

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ Ε/Υ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΥ
ΕΔΑΦΟΥΣ**

Όνοματεπώνυμο σπουδαστριών: Χεκίμη Ενερτίλα
Χεκίμη Ντενίσα
Κουρίλο Όλγα

Ο επιβλέπων διδάσκων: Ευθυμιάδης Ιωάννης

ΠΑΤΡΑ-2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Πειραματική συσχέτιση ιδιοτήτων συμπίκνωσης φέρουσας ικανότητας και παραμέτρων αντοχής συνεκτικού εδάφους» εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής του τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής του ΤΕΙ Πατρών.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η πειραματική διερεύνηση των μηχανικών παραμέτρων, διατμητικής αντοχής και φέρουσας ικανότητας, λεπτόκοκκου εδάφους σε σχέση με τη συμπίκνωση και τα όρια Atterberg. Στο πλαίσιο αυτής θα διεξαχθούν εργαστηριακές δοκιμές κατάταξης (κοκκομετρία, όρια Atterberg), συμπίκνωσης κατά Proctor, Καλιφορνιακού Δείκτη Φέρουσας Ικανότητας, γνωστότερου ως CBR και δοκιμές άμεσης διάτμησης.

Στο βιβλίο αυτό περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες εκτέλεσης των κυριότερων εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής, σύμφωνα με τις ισχύουσες διεθνείς προδιαγραφές (όπως ASTM, AASHO κ.α.) και τις τεχνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ. Επίσης περιγράφονται οι συνηθέστερες επί τόπου δοκιμές μεγάλης και μικρής κλίμακας καθώς και τα κυριότερα συστήματα ταξινόμησης εδαφών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης πτυχιακής εργασίας στη Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών του τμήματος Πολιτικών Έργων Υποδομής, με θέμα «Πειραματική συσχέτιση ιδιοτήτων συμπύκνωσης φέρουσας ικανότητας και παραμέτρων αντοχής συνεκτικού εδάφους», με εισηγητή τον κ. Ευθυμιάδη Ιωάννη.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στην εδαφομηχανική και τις δοκιμές της. Γίνεται μια κατάταξη εδαφών και τέλος προσδιορισμός των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο που γίνεται η θεωρητική αναφορά στις δοκιμές που έγιναν στο υπό εξέταση υλικό, όπως η κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους και ο προσδιορισμός των ορίων atterberg και γίνεται αναφορά στον τρόπο κατάταξης του εδάφους με βάση τις δοκιμές αυτές. Επίσης γίνεται περιγραφή των δοκιμών συμπύκνωσης Proctor, με καλιφορνιακό λόγο φέρουσας ικανότητας C.B.R και προσδιορισμού αντοχής του εδάφους σε διάτμηση με δοκιμή άμεσης διάτμησης.

Το τρίτο κεφάλαιο παραθέτει τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών που αναφέρθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο με αντίστοιχους πίνακες και σχήματα που δίνουν την εικόνα του εδάφους.

Και τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνονται, με βάση τα δεδομένα του τρίτου και του τέταρτου κεφαλαίου, οι συσχετίσεις και οι συγκρίσεις των θεωρητικών και των πειραματικών τιμών και αποτελεσμάτων και παραθέτονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ – ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ	
i. Εισαγωγή περί δοκιμών εδαφομηχανικής	6
ii. Κατάταξη εδαφών	7
iii. Φυσικές ιδιότητες εδάφους	9
1.3.1 Δείκτης πόρων	9
1.3.2 Υγρασία του εδάφους	9
1.3.3 Περιεκτικότητα κατ' όγκο σε νερό	9
1.3.4 Νερό κορεσμού	9
1.3.5 Υδατοϊκανότητα εδάφους (field capacity)	10
1.3.6 Σημείο μόνιμου μαρασμού (permanent wilting percentage)	10
1.3.7 Θερμοκρασία	
iv. Μηχανικές ιδιότητες εδαφών	10
1.4.1 Πλαστικότητα	10
1.4.2 Συνεκτικότητα	10
1.4.3 Όριο υδαρότητας LL (liquidity limit)	11
1.4.4 Όριο πλαστικότητας PL (plasticity limit)	11
1.4.5 Όριο συρρίκνωσης SL (shrinkage limit)	11
1.4.6 Δείκτης πλαστικότητας (PI)	11
1.4.7 Δείκτης συνεκτικότητας (Ic)	11
1.4.8 Δυναμικό διαστολής συστολής	12
1.4.9 Διαβρωσιμότητα	12
1.4.10 Ισοτροπία και ομοιογένεια	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΕΔΑΦΟΣ	
i. Κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους	13
2.1.1 Γενικά	13
2.1.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός	13
2.1.3 Δειγματοληψία - Προετοιμασία δείγματος	13
2.1.4 Στοιχεία της δοκιμής	15
ii. Όρια Atterberg	17
2.2.1 Γενικά	17
2.2.2 Μέθοδος προσδιορισμού ορίου υδαρότητας	19
2.2.3 Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας και του δείκτη πλαστικότητας	21
iii. Κατάταξη εδαφών με βάση τις παραπάνω δόκιμες	23
2.3.1 Ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών (USCS)	23

