγεθος των κόκκων.**

Το μέγεθος των κόκκων και η κατανομή των μεγεθών αυτών των κόκκων μέσα στην εδαφική μάζα, είναι ουσιώδεις παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά των εδαφών. Για διευκόλυνση της έκφρασης των χαρακτηριστικών μεγέθους των διαφόρων κλασμάτων του εδάφους, προτάθηκαν κατά καιρούς από διάφορους οργανισμούς πολλά συστήματα κατάταξης βασισμένα στο μέγεθος των κόκκων.

Στο πίνακα 1.4 δίνονται τα πλέον συνήθη συστήματα κατάταξης με βάση τη κοκκομετρική διαβάθμιση.



Σύστημα	Κροκάλες	Χαλίκια			Άμμος					Ίλις	Άργιλος	Κολλοειδή
		Χονδρά	Μέσα	Λεπτά	Πολύ χονδρή	Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή			
A.A.S.H.O. και A.S.T.M.	> 76,2	76,2-25,4	25,4-9,52	9,52-2,00		2,00-0,42		0,42-0,074		0,074-0,005	< 0,005	< 0,001
C.E.U.S.A. και U.S.B.R.	> 76,2	76,2-19,5		19,5-4,76		4,76-2,00	2,00-0,42	0,42-0,074		Λεπτό κλάσμα (κιτριλάι) < 0,074		
U.S.D.A.	> 76,2	76,2-12,7		12,7-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,50-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,002	<0,002	
M.I.T. και B.S.I.			>2,0			2,0-0,6	0,6-0,2	0,2-0,06		0,06-0,002 <sup>1</sup>	<0,002	
I.S.S.S. και ATTERBERG			>2,0			2,0-0,2		0,2-0,02		0,02-0,002 <sup>2</sup>	<0,002	
U.S.B.S. και P.R.A.			>2,0			2,0-0,25		0,25-0,05		0,05-0,005	<0,005	
I.C.P.C.	>20		20-0,2			2,0-0,2		0,2-0,02		0,02-0,002	0,002-0,0002	<0,0002
DIN	>60	60-20	20-6	6-2		2,0-0,6	0,6-0,2	0,2-0,06		0,06-0,002 <sup>2</sup>	<0,002	
C.G.N.	>200	200-20		20-2		2,0-0,2		0,2-0,02		0,02-0,0002 <sup>1</sup>		<0,0002

1. Η Ίλις διαχωρίζεται σε: Χονδρή 0,06 - 0,02, Μέση 0,02 - 0,006 και Λεπτή 0,006 - 0,002.

2. Η Ίλις διαχωρίζεται σε: Χονδρή 0,02 - 0,002 και Λεπτή 0,002 - 0,0002.

**Πίνακας 1.4 :** Διάφορα συστήματα κατάταξης εδαφών με βάση τη κοκκομετρική σύνθεση (τα μεγέθη εκφράζονται σε mm).

Στο πίνακα 1.5 δίνεται η αναπτυγμένη ονομασία των οργανισμών που πρότειναν τα συστήματα κατάταξης, που παρουσιάζονται στο πίνακα.

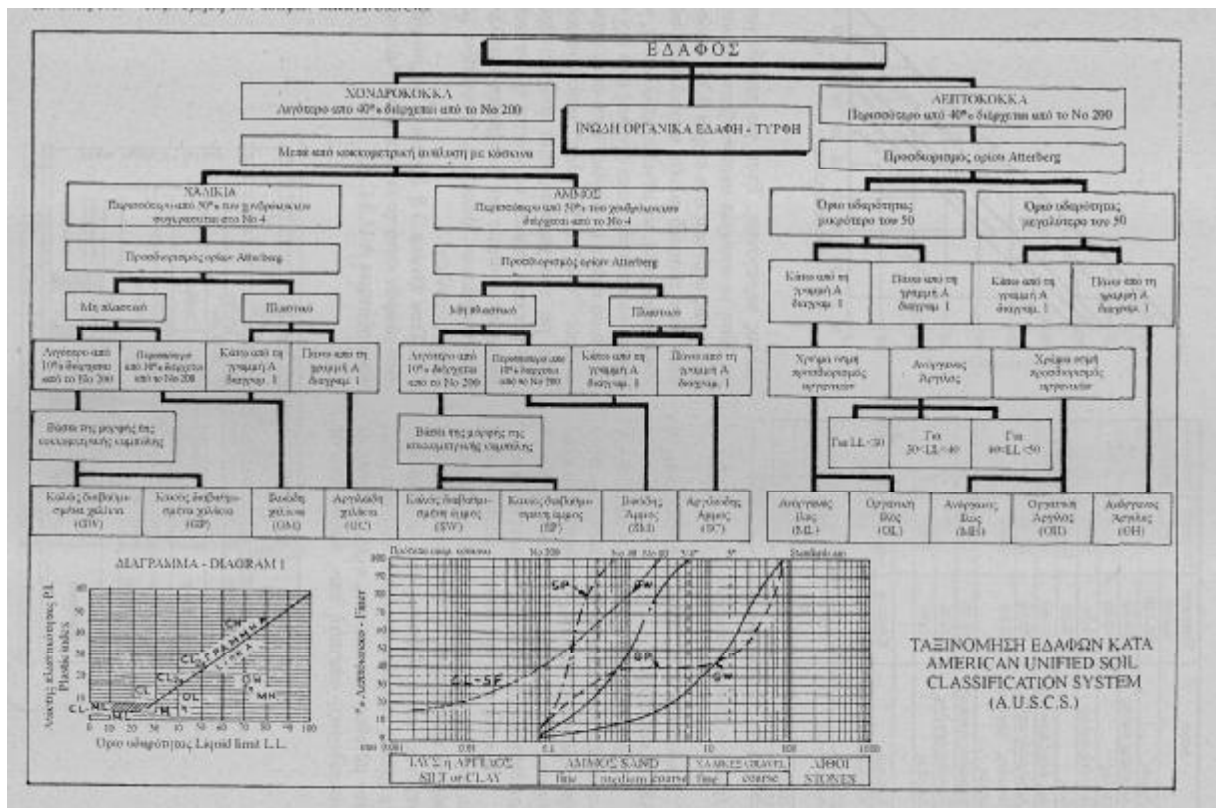
Αρχικά Οργανισμού	Ονομασία Οργανισμού
A.A.S.H.O.	American Association of State Highway Officials
A.S.T.M.	American Society for Testing and Materials
C.E.U.S.A.	Corps of Engineers, U.S. Army
U.S.B.R.	U.S. Bureau of Reclamation
U.S.D.A.	U.S. Department of Agriculture
M.I.T.	Massachusetts Institute of Technology
B.S.I.	British Standards Institution
I.S.S.S.	International Society of Soil Science
ATTERBERG	Atterberg, 1905
U.S.B.S.	U.S. Bureau of Soils
P.R.A.	U.S. Public Roads Administration
L.C.P.C.	Labatoire Central des Ponts et Chaussees, Paris
DIN	Köhler (DIN 4022 - 4023)
C.G.N.	Centro Geotecnico Napoli

**Πίνακας 1.5 :** Οργανισμοί που πρότειναν συστήματα κατάταξης με βάση τη κοκκομετρική διαβάθμιση.

Από τα συστήματα κατάταξης που αναγράφονται στο πίνακα με βάση τη κοκκομετρική σύνθεση, η κατάταξη του M.I.T., είναι προτιμότερη από άποψη εφαρμογών στην εδαφομηχανική. Όταν όμως πρόκειται για κατάταξη εδαφών στην οδοποιία, προτιμάται η κατά AASHTO και η ASTM κατάταξη.

Η κατάταξη των εδαφών με βάση μόνο το μέγεθος των κόκκων οδηγεί μερικές φορές σε παρερμηνεία η οποία οφείλεται στο ότι οι ιδιότητες του λεπτόκοκκου κλάσματος των εδαφών δεν οφείλονται μόνο στο μέγεθος των κόκκων, αλλά και στην ορυκτολογική σύστασή τους.

Στο πίνακα δίνεται η ταξινόμηση των εδαφών κατά το ενοποιημένο αμερικανικό σύστημα A.U.S.C.S.



Πίνακας 1.6 : Ταξινόμηση των εδαφών κατά A.U.S.C.S..

Όπως αναφέραμε και παραπάνω για κατάταξη εδαφών στην οδοποιία προτιμάται η κατά AASHTO και η κατά ASTM κατάταξη, καθώς και το ενοποιημένο σύστημα USCS με τις οποίες θα ασχοληθούμε παρακάτω.

## 1.2.4 Κατάταξη εδαφών κατά AASHTO.

Το σύστημα αυτό είναι η γνωστότερη και πιο χρησιμοποιημένη μέθοδος κατάταξης εδαφών στην οδοποιία, στην Ελλάδα.

Βασίζεται σε αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής ανάλυσης και ορίων Atterberg. Στους πίνακες 1.7 και 1.8 δίνονται τα διαγράμματα κατάταξης εδαφών σε ομάδες και υποομάδες κατά τη μέθοδο αυτή.

Γενική κατάταξη	Χονδρόκοκκα εδάφη: διερχόμενο ποσοστό από το Νο200 μικρότερο από 35%			Λεπτόκοκκα εδάφη: διερχόμενο ποσοστό από το Νο200 μεγαλύτερο από 35%			
	A-1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
<b>Ομάδα κατάταξης</b>							
Κοκκομετρία: διερχόμενο ποσοστό % No10 (2 mm) No40 (0,42 mm) No200 (0,074 mm)	50 max 25 max	51 min 10 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Όρια Atterberg: Όριο υδαρότητας Δείκτης πλαστικότητας	6 max	NP		40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Δείκτης ομάδας			4 max	8 max	12 max	16 max	20
Αξιολόγηση ως έδαφος έδρασης	Εξαιρετικό έως καλό						
<b>Μέθοδος κατάταξης:</b>	Γνωρίζοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών, ακολουθούμε τον πίνακα από αριστερά προς τα δεξιά, η πρώτη ομάδα που θα συναντήσουμε, και στην οποία ανταποκρίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών είναι η ζητούμενη						

**Πίνακας 1.7 :** Κατάταξη εδαφών σε ομάδες AASHTO.

	Χονδρόκοκκα εδάφη διερχόμενο ποσοστό από το Νο200 μικρότερο από 35%				Λεπτόκοκκα εδάφη διερχόμενο ποσοστό από το Νο200 μεγαλύτερο από 35%					
	A-1		A-3	A-2 (*)		A-4	A-5	A-6	A-7	
Κοκκομετρία	A-1-α	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7		A-7-5	A-7-6
διερχόμενο ποσοστό	50 max	50 max	51 min	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min
No10 (2 mm)	30 max	30 max	10 max	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
No40 (0,42 mm)	15 max	25 max	10 max	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	11 min	11 min
No200 (0,074 mm)				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
Όρια Atterberg:				10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	11 min	11 min
Όριο υδαρότητας	6 max	NP	NP					8 max	12 max	16 max
Δείκτης πλαστικότητας	0	0	0	0	0	4 max	4 max	8 max	12 max	16 max
Δείκτης ομάδας										
Χαρακτηριστικά συστατικά	Χαλίτσα, άμμος	Λειπή άμμος	Χαλίτσα, ιλυώδης άμμος, αργιλόδης άμμος	Γλυώδη εδάφη		Αργιλικά εδάφη				
Εκτίμηση ως έδαφος έδρασης	Εξαιρετικό έως καλό			Μέτριο έως ακατάλληλο						

**Μέθοδος κατάταξης:** Γνωρίζοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών ακολουθούμε τον πίνακα από αριστερά προς τα δεξιά. Η ζητούμενη ομάδα ή υποομάδα είναι η πρώτη που θα συναντήσουμε, και στην οποία ανταποκρίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών. Η ένδειξη του δείκτη ομάδας μπορεί να τοποθετηθεί σε παρένθεση μετά το σύμβολο της ομάδας, π.χ. A-2-6 (3), A-4 (5), A-6(12)

(\*) : Η κατάταξη σε υποομάδες των υλικών της ομάδας A-2 γίνεται με το κριτήριο του δείκτη πλαστικότητας. Τα εδάφη των υποομάδων A-2-4 και A-2-5 θεωρούνται ως μη συνεκτικά, ενώ εκείνα των A-2-6 και A-2-7 ως συνεκτικά.

**Πίνακας 1.8 :** Κατάταξη εδαφών σε υποομάδες κατά AASHTO.

Το σύστημα κατάταξης κατά AASHTO διαχωρίζει αρχικά τα εδάφη σε δυο κατηγορίες. Τα χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά και τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά. Και τα δύο ορίζονται σε σχέση με το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο 200. Τα μεν πρώτα έχουν

διερχόμενο ποσοστό μικρότερο από 35%, τα δε έχουν διερχόμενο ποσοστό μεγαλύτερο από 35%.

Τα χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες (A-1, A-2, A-3) και επτά συνολικά υποκατηγορίες (A-1-α, A-1-β, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 και A-2-7), αναλόγως του ποσοστού που διέρχεται από τα κόσκινα Νο 10,40 και 200, καθώς και του ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας αυτών. Η κατηγορία A-1 είναι η πλέον χονδρόκοκκη ενώ η κατηγορία A-3 είναι η λιγότερη χονδρόκοκκη.

Τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες (A-4, A-5, A-6 και A-7) εκ των οποίων η A-7 χωρίζεται στις υποκατηγορίες A-7-5 και A-7-6. η κατηγορία A-4 είναι η πλέον χονδρόκοκκη και η κατηγορία A-7 είναι η πιο λεπτόκοκκη.

Η κατάταξη του εδάφους σε κατηγορίες γίνεται βάση των ορίων που προδιαγράφονται στο πίνακα και του δείκτη ομάδας που υπολογίζεται από εμπειρική σχέση. Η τιμή του δείκτη ομάδος αναγράφεται πάντοτε στο τέλος εντός παρενθέσεως.

### **1.2.5 Ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών (USCS).**

Το ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών είναι εκείνο που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο χρησιμοποιείται διεθνώς. Η κατάταξη των εδαφών σε μια από τις ομάδες γίνεται με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών κοκκομετρίας και ορίων Atterberg. Υπάρχει μια βασική διάκριση ανάμεσα στα χονδρόκοκκα (χάλικες, άμμος) και στα λεπτόκοκκα εδάφη (ιλύς, άργιλος) ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η κατάταξη σε ομάδες. Τα χονδρόκοκκα εδάφη διακρίνονται σε οχτώ ομάδες, τα λεπτόκοκκα σε έξι ομάδες και μια τελευταία ομάδα συγκεντρώνει ορισμένα είδη οργανικών εδαφών.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που είναι απαραίτητα για τη κατάταξη σε ομάδες εδάφους είναι:

- Το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο200.
- Το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο4.
- Ο συντελεστής ομοιομορφίας  $U = d_{60} / d_{10}$ .
- Ο συντελεστής κοκκομετρικής καμπυλότητας.
- Το διάγραμμα πλαστικότητας.

Στο πίνακα 1.9 δίνεται το ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών, USCS.

Χαρακτηριστικά εδάφους		Εργαστηριακή κατάταξη	Σύμβολο ομάδας	Περιγραφή		
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ ΔΠ. Νο200 < 50%	ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΑ ΔΠ. Νο4 < 50%	Καθαρά αμμοχάλικα ΔΠ Νο200 < 5%	$U > 4$ και $C_c = 1 \div 3$	<b>GW</b>	Χάλικες και αμμοχάλικα καλής διαβάθμισης	
		Ένα από τα ως άνω κριτήρια δεν ικανοποιείται		<b>GP</b>	Χάλικες ομοιόμορφης κοκκομετρίας	
		Χάλικες με λεπτόκοκκα ΔΠ Νο200 > 12%	Σημείο Atterberg κάτω από τη γραμμή A ή $IP < 4$		<b>GM</b>	Ιλυώδεις χάλικες, ιλυώδη αμμοχάλικα
		Σημείο Atterberg πάνω από τη γραμμή A ή $IP > 7$		<b>GC</b>	Αργιλώδεις χάλικες, αργιλώδη αμμοχάλικα	
	ΑΜΜΟΙ ΔΠ. Νο4 > 50%	Άμμος ΔΠ Νο200 < 5%	$U > 6$ και $C_c = 1 \div 3$		<b>SW</b>	Άμμος καλής διαβάθμισης
			Ένα από τα ως άνω κριτήρια δεν ικανοποιείται		<b>SP</b>	Άμμος μέτριας διαβάθμισης
		Άμμος με λεπτόκοκκα ΔΠ Νο200 > 12%	Σημείο Atterberg κάτω από τη γραμμή A ή $IP < 4$		<b>SM</b>	Ιλυώδεις άμμοι
			Σημείο Atterberg πάνω από τη γραμμή A ή $IP > 7$		<b>SC</b>	Αργιλώδεις άμμοι

Για ενδιάμεσες τιμές παραμέτρων, χρησιμοποιείται διπλό σύμβολο (π.χ. GW/GC, SW/SM)

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ ΔΠ. Νο200 > 50%		WL < 50 WL > 50	ML	Ανόργανες ιλεις χαμηλής πλαστικότητας
			Εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικά	CL
	CH	Ανόργανες ιλεις υψηλής πλαστικότητας	MH	Ανόργανες ιλεις υψηλής πλαστικότητας
	OH	Οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη υψηλής πλαστικότητας	$P_t$	Τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη

Γραμμή A:  $IP = 0,73$  (WL-20), Γραμμή B: WL = 50  
 Για εδαφικά υλικά με όρια Atterberg κοντά στη γραμμή B ( $\pm 2$  μονάδες) χρησιμοποιείται διπλό σύμβολο (π.χ. CL/CH, ML/MH)

**Πίνακας 1.9 :** Ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών.

Το κάθε είδος εδάφους συμβολίζεται με δύο λατινικά γράμματα. Το πρώτο G, S, M, C συμβολίζει τη βασική διάκριση, δηλαδή, χάλικες, άμμος, ιλύς, άργιλος αντίστοιχα. Το δεύτερο αφορά στοιχεία κοκκομετρίας (W,P), πλαστικότητας (L,H), ή και μίγματα εδαφών (π.χ. GM,SC).

Το USCS διαχωρίζει και αυτό τα εδάφη σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα με κριτήριο το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο200 που πρέπει να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το 50% αντίστοιχα για τα χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα εδάφη.

Στη συνέχεια για τα χονδρόκοκκα εδάφη γίνεται ο διαχωρισμός τους σε αμμοχάλικα και άμμο με γνώμονα το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο4 που πρέπει να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το 50% αντίστοιχα.

Στη συνέχεια γίνεται ο διαχωρισμός με βάση το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο200, που πρέπει να είναι μικρότερο από 5% για να έχουμε καθαρά αμμοχάλικα για τη κατηγορία αμμοχάλικα ή άμμο για τη κατηγορία άμμοι. Όταν έχουμε διερχόμενο ποσοστό μικρότερο από 12% έχουμε χάλικες με λεπτόκοκκα για τα αμμοχάλικα και άμμο με λεπτόκοκκα για τους άμμους. Στη συνέχεια η ειδικευμένη εργαστηριακή κατάταξη γίνεται με βάση τους συντελεστές ομοιομορφίας  $U$  και κοκκομετρικής καμπυλότητας  $C_c$ , καθώς και με το δείκτη πλαστικότητας  $IP$  ή σημείο Atterberg κάτω από τη γραμμή  $A$  και τέλος γίνεται η κατάταξη του εδάφους.

Στα αμμοχάλικα ανήκουν τέσσερις κατηγορίες, που είναι οι εξής:

- 1) χάλικες και αμμοχάλικα καλής διαβάθμισης (GW).
- 2) χάλικες ομοιόμορφης κοκκομετρίας (GP).
- 3) ιλυώδεις χάλικες, ιλυώδη αμμοχάλικα (GM).
- 4) αργιλώδεις χάλικες, αργιλώδη αμμοχάλικα (GC).

ενώ στους άμμους έχουμε άλλες τέσσερις κατηγορίες, που είναι:

- 1) άμμο καλής διαβάθμισης (SW).
- 2) άμμο μέτριας διαβάθμισης (SP).
- 3) ιλυώδη άμμο (SM).
- 4) αργιλώδη άμμο (SC).

Για τα λεπτόκοκκα εδάφη γίνεται με βάση το όριο υδαρότητας  $WL$  και το δείκτη πλαστικότητας  $IP$ . Τα λεπτόκοκκα εδάφη χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. ανόργανες ύλες χαμηλής πλαστικότητας (ML).
2. ανόργανες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας (CL).
3. οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη χαμηλής πλαστικότητας (OL).
4. ανόργανες ύλες υψηλής πλαστικότητας (MH).
5. ανόργανες άργιλοι υψηλής πλαστικότητας (CH). οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη υψηλής πλαστικότητας (OH) και
6. τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη (Pt).

Παρακάτω φαίνονται σε πίνακα τα βασικά χαρακτηριστικά των εδαφών με το σύστημα USCS.

Κατηγορίες εδαφών			Βασικά χαρακτηριστικά						
			Κατάλληλα ως υπέδαφος	Κατάλληλα ως υπόβραση	Επίδραση παγετού	Συμπιεστότητα & διόγκωση	Δυνατότητα αποστράγγισης	Τυπικές τιμές CBR (κ)	
Χαλικώδη εδάφη	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλκία ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Εξαιρετική	Εξαιρετική	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	40-80 (80-135)	
	GP	Ομοιόμορφα χαλκία ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Καλή έως εξαιρετική	Καλή	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	30-60 (80-135)	
	GM	Ιλυώδη χαλκία, ιλυώδη αμμοχάλικα	Καλή έως εξαιρετική	Καλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Ελάχιστη	Μέτρια έως κακή	20-60 (55-135)	
	GC	Αργιλωδή χαλκία, αργιλωδή αμμοχάλικα	Καλή	Μέτρια	Ελάχιστη έως μέτρια	Ελάχιστη	Κακή/αδιαπέρατο	20-40 (55-135)	
Αμμιώδη εδάφη	SW	Καλά διαβ/σμένες άμμοι ή αμμοχάλικα με λίγα λεπτόκοκκα	Καλή	Μέτρια έως καλή	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	20-40 (55-110)	
	SP	Ομοιόμορφες άμμοι, αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Μέτρια έως καλή	Μέτρια	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	10-40 (40-110)	
	SM	Ιλυώδεις άμμοι, μίγμα άμμου και αργίλου	Μέτρια έως κακή	Κακή έως μέτρια	Ελάχιστη έως υψηλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Μέτρια έως κακή	10-40 (27-80)	
	SC	Αργιλωδείς άμμοι, μίγμα άμμου και αργίλου	Κακή έως μέτρια	Κακή	Ελάχιστη έως υψηλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Κακή/αδιαπέρατο	5-20 (27-80)	
Ιλοαργιλωδή εδάφη	WL<50	ML	Ανόργανες ιλύες, πολύ λεπτές άμμοι, ιλο-αργιλωδείς άμμοι	Κακή έως μέτρια	Ακατάλληλη	Μέτρια έως πολύ μεγάλη	Ελάχιστη έως μέτρια	Μέτρια έως κακή	≤15 (27-55)
		CL	Ανόργανες άργιλοι μέσου-χαμηλού PI, χαλικώδεις, αμμώδεις, ιλυώδεις άργιλοι	Κακή έως μέτρια	Ακατάλληλη	Μέτρια έως μεγάλη	Μέτρια	Κακή/αδιαπέρατο	≤15 (14-40)
		OL	Οργανικές ιλύες και οργανικές ιλυώδεις άμμοι χαμηλού PI	Κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια έως μεγάλη	Μέτρια έως υψηλή	Κακή	≤5 (14-40)
	WL>50	MH	Ανόργανες ιλύες υψηλού PI	Κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια/Μεγάλη	Υψηλή	Μέτρια έως κακή	≤10 (14-40)
		CH	Ανόργανες άργιλοι υψηλού PI	Κακή/μέτρια	Ακατάλληλη	Μέτρια	Υψηλή	Σχεδ. Αδιαπέρατο	≤15 (14-40)
		OH	Οργανικές άργιλοι μέσου έως υψηλού PI	Κακή έως πολύ κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια	Υψηλή	Σχεδ. Αδιαπέρατο	≤5 (7-27)
	Pt	Βουρκώδη και τυρφώδη εδάφη	Ακατάλληλη	Ακατάλληλη	Ελάχιστη	Πολύ υψηλή	Μέτρια έως κακή	-	

Πίνακας 1.10 : Πίνακας βασικών χαρακτηριστικών των εδαφών με το σύστημα USCS.



Το σύστημα κατάταξης κατά ASTM και το ενοποιημένο σύστημα κατάταξης USCS κατατάσσουν το έδαφος με τον ίδιο τρόπο.

### **1.2.6 Συγκριτική κατάταξη εδαφών σύμφωνα με τα διάφορα συστήματα.**

Οι πληροφορίες που υπάρχουν για τα εδαφικά υλικά συχνά αναφέρονται σε ένα σύστημα κατάταξης εδαφών. Η μετάβαση από ένα συγκεκριμένο σύστημα σε ένα άλλο, κάθε άλλο παρά απλή υπόθεση είναι και θα πρέπει να βασίζεται στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών. Ενδεικτικά, ωστόσο, μια αντιστοιχία ομάδων εδάφους κατά τρεις διαφορετικές μεθόδους κατάταξης δίνεται στο πίνακα 1.11.

Το θέμα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για εφαρμογές οδοποιίας, όπου συχνά χρησιμοποιείται το σύστημα AASHTO αντί του ευρέως διαδεδομένου σε προβλήματα εδαφομηχανικής ενοποιημένου συστήματος (USCS).

<i>USCS</i>	<i>Κατάταξη AASHTO</i>	<i>Κατάταξη FAA</i>
GW	A-1-a	Χαλικώδη, αμμοχαλικώδη εδάφη μη περιλαμβανόμενα στο σύστημα
GP	A-1-a	
GM	A-1-b, A-2-4, A-5	
GC	A-2-6, A-2-7	
SW	A-1-b	
SP	A-3	E-1, E-2, E-3
SM	A-1-b, A-2-5, A-5	E-3, E-4, E-5
SC	A-2-6, A-2-7	E-4, E-5
ML	A-4	E-6, E-8, E-9
CL	A-6, A-7-5	E-7, E-8, E-9
OL	A-4, A-7-5	E-6
MH	A-5	E-9
CH	A-7	E-10, E-11, E-12
OH	A-7	E-11, E-12
P <sub>t</sub>		E-13
Οι αντιστοιχίσεις του πίνακα είναι προσεγγιστικές		

**Πίνακας 1.11 :** Σύγκριση συστημάτων κατάταξης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

#### 2.1 Εισαγωγή

Η τάση για κατασκευή μικρών ή μεγάλων έργων σε όλο και πιο δύσκολες κατασκευαστικά περιοχές, έχει σαν αποτέλεσμα την εκσκαφή περιοχών, για δυνατόν εντοπισμό καλύτερου εδάφους θεμελίωσης ή τη χρησιμοποίηση του εδάφους εκσκαφής για τη κατασκευή κυρίως επιχωμάτων.

Η εκσκαφή όμως αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή των χαρακτηριστικών παραμέτρων της φυσικής εδαφικής μάζας. Παρατηρούμε, δηλαδή, κατά την εκσκαφή, μεταφορά και απόθεση του, μια αύξηση του όγκου, που στη πράξη αποδίδεται με το πολλαπλασιασμό του αρχικού όγκου του εδάφους, περίπου επί το συντελεστή 1,25.

Η αύξηση αυτή του όγκου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του πορώδους, της διαπερατότητας και της συμπιεστότητας του εδάφους, καθώς επίσης τη μείωση της πυκνότητας και της διατμητικής αντοχής του.

Τα προβλήματα αυτού του τύπου επομένως απαιτούν συμπίκνωση της μάζας του εδάφους στη νέα θέση, για τη πρόληψη αστοχιών σε έργα που το κύριο κατασκευαστικό υλικό είναι το έδαφος.

Με τον όρο συμπίκνωση, εννοούμε τη με μηχανικά μέσα, τεχνητή βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους, σαν αποτέλεσμα της αύξησης της πυκνότητας του.

Η συμπίκνωση αυτή της εδαφικής μάζας, δεν είναι τίποτε άλλο, παρά μια κατάλληλη επαναδιάταξη των κόκκων της, που παραμένει πλέον αμετάβλητη, μέσα σε όρια που δίνονται από τις κατάλληλες προδιαγραφές για το εκτελούμενο έργο. Η επίτευξη αυτής της συμπίκνωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, που οι κυριότεροι είναι:

- Η κοκκομετρική σύνθεση του εδάφους.
- Η σφαιρικότητα και η σκληρότητα των κόκκων και
- Η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους.