2.3.2 Κατηγορίες εδαφών κατά το ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών (USCS)	24
iv. Δοκιμή συμπίκνωσης (Proctor)	28
2.4.1 Ορισμός	28
2.4.2 Γενικά	28
2.4.3 Στοιχεία της δοκιμής	28
2.4.4 Διεξαγωγή της δοκιμής	29
2.4.5 Συνθήκες συμπίκνωσης	30
2.4.6 Επεξηγήσεις – Παρατηρήσεις	31
2.4.7 Εξοπλισμός	33
2.4.8 Διαδικασία δοκιμής	33
v. Καλιφορνιακός λόγος φέρουσας ικανότητας (C.B.R)	34
2.5.1 Γενικά	34
2.5.2 Δοκιμή προσδιορισμού του C.B.R.	35
vi. Αντοχή του εδάφους σε διάτμηση – δοκιμή άμεσης διάτμησης	41
2.6.1 Γενικά	41
2.6.2 Προσδιορισμός Άμεσης Διάτμησης	41
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
i. Κοκκομετρική ανάλυση	44
ii. Προσδιορισμός ορίων Atterberg	45
iii. Χαρακτηρισμός- κατάταξη εδάφους	46
iv. Αποτελέσματα δοκιμής συμπίκνωσης (Proctor)	46
v. Αποτελέσματα δοκιμής προσδιορισμού δείκτη CBR	47
vi. Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης	51
3.6.1 Διάτμηση δοκιμιών της δοκιμής συμπίκνωσης (Με υδροεμπροτισμό)	51
3.6.2 Διάτμηση δοκιμιών επιτόπου συμπυκνωμένων στη συσκευή διάτμησης	57
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ - ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
i. Συγκρίσεις με σχετικές λόγου CBR με όρια Atterberg	63
ii. Συσχετίσεις της γωνίας τριβής με τον ξηρό ειδικό βάρος	63
iii. Συγκρίσεις με συσχετίσεις της γωνίας τριβής με τα όρια Atterberg	64
iv. Συμπεράσματα	67
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ – ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

i. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η εδαφομηχανική είναι ο κλάδος της εφαρμοσμένης μηχανικής όπου πραγματεύεται την συμπεριφορά και τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους (όπως η αντοχή του εδάφους, η συμπεριφορά του εδάφους σύμφωνα με την περιεχόμενη υγρασία), τις μεθόδους σχεδιασμού τεχνικών έργων που εδράζονται ή αλληλεπιδρούν σε / με αυτό (όπως θεμελιώσεις κτιριακών έργων και γεφυρών, οδοστρώματα, σήραγγες) καθώς και των κατασκευών από έδαφος (όπως τα χωμάτινα φράγματα, επιχώματα οδοποιίας).

Μία από τις ιδιαιτερότητες της εδαφομηχανικής σε σχέση με άλλους κλάδους της εφαρμοσμένης μηχανικής, είναι η αδυναμία της καταρχήν προδιαγραφής των ιδιοτήτων των υλικών. Ως αντιπαράδειγμα αναφέρουμε τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου τα υλικά (σκυρόδεμα και χάλυβας) κατασκευάζονται βιομηχανικά, με μεθοδολογίες τέτοιες ώστε να ελέγχονται οι ιδιότητες και να πληρούνται οι προδιαγραφές. Στην περίπτωση των κατασκευών επί του (ή και από) εδάφους, ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού που θα συναντηθεί. Δεν είναι λίγες και οι περιπτώσεις όπου λόγω δυσμενών εδαφοτεχνικών συνθηκών, έργα έχουν αλλάξει θέση (όπως η μεταβολή της χάραξης οδού).

Οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών προσδιορίζονται με τις δύο παρακάτω μεθοδολογίες:

- Επί τόπου δοκιμές. Η διαδικασία αυτή αφορά δοκιμές που γίνονται στον τόπο – έδαφος κατασκευής ενός έργου. Αν και δεν διαθέτουν την ακρίβεια των εργαστηριακών δοκιμών στον προσδιορισμό γεωτεχνικών παραμέτρων, είναι πολλές οι περιπτώσεις που μόνο αυτές μπορούν να δώσουν μία εικόνα για τις ιδιότητες του εδάφους. Για παράδειγμα ο εργαστηριακός προσδιορισμός της αντοχής της άμμου είναι δύσκολος καθώς προκαλείται έντονη διατάραξη κατά την διαδικασία της δειγματοληψίας. Η συνήθης πρακτική είναι, οι ιδιότητες της άμμου να προσδιορίζονται με την δοκιμή διείσδυσης (SPT – Standard Penetration Test) επί τόπου.
- Εργαστηριακές δοκιμές. Με την διαδικασία της δειγματοληψίας η οποία γίνεται συνήθως με χρήση γεωτρύπανων λαμβάνονται εδαφικά δείγματα τα οποία μεταφέρονται στον χώρο του εργαστηρίου. Με κατάλληλες εργαστηριακές μεθοδολογίες, προσδιορίζονται οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων (γεωτεχνικοί παράμετροι).

Οι εργαστηριακές δοκιμές της εδαφομηχανικής έχουν τυποποιηθεί από διάφορους φορείς, ώστε να είναι δυνατή η αναπαραγωγή των εργαστηριακών δοκιμών και η εξαγωγή συμβατών αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων. Τέτοιοι φορείς είναι οι ΕΛΟΤ για την Ελλάδα αλλά και διεθνείς φορείς όπως οι ISO, ASTM, UCS, BST, DIN κ.α. Οι προδιαγραφές του ΕΛΟΤ για τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, εκδίδονται από το ΚΕΔΕ (Κέντρο Ελέγχου Δημοσίων Έργων) σε έντυπα που περιγράφουν τις μεθόδους διεξαγωγής και επιπλέον αποτελούν νόμο του κράτους (ΦΕΚ - Τεχνικές προδιαγραφές δοκιμών

εδαφομηχανικής). Η τήρηση αυτών των προδιαγραφών είναι υποχρεωτική από τα εργαστήρια, προκειμένου τα αποτελέσματα των δοκιμών να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό έργων.

ii. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ

Ως έδαφος χαρακτηρίζεται ο γεωλογικός σχηματισμός ο οποίος αποτελείται από διακριτούς κόκκους από θρυμματισμένο μητρικό πέτρωμα, χαλαρά συνδεδεμένους μεταξύ τους. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες που εμφανίζει το έδαφος είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως η κοκκομετρία, η φυσική κατάσταση, η ορυκτολογία των κόκκων κτλ. Η βασική κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση το μέγεθος των κόκκων, σύμφωνα με την οποία διακρίνονται τα εξής κλάσματα (Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης):

- Ογκόλιθοι ή και λίθοι (>300mm)
- Κροκάλες (300-75mm)
- Χάλικες (75-4,5mm)
- Άμμος (4,5-0,075mm)
- Ιλύς (0,075-0,002mm)
- Άργιλος (<0,002mm)

Τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν μέγεθος κόκκων που είναι <0,075mm. Τα χονδροκόκκα εδάφη έχουν μέγεθος κόκκων που κυμαίνεται μεταξύ 0,075mm και 76,2mm. Ιδιαίτερη κατηγορία αποτελούν τα οργανικά εδάφη και η τύρφη. Τα εδάφη διαχωρίζονται σε:

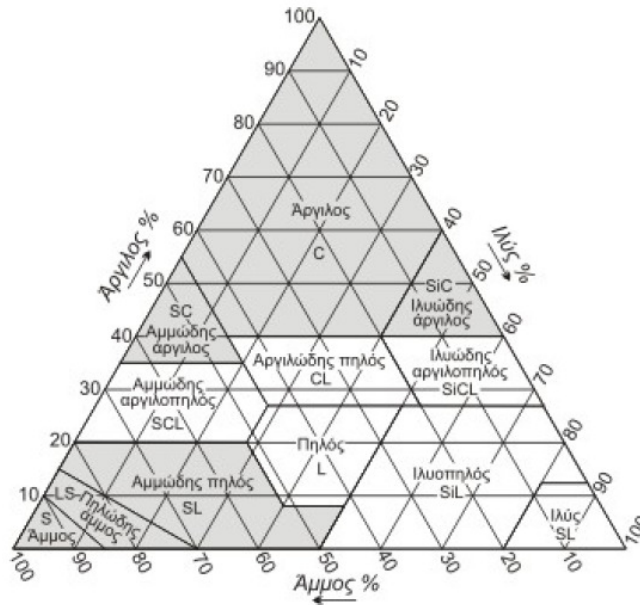
- 1) *συνεκτικά* (λεπτόκοκκα, fine grained) και
- 2) *μη συνεκτικά* (κοκκώδη, coarse grained).

Τα μη-συνεκτικά εδάφη χαρακτηρίζονται από την απουσία ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων τους, ενώ αντίθετα στα συνεκτικά μεταξύ των εδαφικών κόκκων αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής. Στον Πίνακα 1.1 φαίνονται οι βασικές κατηγορίες εδαφικών σχηματισμών, που αποτελούνται από διάφορα κλάσματα.

Πίνακας 1.1 Ταξινόμηση εδαφών με βάση το ενιαίο σύστημα εδαφικής ταξινόμησης.

Περιγραφή		Σύμβολο	Τυπική Ονομασία
Χονδροκόκκα Εδάφη	Χαλίκια Άνω του 50% του κλάσματος έχει μέγεθος >4,699 mm	Καθαρά χαλίκια	GW Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια
			GP Χαλίκια χωρίς διαβάθμιση ή κακά διαβαθμισμένα
		Χαλίκια με λεπτόκοκκες προσμίξεις	GM Ιλυομηγή χαλίκια
			GC Αργιλομηγή χαλίκια
	Άμμοι Άνω του 50% του κλάσματος έχει μέγεθος <4,699 mm	Καθαρές άμμοι	SW Καλά διαβαθμισμένες άμμοι
			SP Κακά διαβαθμισμένες άμμοι
		Άμμοι με λεπτόκοκκες προσμίξεις	SM Ιλυομιγείς άμμοι
			SC Αργιλούχες άμμοι
Λεπτόκοκκα Εδάφη	Πηλίνες (Ιλύες και Αργίλοι)	LL < 50	ML Ανόργανες ιλύες και πολύ λεπτόκοκκες άμμοι, ελαφρά πλαστικότητα
			CL Ανόργανες άργιλοι χαμηλής ως μέτριας πλαστικότητας
			OL Οργανικές ιλύες και ιλυούχες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
	LL > 50	MH Ανόργανες ιλύες, ελαστικές ιλύες	
		CH Ανόργανες ιλύες υψηλής πλαστικότητας	
		OH Οργανικές άργιλοι μέτριας ως υψηλής πλαστικότητας	
		PT Τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη	

Η υφή (texture) καθορίζεται από τις αναλογίες αργίλου, ιλύος και άμμου. Εκτιμάται στην ύπαιθρο και χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των διεργασιών σχηματισμού των εδαφών. Συχνά θεωρείται σκόπιμος και πρακτικός ο διαχωρισμός των εδαφών σε ευρύτερες κατηγορίες: Αργιλώδη, Πηλώδη, Αμμώδη με αντίστοιχες υποδιαιρέσεις.



Σχήμα 1.1 Τριγωνικό σύστημα για την κατάταξη των εδαφών.

iii. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

1.3.1 Δείκτης πόρων

Ο δείκτης πόρων (e) ορίζεται σαν ο λόγος του όγκου των διακένων (V_v) προς τον όγκο της στερεάς φάσης του εδάφους (V_s): $e = V_v / V_s$. Ο δείκτης πόρων συνδέεται με το ολικό πορώδες (n) με τη σχέση: $e = n / (1 - n)$.

1.3.2 Υγρασία του εδάφους

Υγρασία (moisture content) είναι το σύνολο του νερού που βρίσκεται στο έδαφος και εκφράζεται με το λόγο (%) του βάρους του νερού που περιέχεται προς το ξηρό βάρος του εδαφικού δείγματος: $w = (W_w / W_s) \times 100$

όπου: W_w = απώλεια βάρους μετά την ξήρανση στους 110°C

W_s = βάρος ξηρού δείγματος

Προσδιορίζεται με διάφορες μεθόδους (σταθμική, ηλεκτρομετρική, νετρονίων κ.ά.). Η υγρασία παίζει ρόλο στην κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Με την υγρασία τα κολλοειδή στο έδαφος διογκώνονται και εμποδίζουν έτσι την κατείσδυση στην αρχή της βροχόπτωσης.

1.3.3 Περιεκτικότητα κατ' όγκο σε νερό

Είναι πιο χρήσιμη σε εργαστηριακές μετρήσεις και εκφράζεται με το λόγο του όγκου του νερού (V_w) προς τον ολικό όγκο (V_t): $\theta = V_w / V_t$ Ισούται επίσης και με: $\theta = w$ (ρ_d / ρ_w),

όπου w = υγρασία

ρ_d = η πυκνότητα του ξηρού δείγματος (M_s / V_t) και

ρ_w = η πυκνότητα του νερού (1 gr/cm^3).

1.3.4 Νερό κορεσμού

Είναι το μεγαλύτερο ποσοστό νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένας εδαφικός σχηματισμός.

1.3.5 Υδατοϊκανότητα εδάφους (field capacity)

Είναι η περιεκτικότητα σε νερό, που παραμένει μετά τη στράγγιση ενός κορεσμένου εδάφους για αρκετές ημέρες. Συνδέεται στενά με τη φυσικοχημική κατάσταση του εδάφους. Πρακτικά ταυτίζεται με την ισοδύναμη υγρασία. Η τιμή της ποικίλλει από 7% για τα αμμώδη εδάφη έως 40% στα αργιλώδη.

1.3.6 Σημείο μόνιμου μαρασμού (permanent wilting percentage)

Είναι η υγρασία ενός εδάφους για την οποία το φυτό πέφτει σε κατάσταση μόνιμου μαρασμού. Η διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας ενός εδάφους και του σημείου μαρασμού ονομάζεται διαθέσιμη υγρασία ή ικανότητα διαθέσιμου νερού (moisture available).

1.3.7 Θερμοκρασία

Καθορίζει τον ρυθμό εκδήλωσης διαφόρων φαινομένων όπως, αποσάθρωση, βιολογικές διεργασίες, χημικές αντιδράσεις κ.ά. Εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα, τη θερμική αγωγιμότητα και το χρώμα του εδάφους. Οι απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσουν θραύση των πετρωμάτων. Από τα ανώτερα προς τα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους διακρίνονται δύο θερμικές ζώνες:

- *Η ζώνη της ετεροθερμίας*: Περιλαμβάνει μια λεπτή ζώνη 1-2m, που επηρεάζεται από τις ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα και μια ζώνη πάχους 10-20m, που επηρεάζεται από τις ετήσιες διακυμάνσεις.

- *Η ζώνη της ομοιοθερμίας*: Η θερμότητα προέρχεται από το εσωτερικό της γης και η θερμοκρασία συνδέεται με τη γεωθερμική βαθμίδα (αύξηση κατά 1°C ανά 33m). Βρίσκεται σε βάθος 10m (τροπικές περιοχές) και αυξάνει σε 20m (πολικές περιοχές).

iv. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

1.4.1 Πλαστικότητα

Είναι η ιδιότητα του εδάφους να παραμορφώνεται, όταν δέχεται την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και την οποία παραμόρφωση (deformation) διατηρεί, όταν οι δυνάμεις που την προκάλεσαν παύσουν να ενεργούν.

1.4.2 Συνεκτικότητα

Είναι η ιδιότητα του εδάφους που σχετίζεται με τη συνοχή (δυνάμεις μεταξύ ομοειδών μορίων) και τη συνάφεια (δυνάμεις μεταξύ ετεροειδών μορίων). Ο βαθμός συνοχής εξαρτάται από τον αριθμό των μορίων και συσχετίζεται με την ειδική επιφάνεια. Η ειδική επιφάνεια αναφέρεται στην επιφάνεια υλικού ανά μονάδα βάρους και εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος των κόκκων και το είδος των αργιλικών ορυκτών που συνυπάρχουν. Όσο πιο μεγάλη είναι η ειδική επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα προσρόφησης ρυπαντών στην επιφάνεια των αργιλικών κόκκων, μέσω κατιοντικής ανταλλαγής.

Η συνάφεια εκδηλώνεται με την παρουσία συνδετικών υλικών (ηλεκτρολύτες, νερό, χημικές ενώσεις) μεταξύ των διαφόρων συστατικών του εδάφους. Οι χημικές ενώσεις κάνουν τα αμμώδη εδάφη συνεκτικότερα γιατί συνδέουν τους κόκκους μεταξύ τους, ενώ αντίθετα κάνουν χαλαρότερα τα αργιλώδη εδάφη γιατί προκαλούν θρόμβωση των κολλοειδών παρουσία των ιόντων Ca²⁺ και Mg²⁺.

1.4.8 Δυναμικό διαστολής-συστολής

Το έδαφος εκφράζει την ικανότητα να χάνει ή να προσροφά νερό, η οποία συνοδεύεται από ελάττωση ή αύξηση του όγκου του, αντίστοιχα. Ο μοντμοριλονίτης μπορεί να διογκωθεί μέχρι 15 φορές του κανονικού του όγκου. Αύξηση σε όγκο μεγαλύτερη από 3% θεωρείται επικίνδυνη για τη σταθερότητα του εδάφους.

1.4.9 Διαβρωσιμότητα

Αναφέρεται στην ευκολία με την οποία τα εδαφικά υλικά μετακινούνται από το νερό ή τον αέρα. Τα χαλαρά υλικά έχουν υψηλό δείκτη διάβρωσης, ενώ τα συνεκτικά υλικά έχουν χαμηλό δείκτη διάβρωσης και μετακινούνται δύσκολα. Το δυναμικό διάβρωσης εξαρτάται από το περιεχόμενο νερό και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παρουσία βλάστησης μειώνει τη διάβρωση.

1.4.10 Ισοτροπία και ομοιογένεια

Ισοτροπία (isotropy) είναι η ιδιότητα του εδάφους, σύμφωνα με την οποία μια ανυσματική ιδιότητα (υδραυλική αγωγιμότητα, μεταβιβασιμότητα) έχει την ίδια τιμή σε όλες τις διευθύνσεις. Ένα έδαφος μπορεί να είναι ισότροπο ως προς μια ιδιότητα και ανισότροπο σε μια άλλη.

Ομοιογένεια (homogeneity) είναι η ιδιότητα του εδάφους, σύμφωνα με την οποία μια ανυσματική ιδιότητα έχει την ίδια τιμή σε παράλληλες διευθύνσεις. Αν η ιδιότητα δεν είναι ανυσματική (π.χ. πορώδες) τότε το έδαφος είναι ομογενές ως προς την ιδιότητα αυτή, αν έχει παντού την ίδια τιμή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΟ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

i. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1.1 Γενικά

Η Κοκκομετρική διαβάθμιση των εδαφών, η γνώση της οποίας είναι σημαντική ιδιαίτερα για τα χονδρόκοκκα εδάφη, παρουσιάζεται συνήθως παραστατικά με την σχεδίαση κατ'άλληλης καμπύλης σε διαγράμματα αντιπροσωπευτικής διάστασης των κόκκων διερχομένου ή συγκρατούμενου ποσοστού. Επειδή οι διαστάσεις των κόκκων ποικίλουν, μεταξύ μεγάλων ορίων, η κλίμακα του αντίστοιχου άξονα είναι λογαριθμική. Για την σχεδίαση της καμπύλης για κάθε δείγμα είναι αναγκαίο να βρεθεί πειραματικά ικανός αριθμός ζευγών σημείων και στη συνέχεια να χαραχθεί η γραμμή παλινδρόμησης.