Η επαναδιάταξη αυτή των κόκκων, απαιτεί τη καταβολή έργου που θα πρέπει να είναι ικανό για το σκοπό αυτό. Έτσι για τις δυο μεγάλες κατηγορίες εδαφών, τα συνεκτικά και τα μη συνεκτικά εδάφη εφαρμόζονται για το σκοπό αυτό, μέθοδοι στατικής ή δυναμικής συμπίκνωσης και δονητικές μέθοδοι συμπίκνωσης αντίστοιχα.

Οι κυριότερες ιδιότητες του εδάφους ή μιας εδαφικής μάζας που επηρεάζονται από τη συμπίκνωση είναι:

- Η παραμορφωσιμότητα και η προκαλούμενη καθίζηση.
- Η διατμητική αντοχή.
- Η διαπερατότητα.

- Η πυκνότητα και η τάση μεταβολής όγκου.

Συνοπτικά, αναφέρεται ότι η συμπίκνωση προκαλεί μείωση της παραμορφωσιμότητας και της διαπερατότητας και αύξηση της διατμητικής αντοχής. Η ευεργετική αυτή δράση της διαδικασίας συμπίκνωσης κρίνεται απαραίτητη στο σύνολο των γεωκατασκευών οδοποιίας.

Η συμπίκνωση δεν επηρεάζει όλα τα εδαφικά υλικά με τον ίδιο τρόπο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η υπερβολική συμπίκνωση είναι ανεπιθύμητη. Για κάποια εδάφη, η τάση μεταβολής όγκου (διόγκωση), που προκύπτει από υπερσυμπύκνωση μπορεί να είναι σημαντικότερη (και ιδιαίτερα επικίνδυνη) από μια αύξηση της διατμητικής αντοχής.

### **2.1.1 Συνθήκες συμπίκνωσης.**

Για την εκτέλεση της συμπίκνωσης μιας εδαφικής μάζας ο μηχανικός μπορεί να προκαθορίσει, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα, τρεις βασικούς παράγοντες: τη περιεχόμενη υγρασία του υλικού, την ενέργεια συμπίκνωσης και τον τρόπο συμπίκνωσης. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς επηρεάζει όπως προαναφέρθηκε, τις ιδιότητες της εδαφικής δομής που υπόκειται σε συμπίκνωση και ιδιαίτερα

- Τη διαπερατότητα.
- Τη συμπιεστότητα.
- Την αντοχή και τους νόμους τάσεων – παραμορφώσεων.

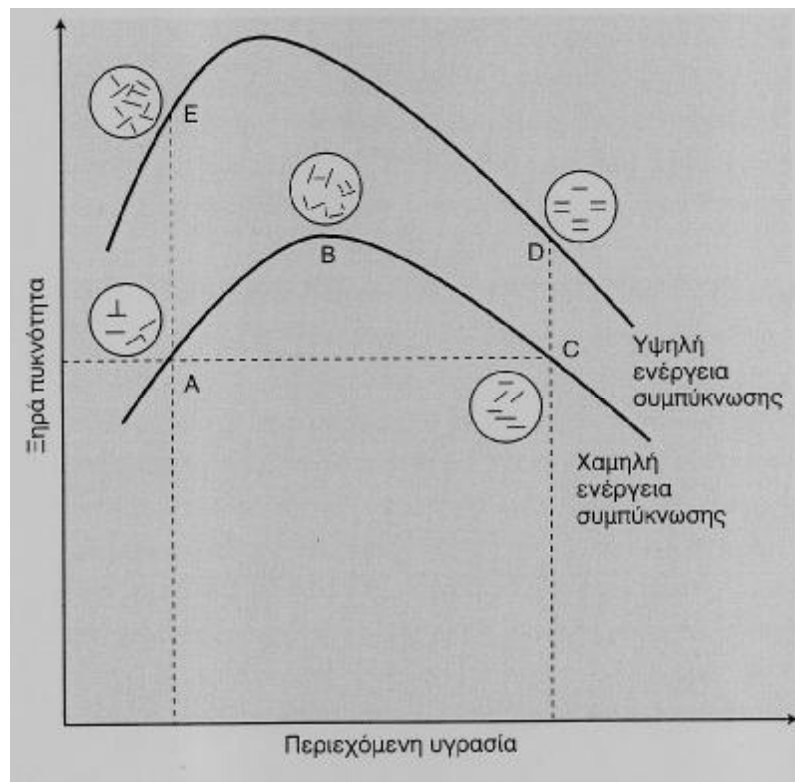
Ο βέλτιστος συνδυασμός των τριών παραγόντων είναι συνάρτηση της φύσης του εδάφους αλλά και του είδους του έργου. Τα λεπτόκοκκα εδάφη είναι περισσότερο ευαίσθητα στην επίδραση των συνθηκών συμπίκνωσης απ' ότι τα χονδρόκοκκα. Στα σημαντικά οδικά έργα θα πρέπει, κατά το στάδιο της μελέτης, να διερευνάται η επίδραση των συνθηκών συμπίκνωσης στις ιδιότητες των εδαφικών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν με στόχο την επιλογή των καταλληλότερων μηχανημάτων προς επίτευξη μιας οδικής κατασκευής με άρτια μηχανική συμπεριφορά.

Καθοριστικό κριτήριο για τη ποιότητα της συμπίκνωσης αποτελεί η τιμή της ξηράς πυκνότητας  $\gamma_d$ . Για μια συγκεκριμένη ενέργεια συμπίκνωσης η τιμή της ξηράς πυκνότητας του εδαφικού υλικού που υφίσταται συμπίκνωση είναι συνάρτηση της φυσικής υγρασίας. Το διάγραμμα ( $W, \gamma_d$ ) έχει τη μορφή μιας καμπύλης που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (Σχήμα 2.1.), ενώ η μέγιστη ξηρά πυκνότητα επιτυγχάνεται για μια συγκεκριμένη τιμή της φυσικής υγρασίας. Η τιμή αυτή ονομάζεται βέλτιστη φυσική υγρασία και για κάθε υλικό είναι συνάρτηση της ενέργειας συμπίκνωσης.

Η βέλτιστη φυσική υγρασία είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία το υλικό γίνεται αρκετά εργάσιμο ώστε, υποκείμενο σε θλιπτικά φορτία, να οδηγηθεί σε μια πυκνή δομή στερεών κόκκων και σε απομάκρυνση του αέρα από τη μάζα του. Για τα περισσότερα εδαφικά υλικά, με εξαίρεση τις καθαρές άμμους, όταν η φυσική υγρασία είναι μικρότερη της βέλτιστης, το έδαφος είναι δύσκολο να συμπτυκωθεί. Κατά τη διαδικασία συμπίκνωσης, στόχος είναι η υγρασία του εδαφικού υλικού να είναι κατά το δυνατόν πλησιέστερα στη βέλτιστη. Για τιμές της φυσικής υγρασίας μεγαλύτερες της βέλτιστης, τα περισσότερα εδάφη δεν μπορούν να αποκτήσουν πυκνή δομή, επειδή το νερό εμποδίζει τη προσέγγιση των στερεών κόκκων. Η συμπεριφορά ορισμένων εδαφικών υλικών, για τιμές φυσικής υγρασίας μεγαλύτερες της βέλτιστης χαρακτηρίζεται από το σταθερό ποσοστό κενών στη δομή των υλικών ακόμη και όταν αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία.

Η ασκούμενη ενέργεια συμπίκνωσης είναι καθοριστική για κάθε υλικό. Όσο υψηλότερη είναι η ενέργεια, τόσο αυστηρότερος πρέπει να είναι ο έλεγχος της περιεχόμενης υγρασίας. Για την ίδια τιμή φυσικής υγρασίας (σημεία C και D) η δυσκολία συμπίκνωσης

που παρουσιάζεται στην υψηλή ενέργεια είναι μεγαλύτερη και το υλικό τείνει σε κατάσταση κορεσμού.



**Σχήμα 2.1 :** Διάγραμμα φυσικής υγρασίας – ξηράς πυκνότητας.

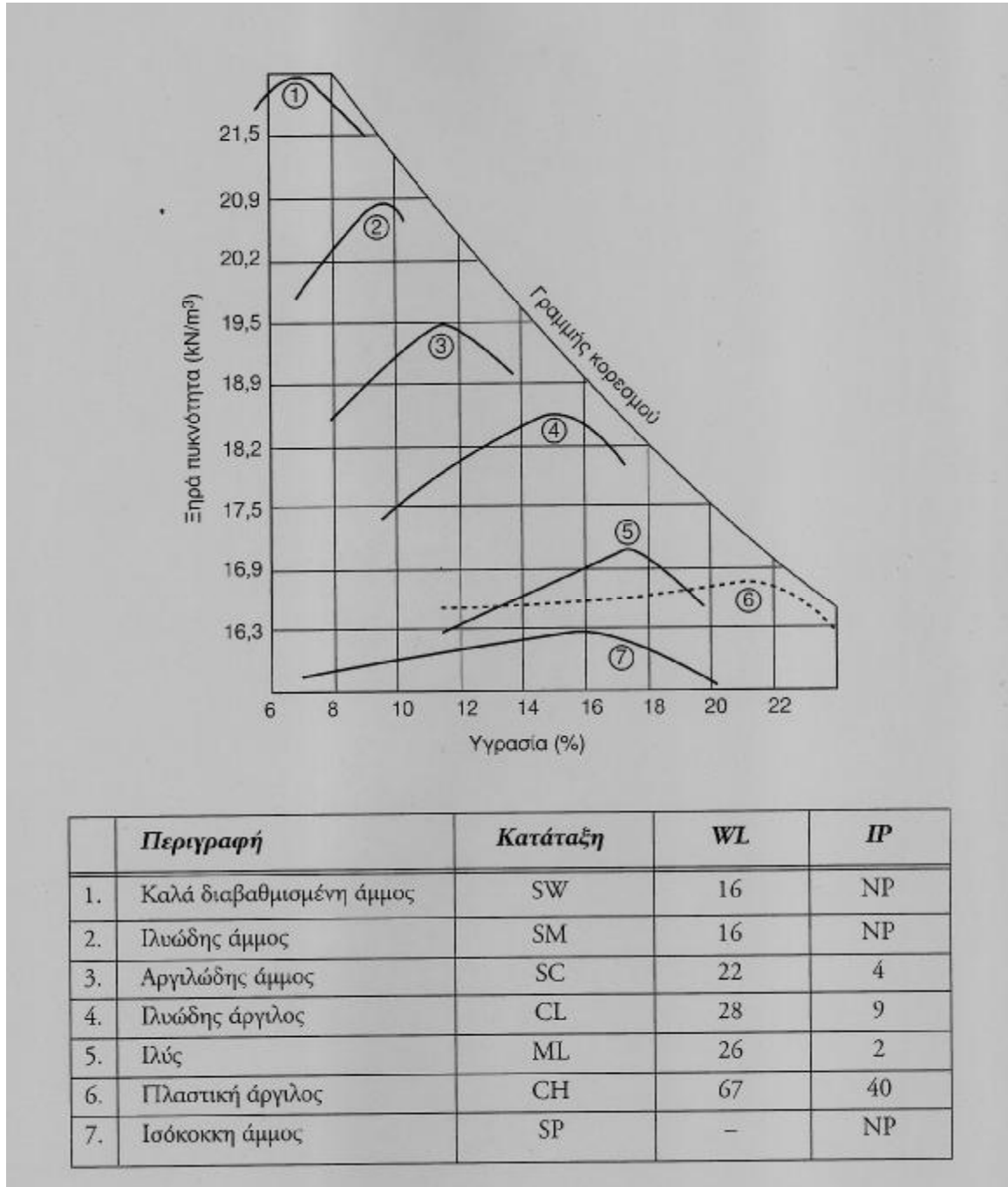
Η σχέση « πυκνότητας – υγρασίας » είναι χαρακτηριστική και χρησιμεύει για το προσδιορισμό της κατάλληλης από πλευράς εργασιμότητας, κατάστασης του εδάφους, μέσα σε ένα πεδίο διαφόρων τιμών υγρασίας. Η σχέση αυτή και η σχετική καμπύλη αντιστοιχούν σε προκαθορισμένη ενέργεια συμπίκνωσης, η οποία, στο πλαίσιο του εργαστηριακού ελέγχου είναι για κάθε μέθοδο, απόλυτα συγκεκριμένη. Έτσι, κατά τον εργαστηριακό έλεγχο ενός εδαφικού υλικού ζητείται να προσδιοριστεί η τιμή της υγρασίας για την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή της ξηράς πυκνότητας.

### **2.1.2 Χαρακτηριστικά συμπίκνωσης διαφόρων εδαφών.**

Η φύση ενός εδάφους έχει μεγάλη επίδραση στη συμπεριφορά του, απέναντι σε ένα εγχείρημα συμπίκνωσης. Εδάφη ιδιαίτερα μικρής πυκνότητας μπορούν να έχουν μέγιστη ξηρά πυκνότητα, για συγκεκριμένη ενέργεια συμπίκνωσης έως και  $10 \text{ kN/m}^3$  ( $= 1 \text{ t/m}^3$ ). Υπό την ίδια ενέργεια συμπίκνωσης, μια άργιλος αποκτά μέγιστη ξηρά πυκνότητα  $15 - 17 \text{ kN/m}^3$ , ενώ αντίθετα, ένα καλά διαβαθμισμένο αμμοχάλικο φτάνει μια τιμή πυκνότητας  $23 \text{ kN/m}^3$ . Σχέσεις «πυκνότητας – υγρασίας» για επτά διαφορετικά είδη εδάφους παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2., για συγκεκριμένη και ενιαία ενέργεια συμπίκνωσης.

Αν η ενέργεια συμπίκνωσης αυξηθεί, η καμπύλη μετατοπίζεται σχεδόν παράλληλα προς τα πάνω και αριστερά, πράγμα που υποδηλώνει υψηλότερη τιμή για τη μέγιστη ξηρά

πυκνότητα. Η μέγιστη ξηρά πυκνότητα αντιστοιχεί, στη περίπτωση αυτή, σε μια μικρότερη τιμή της βέλτιστης φυσικής υγρασίας.



Σχήμα 2.2 : Σχέσεις πυκνότητας – υγρασίας για επτά είδη εδαφών.

## **2.2 Εργαστηριακή μέθοδος συμπίκνωσης εδαφών – δοκιμή κατά PROCTOR.**

Οι πρώτες συστηματικές εργαστηριακές έρευνες για τη συμπίκνωση των εδαφών έγιναν από τον Proctor. Ο Proctor προσπάθησε να προσδιορίσει εργαστηριακά μια σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό ενός εδάφους και της ενέργειας συμπίκνωσης του, με τρόπο που η συμπίκνωση να είναι η μέγιστη δυνατή. Στις προσπάθειες αυτές πέτυχε τη συμπίκνωση ενός εδάφους τοποθετημένου σε μεταλλικό κύλινδρο (μήτρα ή τύπο), με την ελεύθερη πτώση σφύρας κατά στρώσεις.

Αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών ήταν η καθιέρωση της πρότυπης μεθόδου συμπίκνωσης κατά Proctor, που με τις παραλλαγές της, που έχουν εφαρμοσθεί μας παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της βέλτιστης υγρασίας για καθορισμένη ζητούμενη ενέργεια συμπίκνωσης εδάφους.

Όπως αναφέραμε στην αρχή, η συμπίκνωση δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια κατάσταση επαναδιάταξης των κόκκων του εδάφους, ανάλογη με την ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε, για τη νέα κατάσταση του εδάφους. Επομένως η υφή του εδάφους σε μια δεδομένη χρονική στιγμή καθορίζεται από το μέγεθος των τριβών των κόκκων και την ενέργεια που μεταβιβάζεται σε αυτούς.

Έτσι για να πετύχουμε μια πύκνωση των κόκκων του εδάφους θα πρέπει να καταβάλλουμε μια μεγαλύτερη προσπάθεια από αυτή που δημιούργησε τη προηγούμενη κατάσταση. Με το σκεπτικό αυτό, καταβάλλοντας ενέργεια πετυχαίνουμε, υπερνικώντας τις συνεχώς αυξανόμενες τριβές των κόκκων, μεγαλύτερη πυκνότητα, καθώς οι κόκκοι πλησιάζουν μεταξύ τους. Η ύπαρξη νερού μεταξύ των κόκκων υπερνικά μέρος από τις τριβές, καθώς λειτουργεί σαν λιπαντικό μεταξύ αυτών. Επομένως για μια ορισμένη ποσότητα νερού, μεγαλύτερη της προηγούμενης, έχουμε τη μεγαλύτερη προσέγγιση των κόκκων, μέχρι που η μορφολογία τους θα δημιουργήσει κατάσταση στατικής ισορροπίας, με αποτέλεσμα την αναστολή συμπίκνωσης, με ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό, τη βέλτιστη υγρασία.

Όμως και για την ενέργεια συμπίκνωσης υπάρχουν κάποια όρια, καθώς πέρα από κάποιο ποσό ενέργειας, ο έγκλειστος αέρας των πόρων παραλαμβάνει πιέσεις, δημιουργώντας παράλληλα κάποια αντίσταση στη συμπίκνωση. Με το πέρας της φόρτισης η πίεση αυτή δημιουργεί αντιστρεπτό φαινόμενο (διόγκωση), εμφανίζοντας το έδαφος σαν ελαστικό με απαράδεκτες παραμορφώσεις αρκετές φορές.

Σκοπός, λοιπόν, των δοκιμών κατά Proctor είναι ο προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας των εδαφών με συμπίκνωση αυτών μέσα σε τύπο καθορισμένων προδιαγραφών.

Στη συνέχεια αφού πραγματοποιηθεί η συμπίκνωση προσδιορίζεται το ξηρό ειδικό βάρος ή ξηρά πυκνότητα του δείγματος. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για διάφορες περιεκτικότητες σε νερό, ώστε να μπορεί να καθοριστεί με σαφήνεια η σχέση μεταξύ ξηράς πυκνότητας και υγρασίας.

Η δοκιμασία Proctor διακρίνεται σε:

- ⊗ Πρότυπη (ή απλή), που γίνεται με έργο συμπίκνωσης που ανταποκρίνεται στη χρησιμοποίηση του συνηθισμένου εργοταξιακού μηχανικού εξοπλισμού, και
- ⊗ Τροποποιημένη (βελτιωμένη), που γίνεται με έργο συμπίκνωσης μεγαλύτερο, ώστε να ανταποκρίνεται στη χρησιμοποίηση βαρύτερων μηχανημάτων.

Συμπερασματικά η μέθοδος αυτή έχει στόχο να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφών πάνω στα οποία πρόκειται να εκτελεστούν έργα, όπως, οδοποιία, φράγματα, κτιριακά έργα κ.λ.π.

### **2.2.1 Τρόπος εργασίας.**

Συνήθως στις εργαστηριακές δοκιμές χρησιμοποιείται έδαφος που διέρχεται από το κόσκινο Νο 4 ( $d < 4.76 \text{ mm}$ ) ή διερχόμενα από το κόσκινο  $\frac{3}{4}$ " ( $d < 19.05 \text{ mm}$ ).

Αν το δείγμα του εδάφους που λαμβάνεται από το έργο είναι υγρό ξηραίνεται σε κλίβανο με θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Κατόπιν θραύονται καλά τα συσσωματώματα χωρίς να ελαττωθεί το φυσικό μέγεθος των κόκκων και αφού ληφθεί αντιπροσωπευτική ποσότητα το υλικό διέρχεται από το κόσκινο Νο 4. Απορρίπτεται το συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4 αν υπάρχει. Σε περίπτωση που το ποσοστό του υλικού που συγκρατείται στο κόσκινο Νο 4 είναι μεγαλύτερο από 7 % ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

Αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος κοσκινίζεται με το κόσκινο  $\frac{3}{4}$ ". Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό, το συγκρατούμενο στο κόσκινο, αν υπάρχει και είναι λιγότερο από 10 %. Σε περίπτωση που περισσότερο από 10 % του υλικού συγκρατείται, τότε είναι σκόπιμο να διατηρηθεί το ίδιο ποσοστό % χονδρόκοκκου υλικού (διερχόμενο από το κόσκινο 2" και συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4), στο δείγμα υγρασίας – πυκνότητας όπως στο αρχικά ληφθέν από το έργο δείγμα. Το συγκρατούμενο υλικό στο κόσκινο  $\frac{3}{4}$ " αντικαθίσταται με τον ακόλουθο τρόπο:

Κοσκινίζεται επαρκής ποσότητα από το αντιπροσωπευτικό κονιοποιημένο έδαφος με τα κόσκινα 2" και  $\frac{3}{4}$ ". Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο 2". Ζυγίζεται το διερχόμενο υλικό από το κόσκινο 2" και συγκρατούμενο στο κόσκινό  $\frac{3}{4}$ " και αντικαθίσταται με υλικό ίσου βάρους διερχόμενο από το κόσκινο  $\frac{3}{4}$ " και συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4. το προς αντικατάσταση υλικό λαμβάνεται από το αρχικό μη χρησιμοποιημένο μέρος του δείγματος.

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους περίπου 5,5 kg ή περισσότερο από το έδαφος που προετοιμάστηκε και αναμιγνύεται καλά με κατάλληλη ποσότητα νερού για να υγρανθεί κατά 4 μονάδες περίπου, επί τοις % του βάρους, κάτω από τη βέλτιστη υγρασία. (Γενικά για αμμώδη και χαλικώδη εδάφη 4 % έως 6 % είναι κατάλληλη, ενώ για συνεκτικά εδάφη μια υγρασία 8 % - 10 % κάτω από το όριο πλαστικότητας είναι κατάλληλη για τη αρχική ανάμιξη.)

Σχηματίζεται ένα δοκίμιο με συμπίκνωση του αναμεμιγμένου με νερό εδάφους μέσα στον υποδοχέα των 101,6 mm (με το δακτύλιο προσαρμοσμένο) σε τρεις ίσες στρώσεις συνολικού πάχους περίπου 127 mm. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ομοιόμορφα διανεμημένους κτύπους με τον κόπανο πέφτοντας από ύψος 30,5 cm. Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης ο υποδοχέας στηρίζεται σε σταθερή βάση. Η ενέργεια συμπίκνωσης ή ειδική ενέργεια (specific energy), σε περιπτώσεις εργαστηριακών δοκιμών, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E = \frac{N * G * h}{V}$$

Όπου N : ο αριθμός των κτύπων

G : το βάρος του κόπανου

h : το ύψος πτώσης

V : ο όγκος του δοκιμίου

Μετά τη συμπύκνωση, απομακρύνεται ο πρόσθετος δακτύλιος, περικόπτεται προσεκτικά, με κανόνα, το συμπυκνωμένο έδαφος μέχρι τα χείλη του υποδοχέα και λαμβάνεται το βάρος αυτού μαζί με το δοκίμιο. Αφαιρείται το βάρος του υποδοχέα και με γνωστή τη χωρητικότητα του, V, υπολογίζεται το υγρό ειδικό βάρος,  $\gamma$ , του συμπυκνωμένου εδάφους σε kg / m<sup>3</sup> σαν:

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

Όπου: G το βάρος του συμπυκνωμένου στον υποδοχέα δοκιμίου και

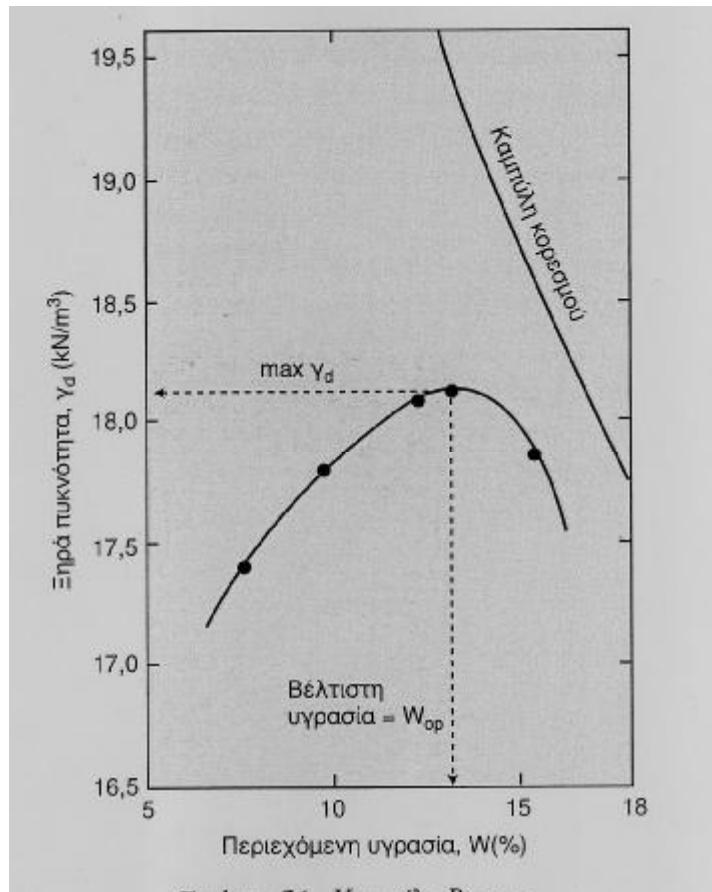
V ο όγκος του συμπυκνωμένου δοκιμίου.

Εξάγεται το δοκίμιο από τον υποδοχέα και αποκόπτεται κάθετα με ένα επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο του. Λαμβάνεται δείγμα βάρους τουλάχιστον 100 gr, από μία από τις δύο επιφάνειες της τομής και προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία του.

Το υπόλοιπο υλικό θραύεται τελείως μέχρι που να διέρχεται από το κόσκινο Νο 4 Προστίθεται νερό σε επαρκή ποσότητα ώστε να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία του εδαφικού δείγματος κατά μία ή δύο μονάδες επί τοις % και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία για κάθε νέα αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Συνεχίζεται η σειρά αυτή των προσδιορισμών,  $\gamma - W$  %, μέχρι να ελαττωθεί ή να μεταβληθεί το υγρό ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου εδάφους.

Στις περιπτώσεις που το εδαφικό υλικό είναι εύθραυστο και θα ελαττωθεί σημαντικά το μέγεθος των κόκκων λόγω των επαναλαμβανόμενων συμπυκνώσεων και στις περιπτώσεις όπου το έδαφος είναι αργιλώδες υλικό, εντός του οποίου είναι δύσκολο να ενσωματωθεί το νερό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα ξεχωριστό, νέο μείγμα για κάθε δοκιμή συμπύκνωσης. Στις περιπτώσεις αυτές, ξεχωριστά δείγματα αναμιγνύονται καλά με κατάλληλες ποσότητες νερού για να προσδώσουν περιεχόμενες υγρασίες στα δείγματα, που διαφέρουν κατά περίπου 2 μονάδες επί τοις %.





Σχήμα 2.3 : Καμπύλη Proctor

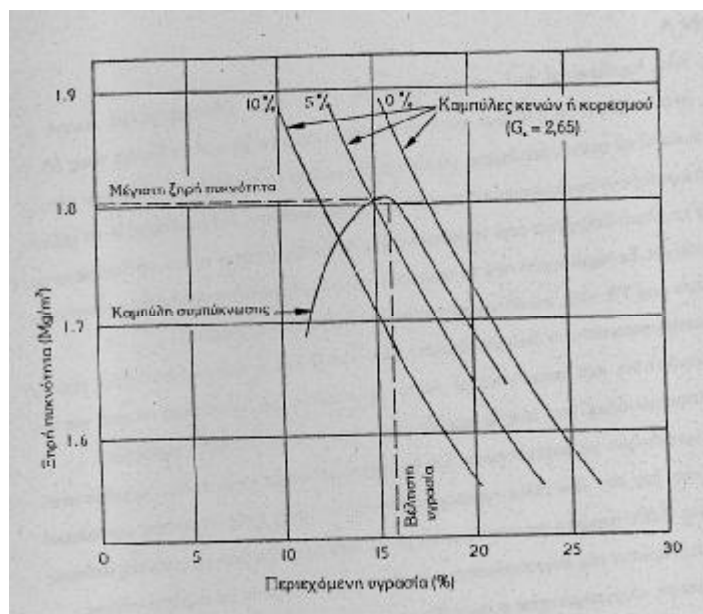
### 2.2.2 Υπολογισμοί.