2.1.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός

α) Ζυγός: Ο ζυγός πρέπει να είναι ευαισθησίας 0.1% του βάρους του δείγματος που εξετάζεται.

β) Κόσκινα: Πρόκειται για κόσκινα σύμφωνα με τα αμερικάνικα πρότυπα (A.A.S.H.T.O.), τα οποία στον πυθμένα τους έχουν κυκλικές ή τετραγωνικές οπές. Αυτά τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο, κατά σειρά αύξοντος μεγέθους οπών. Το εδαφικό δείγμα τοποθετείται επάνω στο τελευταίο κόσκινο, κατόπιν όλα μαζί τα κόσκινα τοποθετούνται στη δονητική μηχανή και στο τέλος ζυγίζεται το υλικό που κατακρατήθηκε σε κάθε κόσκινο.

γ) Κλίβανος: Ο κλίβανος πρέπει να είναι ικανός να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία 110°C.

2.1.3 Δειγματοληψία - Προετοιμασία δείγματος

Τα δείγματα πρέπει κατ' αρχή να εξετάζονται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο προσδιορισμού υλικού λεπτότερου του κόσκινου Νο200 στα αδρανή με πλύση. Δηλαδή παίρνουμε το δείγμα που έχουμε να μετρήσουμε και φροντίζουμε έτσι ώστε το υλικό του να περάσει μέσα από το κόσκινο Νο200 με την βοήθεια άφθονου νερού. Η διαδικασία αυτή μπορεί να παραληφθεί με την προϋπόθεση ότι δεν απαιτείται η συνολική ποσότητα του υλικού του λεπτότερου του κόσκινου Νο200, και ότι απαιτήσεις ακριβείας της κοκκομετρικής ανάλυσεως δεν απαιτούν πλύση των κόκκων. Όλα τα δείγματα πρέπει να ξηραίνονται ουσιαστικά μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία που να μην υπερβαίνει τους 110°C.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για το συγκεκριμένο έδαφος, έχει ως εξής: Από τη συνολική ποσότητα των 40kg ξηρού εδαφικού υλικού διερχόμενου από το κόσκινο Νο3/8" (9.5mm) ελήφθησαν με τετραμερισμό 2kg, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



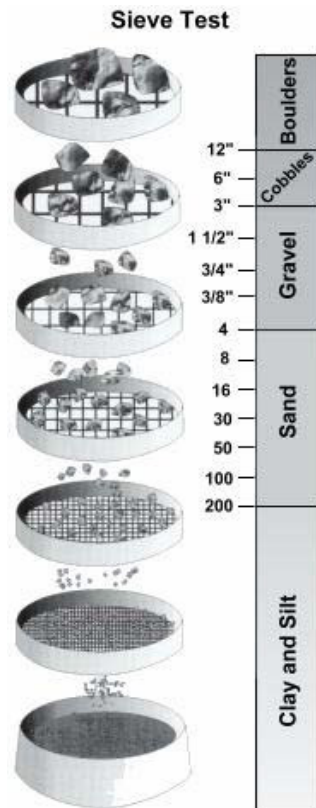
Σχήμα 2.1 Δειγματοληψία μέσω τετραμερισμού

Στη συνέχεια, μετά την απομάκρυνση των λεπτών με πλύση και την ξήρανση του δείγματος απέμειναν 925gr ξηρού, χονδρόκοκκου υλικού για τη δοκιμή της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

Η τελική ποσότητα του ξηρού δείγματος εισήχθη σε μια στήλη κοσκίνων (9 κόσκινα + τον συλλέκτη), η οποία τοποθετήθηκε με τη σειρά της στη δονητική μηχανή και δονήθηκε επί 10 λεπτά (Σχήμα 2.3). Οι ποσότητες που κατακρατήθηκαν στα κόσκινα και η αντίστοιχη κοκκομετρική καμπύλη, με αναγωγή στη συνολική αρχική ποσότητα του εδάφους (2kg) παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3 των πειραματικών αποτελεσμάτων, όπου γίνεται και ο χαρακτηρισμός και η κατάταξη του εδάφους.



Σχήμα 2.2 Προετοιμασία δείγματος για κοκκομετρική ανάλυση με πλύση και ξήρανση



Σχήμα 2.3. Σειρά κοσκίων στην οποία διέρχεται το έδαφος για την κοκκομετρική του ανάλυση

2.1.4 Στοιχεία της δοκιμής

Τα εδαφικά υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα χοντρόκοκκα, με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη των 4,76mm και τα λεπτόκοκκα, με διάμετρο κόκκων μικρότερη των 4,76mm. Ο χαρακτηρισμός και η κατάταξη ενός εδάφους συνήθως προκύπτει από το μέγεθος των κόκκων του και από την αναλογία που υπάρχει μεταξύ των κόκκων διαφόρων διαστάσεων. Τα δεδομένα αυτά, αν και δεν επαρκούν για να προσδιορίσουν με ακρίβεια το υλικό, συνιστούν, ωστόσο, βασικά στοιχεία γεωτεχνικής αναγνώρισης.

Η κοκκομετρική σύνθεση των εδαφών, η αναλογία, δηλαδή, που υπάρχει μεταξύ κόκκων διαφόρου μεγέθους αποτελεί σε πολλά προβλήματα γεωκατασκευών οδοποιίας, κριτήριο καταλληλότητας και αποδοχής του συγκεκριμένου υλικού. Χονδρόκοκκα εδάφη με ομαλή κατανομή διαβάθμισης συμπυκνώνονται εύκολα και παρουσιάζουν ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά, και είναι, συνήθως, η πρώτη επιλογή για χωματοουργικά έργα οδοποιίας. Αργιλοχαλικώδη εδάφη καθώς και προϊόντα βραχωδών εκσκαφών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε γεωκατασκευές. Αντίθετα, ομοιόμορφης κοκκομετρίας αμμώδη υλικά και αργιλικά εδάφη είναι εκείνα που δημιουργούν πολλά προβλήματα όταν χρησιμοποιηθούν σε έργα οδοποιίας.