Με γνωστό το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας  $W$  % και το υγρό ειδικό βάρος,  $\gamma$ , προσδιορίζεται το ξηρό ειδικό βάρος ή ξηρά πυκνότητα,  $\gamma_d$ , σαν:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}} \quad \text{ή} \quad \gamma_d = \frac{\gamma * 100}{100 + W(\%)}$$

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με τη βοήθεια διαγράμματος όπως αυτό της εικόνας με τετημημένες τις περιεχόμενες υγρασίες ( $W$  %) και τεταγμένες τις ξηρές πυκνότητες συνήθως εκφρασμένες σε  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Η καμπύλη που προκύπτει με σύνδεση των σημείων,  $W - \gamma_d$ , αποτελεί τη καμπύλη συμπίκνωσης (compaction curve), από την οποία προσδιορίζεται η βέλτιστη υγρασία του εδάφους, για τη συγκεκριμένη συμπίκνωση, σαν η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης. Η μέγιστη ξηρά πυκνότητα που αντιστοιχεί σ' αυτό το σημείο, προσδιορίζεται επίσης.



**Σχήμα 2.4 :** Διάγραμμα δοκιμής συμπίκνωσης.

### **2.2.3 Εργαστηριακός εξοπλισμός.**

#### **2.2.3.1 Συσκευές.**

- 1) Τύπος κυλινδρικού σχήματος μεταλλικός μετά δακτυλίου ύψους περίπου 6,3 cm. Διαστάσεις τύπου βάσει προδιαγραφών ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο.
- 2) Μεταλλικός κόπανος διαστάσεων και βάρους βάσει προδιαγραφών.
- 3) Εξολκέας δείγματος: κατάλληλη συσκευή για την εξαγωγή των συμπτυκνωθέντων δοκιμίων από το τύπο.
- 4) Ζυγοί: ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 10 kg και ακρίβειας έως 5 gr και ένας ζυγός ικανότητας 1 kg και ακρίβειας έως 0,1 gr.
- 5) Θερμοστατικός ελεγχόμενος κλίβανος ξηράνσεως ικανός για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  για τη ξήρανση υγρών δειγμάτων.
- 6) Κανόνας χαλύβδινος μήκους 30 cm που έχει τη μία πλευρά λοξά κομμένη.
- 7) Κόσκινο  $\frac{3}{4}$ "
- 8) Εργαλεία αναμείξεως (λεκάνη, κουτάλι, μυστρί, σπάτουλα κ.λ.π.)

#### **2.2.3.2 Υλικά.**

- 1) Εδαφικό δείγμα διερχόμενο από το κόσκινο  $\frac{3}{4}$ ".



**Εικόνα 2.1 :** Εξοπλισμός για την επίτευξη της δοκιμής συμπίκνωσης κατά Proctor.

#### **2.2.4 Έντυπο μετρήσεων.**

**ΕΝΤΥΠΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR**

<b>ΕΡΓΟ</b>	
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	

<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΤΡΑΣ</b>	
<b>Ύψος H</b>	
<b>Διάμετρος D</b>	
<b>Όγκος V</b>	

	<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
A	Βάρος υγρού δείγματος και τύπου	gr							
B	Βάρος τύπου	gr							
Γ	Βάρος υγρού δείγματος	gr							
Δ	Όγκος τύπου	cm <sup>3</sup>							
E	Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>							
Ξ	Περιεχόμενη υγρασία	%							
Z	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>							

<b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ</b>									
	<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Θ	Αριθμός υποδοχεία								
I	Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχεία	gr							
K	Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχεία	gr							
Λ	Βάρος ύδατος	gr							
M	Βάρος υποδοχεία	gr							
N	Βάρος ξηρού δείγματος	gr							
Ξ	Περιεχόμενη υγρασία	%							

<b>Μέγιστη εργαστηριακή ξηρά πυκνότητα gr/cm<sup>3</sup></b>	
<b>Βέλτιστη υγρασία %</b>	

<b>Παρατηρήσεις:</b>

<b>Ο εκτελέσας τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης εργαστηρίου</b>

### **2.3 Μέτρηση επιτευχθείσας συμπύκνωσης επιτόπου του έργου – Μέθοδος κώνου και άμμου.**

Αφού ολοκληρωθεί η διάστρωση και η συμπύκνωση κάθε στρώσης υλικού ακολουθεί ο έλεγχος του βαθμού συμπύκνωσης δια προσδιορισμού της ξηράς πυκνότητας  $\gamma_d$  που επιτεύχθηκε στο εργοτάξιο.

Στην Ελλάδα για τον προσδιορισμό της ξηράς πυκνότητας επικρατέστερη μέθοδος είναι, η μέθοδος κώνου και άμμου. Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τη πυκνότητα σε τοποθεσία με ρηγά εδάφη και ιδιαίτερα σε συμπαγή εδάφη που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή εθνικών δρόμων, για χωματώδη φράγματα και σε διάφορες άλλες κατασκευές. Σύμφωνα με αυτή, διανοίγεται στο συμπυκνωμένο έδαφος οπή χωρητικότητας τουλάχιστον  $1500 \text{ cm}^3$ . το εσκαπτόμενο έδαφος αφαιρείται επιμελώς και ζυγίζεται αμέσως ούτως ώστε να μη πραγματοποιηθεί απώλεια νερού λόγω εξάτμισης.

Ο προσδιορισμός του όγκου  $V$  γίνεται στο εργοτάξιο, τοποθετώντας, στη θέση όπου αφαιρέθηκε το δείγμα, άμμο μέχρις ότου καλυφθεί εντελώς το κενό. Ο όγκος βρίσκεται από τη σχέση:

$$V = \frac{G}{\gamma_a}$$

όπου  $G$  : το βάρος της άμμου

$\gamma_a$  : το ειδικό βάρος της άμμου

Η ξηρά πυκνότητα του δείγματος είναι:

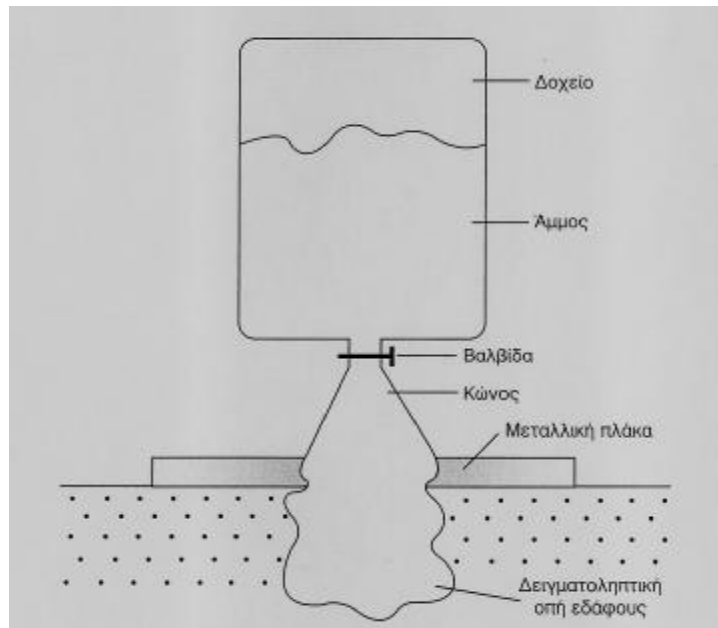
$$\gamma_d = \frac{G_s}{V}$$

όπου  $G_s$  : βάρος ξηρής άμμου

$V$  : ο όγκος της άμμου

την οποία και συγκρίνουμε με το μέγιστη ξηρά πυκνότητα κατά Proctor, που διαπιστώθηκε στο εργαστήριο ότι μπορεί να επιτευχθεί.

Η διάταξη της συσκευής που χρησιμοποιείται στην εν λόγω δοκιμή φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 2.2 :** Μέθοδος «κώνου και άμμου».

Ο βαθμός συμπίκνωσης DC (Degree of Compaction), σύμφωνα με τη μέθοδο Proctor, συμβατική ή τροποποιημένη αντίστοιχα είναι:

$$DC(\%) = \frac{\gamma_d}{\gamma_N} * 100, \quad \text{ή} \quad DC(\%) = \frac{\gamma_d}{\gamma_M} * 100$$

Ανάλογα με τις συμβατικές υποχρεώσεις η τιμή του βαθμού συμπίκνωσης είναι σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές ίση τουλάχιστον προς 90% κατά την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

### **2.3.1 Τρόπος εργασίας – Υπολογισμοί.**

#### Α) Προσδιορισμός του όγκου της συσκευής (μέχρι τη βαλβίδα)

1. Ζυγίζουμε το δοχείο κενό ( $G_1$ ).
2. Τοποθετούμε το δοχείο σε όρθια θέση και ανοίγουμε τη βαλβίδα.
3. Γεμίζουμε με απεσταγμένο νερό τη συσκευή μέχρι να προσεγγίσει τη βαλβίδα και απομακρύνουμε τυχόν περισσεύουσα ποσότητα νερού πάνω από τη βαλβίδα. Κλείνουμε τη βαλβίδα.
4. Ζυγίζουμε το δοχείο με το νερό ( $G_2$ ) και προσδιορίζουμε τη θερμοκρασία του νερού ( $T_1$ ).

#### **Υπολογισμοί:**

Βάρος νερού συσκευής:  $G = G_2 - G_1 \text{ gr}$

Όγκος συσκευής:  $V = G * K_w$

Το  $K_w$  δίνεται από το παρακάτω πίνακα συναρτήσεων  $T_1$  (Πίνακας 2.1)

<b>ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΥΤΟΥ</b>		
<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>		$\gamma_w = 1 / K_w$
<b>°C</b>	<b>°F</b>	<b><math>K_w = 1 /</math> ειδικό βάρος νερού</b>
12	53.6	1,00048
14	57.2	1,00073
16	60.8	1,00103
18	64.4	1,00138
20	68.6	1,00177
22	71.6	1,00221
24	75.2	1,00268
26	78.8	1,00320
28	82.4	1,00375
30	86.0	1,00435
32	89.6	1,00497

**Πίνακας 2.1:** Ειδικό βάρος νερού αναλόγως της θερμοκρασίας του.

#### B) Προσδιορισμός ειδικού βάρους της άμμου.

1. Τοποθετούμε το άδειο δοχείο σε όρθια θέση και το συνδέουμε με τη βαλβίδα της χοάνης.
2. Κλείνουμε τη βαλβίδα και γεμίζουμε τη χοάνη με άμμο.
3. Γεμίζουμε το δοχείο με άμμο, ανοίγοντας τη βαλβίδα της χοάνης, προσέχοντας όμως να μη ξεπερνάει η στάθμη της άμμου της χοάνης το μέσον αυτής, κατά την εκροή της άμμου στο δοχείο. Αυτός ο χειρισμός γίνεται προσεκτικά ώστε να αποφύγουμε διάφορες κρούσεις και δονήσεις. Έτσι θα αποφευχθεί μια ανεπιθύμητη και λανθασμένη συμπύκνωση της άμμου.
4. Όταν η ροή σταματήσει κλείνουμε τη βαλβίδα και απομακρύνουμε τυχόν υπολείμματα πάνω από το δοχείο.
5. Προσδιορίζουμε το βάρος της άμμου και της συσκευής ( $G_3$ ).

#### **Υπολογισμοί:**

Βάρος άμμου συσκευής:  $G_4 = G_3 - G_1 \text{ kg}$



Όγκος συσκευής:  $V$  σε  $\text{dm}^3$  όπου  $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$ .

$\gamma_{\text{άμμου}} = G_4 / V \text{ kg/dm}^3$  ή  $*10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ .

Γ) Προσδιορισμός του βάρους της άμμου που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη.

1. Ανατρέπουμε τη συσκευή σε επίπεδη επιφάνεια και ανοίγουμε τη βαλβίδα.
2. Κλείνουμε τη βαλβίδα όταν σταματήσει η ροή της άμμου μέσα στη φιάλη, γεγονός που συμβαίνει όταν η χοάνη είναι γεμάτη με άμμο.
3. Ζυγίζουμε την άμμο που έμεινε στη φιάλη μαζί με τη συσκευή ( $G_5$ ).

**Υπολογισμοί:**

Βάρος άμμου που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη:  $G_6 = G_3 - G_5$ .

Δ) Προσδιορισμός όγκου  $V$  και βάρους  $G_{\text{ολ}}$  του υλικού που θα εξαχθεί από την οπή της δοκιμής.

1. Προετοιμάζουμε την επιφάνεια του εδάφους που πρόκειται να ελεγχθεί, έτσι ώστε να είναι επίπεδη και καθαρή.
2. Τοποθετούμε το αναστρεφόμενο δοχείο στο έδαφος και χαράσσουμε το περίγραμμα της χοάνης.
3. Σκάβουμε την «οπή» ελέγχου που έχει δημιουργηθεί από το περίγραμμα της χοάνης, προσέχοντας να μην διαταράξουμε το υπόλοιπο έδαφος, που περιβάλλει την «οπή» ελέγχου.
4. Τοποθετούμε όλη τη ποσότητα χώματος που πήραμε σαν δείγμα, μέσα σ' ένα δοχείο προσέχοντας να μη χάσουμε καθόλου δείγμα και ζυγίζουμε, ( $G_7$ ).
5. Γεμίζουμε το δοχείο με άμμο, όπως περιγράψαμε παραπάνω και το ζυγίζουμε.
6. Τοποθετούμε το δοχείο στο χαραγμένο περίγραμμα της χοάνης και ανοίγουμε τη βαλβίδα. Κλείνουμε τη βαλβίδα, όταν θα σταματήσει η πτώση από το δοχείο.
7. Ζυγίζουμε εκ νέου το δοχείο (με τη παραμένουσα άμμο) και προσδιορίζουμε το βάρος της άμμου που χρειάστηκε για να γεμίσει η «οπή» ελέγχου, ( $G_8$ ).
8. Ζυγίζουμε το δείγμα εδάφους που μετακινήσαμε. Αναδεύουμε το δείγμα με νερό και ζυγίζουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για το προσδιορισμό της υγρασίας.
9. Αποξηραίνουμε και ζυγίζουμε το δείγμα εργασίας.

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

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

**Πίνακας 2.2:** Προδιαγραφές.

### Υπολογισμοί:

Βάρος άμμου που εισήλθε στην οπή ελέγχου (  $G_9$ ):  $G_9 = G_3 - (G_8 - G_6)$

Βάρος ξηρού υλικού οπής ελέγχου:  $G_{υλ} = [G_7 / (G_{υγρ} + 100)] * 100$  kg

Όγκος υλικού = όγκος άμμου που εισήλθε στην οπή ελέγχου:

$$V_{υλ} = V_{αμ} = G_9 / V_{υλ} \text{ kg/dm}^3$$

Ξηρά πυκνότητα εδάφους:  $\gamma_d = W_{υλ} / V_{υλ} \text{ kg/dm}^3$

### 2.3.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός.

#### 2.3.2.1 Συσκευές.

- 1) Συσκευή προσδιορισμού πυκνότητας, η οποία αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:
  - Δύο ελαστικά δοχεία άμμου, χωρητικότητας 5 lt.
  - Μεταλλική χοάνη, με προσαρμοσμένη στη βάση της μια ειδική βαλβίδα, επιτρέποντας την εκροή ή όχι της άμμου στο δοχείο. Διάμετρος του κώνου 6''.
  - Μεταλλική κυκλική βάση.
- 2) Λεκάνες, καλέμι, σφυρί.
- 3) Ζυγαριά.

#### 2.3.2.2 Υλικά.

- 1) Άμμος καθαρή και ρέουσα.
- 2) Νερό.
- 3) Εδαφικό δείγμα.

### **2.3.3 Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα.**

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



**Εικόνα 2.3 :** Μεταλλική χοάνη (εργαστηρίου εδαφομηχανικής ΤΕΙ Πατρών).



**Εικόνα 2.4 :** Δοχεία άμμου (εργαστηρίου εδαφομηχανικής ΤΕΙ Πατρών).

#### **2.3.4 Έντυπο μετρήσεων.**

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΕΝΤΥΠΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΜΕ  
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ**

ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΩΝΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΟΥ			
α/α	Περιγραφή μετρήσεων	Μον.	
	Θερμοκρασία νερού	°C	
A	Βάρος κενής συσκευής	gr	
B	Βάρος κενής συσκευής και βάρος ύδατος	gr	
Γ	Βάρος περιεχόμενου ύδατος ( $\Gamma=B-A$ )	gr	
Δ	Όγκος συσκευής ( $V=\Delta=\Gamma*K$ )	cm <sup>3</sup>	
E	Βάρος συσκευής και βάρος άμμου	gr	
Z	Βάρος άμμου ( $Z=E-A$ )	gr	
H	Φαινόμενο βάρος άμμου ( $H=Z/\Delta$ )	gr/ cm <sup>3</sup>	
Θ	Βάρος συσκευής και άμμου μετά την ανατροπή	gr	
I	Βάρος άμμου χράνης ( $I=E-\Theta$ )	gr	

α/α	Περιγραφή μετρήσεων	Μον.	1	2	3	4
K	Βάρος εδαφικού δείγματος οπής	gr				
Λ	Βάρος συσκευής και βάρος άμμου που έμεινε	gr				
M	Βάρος άμμου οπής [ $M=E-(\Lambda+I)$ ]	gr				
N	Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχέα	gr				
Ξ	Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχέα	gr				
	Βάρος υποδοχέα	gr				
	Βάρος ξηρού δείγματος	gr				
O	Περιεχόμενη υγρασία { $O=[(N-\Xi)/\Xi]*100$ }	%				
Π	Βάρος ξηρού δείγματος οπής { $\Pi=[K/(O+100)]*100$ }	gr				
P	Όγκος υλικού ( $P=M/H$ )	cm <sup>3</sup>				
Σ	Ξηρά πυκνότητα ( $\Sigma=\Pi/P$ )	gr				
E	Βάρος συσκευής και άμμου	gr				

<b>Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας</b>					
<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Βάρος υποδοχέα	gr				
Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχέα	gr				
Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχέα	gr				
Βάρος ξηρού δείγματος	gr				
Περιεχόμενη υγρασία	%				
Τελική περιεχόμενη υγρασία	%				

<b>Ποσοστό συμπύκνωσης (%)</b>	
--------------------------------	--

<b>Παρατηρήσεις:</b>

<b>Ο εκτελέσας τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης εργαστηρίου</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

#### 3.1 Εισαγωγή.

Διατμητική αντοχή (shearstrength) ενός εδάφους είναι η εσωτερική αντίσταση ανά μονάδα επιφάνειας με την οποία αντιστέκεται στη θραύση και ολίσθηση κατά μήκος οποιουδήποτε επιπέδου στο εσωτερικό της μάζας του. Η διατμητική αντοχή αποτελεί τη βασική μηχανική ιδιότητα του εδάφους. Προκειμένου να επιλύσουμε προβλήματα ευστάθειας των εδαφών όπως σχεδιασμού θεμελιώσεων, τοίχων αντιστήριξης και αναχωμάτων είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την αντοχή που σχετίζεται με τα προβλήματα αυτά. Γενικά οι αστοχίες των γεωκατασκευών είναι στο σύνολο τους αστοχίες που οφείλονται σε υπέρβαση της διατμητικής αντοχής. Ακόμη και το ιδιαίτερο πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας των εδαφών για διαστασιολόγηση οδοστρωμάτων είναι μια ειδική απεικόνιση του ζητήματος της διατμητικής αντοχής.

Ο Mohr (1900) παρουσίασε τη θεωρία σύμφωνα με την οποία η αστοχία ενός υλικού επέρχεται όταν υφίσταται κρίσιμος συνδυασμός ορθής τάσης  $\sigma$  και διατμητικής τάσης  $\tau$  και όχι όταν η ορθή ή η διατμητική τάση λαμβάνουν μέγιστη τιμή.

Οι πηγές της διατμητικής αντοχής του εδάφους είναι:

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

Η διατμητική αντοχή του εδάφους εκφράζεται ως γραμμική συνάρτηση της ορθής τάσης  $\sigma$  από τη θεμελιώδη σχέση του Coulomb,

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

όπου:

$\tau$  : η διατμητική αντοχή του εδάφους σε  $\text{kg/cm}^2$

$\sigma$ : η εφαρμοσμένη ορθή τάση σε  $\text{kg/cm}^2$

$\varphi$ : η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους (angle of internal friction) που εξαρτάται από το σχήμα των κόκκων και το βαθμό αλληλοεμπλοκής (interlocking) των τεμαχιδίων καθώς και από τη σύσταση των σωματιδίων και του υγρού των πόρων.

$c$  : η συνοχή (cohesion) του εδάφους σε  $\text{kg/cm}^2$  που οφείλεται στην αμοιβαία έλξη των λεπτομερών τεμαχιδίων. Η παράμετρος αυτή δεν παρουσιάζεται στα χαλαρά μη συνεκτικά εδάφη ( $c=0$ ), ενώ αντιθέτως εμφανίζεται σε αργιλικά συνεκτικά εδάφη ( $c \neq 0$ )

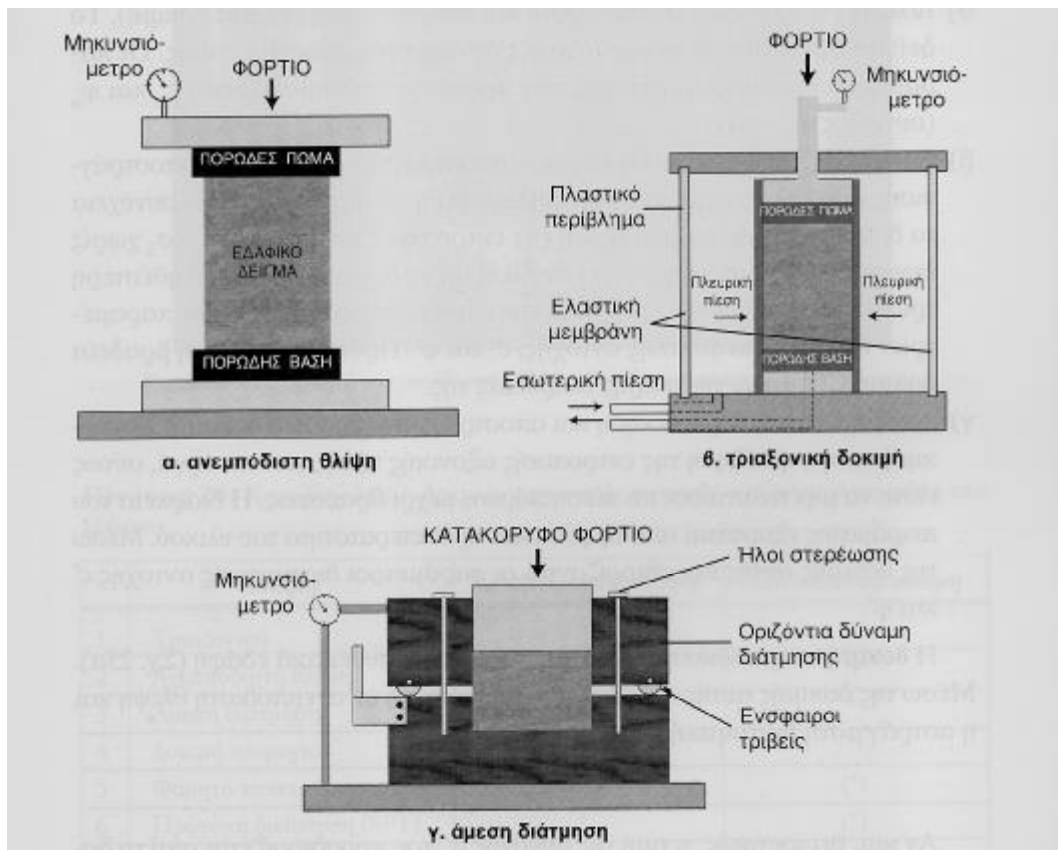
Οι παράμετροι  $c$  και  $\phi$  που χαρακτηρίζουν τη διατμητική αντοχή του εδάφους, ονομάζονται παράμετροι διατμητικής αντοχής.

Στην οδοποιία, οι παράμετροι  $c$  και  $\phi$  προσδιορίζονται ανάλογα με τη φύση του προβλήματος και κυρίως, τις συνθήκες στράγγισης και κορεσμού του εδάφους από αντίστοιχες εργαστηριακές δοκιμές.

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής του εδάφους γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

- 1) Δοκιμή ανεμπόδιστη θλίψης
- 2) Δοκιμή άμεσης διάτμησης
- 3) Τριαξονική δοκιμή

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται η διάταξη των παραπάνω δοκιμών.



**Εικόνα 3.1 :** Εργαστηριακές δοκιμές.

Συνήθως μια πλήρης γεωτεχνική μελέτη έργων οδοποιίας βασίζεται σε υπολογισμούς και ελέγχους με βάση τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών άμεσης διάτμησης και τριαξονικής δοκιμής. Όλες οι υπόλοιπες δοκιμές (πρότυπη δοκιμή διείδυσης SPT, φορητό πενετρόμετρο, κ.α.), μπορούν να χρησιμεύσουν για το προσεγγιστικό προσδιορισμό των παραμέτρων  $c$  και  $\phi$ , χωρίς όμως την απαραίτητη ακρίβεια για τη διαστασιολόγηση και τον έλεγχο ευστάθειας των γεωκατασκευών.



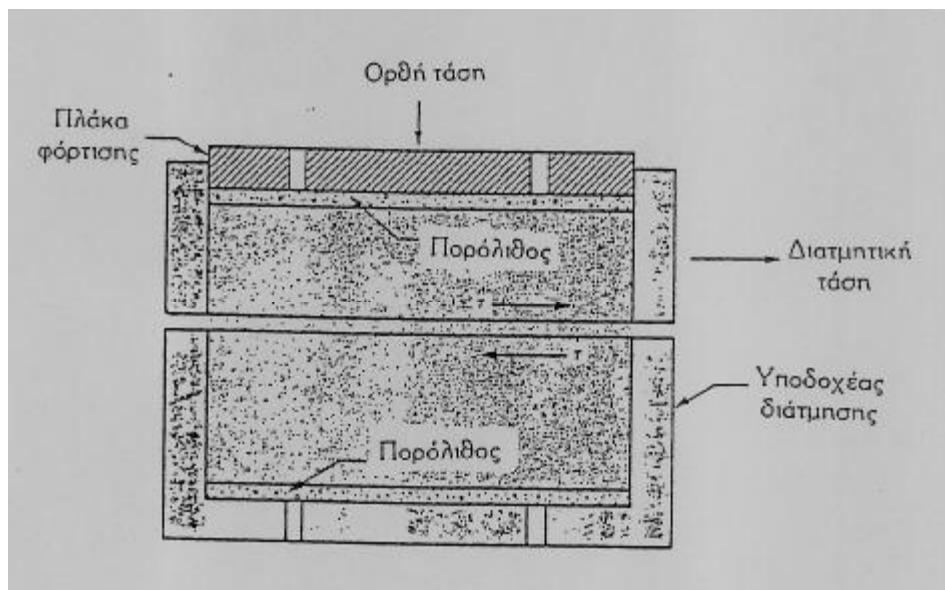
Στην οδοποιία οι παραμέτροι  $c$  και  $\phi$  προσδιορίζονται ανάλογα με τη φύση του προβλήματος και, κυρίως, τις συνθήκες κορεσμού και στράγγισης του εδάφους, από αντίστοιχες εργαστηριακές δοκιμές. Μία από αυτές τις εργαστηριακές δοκιμές, αυτή της άμεσης διάτμησης, περιγράφεται στη συνέχεια.

### 3.2 Δοκιμή άμεσης διάτμησης.

Η δοκιμή άμεσης διάτμησης μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε είδος εδάφους. Συνήθως χρησιμοποιείται σε χονδρόκοκκα εδάφη αλλά και σε μικρής συνοχής υλικά.

Στη δοκιμή της άμεσης διάτμησης το έδαφος οδηγείται σε θραύση με την επιβολή μετακίνησης του ενός τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο. Έτσι, το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγεγραμμένη επίπεδη επιφάνεια που λέγεται και επιφάνεια διάτμησης από την επιβολή μιας οριζόντιας τάσης  $\tau = Q/A$ . Η κατακόρυφη τάση  $\sigma = P/A$  παραμένει σταθερή ενώ η  $Q$  αυξάνει μέχρι να αστοχήσει το δοκίμιο.

Ο υποδοχέας που συγκρατεί το δείγμα φαίνεται στην εικόνα.

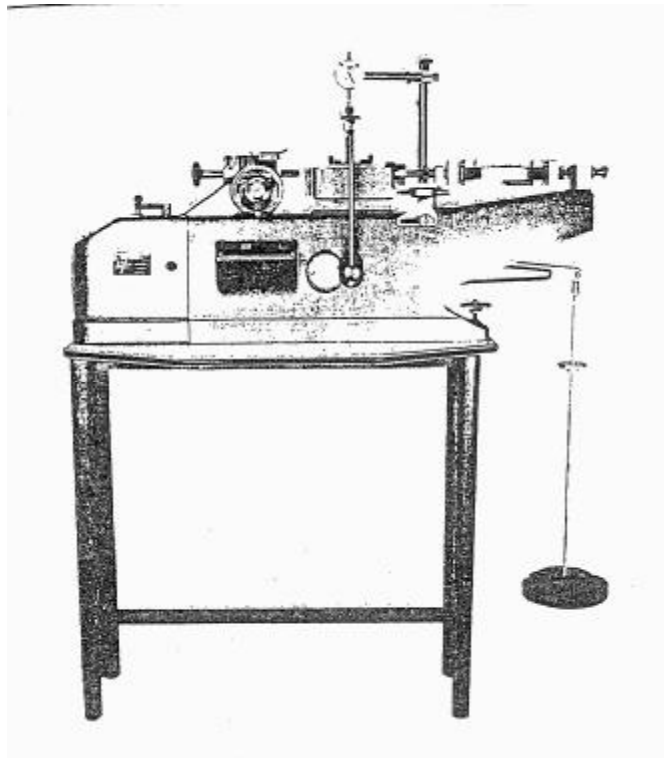


**Εικόνα 3.2 :**Σχηματική διάταξη του υποδοχέα της συσκευής άμεσης διάτμησης.

Το εδαφικό δοκίμιο συνήθως είναι κυλινδρικού σχήματος με διάμετρο 50mm περίπου και ελάχιστο πάχος 12,5 mm.

Είναι η δοκιμή κατά την οποία μετρείται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με αυτή της ορθής τάσης, που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια της διάτμησης. Στη συσκευή της εικόνας μπορούν να μετρηθούν εκτός από τη διατμητική αντοχή, η οριζόντια μετατόπιση καθώς και η μεταβολή του ύψους του δοκιμίου (άρα και η αλλαγή του

όγκου) με ειδικά μηκυνσιόμετρα παραμόρφωσης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.



**Εικόνα 3.3 :** Συσκευή άμεσης διάτμησης

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

- 1) Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου
- 2) Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου
- 3) Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

Από τους τρεις τύπους των δοκιμών της άμεσης διάτμησης, ο πιο αντιπροσωπευτικός είναι η βραδεία δοκιμή σε στερεοποιημένα δοκίμια, για το λόγο αυτό η εκτέλεση της δοκιμής αυτής συνιστάται, σε σύγκριση με τους άλλους δύο τύπους που πρέπει να αποφεύγονται.

Η δοκιμή επαναλαμβάνεται για τουλάχιστον τρία(3) δοκίμια από το ίδιο έδαφος για διαφορετικό κατακόρυφο φορτίο. Οι τιμές των κατακόρυφων φορτίων και οι αντίστοιχες των διατμητικών προβάλλονται σε κανονικό σύστημα αξόνων και χαράσσεται η ευθεία που περνά μεταξύ των σημείων που προκύπτουν. Από το διάγραμμα αυτό υπολογίζονται οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής  $c$  και  $\phi$ . Η συνοχή  $c$  είναι τεταγμένη του σημείου τομής της ευθείας με το κατακόρυφο άξονα των διατμητικών τάσεων, ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$  είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία με τον οριζόντιο άξονα των κατακόρυφων τάσεων.

Κύριοι παράγοντες για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι:

- 1) Η περιεχόμενη υγρασία του εδάφους σε σχέση με το δείκτη υδαρότητας
- 2) Ο βαθμός κορεσμού του εδάφους είτε είναι πλήρως είτε μερικά κορεσμένο

3) Η ταχύτητα διάτμησης σε σχέση με τη διαπερατότητα του εδάφους.

Οι δοκιμές άμεσης διάτμησης είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστούν αλλά έχουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως:

- Είναι δύσκολο να τοποθετηθεί τελείως αδιατάρακτο δείγμα στη συσκευή
- Η κατανομή της πίεσης κατά μήκος του δείγματος είναι πολύπλοκη
- Η θραύση γίνεται κατά μήκος προκαθορισμένης από τη συσκευή επιφάνειας
- Η επιφάνεια φόρτισης μειώνεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής
- Δεν υπάρχει άμεσος έλεγχος της στράγγισης του δοκιμίου επειδή δεν γίνεται μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων.

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

### **3.3 Τρόπος εργασίας.**

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

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

- 4) Χρησιμοποιούμε το δακτύλιο κοπής ο οποίος προσφέρεται για τη κοπή αδιατάρακτων δειγμάτων.
- 5) Τοποθετούμε το κάτω πορώδη δίσκο μέσα στο κιβώτιο διάτμησης.
- 6) Βάζουμε το δείγμα μέσα στο κιβώτιο διάτμησης.
- 7) Συναρμολογούμε το πάνω πορώδη δίσκο ή το δίσκο που μεταφέρει την επιβαλλόμενη τάση
- 8) Εφαρμόζουμε στο δοκίμιο τάση. Η απαιτούμενη τάση στο δείγμα πρέπει να είναι σχετική με τη μάζα που περιλαμβάνει το ζυγό φόρτισης και τα βάρη  $W$ :  
 $W = \sigma L^2 / 9810$  (kg), όπου:

$\sigma$ : η τάση σε  $\text{KN/m}^2$

$L$ : το μήκος του κουτιού σε mm

- 9) Η μηχανή διάτμησης είναι εφοδιασμένη με ένα μοχλό, σωστή ρύθμιση του οποίου επιτυγχάνεται με το βάρος εξισορρόπησης.

10) Η αρχική θέση του ζυγού φόρτισης μπορεί να επιτευχθεί ρυθμίζοντας τη λαβή του κοχλία μεταφοράς φορτίου. Έτσι για την εφαρμογή του φορτίου στο δείγμα τα βάρη προστίθενται στον υποδοχέα βαρών με τη λαβή τελείως κάτω ή τη λαβή να στηρίζει τη ράβδο ορθής τάσης βαρών, γυρίζοντας αργά τη λαβή κάτω και για τη μεταφορά του φορτίου στο δείγμα.

### **3.4 Έλεγχος πριν τη δοκιμή.**

Πρίν τη δοκιμή άμεσης διάτμησης πρέπει να γίνει έλεγχος της μηχανής, δηλαδή, η διαδικασία δοκιμής διάτμησης.

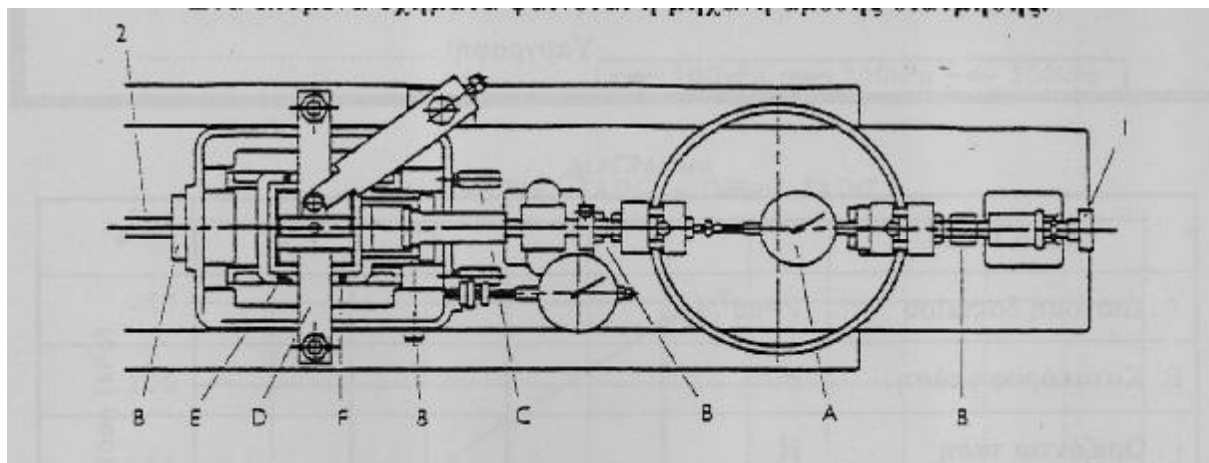
- 1) Θέτουμε τη μηχανή στο «forward» για να ξεκινήσει η αρχική διάτμηση.
- 2) Κατά τη διάρκεια της δοκιμής γίνεται ταυτόχρονα ένας έλεγχος για τα εξαρτήματα της συσκευής.
- 3) Κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής αναγράφουμε τα δεδομένα όπως απαιτείται και πιέζουμε το «stop» μετά την ολοκλήρωση της.
-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

Σε περίπτωση που χρειαστούμε επαναλήψεις θέτουμε τη μηχανή στο «reverse».

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

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

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται η μηχανή άμεσης διάτμησης.



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.

**Εικόνα 3.4 :** Μηχανή άμεσης διάτμησης.

### **3.5 Εργαστηριακός εξοπλισμός.**

#### **3.5.1 Συσκευές.**

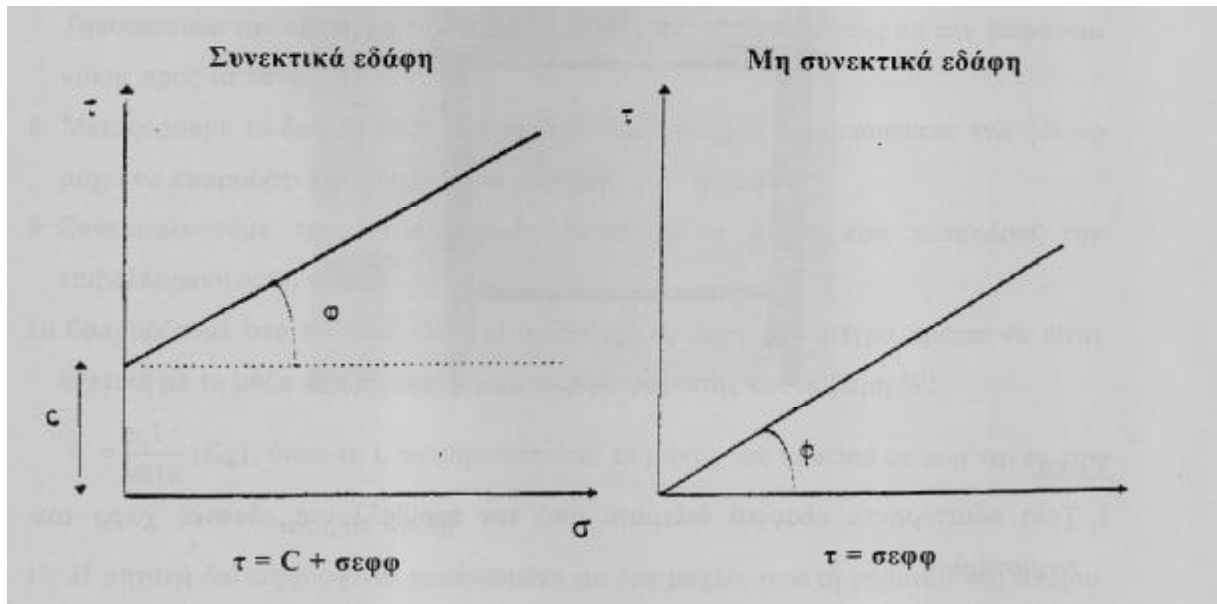
- 1) Συσκευή άμεσης διάτμησης.
- 2) Ζυγοί ακριβείας 0,01 και 0,1 του γραμμαρίου.
- 3) Κλίβανος ξηράνσεως.
- 4) Συσκευή για αναζύμωση και συμπύκνωση του δοκιμίου.

#### **3.5.2 Υλικά.**

Τρία εδαφικά δείγματα από το προς εξέταση έδαφος.

### **3.6 Υπολογισμοί.**

Όπως είπαμε και παραπάνω μετά το προσδιορισμό των τάσεων  $\sigma$  και  $\tau$  χαράσσουμε τη καμπύλη της εξίσωσης Coulomb  $\tau = c + \sigma \tan \phi$  και προσδιορίζουμε τη συνοχή  $c$  του εδάφους καθώς και τη γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ .



**Σχήμα 3.1 :** Γραφικές παραστάσεις εξίσωσης Coulomb για συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη αντίστοιχα.

**3.7 Έντυπο μετρήσεων.**

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

<b>ΕΡΓΟ:</b>	
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ:</b>	
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:</b>	

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			
<b>Περιγραφή:</b>		<b>Επιφάνεια:</b>	
<b>Ύψος:</b>		<b>Διάμετρος:</b>	
<b>Όγκος:</b>		<b>Υγρά πυκνότητα:</b>	
<b>Ξηρά πυκνότητα:</b>		<b>Συντελεστής:</b>	

παραμόρφωση	σ= kg/cm <sup>2</sup>		σ= kg/cm <sup>2</sup>		σ= kg/cm <sup>2</sup>	
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg/cm <sup>2</sup>
0						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
350						
400						
450						
500						
550						
600						
650						
700						

<b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ</b>		
<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	
Αριθμός υποδοχέα		
Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχέα	gr	
Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχέα	gr	
Βάρος υποδοχέα	gr	
Βάρος ξηρού δείγματος	gr	
Περιεχόμενη υγρασία	%	

<b>Παρατηρήσεις:</b>

<b>Ο εκτελέσας τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης εργαστηρίου</b>



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

### 4.1 Εισαγωγή.

Η τιμή της μέσης πίεσης στην επαφή μεταξύ της θεμελίωσης του εδάφους, που θα προκαλέσει την αστοχία του καλείται τελική (ultimate) ικανότητα. Η μέγιστη τιμή της παραπάνω πίεσης που το έδαφος μπορεί να υποβληθεί χωρίς κίνδυνο διατμητικής αστοχίας λέγεται μέγιστη ασφαλής φέρουσα ικανότητα. Βασίζεται μόνο στην αντοχή του εδάφους και είναι απλά η τελική, διαιρούμενη με ένα κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας.

Μια θεμελίωση πρέπει να ικανοποιεί δύο βασικές απαιτήσεις:

- Ο συντελεστής ασφαλείας για την αποφυγή της πιθανής αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης πρέπει να είναι επαρκής, μια τιμή μεταξύ 2,5 και 3 είναι η κατάλληλη και εξαρτάται κυρίως από το είδος του τεχνικού έργου.
- Η καθίζηση που θα υποστεί η θεμελίωση πρέπει να κυμαίνεται σε πλαίσια ανεκτά για τη κατασκευή και ειδικότερα, η διαφορική καθίζηση να μη προκαλεί απρόσμενες ζημιές, ούτε να παρεμποδίζει τη λειτουργικότητα της κατασκευής.

Η επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα, (ή επιτρεπόμενη τάση), ορίζεται σαν η μέγιστη πίεση που μπορεί να εφαρμοστεί στο έδαφος έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι δυο παραπάνω βασικές απαιτήσεις. Εξαρτάται από την αντοχή στη θραύση του εδάφους, το βαθμό παραμόρφωσης αυτού, το βάθος και τις διαστάσεις των θεμελίων και τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής του εδάφους,  $c$  και  $\phi$ . η παραμόρφωση του εδάφους περιλαμβάνει όλα τα είδη καθίζησης. Το πλάτος θεμελίωσης είναι σημαντικός παράγοντας στη περίπτωση των μη συνεκτικών άμμων (μεγαλύτερο πλάτος συνεπάγεται μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα) ενώ στη περίπτωση των κορεσμένων αργίλων παίζει μικρό ρόλο.

Μέθοδοι για τον υπολογισμό της τελικής και της επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας προτάθηκαν κυρίως από τους Terzaghi και Peck. Αυτές βασίζονται σε επιτόπου δοκιμές πρότυπης διείδυσης (SPT) (κυρίως για τα κοκκώδη εδάφη) ή σε επιτόπου δοκιμές φόρτισης πλάκας. Εντούτοις οι θεωρητικά υπολογιζόμενες τιμές τελικής φέρουσας ικανότητας λαμβάνοντας υπόψη και το συντελεστή ασφαλείας πρέπει να εφαρμόζονται για δαπανηρές κατασκευές γιατί οι τιμές που υπολογίζονται με βάση τις δοκιμές είναι μεγαλύτερες των θεωρητικών.

Η πιο διαδεδομένη παράμετρος φέρουσας ικανότητας εδαφικών υλικών για μελέτες οδών και οδοστρωμάτων είναι ο Καλιφορνιακός δείκτης φέρουσας ικανότητας (CBR: California Bearing Ratio). Δημιούργημα των μηχανικών της διεύθυνσης οδών της Καλιφόρνιας (1938), ο Καλιφορνιακός δείκτης έγινε γρήγορα δημοφιλής ανά τον κόσμο και αποτελεί ως σήμερα τη σημαντικότερη παράμετρο μηχανικής αντοχής εδαφικών και θραυστών υλικών στις περισσότερες μεθόδους διαστασιολόγησης οδοστρωμάτων.

Ο δείκτης CBR εδαφικών η αδρανών υλικών υπεισέρχεται ως παράμετρος υπολογισμού του πάχους εύκαμπτων οδοστρωμάτων με την εμπειρική μέθοδο CBR, η οποία άρχισε να χρησιμοποιείται από τον αμερικανικό στρατό κατά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, για τη μελέτη και κατασκευή αεροδιαδρόμων.

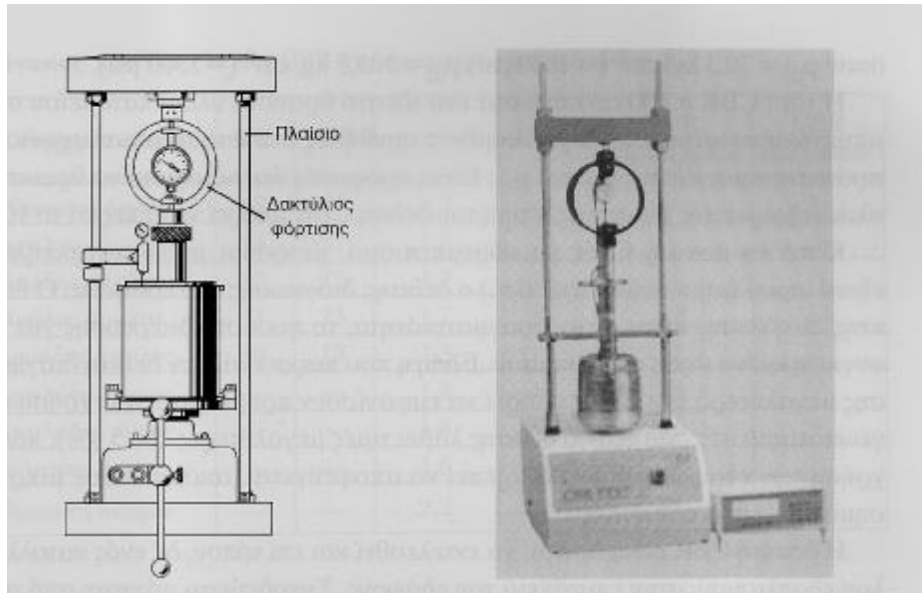
Η φέρουσα ικανότητα συμπυκνωμένου εδάφους μπορεί να υπολογιστεί εργαστηριακά σαν αντίσταση στη διείδυση ενός συμπυκνωμένου δείγματος συγκρινόμενη με την αντίσταση ενός πρότυπου δείγματος από σπασμένη πέτρα. Ο λόγος της προσδιοριζόμενης αντίστασης στη διείδυση προς τη πρότυπη αντίσταση πολλαπλασιασμένος με 100, καλείται Καλιφορνιακός Δείκτης Φέρουσας Ικανότητας.

#### **4.2 Καλιφορνιακός Δείκτης Φέρουσας Ικανότητας, CBR.**

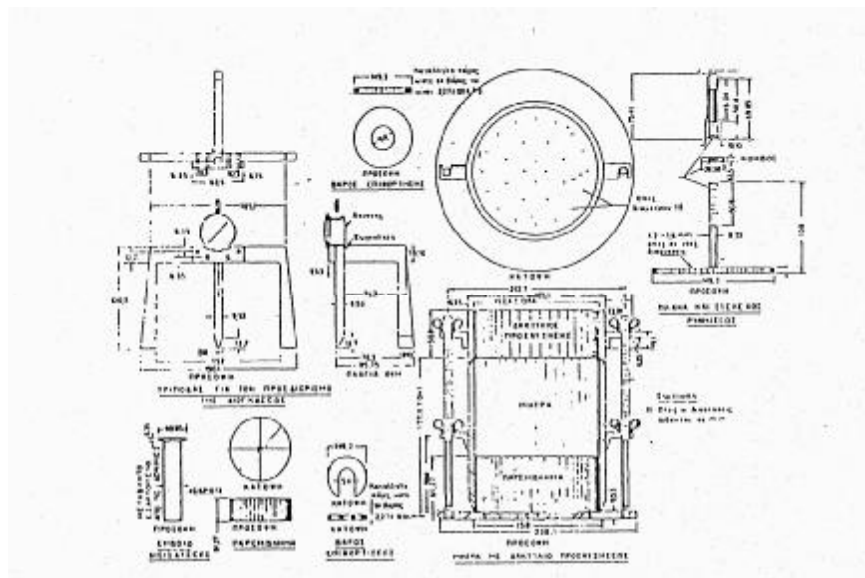
Με τη δοκιμή αυτή επιδιώκεται ο καθορισμός της τιμής της φέρουσας ικανότητας εδαφών και μιγμάτων εδαφών – αδρανών όταν συμπυκνωθούν στο εργαστήριο στη βέλτιστη υγρασία και σε διάφορους βαθμούς πυκνότητας με χρησιμοποίηση σφύρας βάρους 2,49 kg και πτώση ύψους 304,8 mm (πρότυπη μέθοδος). Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει και η τροποποιημένη μέθοδος συμπύκνωσης με χρησιμοποίηση σφύρας βάρους 4,54 kg και ύψους πτώσεως 457,2 mm.

Η γενική διάταξη της συσκευής αποτελείται από:

- 1) Τρεις μεταλλικές μήτρες κυλινδρικού σχήματος διαμέτρου  $152,4 \pm 0,66$  mm και ύψους περίπου  $177,8 \pm 0,41$  mm, με διάτρητη βάση.
- 2) Παρέμβλημα ύψους 61,37 mm, που να προσαρμόζεται στις μήτρες, ώστε να συμπίπτει με το πάχος των 116,4 mm των δοκιμών της πρότυπης ή τροποποιημένης μεθόδου PROCTOR.
- 3) Συσκευή για τη μέτρηση της διόγκωσης, που αποτελείται από μεταλλική, κυκλική πλάκα διαμέτρου 149,2 mm διάτρητη με οπές διαμέτρου 1,6 mm με στέλεχος μέτρησης και τρίποδα υποστήριξης με μηκυνσιόμετρο ο οποίος προσαρμόζεται στο δακτύλιο προέκτασης της μήτρας.
- 4) Μηκυνσιόμετρο.
- 5) Βάρη επιφόρτισης. Μεταλλικός κύλινδρος με κυκλική οπή 54 mm στο μέσο, μερικά μεταλλικά φορτία με εγκοπή ή διαιρούμενα, όλα διαμέτρου 149,2 mm και βάρους  $2,27 \pm 0,04$  kg.
- 6) Έμβολο διείδυσης. Μεταλλικό έμβολο κυκλικής διατομής διαμέτρου  $49,63 \pm 0,13$  mm, εμβαδού διατομής  $1935$  mm<sup>2</sup>, μήκους τουλάχιστον 102 mm.
- 7) Συσκευή φόρτισης. Συσκευή με δυνατότητα επιβολής ομοιόμορφα αυξανόμενου φορτίου μέχρι 44,5 kN, με ταχύτητα φόρτισης 1,3 mm/min.
- 8) Δοχείο υδροεμποτισμού.



Εικόνα 4.1: Συσκευή δοκιμής CBR.



Εικόνα 4.2: Διάταξη συσκευής δοκιμής CBR.

### 4.3 Τρόπος εργασίας.

Ετοιμάζεται δείγμα σύμφωνα με τη πρότυπη μέθοδο PROCTOR, με τη διαφορά ότι θα ζυγίζει 35 kg ή περισσότερο. Υλικό που διέρχεται από κόσκινο ανοίγματος 50 mm και που συγκρατείται στο κόσκινο No  $\frac{3}{4}$ '' θα αντικαθίσταται με υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No  $\frac{3}{4}$ '' και συγκρατείται στο κόσκινο No 4. Εκλέγεται αντιπροσωπευτική ποσότητα βάρους περίπου 11 kg για έλεγχο υγρασίας – πυκνότητας και διαχωρίζεται το υπόλοιπο του

δείγματος, ώστε να ληφθούν τρεις αντιπροσωπευτικές ποσότητες βάρους περίπου 6,8 kg η κάθε μία.

Η ποσότητα των 11 kg χρησιμοποιείται για το προσδιορισμό της βέλτιστης υγρασίας και της μέγιστης ξηράς πυκνότητας σύμφωνα με τη πρότυπη μέθοδο PROCTOR.

Κανονικά πρέπει να συμπυκνωθούν τρία δείγματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πυκνότητες που θα προκύψουν από τη συμπίκνωση να κυμαίνονται από 95 % (ή λιγότερο) μέχρι 100 % (ή περισσότερο) της μέγιστης ξηράς πυκνότητας.

Γενικά θεωρούνται κατάλληλοι περίπου 10, 30 και 65 χτύποι κατά στρώση, για τη συμπίκνωση αντιστοίχως των δοκιμίων 1,2 και 3. Απαιτούνται γενικά περισσότεροι των 56 χτύπων κατά στρώση για τη παρασκευή ενός δοκιμίου CBR, μέχρι του 100 % της μέγιστης ξηράς πυκνότητας, γιατί το δείγμα για τη παρασκευή του δοκιμίου CBR αναμιγνύεται και συμπυκνώνεται μια φορά μόνο.

Συνδέεται η προζυγισμένη μήτρα με το δίσκο της βάσης, το δακτύλιο προέκτασης και το παρέμβλημα, ενώ τοποθετείται τραχύ διηθητικό χαρτί στην επάνω επιφάνεια του δίσκου.

Αναμιγνύεται κάθε μία από τις ποσότητες των 6,8 kg που έχουν παρασκευαστεί σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, με αρκετό νερό, ώστε να λάβουν τη βέλτιστη υγρασία.

Συμπυκνώνεται μια από τις ποσότητες του μίγματος εδάφους – νερού μέσα στη μήτρα με το μικρότερο αριθμό χτύπων για κάθε στρώση, ώστε μετά τη συμπίκνωση η πυκνότητα να είναι 95 % ή μικρότερη της μέγιστης. Προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία του υλικού στην αρχή και στο τέλος της συμπίκνωσης αυτής.

Αφού απομακρυνθεί ο δακτύλιος προέκτασης και το παρέμβλημα, επιπεδώνεται το συμπυκνωμένο δείγμα στη μήτρα, ζυγίζεται η μήτρα με το δείγμα που αντιστρέφεται πάνω σε κομμάτι από διηθητικό χαρτί. Κατ' αυτό το τρόπο το δοκίμιο είναι έτοιμο για υδροεμποτισμό.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες δύο ποσότητες με τη διαφορά ότι ένας ενδιάμεσος αριθμός χτύπων κατά στρώση, χρησιμοποιείται για τη συμπίκνωση του δεύτερου δοκιμίου και ο μέγιστος αριθμός χτύπων για τη συμπίκνωση του τρίτου δοκιμίου.

Στη συνέχεια τοποθετείται πάνω στο εδαφικό δείγμα, μέσα στη μήτρα, πλάκα με στέλεχος ρύθμισης της διόγκωσης και τοποθετούνται επαρκή δακτυλιοειδή βάρη για τη πραγματοποίηση φόρτισης, τιμής ίσης προς την πραγματοποιούμενη από το βάρος των στρώσεων υπόβασης, βάσης και στρώσης κυκλοφορίας, πάνω από το προς δοκιμή υλικό, με απόκλιση  $\pm 2,26$  kg από αυτό. Σε καμία περίπτωση τα φορτία αυτά δε θα είναι συνολικά μικρότερα από 4,54 kg. Τοποθετείται ο τρίποδας με το μηκυσιόμετρο στη κορυφή της μήτρας και λαμβάνεται μια πρώτη ανάγνωση.