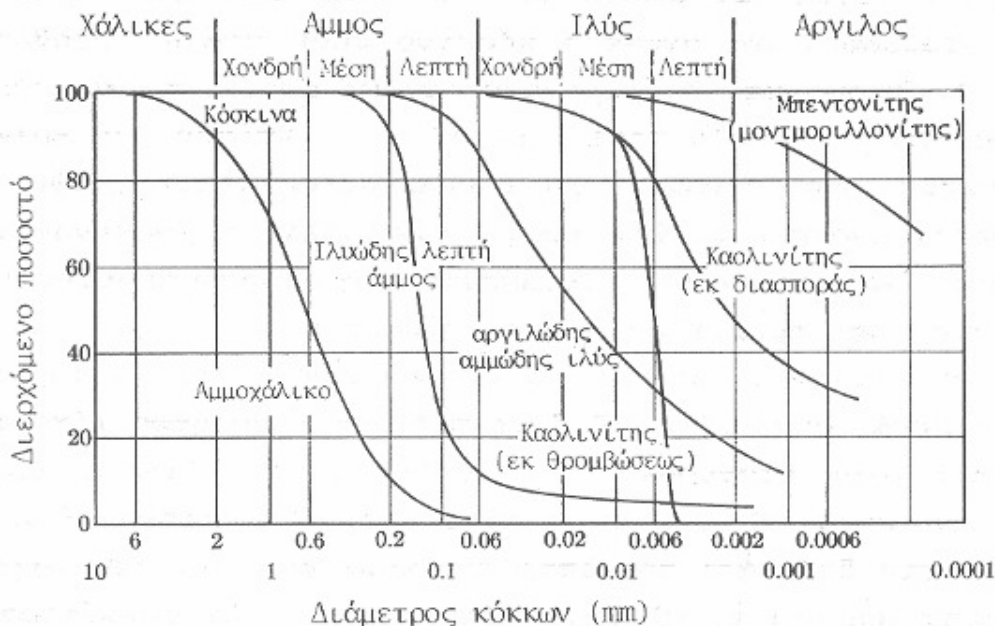
Η μελέτη της κοκκομετρικής σύνθεσης γίνεται με κοσκίνισμα εδαφικού δείγματος, με διέλευση δηλαδή του δείγματος διαδοχικά από κόσκινα μειωμένου διαμετρήματος. Προηγείται η διαδικασία ανάμιξης, τετραμερισμού και ξήρανσης του δείγματος. Η εκτέλεση της δοκιμής συνίσταται στη διέλευση του υλικού δια μιας σειράς κοσκίων, ξεκινώντας από το κόσκινο μεγαλύτερης διάστασης βροχίδας (π.χ. 1½") και

καταλήγοντας διαδοχικά στο μικρότερης βροχίδας κόσκινο (συνήθως Νο200). Δια ζυγίσεων ευρίσκετε το συγκρατούμενο κατά βάρος επί κάθε κόσκινου ποσοστό Si και εξ αυτών τα διερχόμενα ποσοστά δι τα οποία και συνήθως αναφέρονται στην κοκκομετρική καμπύλη:

Έτσι δημιουργούνται για το σύνολο των κοσκίνων ζεύγη τιμών di (άνοιγμα οπής), di (διερχόμενο ποσοστό), τα οποία μεταφέρονται σε κατάλληλο διάγραμμα ημιλογαριθμικής κλίμακας και δίνουν χαρακτηριστικά σημεία της κοκκομετρικής καμπύλης. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται Αμερικάνικα κόσκινα τετραγωνικών οπών και συνεπώς ο όρος "διαμέτρημα" υποδηλώνει τη διάσταση της πλευράς της τετραγωνικής βροχίδας. Η ονομασία τους και οι διαστάσεις των οπών αντίστοιχα φαίνονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 2.1. Ονομασία και διαμέτρημα τυπικών κοσκίνων κατά AASHTO

No	2'	1'	3/4"	4	10	20	30	40	100	200
D(mm)	50,8	25,4	19,1	4,76	2	0,84	0,59	0,42	0,149	0,074



Σχήμα 2.4. Κοκκομετρικές καμπύλες ορισμένων τυπικών εδαφών

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. Η θέση, κατ' αρχήν, πλησιέστερα στο αριστερό ή το δεξιό άκρο του διαγράμματος δίνει γενικές πληροφορίες σχετικές με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσοντας το υλικό, αντίστοιχα σε λεπτόκοκκο ή χονδρόκοκκο. Μια τεταμένη καμπύλη που καλύπτει, σε οριζόντια διάσταση, μεγάλο μέρος του διαγράμματος, αντιπροσωπεύει ένα υλικό καλής κοκκομετρικής κατανομής. Αντίθετα μια σχεδόν κατακόρυφη καμπύλη αποτελεί ένδειξη υλικού ομοιόμορφης κοκκομετρίας. Τέλος, μια καμπύλη που ξεκινά από τα χονδρόκοκκα κλάσματα με έναν κατακόρυφο κλάδο και συνεχίζει με έναν σχεδόν οριζόντιο κλάδο σε λεπτόκοκκα συστατικά, δημιουργώντας ένα

«γόνατο», δίδει ενδείξεις για ενδιάμεσα κλάσματα που απουσιάζουν (gap – graded material).