Έπειτα βάζουμε τη μήτρα μέσα σε νερό, ώστε και το επάνω και το κάτω μέρος να βρίσκεται σε ελεύθερη επαφή με το νερό. Κατά τη διάρκεια του υδροεμποτισμού διατηρείται η στάθμη του νερού στη μήτρα και στο δοχείο υδροεμποτισμού περίπου 25,4 mm πάνω από τη κορυφή του δοκιμίου. Ο υδροεμποτισμός του δοκιμίου διαρκεί 4 ημέρες. Είναι δυνατό να εφαρμοστεί μικρότερη περίοδος υδροεμποτισμού (όχι μικρότερη από 24 ώρες), για έδαφος με χαλίκια που αποστραγγίζεται εύκολα, εφόσον όμως οι δοκιμές δείχνουν ότι η μικρότερη αυτή περίοδος δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα της δοκιμής. Για ορισμένα αργιλικά εδάφη μπορεί να χρειαστεί περίοδος υδροεμποτισμού μεγαλύτερη των τεσσάρων ημερών.

Μετά από 96 ώρες εκτελείται μια τελευταία ανάγνωση στα δοκίμια που βρίσκονται μέσα στο νερό και υπολογίζεται η διόγκωση, σαν ποσοστό του αρχικού μήκους του δείγματος.

$$\text{ποσοστό διόγκωσης} = \frac{\text{μεταβολή του μήκους σε mm κατά τον υδροεμπτισμό}}{116,4 \text{ mm}} * 100$$

Ο δείκτης διόγκωσης είναι, στη πραγματικότητα, το ποσοστό διόγκωσης για το συγκεκριμένο ύψος του δοκιμίου. Εδάφη που παρουσιάζουν δείκτη διόγκωσης μεγαλύτερο του 2 (%) μπορεί να εμφανίσουν προβλήματα για χρήση σε γεωκατασκευές ενώ όταν ο δείκτης λάβει τιμές μεγαλύτερες του 5 (%), κάθε χρήση των εδαφών αυτών θα πρέπει να αποφεύγεται, ακόμη και σε μικρής σημασίας έργα οδοποιίας. Εξάγονται τα δοκίμια από τα δοχεία υδροεμπτισμού, απομακρύνεται το νερό από την πάνω βάση των δοκιμίων και αφήνονται επί 15 λεπτά να στραγγίζονται με τη βαρύτητα. Πρέπει να καταβάλλεται προσοχή ώστε να αποφεύγεται η διατάραξη της επιφάνειας των δοκιμίων κατά την απομάκρυνση τους από το νερό. Τα βάρη επιφόρτισης και οι διάτρητες πλάκες αφαιρούνται μετά την αποστράγγιση. Όταν ζητείται να καθοριστεί η υγρή πυκνότητα του υλικού που έχει υδροεμπτιστεί, τα δοκίμια ζυγίζονται μετά την αποστράγγιση.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η δοκιμή διείδυσης. Προκαλείται επιφόρτιση πάνω στα δοκίμια με όσα δακτυλιοειδή φορτία, ίδιας μορφής και σχήματος, χρησιμοποιήθηκαν κατά τον υδροεμπτισμό.

Μόλις γίνεται η τοποθέτηση ενός φορτίου επάνω στο δοκίμιο και για να αποφευχθεί διαρροή μαλακού υλικού κατά την έναρξη της φόρτισης, αφήνεται να επικαθήσει επάνω στο δοκίμιο το έμβολο διείδυσης.

Μετά την επικαθήση του εμβόλου διείδυσης τοποθετούνται τα υπόλοιπα βάρη φόρτισης γύρω από το έμβολο.

Το έμβολο διείδυσης με φορτίο 44,5 N (4,54 kg) αφήνεται να επικαθήσει στο δοκίμιο και στη συνέχεια μηδενίζονται οι ενδείξεις των οργάνων μέτρησης της διείδυσης και του φορτίου.

Τα φορτία εξασκούνται πάνω στο έμβολο διείδυσης έτσι ώστε η διείδυση να είναι ομοιόμορφη και με ταχύτητα περίπου 1,3 mm / min. Λαμβάνονται ενδείξεις του φορτίου για διειδύσεις: 0,64 , 1,27 , 1,91 , 2,54 , 5,08 και 7,62 mm. Επίσης αν χρειάζεται μπορεί να ληφθούν αναγνώσεις για διειδύσεις 10,16 και 12,70 mm.

Μετά τη δοκιμή, μπορεί να προσδιοριστεί η περιεχόμενη υγρασία της άνω ζώνης, πάχους 25,4 mm, του δείγματος.

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

$$CBR = \frac{\text{φορτίο δοκιμής}}{\text{στανταρτ δοκιμής}} * 100$$

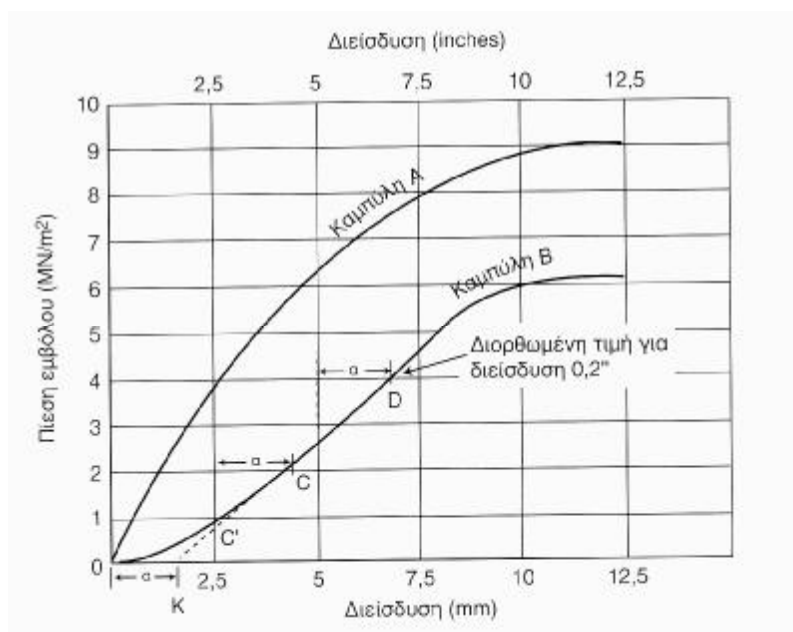
Επίσης,

$$CBR = \frac{\text{μοναδιαίο φορτίο δοκιμής}}{\text{μοναδιαίο στάνταρτ φορτίο}} * 100$$

Το στάνταρτ φορτίο το περνάμε έτοιμο με τη διείσδυση από το παρακάτω πίνακα.

Διείσδυση mm	Στάνταρτ μοναδιαίο φορτίο Kg/cm <sup>2</sup>	Στάνταρτ φορτίο Kg
2,5	70	1,370
5,0	105	2,030
7,5	134	2,630
10,0	162	3,180
12,5	183	3,600

Στη συνέχεια σχεδιάζεται η καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων (αντίσταση σε διείσδυση – βάθος διείσδυσης) για κάθε δοκίμιο. Συνήθως η καμπύλη είναι γραμμική για τις μικρές τιμές του φορτίου και στη συνέχεια στρέφει ελαφρώς τα κοίλα προς τα κάτω. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αρχική διείσδυση λαμβάνει χώρα χωρίς αναλογική αύξηση της αντίδρασης σε διείσδυση και η καμπύλη πιθανόν να είναι κοίλη προς τα άνω. Για να λάβουμε τη πραγματική σχέση τάσεων – παραμορφώσεων, διορθώνουμε τη καμπύλη που έχει τα κοίλα προς τα πάνω ειδικά στο τμήμα της κοντά στην αρχή των συντεταγμένων, αναπροσαρμόζοντας τη θέση της αρχής. Η νέα θέση της αρχής των αξόνων καθορίζεται με προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης τάσεως – παραμορφώσεως μέχρις ότου αυτό τμήσει τον άξονα των τεταγμένων.



Σχήμα 4.1 : Καμπύλες πίεσης – διείσδυσης δοκιμής CBR.

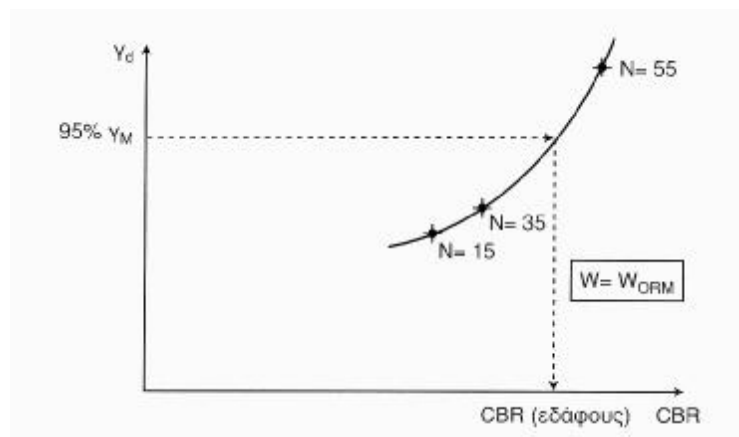
Οι διορθωμένες τιμές πίεσης θα καθοριστούν για κάθε δοκίμιο από τις διεισδύσεις 2,54 mm και 5,08 mm. Οι λόγοι Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας λαμβάνονται σε ποσοστό επί τοις εκατό, με διαίρεση των διορθωμένων τιμών πιέσεων που αντιστοιχούν στις διεισδύσεις των 2,54 και 5,08 mm δια των αντιστοίχων πρότυπων πιέσεων 6,9 MPa (70.3 kg / cm<sup>2</sup>) και 10,35 MPa (105,5 kg / cm<sup>2</sup>). Ο λόγος αυτός πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί 100.

$$CBR = \frac{\text{διορθωμένη τιμή πίεσης}}{\text{πρότυπη πίεση}} * 100$$

Οι πρότυπες πιέσεις των 6,9 και 10,35 MPa προκύπτουν από τη διαίρεση των πρότυπων φορτίων 13,35 και 20,02 kN αντίστοιχα δια της επιφάνειας του εμβόλου, 1935 mm<sup>2</sup>.

Σαν τιμή του καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας εκλέγεται αυτή που αντιστοιχεί σε διείσδυση 2,54 mm. Αν ο λόγος της φέρουσας ικανότητας που αντιστοιχεί σε διείσδυση 5,08 mm είναι μεγαλύτερος η δοκιμή θα επαναληφθεί. Αν η δοκιμή επαλήθευσης δώσει όμοια αποτελέσματα, θα χρησιμοποιηθεί ο λόγος που αντιστοιχεί σε διείσδυση 5,08 mm.

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



**Σχήμα 4.2 :** Προσδιορισμός δείκτη CBR ενός εδάφους.

Ο καλιφορνιακός λόγος φέρουσας ικανότητας εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό με ένα δεκαδικό ψηφίο για τιμές CBR < 10, ενώ για μεγαλύτερες τιμές σαν ακέραιος αριθμός. Η τιμή CBR = 100 αναπαριστά ένα ιδεατό θραυστό υλικό λατομείου συμπυκνωμένο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες στο οποίο αντιστοιχούν οι πρότυπες τιμές πίεσης. Είναι προφανές ότι για ορισμένα θραυστά υλικά εξαιρετικής ποιότητας η τιμή του δείκτη CBR μπορεί να ξεπερνά το 100.

Οι τιμές του δείκτη CBR για χονδρόκοκκα εδάφη όπως προτείνονται μετά από μακροχρόνιες εργαστηριακές εμπειρίες του Γαλλικού Ερευνητικού Κέντρου LCPC φαίνονται στο πίνακα.

Χαρακτηρισμός εδάφους	Εμπειρίες LCPC	Διεθνής βιβλιογραφία	Προτεινόμενη τιμή
GW (ΔΠ Νο200 < 5%, U > 4) αμμοχάλικο καλής διαβάθμισης	> 22	> 40	20
GP (ΔΠ Νο200 < 5%, U < 4) αμμοχάλικο κακής διαβάθμισης	—	> 30	20
GM (ΔΠ Νο200 < 12%) ιλύδες αμμοχάλικο	> 36 (IP<7) > 13 (IP>7)	> 40 > 20	20 10
GC (ΔΠ Νο200 > 12%) αργιλώδες αμμοχάλικο	> 17	> 20	10
SW (U > 6) άμμος καλής διαβάθμισης	> 25	> 20	10
SP (U < 6) άμμος κακής διαβάθμισης	> 6	> 10	6 + 8

**Πίνακας 4.1 :**Τιμές δείκτη CBR χονδρόκοκκων εδαφών.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη συσχέτιση των τιμών CBR και διαφόρων εδαφικών ομάδων.

a/a	Κατάταξη AASHTO	Κατάταξη USCS	ΗΠΑ (FAA)	ΗΠΑ (DOT)	Ολλανδία (CROW)	Γαλλία (LCPC)	ΑΠΘ
1.	A-1-a (*)	GW	> 50	> 55	> 30	—	> 45
2.	A-1 (**)	GW, GM	30-60	> 40	> 20	> 22	20-50
3.	A-2-4, A-2-5	GM, SW	20-60	30-60	15-35	20-40	20-30
4.	A-2-6, A-2-7	GC, SC	10-30	15-30	10-20	15-25	10-20
5.	A-3	SP, SM	30-60	30-70	10-20	20-40	15-25
6.	A-4	ML, CL, SC	5-20	8-50	4-8	< 10	5-15
7.	A-5	OL, ML, MH	2-7	< 5	3-7	< 10	2-5
8.	A-6	CL, CH	2-7	< 5	2-5	< 5	3-8
9.	A-7	CH, OH	1-5	< 5	2-5	< 5	1-5

(\*) Θραυστό υλικό, (\*\*) Εδαφικό υλικό

**Πίνακας 4.2 :**Εμπειρικές τιμές δείκτη CBR διαφόρων ομάδων εδαφους.



## **4.4 Εργαστηριακός εξοπλισμός.**

### **4.4.1 Συσκευές.**

- 1) Συσκευή για δοκιμή CBR
- 2) Μεταλλικές μήτρες κυλινδρικού σχήματος εσωτερικής διαμέτρου  $152,4 \pm 0,66$  mm και ύψους περίπου  $177,8 \pm 0,41$  mm και με διάτρητη βάση, η οποία μπορεί να προσαρμόζεται και στα δύο άκρα του δοχείου. Είναι επιθυμητό να έχουμε τουλάχιστον τρεις μήτρες για κάθε δοκιμή.
- 3) Παρέμβλημα, ένας κυκλικός μεταλλικός δίσκος διαμέτρου  $150,8 \pm 0,8$  mm και ύψους  $61,37 \pm 0,13$  mm.
- 4) Κόπανος με βάρος 2,49 kg και με επιφάνεια κρούσης διαμέτρου 59,8 mm. Αυτός φέρει διάταξη για έλεγχο του ύψους πτώσης 304,8 mm πάνω από την επιφάνεια δοκιμίου.
- 5) Δύο μηκυνσιόμετρα που το καθένα έχει ικανότητα μέτρησης μέχρι 25,4 mm και με προσέγγιση 0,02 mm.
- 6) Υδατόλουτρο.
- 7) Κλίβανος ξήρανσης ικανός να διατηρεί θερμοκρασία στους  $110 \pm 5$  °C για τη ξήρανση των δειγμάτων.
- 8) Διάφορα εργαλεία, όπως δοχεία ανάμιξης, σπάτουλες, διηθητικό χαρτί, ζυγοί κλπ.

### **4.4.2 Υλικά.**

- 1) Εδαφικό δείγμα.
- 2) Νερό.



**Εικόνα 4.3 :** Συσκευή για τη μέτρηση της διόγκωσης.

#### **4.5 Πορεία λειτουργίας μηχανής για τη δοκιμή CBR, εργαστηρίου εδαφομηχανικής ΤΕΙ.**

Η συγκεκριμένη μηχανή, για τη δοκιμή CBR, που διαθέτει το εργαστήριο εδαφομηχανικής έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί δοκιμές CBR, σύμφωνα με τις πρότυπες τεχνικές προδιαγραφές.

Οι εφαρμοσμένες δυνάμεις παράγονται από ένα κατσαβίδι – γρύλο μιας σπείρας η οποία είναι συνδεδεμένη μ' ένα μηχανικό γρανάζι.

Παρέχει ταχύτητες 10 mm/min για τη δοκιμή BS και 1,27mm/min για τις δοκιμές ASTM και AASHTO.

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

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

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

#### **4.5.1 Προδιαγραφές.**

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

#### **4.5.2 Εγκατάσταση – λειτουργία μηχανής.**

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

Είναι προτεινόμενο κάθε δοκιμή να ξεκινάει με τη πλάκα φόρτισης περίπου 10 mm από τη βάση.

Γυρίζουμε τη πλάκα δεξιόστροφα μέχρι τη βάση και μετά αριστερόστροφα περίπου 3 ή 4 στροφές. Μετά βάζουμε τη πλάκα κατά προσέγγιση στο προτεινόμενο επίπεδο.

Τοποθετούμε ένα δακτύλιο φόρτισης της επιθυμητής δεκτικότητας στη κεφαλή.

Στη συνέχεια τοποθετούμε τη κεφαλή στο απαιτούμενο ύψος πρώτα χαλαρώνοντας τα παξιμάδια και στις δυο πλευρές της πλάκας και μετά ρυθμίζοντας την απαιτούμενη ποσότητα. Για να βεβαιωθούμε ότι η κεφαλή είναι επίπεδη ελέγχουμε μ' ένα αλφάδι ή με απευθείας μέτρηση. Σφίγγουμε τα πάνω παξιμάδια.

Επιλέγουμε τη κατάλληλη ταχύτητα BS (1 mm/min) και ASTM (1,27 mm/min).

Ανοίγουμε τη μηχανή χρησιμοποιώντας το διακόπτη ON/OFF.

Γυρίζουμε τη μηχανή στο UP.

Σε περίπτωση που η μηχανή είναι υπερφορτωμένη η βραχυκυκλωμένη ο διακόπτης διακοπής ανοίγει. Αν συμβεί αυτό θα πρέπει να περιμένουμε 10 sec περίπου και στη συνέχεια πιέζουμε το διακόπτη ON/OFF.

Δε πρέπει να χρησιμοποιούμε τη μηχανή με τη πλάκα επιβολής φορτίου ξεβιδωμένη περισσότερο από 70 mm.

Τελειώνουμε τη δοκιμή και πιέζουμε τη μηχανή STOP και γυρίζουμε στην ένδειξη DOWN.

#### **4.6 Έντυπο μετρήσεων.**

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΚΟΥ ΛΟΓΟΥ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ,  
CBR**

<b>ΕΡΓΟ</b>	
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	

<b>Διάμετρος μήτρας, D</b>	
<b>Ύψος, H</b>	
<b>Όγκος, V</b>	
<b>Εμβαδόν της διατομής του εμβόλου για τη δοκιμή διείσδυσης, A</b>	
<b>Ξηρά πυκνότητα Proctor, <math>\gamma_d</math></b>	
<b>Βέλτιστη υγρασία, <math>W_\beta</math></b>	

<b>ΔΟΚΙΜΙΑ CBR</b>				
<b>Αριθμός δοκιμίου</b>	<b>Μον.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Αριθμός χτύπων</b>				
<b>Βάρος υγρού δείγματος και μήτρας</b>	gr			
<b>Βάρος μήτρας</b>	gr			
<b>Βάρος υγρού δείγματος</b>	gr			
<b>Όγκος δοκιμίου</b>	cm <sup>3</sup>			
<b>Περιεχόμενη υγρασία</b>	%			
<b>Υγρή πυκνότητα</b>	gr/ cm <sup>3</sup>			
<b>Ξηρά πυκνότητα</b>	gr/ cm <sup>3</sup>			

Διείσδυση (mm)	I		II		III	
	Δύναμη (kg)	Τάσεις (kg/cm <sup>2</sup> )	Δύναμη (kg)	Τάσεις (kg/cm <sup>2</sup> )	Δύναμη (kg)	Τάσεις (kg/cm <sup>2</sup> )
0						
0,30						
0,60						
0,90						
1,20						
1,50						
2,00						
2,50						
3,00						
3,50						
4,00						
4,50						
5,00						
5,50						
6,00						
7,00						
8,00						
9,00						
10,00						
11,00						
12,00						
13,00						

### Υπολογισμός CBR.

#### Δοκίμιο I.

$$CBR_{2,5}^1 = \frac{70 \text{ kg/cm}^2}{70 \text{ kg/cm}^2} =$$

$$CBR_{5,0}^1 = \frac{105 \text{ kg/cm}^2}{105 \text{ kg/cm}^2} =$$

Επιλογή CBR<sup>1</sup> =

## Δοκίμιο II.

$$CBR_{2,5}^2 = \frac{\quad}{70 \text{ kg/cm}^2} =$$

$$CBR_{5,0}^2 = \frac{\quad}{105 \text{ kg/cm}^2} =$$

Επιλογή  $CBR^2 =$

## Δοκίμιο III.

$$CBR_{2,5}^3 = \frac{\quad}{70 \text{ kg/cm}^2} =$$

$$CBR_{5,0}^3 = \frac{\quad}{105 \text{ kg/cm}^2} =$$

Επιλογή  $CBR^3 =$

<b>γ<sub>d</sub> μελέτης</b>	
<b>CBR</b>	

<b>Ο εκτελέσας τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης εργαστηρίου</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

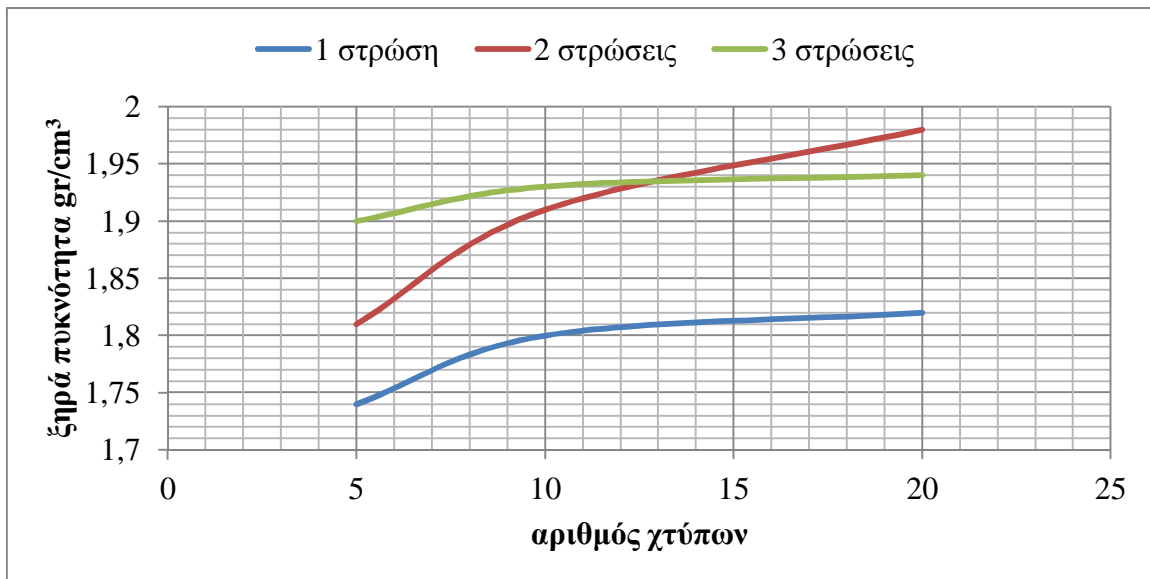
### ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΙ

#### 5.1 Συσχετισμός ξηράς πυκνότητας $\gamma_d$ με τη γωνία εσωτερικής τριβής $\phi$ .

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής άμεσης διάτμησης και την αρχειοθέτηση των αποτελεσμάτων της παρατηρήθηκαν τα εξής.

- 1) Αυξανόμενου του αριθμού των χτύπων για λόγους συμπίκνωσης των προς εξέταση δοκιμίων, παρατηρήθηκε αύξηση της ξηράς πυκνότητας και
- 2) Αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής .

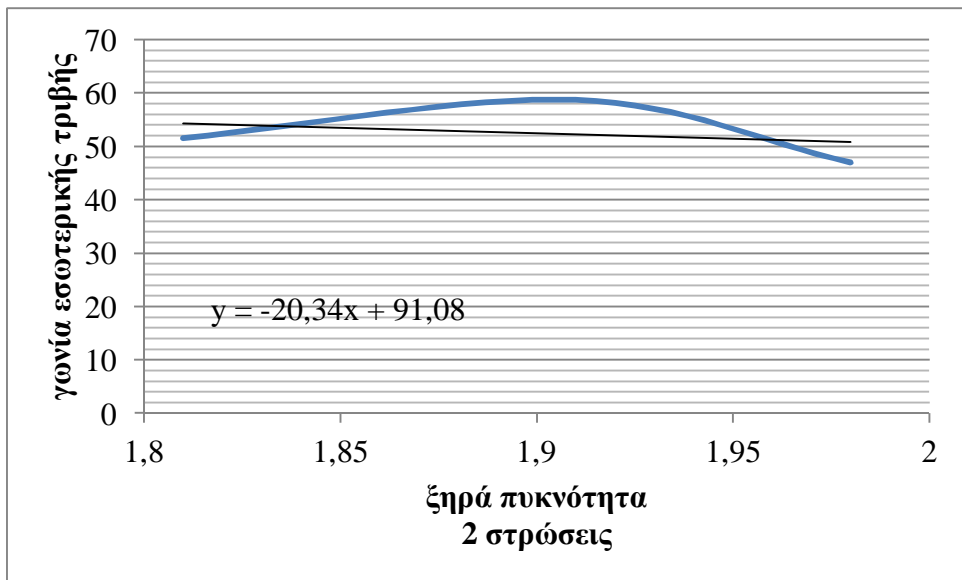
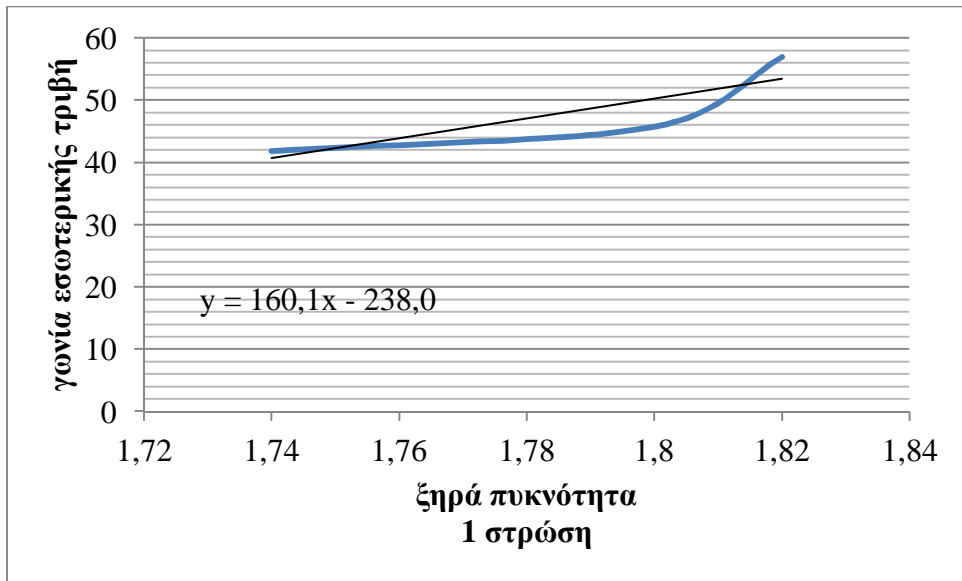
Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η σχέση ξηράς πυκνότητας – αριθμού χτύπων.

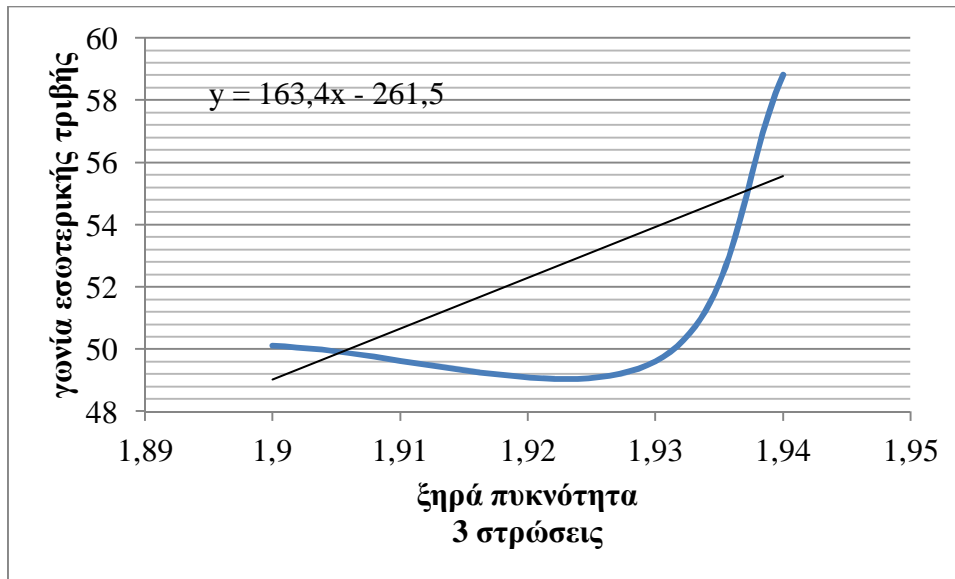


Παρατηρείται λοιπόν ότι ο μέσος όρος της ξηράς πυκνότητας για κάθε στρώση αυξάνεται όσο αυξάνεται και ο αριθμός των χτύπων. Επίσης η ξηρά πυκνότητα αυξάνεται και σε σχέση με τον αριθμό των στρώσεων ακόμα και όταν ο αριθμός των χτύπων παραμένει ίδιος.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα γωνίας εσωτερικής τριβής – ξηράς πυκνότητας για κάθε δοκίμιο.

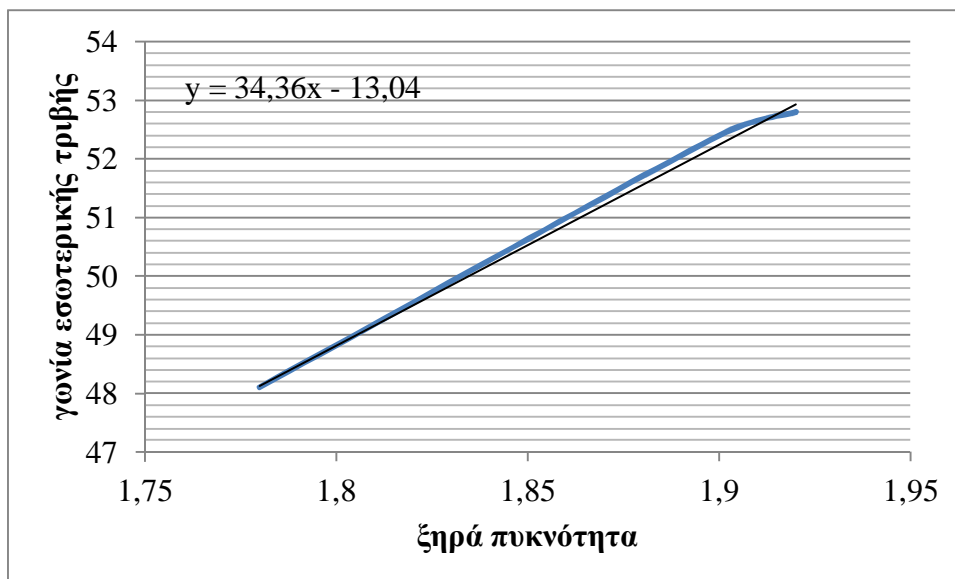






Και στα τρία διαγράμματα παρατηρείται κατά βάση αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής αυξανόμενης της ξηράς πυκνότητας.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η σχέση γωνίας εσωτερικής τριβής – ξηράς πυκνότητας με βάση τους μέσους τιμές των δοκιμών.

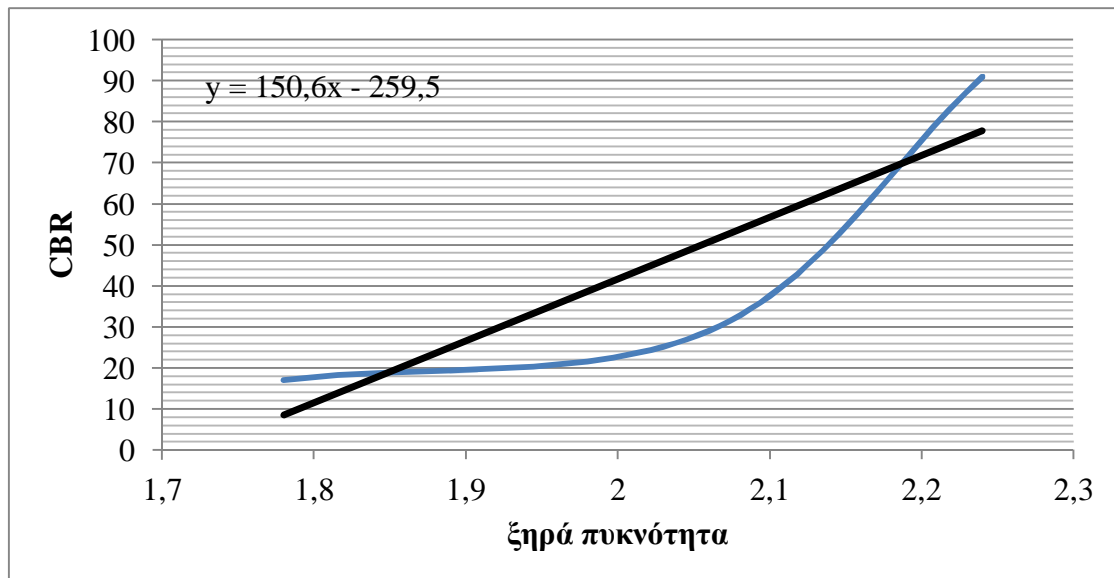


Αποτέλεσμα είναι μια γραμμική αύξηση της γωνίας εσωτερικής τριβής σε σχέση με τη ξηρά πυκνότητα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με την εξίσωση,

$$\varphi = 34,36\gamma_d - 13,04 \quad (5.1)$$

## 5.2 Συσχετισμός καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας, CBR – γωνίας εσωτερικής τριβής, φ.

Τα δοκίμια για τη δοκιμή CBR συμπυκνώθηκαν με 5, 20 και 60 χτύπους. Από τα αποτελέσματα προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα.



Σύμφωνα με το διάγραμμα αυξανόμενη της ξηράς πυκνότητας αυξάνεται και ο δείκτης CBR, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση,

$$CBR = 150,6\gamma_d - 259,5 \quad (5.2)$$

Από την εξίσωση (5.2) προκύπτει ότι :

$$\varphi = 34,36\gamma_d - 13,04$$

επιλύοντας την ως  $\gamma_d$  προκύπτει ότι:

$$\gamma_d = \frac{\varphi + 13,04}{34,36}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (5.2) προκύπτει ότι :

$$CBR = \frac{150,6\varphi + 1513}{34,36}$$

Η παραπάνω εξίσωση σχετίζει το δείκτη CBR με τη γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$  και αφορά μόνο στις δοκιμές που παρουσιάζονται στη παρούσα εργασία, μιας και έγινε χρήση των αποτελεσμάτων της.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΕΝΤΥΠΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα έντυπα μετρήσεων και διαγράμματα των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν από τους σπουδαστές, σύμφωνα με την καθοδήγηση και εποπτεία του κυρίου Παναγιώτη Κλουκίνα.

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**6.1 ΕΝΤΥΠΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

<b>ΕΡΓΟ</b>	Πτυχιακή εργασία
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	Χώρος στάθμευσης εντός του ΤΕΙ Πατρών
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	Υλικό βάσης

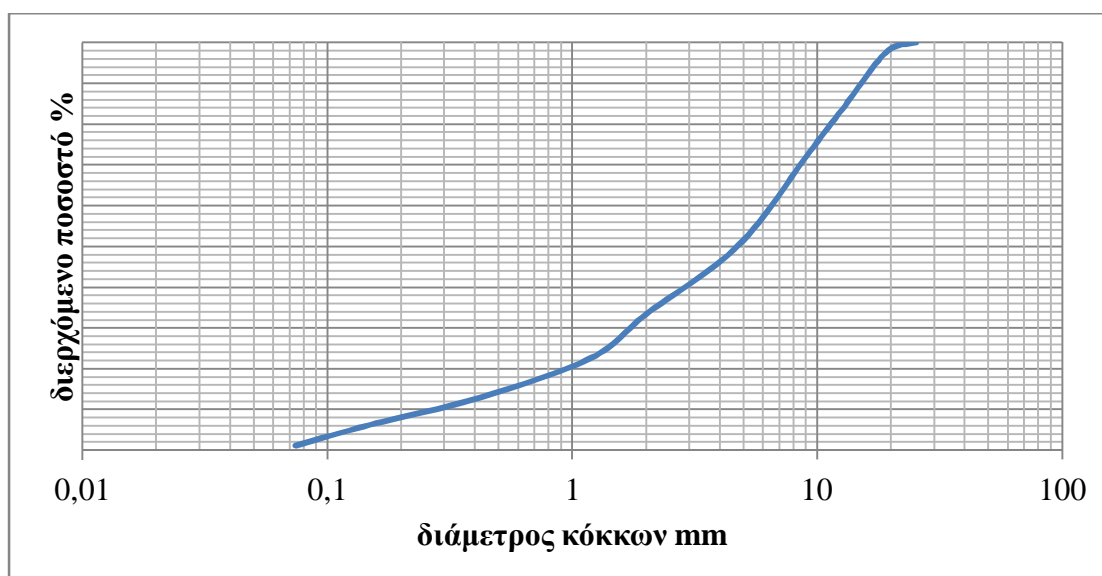
Αριθμός κόσκινου	Ανοιγμα κόσκινου mm	Συγκρατούμενο βάρος	Διερχόμενο βάρος	
			gr	%
3"	76,20			
2 ½"	63,50			
2"	50,80			
1 ½"	38,10			
1 ¼"	31,75			
1"	25,40	0	2143	100
¾"	19,05	52	2091	97,5
5/8"	15,88			
½"	12,70	297	1794	83,7
3/8"	9,353	223	1571	73,3
¼"	6,35			
No 4	4,76	495	1076	50,2
No 8	2,38			
No 10	2,00	361	715	33,3
No 16	1,19	231	484	22,6
No 30	0,59			
No 40	0,420	208	276	12,9
No 50	0,297			
No 80	0,177			
No 100	0,149	143	133	6,2
No 200	0,074	109	24	1,1
	Παιπάλη	24	0	0
<b>Ολικό βάρος</b>		2143		

**Παρατηρήσεις:**

Ύστερα από τη προσθήκη νερού στη παιπάλη, παρατηρήθηκε ότι δεν πλάθεται, άρα δεν παρουσιάζει πλαστικότητα.

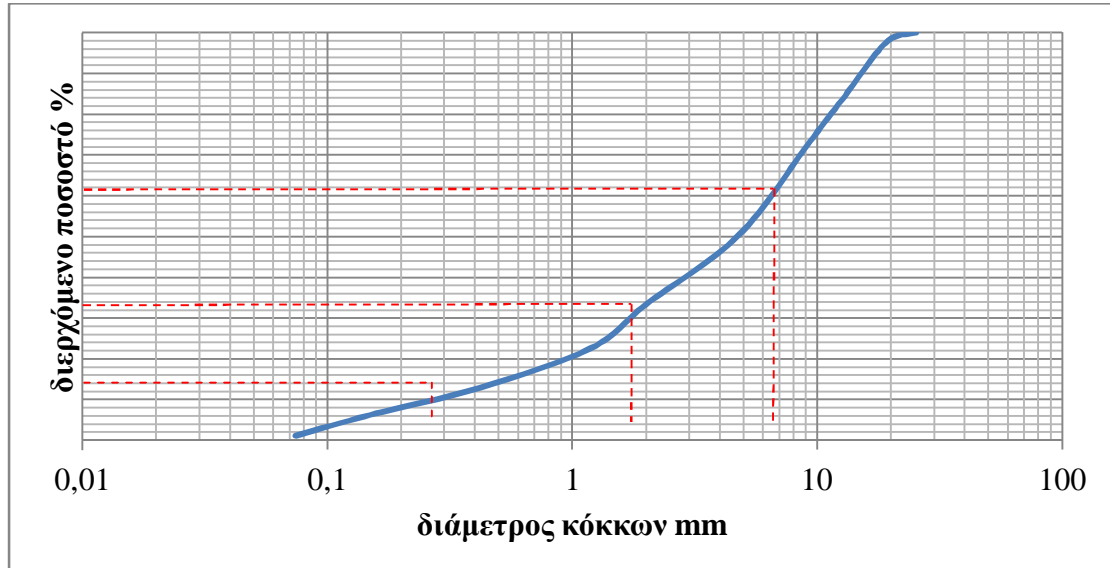
<b>Οι εκτελέσαντες τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης καθηγητής</b>
Μιχαλοπούλου Ελένη Τάχος Θωμάς	Κλουκίνας Παναγιώτης

**Κοκκομετρική καμπύλη.**



## 6.2 Κατάταξη εδάφους.

Η κατάταξη του εδάφους έγινε σύμφωνα με το Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (USCS).



Διερχόμενο ποσοστό από το No 200: 1,1%

Συγκρατούμενο στο No 200: 98,9%  $\implies$  χονδρόκοκκο (98,9% > 50%)

Διερχόμενο από το No 4: 50,2%  $\implies$  χάλικες :  $100 - 50,2 = 49,8\%$

άμμος:  $98,9 - 49,8 = 49,1\%$

**Σύνολο χονδρόκοκκων: 98,9%**

**Άμμος:**  $\frac{49,1}{98,9} = 49,6\%$  επί του χονδρόκοκκου τμήματος.

Ποσοστό < 50%  $\implies$  χάλικες (G).

Άρα: GW ή GP ή GM ή GC.

**Σύμφωνα με το λεπτόκοκκο κλάσμα:**

Λεπτά = 1,1%  $\quad 1,1\% < 5\% \implies$  GW ή GP.

**Από κοκκομετρική καμπύλη:**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{6,7}{0,27} = 25 > 4$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{1,75^2}{0,27 * 6,7} = 1,7$$

$$1 < 1,7 < 3 \quad \Longrightarrow \quad \mathbf{GW}$$

Συνεπώς το παραπάνω έδαφος είναι **καλά διαβαθμισμένοι χάλικες ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.**



ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/ρία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**6.3 ΕΝΤΥΠΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR**

<b>ΕΡΓΟ</b>	Πτυχιακή εργασία
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	Χώρος στάθμευσης εντός του ΤΕΙ Πατρών
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	Υλικό βάσης

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΤΡΑΣ	
Ύψος <b>H</b>	11,7 cm
Διάμετρος <b>D</b>	10,1 cm
Όγκος <b>V</b>	937 cm <sup>3</sup>

	Περιγραφή μετρήσεων	Μον.	1	2	3	4	5
<b>A</b>	Βάρος υγρού δείγματος και τύπου	gr	5341	5359	5341	5447	5407
<b>B</b>	Βάρος τύπου	gr	3370	3338	3277	3335	3335
<b>Γ</b>	Βάρος υγρού δείγματος	gr	1971	2021	2064	2112	2072
<b>Δ</b>	Όγκος τύπου	cm <sup>3</sup>	937	937	937	937	937
<b>Ε</b>	Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,10	2,15	2,20	2,25	2,21
<b>Ξ</b>	Περιεχόμενη υγρασία	%	1,20	2,68	3,90	5,40	7,25
<b>Z</b>	Ξηρά εργαστηριακή πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,07	2,09	2,12	2,13	2,06

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ							
	Περιγραφή μετρήσεων	Μον.	1	2	3	4	5
<b>Θ</b>	Αριθμός υποδοχέα		1	2	3	4	A
<b>I</b>	Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχέα	gr	246,29	218,12	217,74	220,26	242,00
<b>K</b>	Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχέα	gr	243,64	212,92	210,29	210,12	227,03
<b>Λ</b>	Βάρος ύδατος	gr	2,65	5,20	7,45	10,14	14,97
<b>M</b>	Βάρος υποδοχέα	gr	21,23	19,33	19,54	22,47	20,51
<b>N</b>	Βάρος ξηρού δείγματος	gr	222,41	193,59	190,75	187,65	206,52
<b>Ξ</b>	Περιεχόμενη υγρασία	%	1,20	2,68	3,90	5,40	7,25

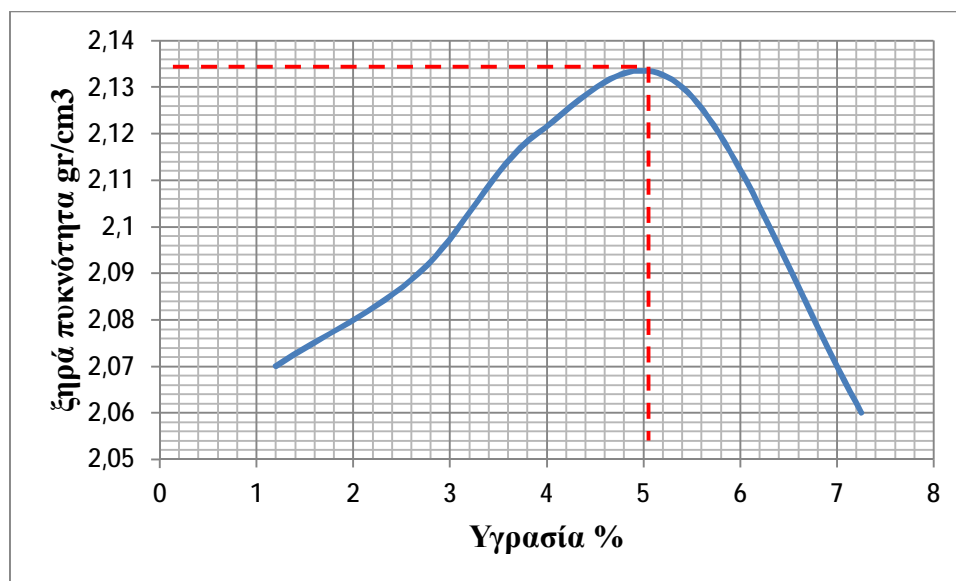
<b>Μέγιστη εργαστηριακή ξηρά πυκνότητα gr/cm<sup>3</sup></b>	2,134
<b>Βέλτιστη υγρασία %</b>	5

**Παρατηρήσεις:**

Στα εδαφικά δείγματα προστέθηκε 1.5, 3, 4.5, 6 και 8% υγρασία αντίστοιχα.

<b>Οι εκτελέσαντες τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης καθηγητής</b>
Μιχαλοπούλου Ελένη Τάχος Θωμάς	Κλουκίνας Παναγιώτης

**Διάγραμμα.**



ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**6.4 ΕΝΤΥΠΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΞΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ**

<b>ΕΡΓΟ</b>	Πτυχιακή εργασία
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	Χώρος στάθμευσης εντός του ΤΕΙ Πατρών
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	Υλικό βάσης

<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΩΝΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΟΥ</b>			
	<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	
	Θερμοκρασία νερού	°C	17
<b>A</b>	Βάρος κενής συσκευής	gr	1246
<b>B</b>	Βάρος κενής συσκευής και βάρος ύδατος	gr	6956
<b>Γ</b>	Βάρος περιεχόμενου ύδατος ( $G=B-A$ )	gr	5710
<b>Δ</b>	Όγκος συσκευής ( $V=\Delta=G*K$ ) <b><math>K=0,998</math></b>	cm <sup>3</sup>	5698
<b>E</b>	Βάρος συσκευής και βάρος άμμου	gr	9659
<b>Z</b>	Βάρος άμμου ( $Z=E-A$ )	gr	8413
<b>H</b>	Φαινόμενο βάρος άμμου ( $H=Z/\Delta$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,47
<b>Θ</b>	Βάρος συσκευής και άμμου μετά την ανατροπή	gr	7936
<b>I</b>	Βάρος άμμου χοάνης ( $I=E-\Theta$ )	gr	1723

	<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>K</b>	Βάρος εδαφικού δείγματος οπής	gr	2398	1336	2493	2152
<b>Λ</b>	Βάρος συσκευής και βάρος άμμου που έμεινε	gr	6628	7097	6449	6651
<b>M</b>	Βάρος άμμου οπής $M=E-(\Lambda+I)$	gr	1308	991	1657	1431
<b>N</b>	Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχέα	gr	215	242	240	245
<b>Ξ</b>	Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχέα	gr	211	235	234	240
<b>T</b>	Βάρος υποδοχέα	gr	21	19	20	21
<b>Φ</b>	Βάρος ξηρού δείγματος	gr	190	216	214	219
<b>O</b>	Περιεχόμενη υγρασία $O=[(N-\Xi)/\Xi]*100$	%	2,10	3,20	2,80	2,20
<b>Π</b>	Βάρος ξηρού δείγματος οπής $\Pi=[K/(O+100)]*100$	gr	2348	1249	2425	2105
<b>P</b>	Όγκος υλικού ( $P=M/H$ )	cm <sup>3</sup>	889	674	1127	973
<b>Σ</b>	Ξηρά πυκνότητα ( $\Sigma=\Pi/P$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,64	1,85	2,15	2,16
<b>E</b>	Βάρος συσκευής και άμμου	gr	9800	9811	9829	9805

<b>Υπολογισμός περιεχόμενης υγρασίας</b>					
<b>Περιγραφή μετρήσεων</b>	<b>Μον.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Βάρος υποδοχέα	gr	468	469	468	466
Βάρος υγρού δείγματος και υποδοχέα	gr	2866	1835	2961	2618
Βάρος ξηρού δείγματος και υποδοχέα	gr	2348	1718	2893	2571
Βάρος ξηρού δείγματος	gr	1880	1249	2425	2105
Περιεχόμενη υγρασία	%	2,70	9,00	2,80	2,20
Τελική περιεχόμενη υγρασία	%	2,56			

<b>Ξηρά εργοταξιακή πυκνότητα gr/ cm<sup>3</sup></b>	2,20
<b>Ποσοστό συμύκνωσης %</b>	103

<b>Παρατηρήσεις:</b>
Κατά τη λήψη του δεύτερου δείγματος συναντήσαμε το φυσικό έδαφος.

<b>Οι εκτελέσαντες τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης καθηγητής</b>
Μιχαλοπούλου Ελένη Τάχος Θωμάς	Κλουκίνας Παναγιώτης

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**6.5 ΕΝΤΥΠΟ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ**

<b>ΕΡΓΟ</b>	Πτυχιακή εργασία
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	Χώρος στάθμευσης εντός του ΤΕΙ Πατρών
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	Υλικό βάσης

Διαστάσεις μήτρας	
Ύψος H	3,70 cm
Διάμετρος D	6,30 cm
Όγκος V	115,28 cm <sup>3</sup>

**Παρατηρήσεις:**

Υλικό διερχόμενο από το κόσκινο διαμέτρου 9,5 mm.  
Συμπύκνωση σε 1,2 και 3 στρώσεις με 5,10 και 20 χτύπους και με φορτία 2.5, 5 και 10 kg.  
1504 gr ξηρού εδάφους + 6% υγρασία = 1594 gr υγρού εδάφους.

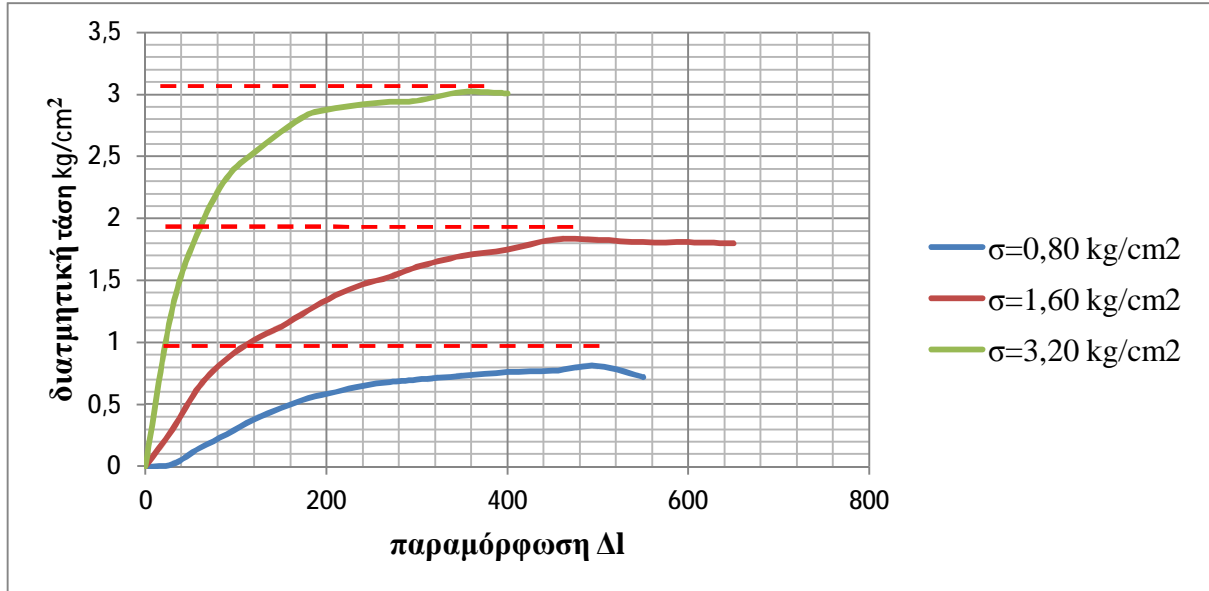
<b>Οι εκτελέσαντες τη δοκιμή</b> Μιχαλοπούλου Ελένη Τάχος Θωμάς	<b>Επόπτης καθηγητής</b> Κλουκίνας Παναγιώτης
---	--

## 1 ΣΤΡΩΣΗ – 5 ΧΤΥΠΟΙ

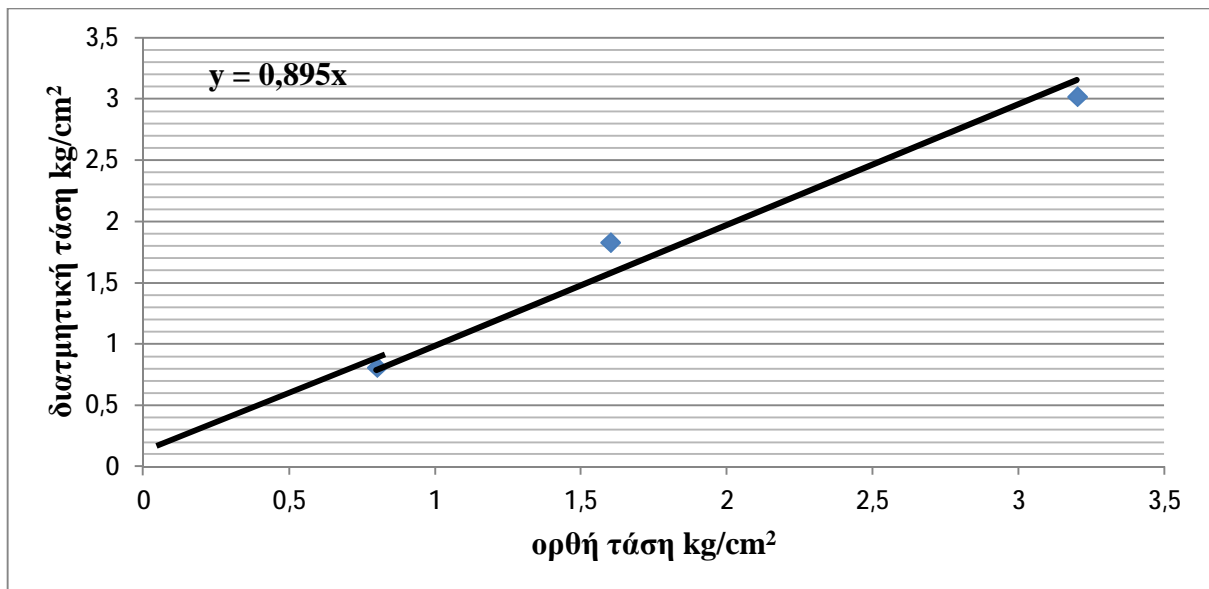
	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	196	208	209
Ύψος δοκιμίου	cm	3,4	3,6	3,6
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	106	112,2	112,2
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,85	1,85	1,86
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,74	1,74	1,75
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,74 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	5	0,68	0,02	70	9,52	0,30	293	39,85	1,28
60	34	4,62	0,15	149	20,26	0,65	440	59,84	1,92
90	59	8,02	0,26	200	27,20	0,87	534	72,62	2,33
120	87	11,83	0,38	233	31,69	1,02	580	78,88	2,53
150	108	14,69	0,47	260	35,36	1,13	618	84,05	2,70
180	126	17,14	0,55	290	39,44	1,26	650	88,40	2,84
210	137	18,63	0,60	317	43,11	1,38	662	90,03	2,89
240	150	20,40	0,65	337	45,83	1,47	670	91,12	2,92
270	157	21,35	0,68	350	47,60	1,53	673	91,53	2,94
300	160	21,76	0,70	368	50,05	1,61	677	92,07	2,95
350	167	22,71	0,73	389	52,90	1,70	693	94,25	3,02
400	174	23,66	0,76	400	54,40	1,75	690	93,84	3,01
450	177	24,07	0,77	420	57,12	1,83			
500	185	25,16	0,81	420	57,12	1,83			
550	165	22,44	0,72	415	56,44	1,81			
600				415	56,44	1,81			
650				414	56,30	1,80			
700									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	41,8°