Το φυσικό έδαφος σπάνια αποτελείται από κόκκους μιας μόνο κατηγορίας. Ο χαρακτηρισμός κάθε μορφής εδάφους πραγματοποιείται σύμφωνα με ένα από τα συστήματα κατάταξης εδαφών, σε συνάρτηση με στοιχεία που προκύπτουν από την κοκκομετρική ανάλυση και τα όρια Atterberg. 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 την κοκκομετρική καμπύλη. Ο σπουδαιότερος από αυτούς είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας ή συντελεστής του Hazen:

$$U = d_{60}/d_{10}$$

Όπου d_{60} και d_{10} το άνοιγμα της οπής του κόσκινου από όπου διέρχεται ποσοστό 60% και 10% του υλικού αντίστοιχα. Ο συντελεστής ομοιομορφίας δίνει τη δυνατότητα διάκρισης των εδαφικών υλικών σε ομοιόμορφης και ανομοιόμορφης κοκκομετρίας με βάση κάποιο αριθμητικό κριτήριο. Συνήθως χαρακτηρίζονται ως υλικά ομοιόμορφης κοκκομετρίας εκείνα για τα οποία ο συντελεστής του Hazen είναι μικρότερος του 5 και εξαιρετικά ομοιόμορφης κοκκομετρίας εκείνα τα οποία ο συντελεστής ομοιομορφίας παίρνει τιμές μικρότερες του 3. Αντίθετα, καλά διαβαθμισμένα εδάφη είναι εκείνα για τα οποία ο συντελεστής U είναι μεγαλύτερος του 15.

Βασικό κριτήριο διάκρισης των εδαφών σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αποτελεί το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο No200. Το κριτήριο αυτό έχει διαφορετικές τιμές στα συστήματα κατάταξης εδαφών. Έτσι, ως λεπτόκοκκο χαρακτηρίζεται κατά AASHTO ένα υλικό, του οποίου το διερχόμενο ποσοστό από το No200 είναι $\delta > 35\%$. Αντίθετα το ποσοστό αυτό για το ενοποιημένο σύστημα (USCS) πρέπει να είναι $\delta > 50\%$, έτσι ώστε να χαρακτηριστεί το υλικό λεπτόκοκκο. Στην περίπτωση αυτή η κατάταξή του εδάφους γίνεται με βάση τα όρια Atterberg, ο προσδιορισμός των οποίων παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

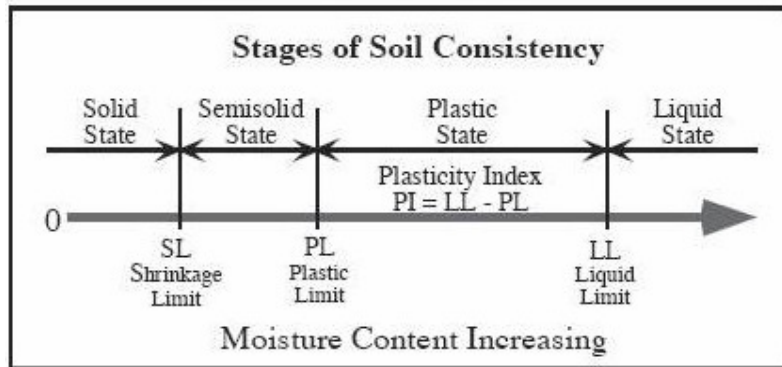
ii. ΟΡΙΑ ATTERBERG

2.2.1 Γενικά

Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών μεταβάλλεται έντονα με την μεταβολή της περιεκτικότητάς τους σε νερό. Όταν η περιεκτικότητα είναι πολύ μεγάλη, τότε η συμπεριφορά θυμίζει χυλό ή ζεσταμένο μαλακό βούτυρο, ενώ όταν η περιεκτικότητα είναι χαμηλή, τότε ουσιαστικά αποκτά την συμπεριφορά των ωμοπλίνθων θυμίζοντας άλλοτε παγωμένο σκληρό βούτυρο και άλλοτε, όταν εμφανίζεται στεγνό, παλιό, ξηραμένο και σκληρό ψωμί. Τα αργιλικά εδάφη όταν η περιεκτικότητα σε νερό είναι χαμηλή τότε συμπεριφέρονται ως στερεά, ενώ όταν η περιεκτικότητα σε νερό σταδιακά αυξάνεται, τότε η κατάσταση τους με την σειρά μεταπίπτει σε ημιστερεά, πλαστική και ρευστή (Σχήμα 2.5). Μεταξύ των τεσσάρων καταστάσεων διακρίνονται τρεις αυστηρά καθορισμένες ειδικές καταστάσεις συμπεριφοράς. Οι ειδικές αυτές καταστάσεις αντιστοιχούν σε ορισμένες τιμές περιεκτικότητας σε νερό, διαφορετικές από έδαφος σε έδαφος, καθώς εξαρτώνται από την φύση του και ονομάζονται όριο υδαρότητας (W_L ή LL), όριο πλαστικότητας (W_P ή PL) και όριο συρρίκνωσης (W_S ή SL). Τα τρία αυτά όρια ορίστηκαν και προτάθηκαν από τον Σουηδό γεωεπιστήμονα Atterberg και για τον λόγο αυτό φέρουν το όνομα του.

Συγκεκριμένα:

- το όριο υδαρότητας W_L (liquid limit) χαρακτηρίζει τη μετάβαση από την πλαστική κατάσταση στην υδαρή.
- το όριο πλαστικότητας W_P (plasticity limit) προσδιορίζει τη φυσική υγρασία για την οποία το υλικό αρχίζει να συμπεριφέρεται ως πλαστικό σώμα
- το όριο συρρίκνωσης W_S (shrinkage limit) χαρακτηρίζει τη φυσική υγρασία για την οποία το υλικό έχει το μικρότερο δυνατό όγκο. Παραπέρα μείωση της φυσικής υγρασίας, $w < W_S$, δεν επιφέρει μεταβολή όγκου.



Σχήμα 2.5. Όρια Atterberg

Δείκτης πλαστικότητας: Ο δείκτης πλαστικότητας (PI) είναι η αριθμητική διαφορά μεταξύ ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστικότητας δηλαδή, $PI = W_L - W_P$. Με άλλα λόγια είναι το εύρος της υγρασίας πάνω από το όριο πλαστικότητας που το έδαφος είναι σε πλαστική κατάσταση και συνεπώς έχει πλαστική συμπεριφορά. Εδάφη με μεγάλη τιμή δείκτη πλαστικότητας είναι ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων. Τέτοια είναι όλα τα αργιλώδη και ιλυώδη εδάφη καθώς και ορισμένα αμμοιλυώδη εδάφη. Στον Πίνακα 2.2 δίνεται ο βαθμός πλαστικότητας συναρτήσει του PI.