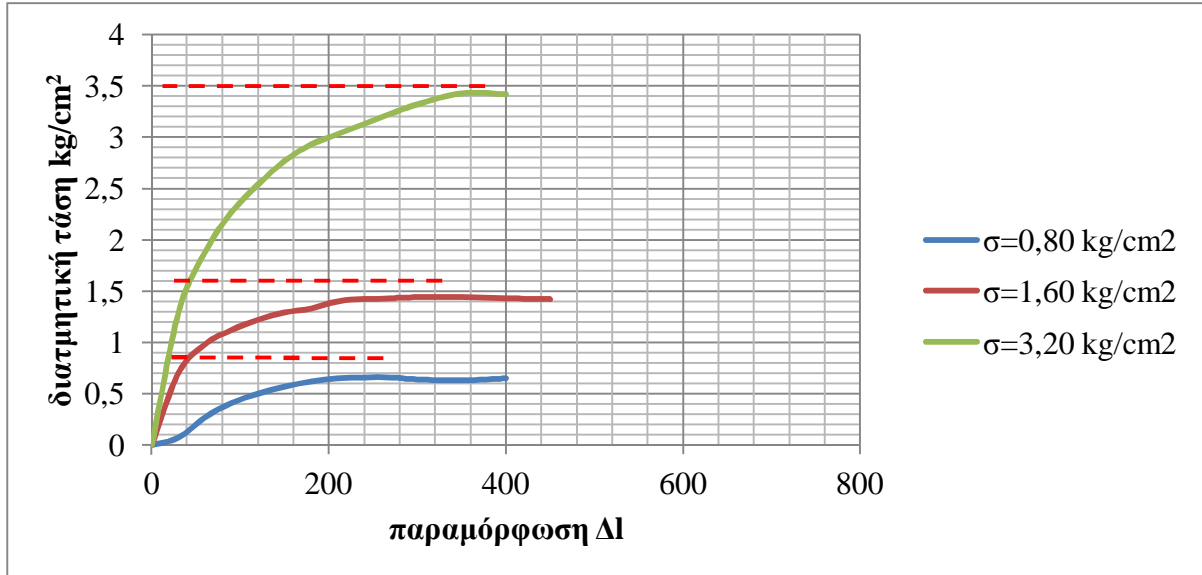
## 1 ΣΤΡΩΣΗ – 10 ΧΤΥΠΟΙ

	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	190	206	219
Ύψος δοκιμίου	cm	3,3	3,4	3,6
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	102,8	106	112,2
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,85	1,94	1,95
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,74	1,83	1,84
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,80 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

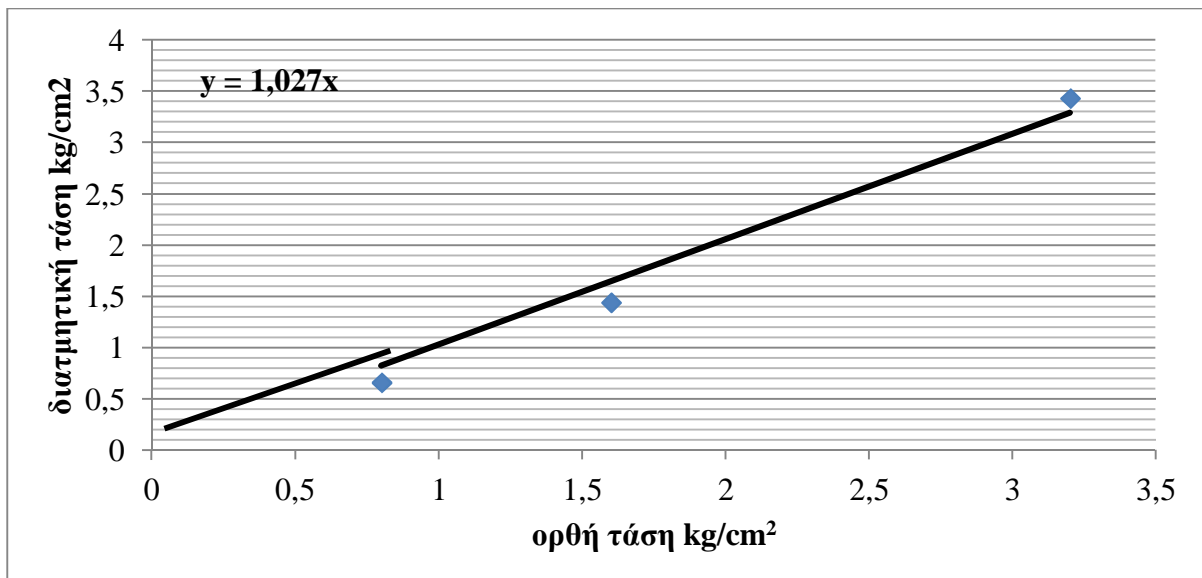
Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	17	2,31	0,07	160	21,76	0,70	295	40,12	1,29
60	63	8,57	0,27	225	30,60	0,98	432	58,75	1,88
90	94	12,78	0,41	257	34,95	1,12	520	70,72	2,27
120	115	15,64	0,50	279	37,94	1,22	583	79,29	2,54
150	130	17,68	0,57	295	40,12	1,29	635	86,36	2,77
180	143	19,45	0,62	305	41,48	1,33	672	91,39	2,93
210	149	20,26	0,65	320	43,52	1,40	694	94,38	3,03
240	151	20,54	0,66	326	44,33	1,42	717	97,51	3,13
270	151	20,54	0,66	328	44,61	1,43	740	100,64	3,23
300	148	20,13	0,64	331	45,02	1,44	760	103,36	3,32
350	145	19,72	0,63	330	44,88	1,44	785	106,76	3,43
400	150	20,40	0,65	328	44,61	1,43	784	106,62	3,42
450				325	44,20	1,42			
500									
550									
600									
650									
700									



**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



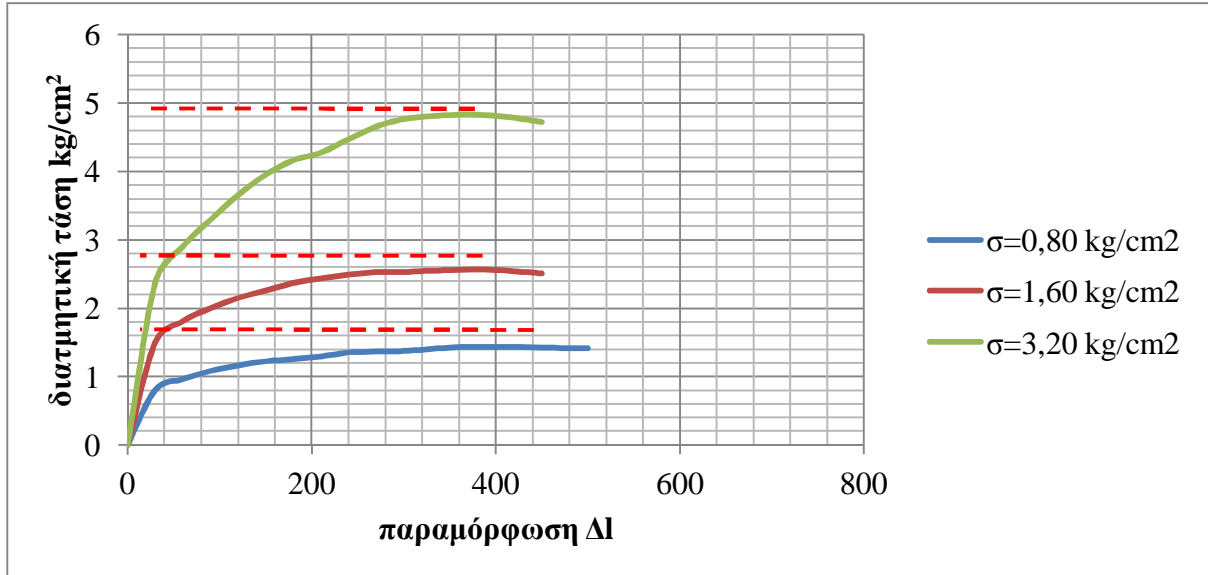
Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	45,7 °

## 1 ΣΤΡΩΣΗ – 20 ΧΤΥΠΟΙ

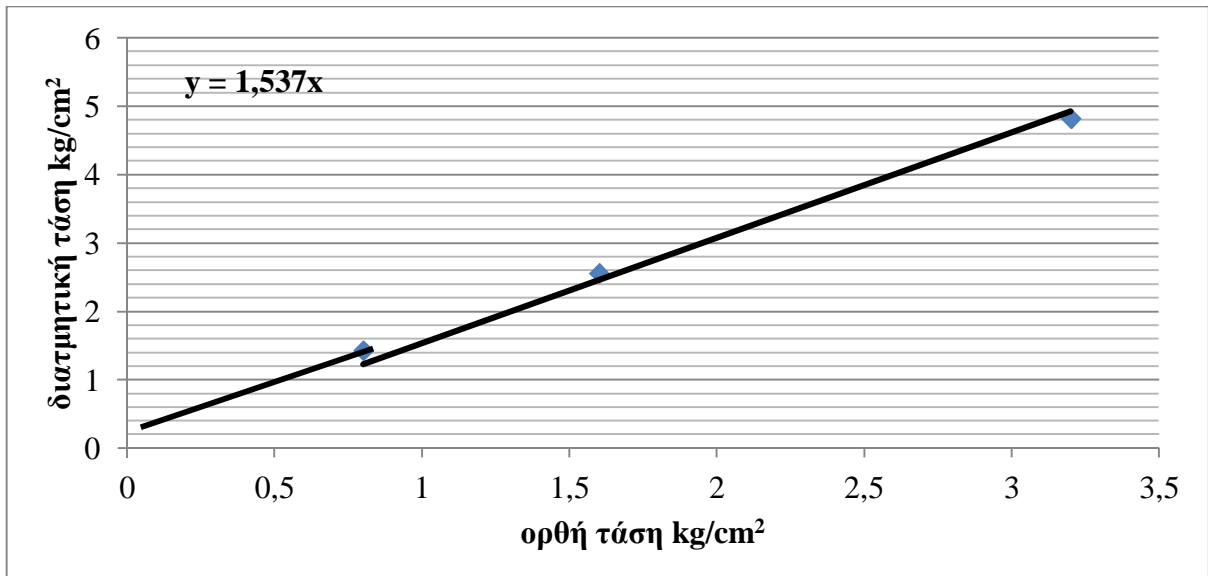
	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	201	195	197
Ύψος δοκιμίου	cm	3,3	3,3	3,2
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	102,8	102,8	99,7
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,95	1,89	1,97
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,84	1,78	1,86
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,82 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	183	24,89	0,80	343	46,65	1,50	543	73,85	2,37
60	220	29,92	0,96	415	56,44	1,81	665	90,44	2,90
90	247	33,59	1,08	458	62,29	2,00	754	102,54	3,29
120	266	36,17	1,16	493	67,05	2,15	836	113,70	3,65
150	280	38,08	1,22	518	70,45	2,26	905	123,08	3,95
180	286	38,89	1,25	544	73,98	2,37	953	129,61	4,16
210	296	40,25	1,29	560	76,16	2,44	980	133,28	4,27
240	310	42,16	1,35	570	77,52	2,49	1024	139,26	4,47
270	312	42,43	1,36	579	78,74	2,53	1066	144,98	4,65
300	314	42,70	1,37	579	78,74	2,53	1090	148,24	4,76
350	325	44,20	1,42	586	79,69	2,56	1104	150,14	4,82
400	327	44,47	1,43	586	79,69	2,56	1103	150,00	4,81
450	325	44,20	1,42	575	78,20	2,51	1082	147,15	4,72
500	324	44,06	1,41						
550									
600									
650									
700									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



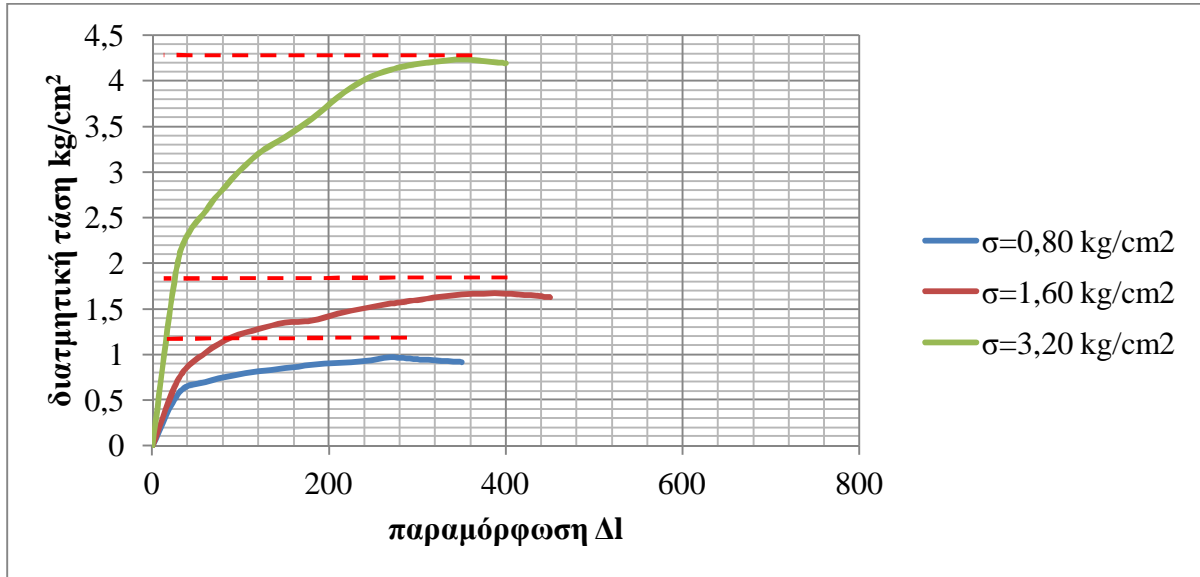
Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	56,9°

**2 ΣΤΡΩΣΕΙΣ – 5 ΧΤΥΠΟΙ**

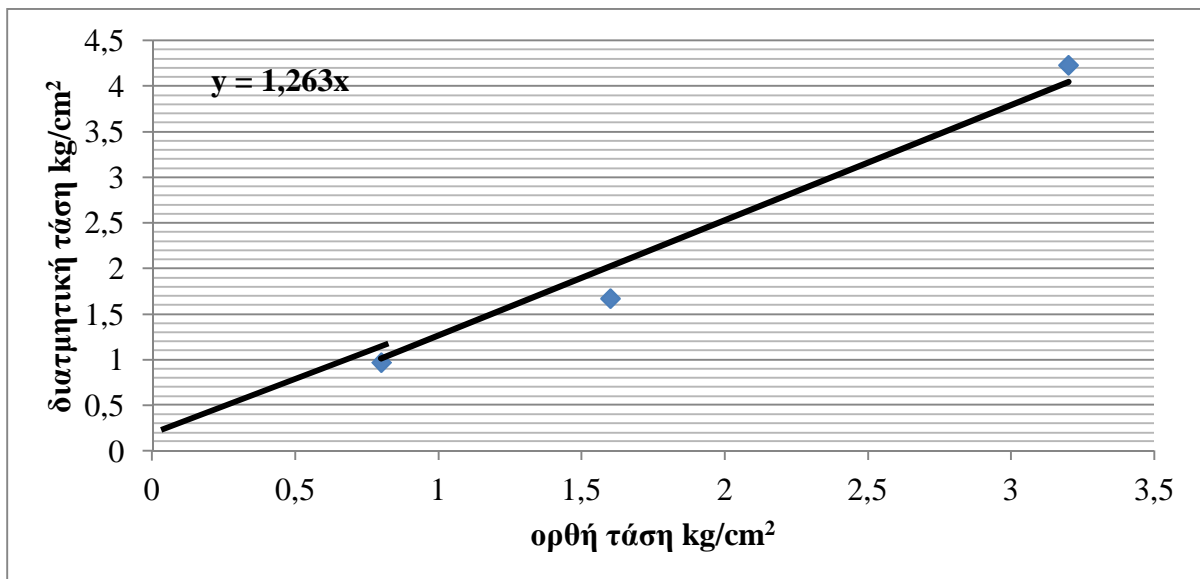
	<b>Μον.</b>	<b>Φορτίο 2,5</b>	<b>Φορτίο 5</b>	<b>Φορτίο 10</b>
<b>Βάρος δοκιμίου</b>	gr	211	194	221
<b>Ύψος δοκιμίου</b>	cm	3,5	3,3	3,6
<b>Όγκος δοκιμίου</b>	cm <sup>3</sup>	109,06	102,8	112,2
<b>Υγρά πυκνότητα</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1,93	1,88	1,97
<b>Ξηρά πυκνότητα</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1,82	1,77	1,86
<b>Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας</b>		1,81 gr/cm <sup>3</sup>		
<b>Συντελεστής μηχανής</b>		0,136		

<b>Παραμόρφωση</b>	<b>σ = 0,80 kg/cm<sup>2</sup></b>			<b>σ = 1,60 kg/cm<sup>2</sup></b>			<b>σ = 3,20 kg/cm<sup>2</sup></b>		
	<b>Ανάγνωση δακτυλίου</b>	<b>kg</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Ανάγνωση δακτυλίου</b>	<b>kg</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Ανάγνωση δακτυλίου</b>	<b>kg</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>30</b>	134	18,22	0,58	170	23,12	0,74	475	64,60	2,07
<b>60</b>	160	21,76	0,70	235	31,96	1,02	590	80,24	2,57
<b>90</b>	176	23,94	0,77	272	37,00	1,19	670	91,12	2,92
<b>120</b>	189	25,70	0,82	293	39,85	1,28	734	99,82	3,20
<b>150</b>	195	26,52	0,85	310	42,16	1,35	775	105,40	3,38
<b>180</b>	203	27,61	0,89	315	42,84	1,37	821	111,65	3,58
<b>210</b>	210	28,56	0,91	332	45,15	1,45	875	119,00	3,82
<b>240</b>	213	28,97	0,93	347	47,19	1,51	920	125,12	4,01
<b>270</b>	223	30,33	0,97	357	48,55	1,56	945	128,52	4,12
<b>300</b>	219	29,78	0,95	367	49,91	1,60	959	130,42	4,18
<b>350</b>	211	28,70	0,92	380	51,68	1,66	970	131,92	4,23
<b>400</b>				383	52,09	1,67	960	130,56	4,19
<b>450</b>				375	51,00	1,63			
<b>500</b>									
<b>550</b>									
<b>600</b>									
<b>650</b>									
<b>700</b>									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



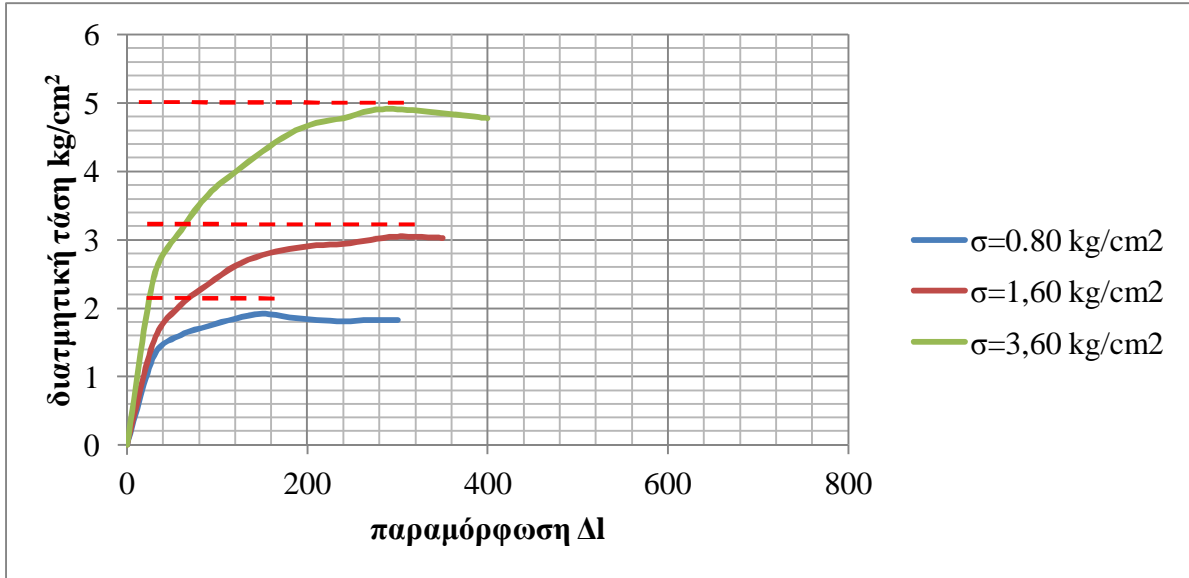
Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	51,6°

## 2 ΣΤΡΩΣΕΙΣ – 10 ΧΤΥΠΟΙ

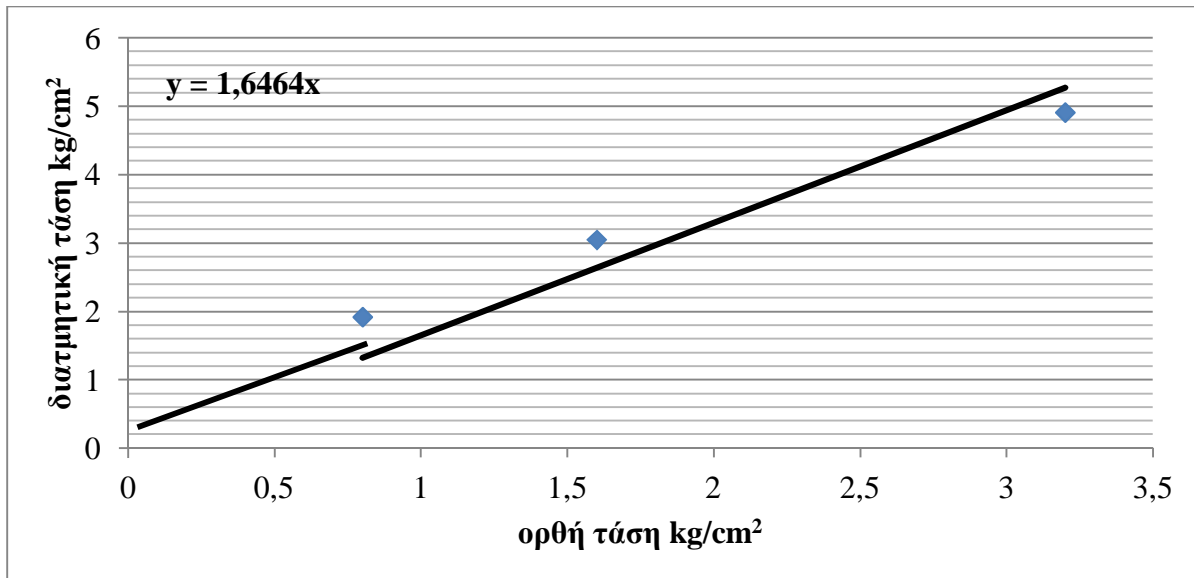
	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	217	216	216
Ύψος δοκιμίου	cm	3,4	3,4	3,4
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	106	106	106
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,04	2,03	2,03
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,92	1,91	1,91
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1.91 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

Παραμόρφωση	$\sigma = 0,80 \text{ kg/cm}^2$			$\sigma = 1,60 \text{ kg/cm}^2$			$\sigma = 3,20 \text{ kg/cm}^2$		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	300	40,80	1,31	350	47,60	1,53	563	76,57	2,46
60	368	50,05	1,61	470	63,92	2,05	720	97,92	3,14
90	400	54,40	1,74	540	73,44	2,35	838	113,97	3,66
120	425	57,80	1,85	600	81,60	2,62	914	124,30	3,99
150	440	59,84	1,92	637	86,63	2,78	983	133,69	4,29
180	430	58,48	1,87	659	89,62	2,87	1042	141,71	4,55
210	420	57,12	1,83	670	91,12	2,92	1079	146,74	4,71
240	415	56,44	1,81	675	91,80	2,94	1095	148,92	4,78
270	420	57,12	1,83	687	93,43	3,00	1121	152,45	4,89
300	420	57,12	1,83	700	95,20	3,05	1125	153,00	4,91
350				694	94,38	3,03	1112	151,23	4,85
400							1095	148,92	4,78
450									
500									
550									
600									
650									
700									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	58,7°

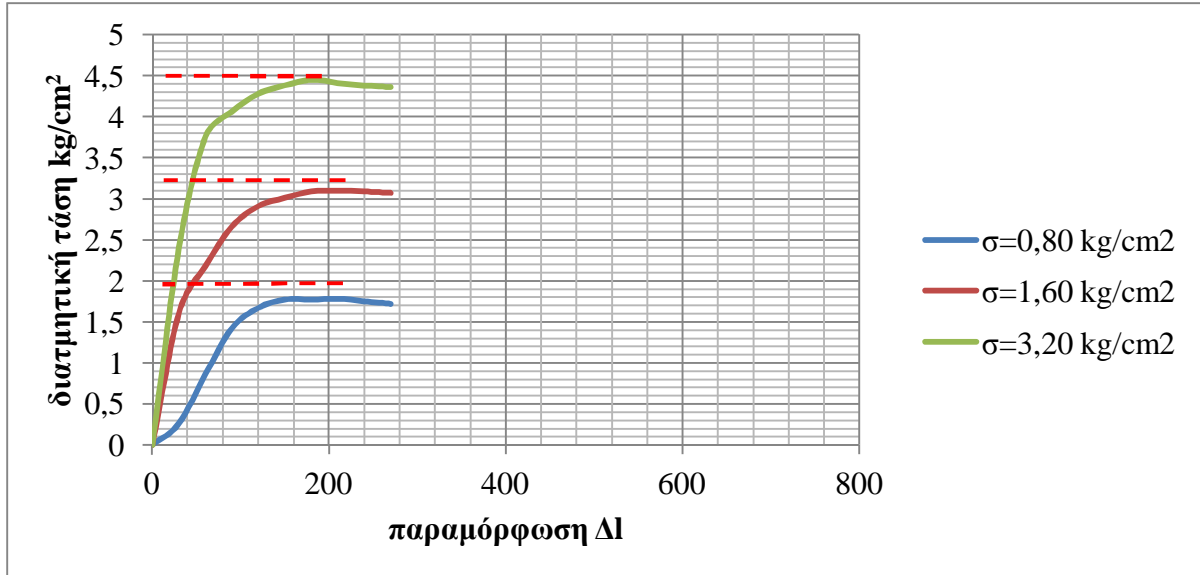
## 2 ΣΤΡΩΣΕΙΣ -20 ΧΤΥΠΟΙ

	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	216	222	211
Ύψος δοκιμίου	cm	3,3	3,4	3,2
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	102,8	106	99,7
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,10	2,09	2,11
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,98	1,97	1,99
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,98 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

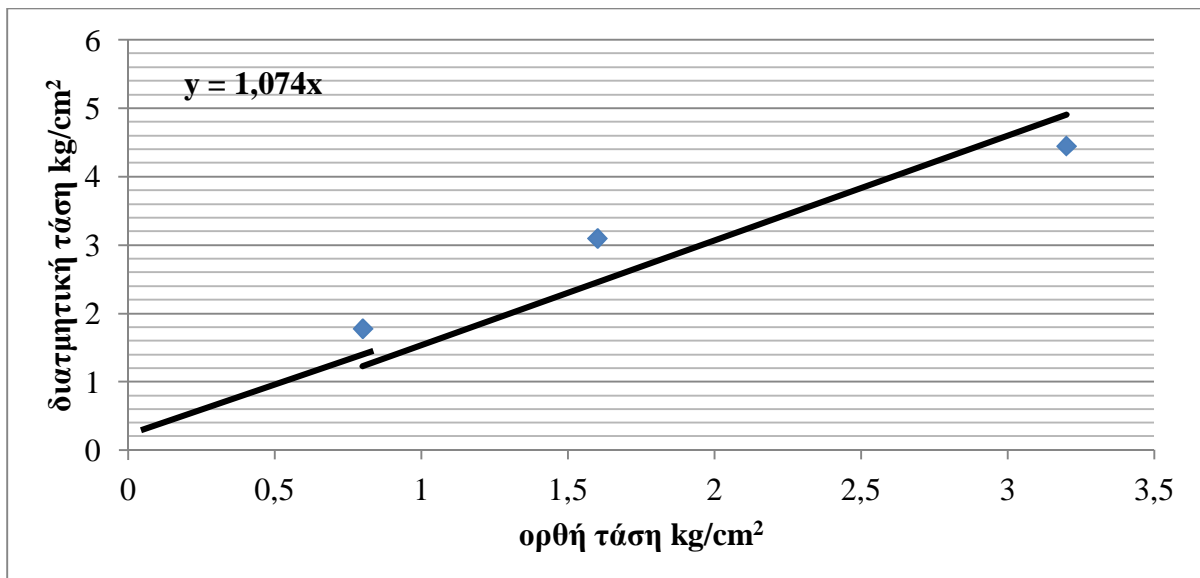
Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	60	8,16	0,26	370	50,32	1,61	550	74,80	2,40
60	197	26,79	0,86	500	68,00	2,18	860	116,96	3,75
90	325	44,20	1,42	610	82,96	2,66	930	126,48	4,06
120	383	52,09	1,67	667	90,71	2,91	980	133,28	4,28
150	407	55,35	1,77	690	93,84	3,01	1005	136,68	4,38
180	407	55,35	1,77	710	96,56	3,09	1020	138,72	4,45
210	408	55,49	1,78	711	96,69	3,10	1010	137,36	4,41
240	402	54,67	1,75	709	96,42	3,09	1005	136,68	4,38
270	395	53,72	1,72	703	95,61	3,07	1000	136,00	4,36
300									
350									
400									
450									
500									
550									
600									
650									
700									



**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



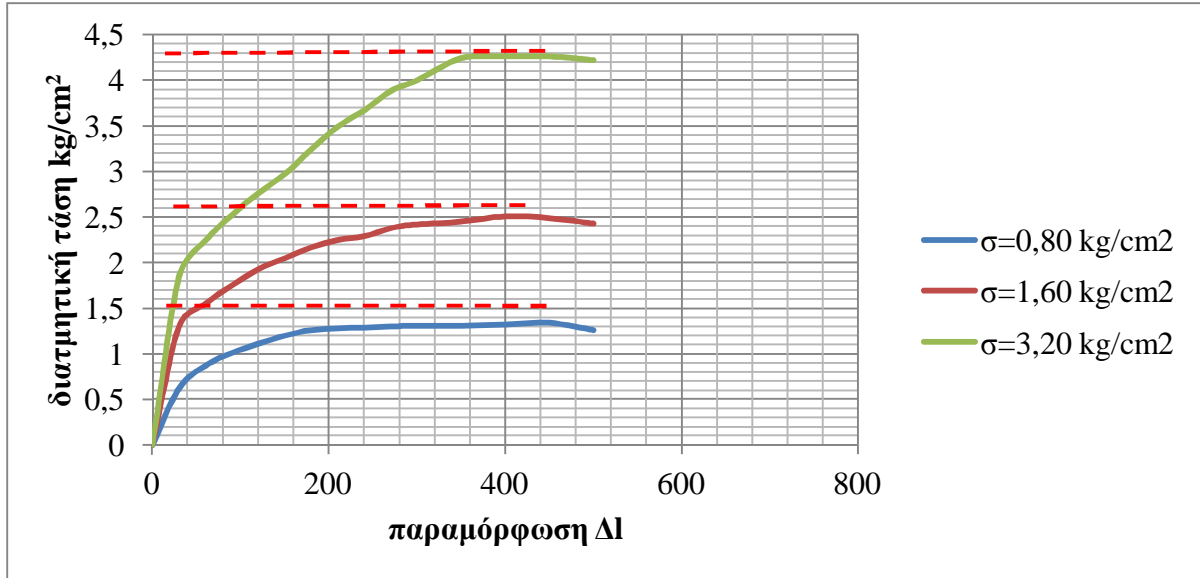
Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	47 °

### 3 ΣΤΡΩΣΕΙΣ – 5 ΧΤΥΠΟΙ

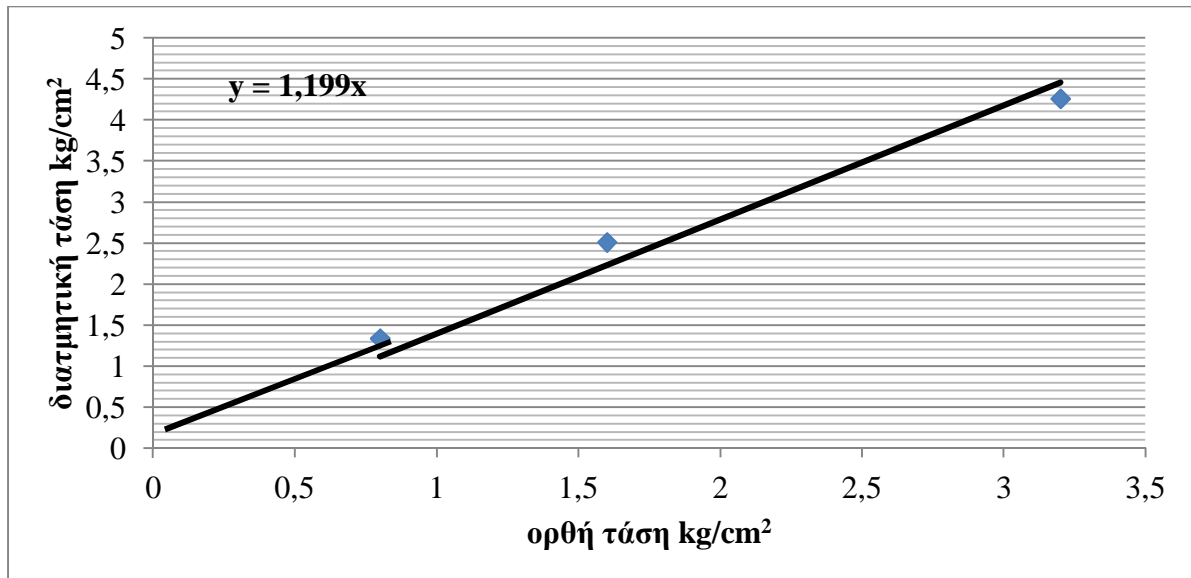
	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	220	218	213
Ύψος δοκιμίου	cm	3,4	3,5	3,4
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	106	109	106
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,07	2,00	2,01
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,95	1,88	1,89
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,90 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	143	19,45	0,62	300	40,80	1,30	423	57,53	1,84
60	200	27,20	0,87	355	48,28	1,55	513	69,77	2,24
90	233	31,69	1,01	402	54,67	1,75	577	78,47	2,52
120	255	34,68	1,11	442	60,11	1,93	633	86,09	2,76
150	276	37,53	1,20	470	63,92	2,05	682	97,75	2,97
180	288	39,17	1,26	497	67,59	2,17	743	101,05	3,24
210	295	40,12	1,28	515	70,04	2,25	800	108,80	3,49
240	297	40,39	1,29	526	71,53	2,29	842	114,51	3,67
270	300	40,80	1,30	545	74,12	2,38	890	121,04	3,88
300	302	41,07	1,31	555	75,48	2,42	917	124,71	4,00
350	302	41,07	1,31	562	76,43	2,45	973	132,33	4,24
400	303	41,21	1,32	575	78,20	2,51	977	132,87	4,26
450	307	41,75	1,34	571	77,65	2,49	977	132,87	4,26
500	290	39,44	1,26	558	75,89	2,43	968	131,65	4,22
550									
600									
650									
700									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



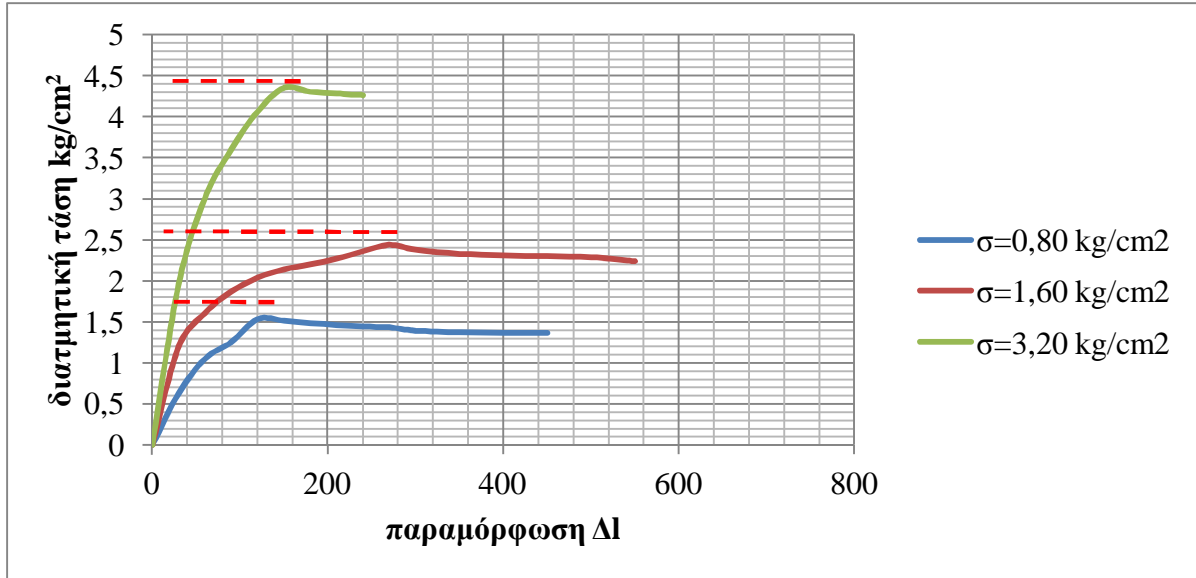
Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	50,1 °

### 3 ΣΤΡΩΣΕΙΣ – 10 ΧΤΥΠΟΙ

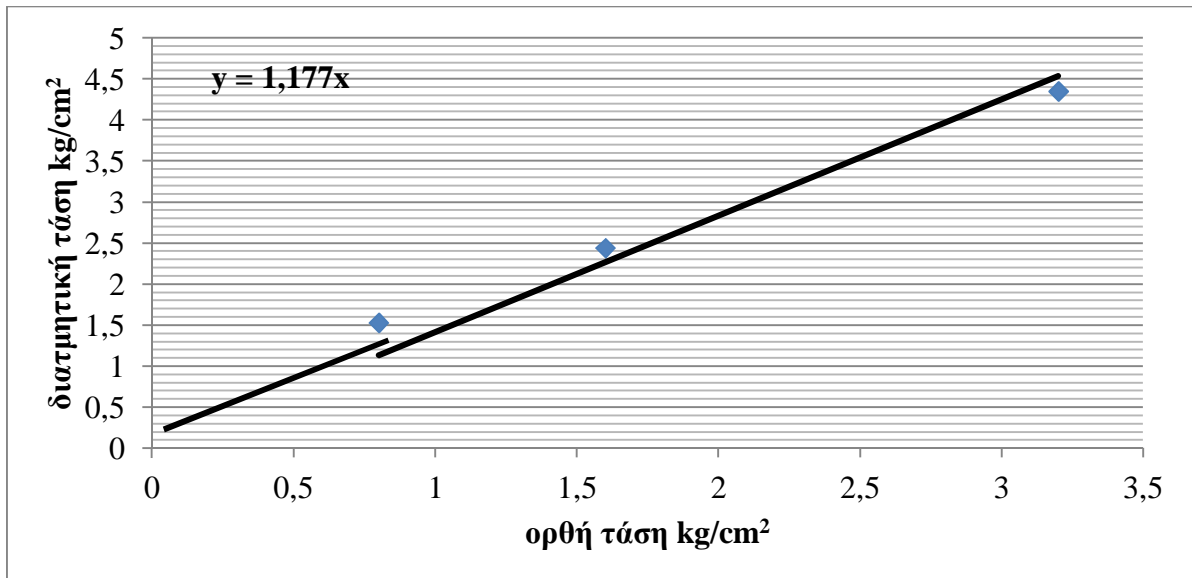
	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	207	213	226
Ύψος δοκιμίου	cm	3,2	3,5	3,4
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	99,7	109	106
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,07	1,95	2,13
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,95	1,84	2,01
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,93 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	145	19,72	0,63	275	37,40	1,20	450	61,20	1,96
60	240	32,64	1,05	370	50,32	1,61	690	93,84	3,01
90	288	39,17	1,25	428	58,21	1,87	825	112,20	3,60
120	350	47,60	1,53	467	63,51	2,04	931	126,61	4,06
150	347	47,19	1,51	490	66,64	2,14	997	135,59	4,35
180	340	46,24	1,48	505	68,68	2,20	985	133,96	4,30
210	336	45,69	1,46	521	70,85	2,27	980	133,28	4,28
240	330	44,88	1,44	541	73,57	2,36	976	132,73	4,26
270	327	44,47	1,43	560	76,16	2,44			
300	320	43,52	1,39	546	74,25	2,38			
350	315	42,84	1,37	535	72,76	2,33			
400	312	42,43	1,36	530	72,08	2,31			
450	312	42,43	1,36	527	71,67	2,30			
500				524	71,26	2,29			
550				513	69,77	2,24			
600									
650									
700									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



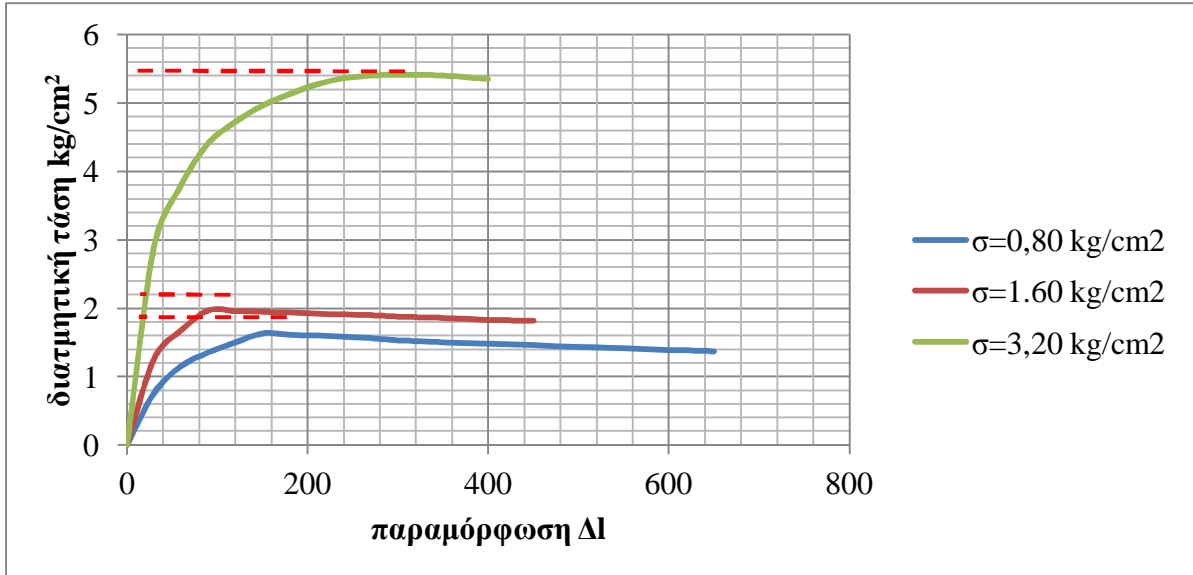
Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	49,6 °

### 3 ΣΤΡΩΣΕΙΣ – 20 ΧΤΥΠΟΙ

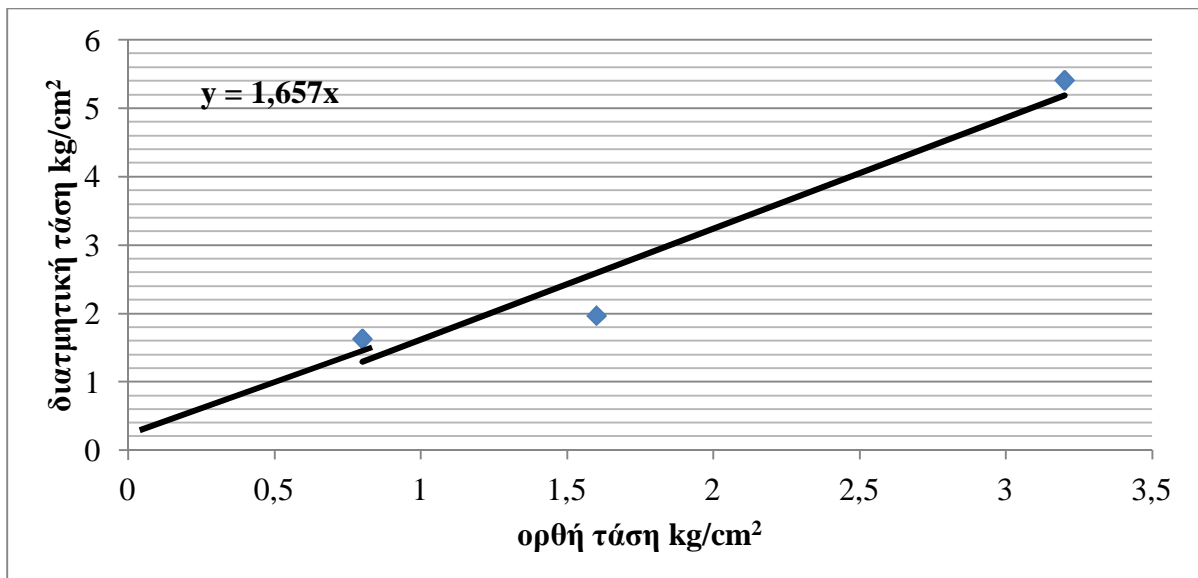
	Μον.	Φορτίο 2,5	Φορτίο 5	Φορτίο 10
Βάρος δοκιμίου	gr	225	216	235
Ύψος δοκιμίου	cm	3,6	3,5	3,4
Όγκος δοκιμίου	cm <sup>3</sup>	112,2	109	106
Υγρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	2,00	1,98	2,21
Ξηρά πυκνότητα	gr/cm <sup>3</sup>	1,88	1,87	2,08
Μέσος όρος ξηράς πυκνότητας		1,94 gr/cm <sup>3</sup>		
Συντελεστής μηχανής		0,136		

Παραμόρφωση	σ = 0,80 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 1,60 kg/cm <sup>2</sup>			σ = 3,20 kg/cm <sup>2</sup>		
	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Ανάγνωση δακτυλίου	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	175	23,80	0,76	290	39,44	1,26	665	90,44	2,90
60	265	36,04	1,15	385	52,36	1,68	870	118,32	3,80
90	310	42,16	1,35	450	61,20	1,97	1010	137,36	4,41
120	345	46,92	1,50	449	61,06	1,96	1082	147,15	4,72
150	375	51,00	1,63	447	60,79	1,95	1137	154,63	4,96
180	370	50,32	1,61	445	60,52	1,94	1175	159,80	5,13
210	367	49,91	1,60	440	59,84	1,92	1207	164,15	5,27
240	363	49,37	1,58	437	59,43	1,91	1229	167,14	5,36
270	358	48,69	1,56	436	59,29	1,90	1237	168,23	5,40
300	350	47,60	1,53	432	58,75	1,88	1240	168,64	5,41
350	345	46,92	1,50	427	58,07	1,86	1237	168,23	5,40
400	340	46,24	1,48	420	57,12	1,83	1227	166,87	5,35
450	334	45,42	1,46	418	56,85	1,82			
500	327	44,47	1,43						
550	324	44,06	1,41						
600	320	43,52	1,39						
650	315	42,84	1,37						
700									

**Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.**



**Περιβάλλουσα Mohr – Coulomb.**



Παράμετροι διατμητικής αντοχής	
c	0
φ	58,8°

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

Ημ/νία:

ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**6.6 ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΚΟΥ ΛΟΓΟΥ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ, CBR**

<b>ΕΡΓΟ</b>	Πτυχιακή εργασία
<b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>	Χώρος στάθμευσης εντός του ΤΕΙ Πατρών
<b>ΥΛΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ</b>	Υλικό βάσης

<b>Διάμετρος μήτρας, D</b>	15 cm
<b>Ύψος, H</b>	12,6 cm
<b>Όγκος, V</b>	2225 cm <sup>3</sup>
<b>Εμβαδόν της διατομής του εμβόλου για τη δοκιμή διεύθυνσης, A</b>	19,6 cm <sup>2</sup>
<b>Ξηρά πυκνότητα Proctor, γ<sub>a</sub></b>	2,134 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Βέλτιστη υγρασία, W<sub>β</sub></b>	5 %

<b>ΔΟΚΙΜΙΑ CBR</b>				
<b>Αριθμός δοκιμίου</b>	<b>Μον.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Αριθμός χτύπων</b>		5	20	60
<b>Βάρος υγρού δείγματος και μήτρας</b>	gr	18724	19157	19753
<b>Βάρος μήτρας</b>	gr	14553	14310	14494
<b>Βάρος υγρού δείγματος</b>	gr	4171	4847	5259
<b>Όγκος δοκιμίου</b>	cm <sup>3</sup>	2225	2225	2225
<b>Περιεχόμενη υγρασία</b>	%	5	5	5
<b>Υγρή πυκνότητα</b>	gr/ cm <sup>3</sup>	1,87	2,17	2,36
<b>Ξηρά πυκνότητα</b>	gr/ cm <sup>3</sup>	1,78	2,06	2,24



Διείσδυση (mm)	I		II		III	
	Δύναμη (kg)	Τάσεις (kg/cm <sup>2</sup> )	Δύναμη (kg)	Τάσεις (kg/cm <sup>2</sup> )	Δύναμη (kg)	Τάσεις (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,30	10	0,51	24	1,22	79	4,03
0,60	20	1,02	67	3,42	199	10,15
0,90	35	1,78	120	6,12	300	15,30
1,20	56	2,85	172	8,67	447	22,80
1,50	80	4,08	224	11,42	625	31,88
2,00	125	6,37	302	15,40	925	47,19
2,50	170	8,67	364	18,57	1255	64,03
3,00	212	10,81	424	21,63	1600	81,63
3,50	253	12,91	487	24,84	1950	99,48
4,00	290	14,79	553	28,21	2310	117,85
4,50	323	16,48	615	31,37		
5,00	353	18,01	671	31,23		
5,50	382	19,49	725	36,98		
6,00	410	20,91	776	39,59		
7,00	472	24,08	874	41,59		
8,00	524	26,73	950	48,46		
9,00	580	29,59	1032	52,65		
10,00	636	32,44	1105	56,37		
11,00	684	34,89	1157	59,03		
12,00	733	37,39	1224	62,44		
13,00	775	39,54				

### Υπολογισμός CBR.

#### Δοκίμιο I.

$$CBR_{2,5}^1 = \frac{8,67 \text{ kg/cm}^2}{70 \text{ kg/cm}^2} = 0,12 * 100 = 12$$

$$CBR_{5,0}^1 = \frac{18,01 \text{ kg/cm}^2}{105 \text{ kg/cm}^2} = 0,17 * 100 = 17$$

Επιλογή CBR<sup>1</sup> = 17

### Δοκίμιο II.

$$CBR_{2,5}^2 = \frac{18,57 \text{ kg/cm}^2}{70 \text{ kg/cm}^2} = 0,26 * 100 = 26$$

$$CBR_{5,0}^2 = \frac{31,23 \text{ kg/cm}^2}{105 \text{ kg/cm}^2} = 0,29 * 100 = 29$$

Επιλογή  $CBR^2 = 29$

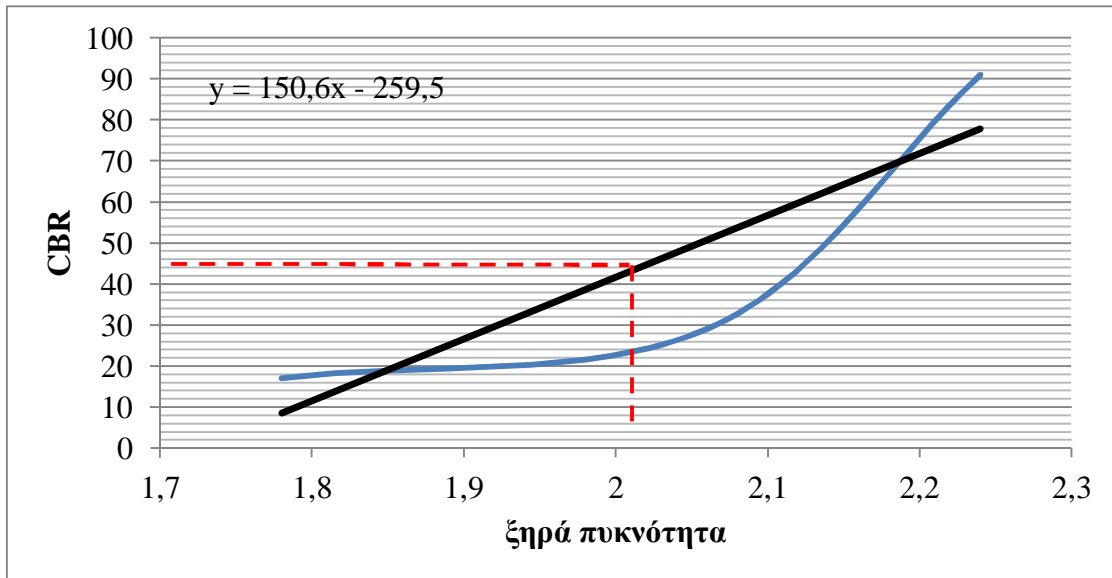
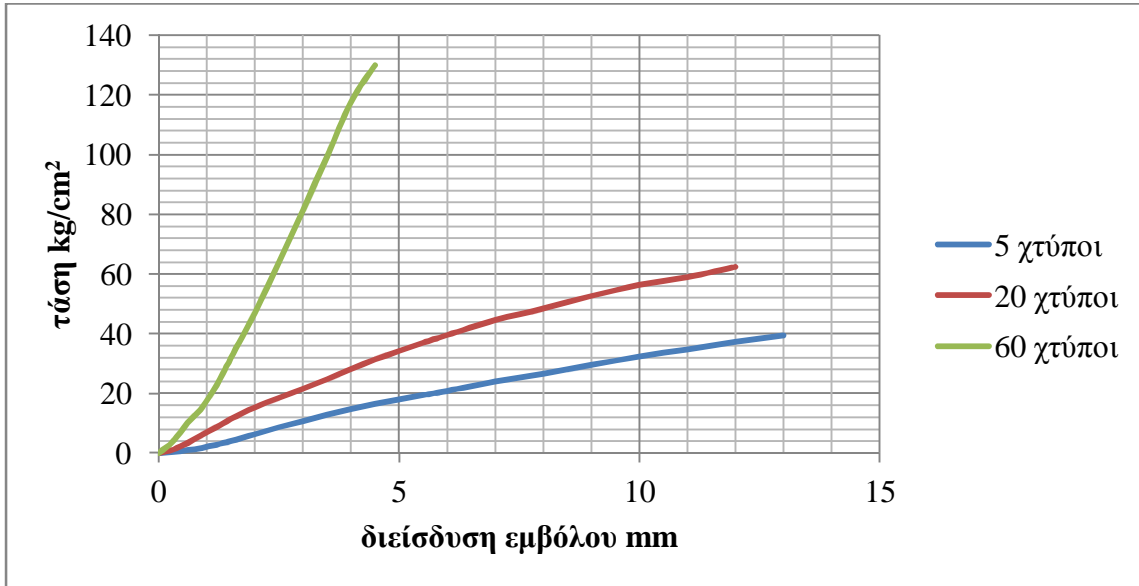
### Δοκίμιο III.

$$CBR_{2,5}^3 = \frac{64,03 \text{ kg/cm}^2}{70 \text{ kg/cm}^2} = 0,91 * 100 = 91$$

$$CBR_{5,0}^3 = \frac{\quad}{105 \text{ kg/cm}^2} =$$

Επιλογή  $CBR^3 = 91$

**Διαγράμματα.**



<b>γ<sub>a</sub> μελέτης</b>	2,02
<b>CBR</b>	42

<b>Οι εκτελέσαντες τη δοκιμή</b>	<b>Επόπτης καθηγητής</b>
Μιχαλοπούλου Ελένη Τάχος Θωμάς	Κλουκίνας Παναγιώτης

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Terzaghi (1994) Εφαρμοσμένη εδαφομηχανική.
- 2) Παπαχαρίσης (2003) Γεωτεχνική μηχανική.
- 3) Κούκης Γ. – Χριστοδουλοπούλου Τ. (1992) Εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί.
- 4) Μουρατίδης Α. (2007) Οδοποιία – Η κατασκευή των οδικών έργων.
- 5) Παγουλάτος Δ. – Παγανός Δ (1998) Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφομηχανικής I & II.