Πίνακας 2.2. Πλαστικότητα εδαφών συναρτήσει του δείκτη πλαστικότητας PI

Έδαφος	Εύρος PI	Χαρακτηριστικά σε ξηρή κατάσταση
Υψηλής πλαστικότητας	>35	Υψηλή συνεκτικότητα, αδύνατη η θρυμματίση των σβόλων με το χέρι
Πλαστικό	16 - 35	Μέτρια-υψηλή συνεκτικότητα, δύσκολη η θρυμματίση των σβόλων με το χέρι
Μέτριας πλαστικότητας	7-15	Χαμηλή-μέτρια συνεκτικότητα, με μικρή πίεση θρυμματίζονται οι σβόλοι
Ελαφρώς πλαστικό	4-6	Χαμηλή συνεκτικότητα, εύκολος θρυμματισμός των σβόλων με το χέρι
Μη-πλαστικό	0-3	Πολύ λίγη-καθόλου συνεκτικότητα, οι σβόλοι αποσυντίθενται με την επαφή

Η γνώση του PI, σε συνδυασμό με το όριο υδαρότητας W_L , είναι δυνατόν να καθορίσει τη μεταβολή των βασικών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των εδαφών όπως: συμπίεστικότητα, διαπερατότητα, μεταβολή όγκου και συνεκτικότητα σε ξηρή κατάσταση.

Πίνακας 2.3. Σύγκριση εδαφών με διαφορετικά όρια

Χαρακτηριστική ιδιότητα	Σύγκριση εδαφών με το ίδιο WL αλλά το PI να αυξάνει	Σύγκριση εδαφών με το ίδιο PI αλλά το WL να αυξάνει
Συμπίεστικότητα	Περίπου η ίδια	Αυξάνεται
Διαπερατότητα	Μειώνεται	Αυξάνεται
Μεταβολή όγκου	Αυξάνεται	
Συνεκτικότητα	Αυξάνεται	Μειώνεται

Σχέσεις μεταξύ PI, W_L & W_P : Δυο άλλες παράμετροι, οι οποίες σπανίως χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, είναι ο Δείκτης Υδαρότητας (LI) (Liquidity Index) και ο Δείκτης Συνεκτικότητας (CI) (Consistency Index). Οι σχέσεις από τις οποίες καθορίζονται οι δείκτες αυτοί είναι:

$$LI = (w - W_P) / PI$$

$$CI = (W_L - w) / PI$$

$$CI + LI = 1$$

όπου

w = φυσική υγρασία του εδάφους

W_P = όριο πλαστικότητας

W_L = όριο υδαρότητας

PI = δείκτης πλαστικότητας.

Οι παραπάνω δείκτες, κυρίως ο CI, βρίσκουν εφαρμογή περισσότερο στα αργιλικά εδάφη για να εκτιμηθεί η κατάσταση του εδαφικού υλικού από πλευράς συνεκτικότητας. Τα αργιλικά εδάφη περιέχουν σχεδόν πάντοτε κάποια υγρασία. Έτσι μπορεί λόγω της φυσικής τους υγρασίας να βρίσκονται σε στερεά κατάσταση, $CI > 1$, σε πλαστική κατάσταση $0 \leq CI \leq 1$ ή σε υδαρή κατάσταση $CI < 0$.

2.2.2 Μέθοδος προσδιορισμού ορίου υδαρότητας

- Εργαστηριακός εξοπλισμός:
 2. Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120mm.
 3. Σπαθίδα ή μικρό μαχαίρι με λεπίδα μήκους περίπου 80mm και πλάτους 20mm.
 4. Συσκευή ορίου υδαρότητας. Μηχανική συσκευή που συνίσταται από ένα ορειχάλκινο κύπελλο και μια βάση που είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με το σχέδιο και της διαστάσεις.
 5. Όργανο χαράξεως συνδυσασμένο με μετρητή στο πίσω μέρος.
 6. Υποδοχείς γυάλινοι που παρεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά την ζύγιση.
 7. Ζυγός με ευαισθησία 0,01g.

- Προκαταρκτικές εργασίες:

Παίρνουμε δείγμα βάρους περίπου 100g από το κλάσμα του υλικού, που έχει καλά αναμιχθεί και διέρχεται από το κόσκινο No40. Η συσκευή του ορίου υδαρότητας (Σχήμα 2.6) πρέπει να επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί το κύπελλο, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες συνδέσεως του κυπέλλου και ότι δεν έχει χαραχθεί το κύπελλο λόγω μακράς χρήσεως.



Σχήμα 2.6. Συσκευή προσδιορισμού ορίου υδαρότητας

Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χαράξεως ρυθμίζουμε το ύψος στο οποίο θα ανυψώνεται το κύπελλο έτσι ώστε το σημείο του κυπέλλου που έρχεται σε επαφή με την βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1 εκατ. πάνω από τη βάση. Στη συνέχεια σταθεροποιούμε την πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες με τον μετρητή. Ακόμη στη θέση I ελέγχουμε την ρύθμιση περιστρέφοντας τον στρόφαλο μερικές φορές. Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα ακούγεται ένας ελαφρύς ήχος, όταν η προεξοχή του στροφάλου εφάπτεται της προεξοχής του κυπέλλου. Εάν το κύπελλο ανυψώνεται ή δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση.

- Εκτέλεση δοκιμής:

Τοποθετούμε το δείγμα εδάφους μέσα σε μια κάψα και ρίχνουμε 15 – 20 cm³ απεσταγμένου νερού. Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με τη σπαθίδα (σπάτουλα) μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα. Παραπάνω προσθήκη νερού γίνεται σε ποσότητα 1 – 3 cm³ και επακολουθεί η ανάμιξη ως ανωτέρω, πριν προστεθεί, αν χρειασθεί, άλλη ποσότητα νερού. Κατόπιν το δείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα επί 30 min για ωρίμανση. Στην συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά το κύπελλο στη βάση της συσκευής. Απλώνεται το υλικό με τη βοήθεια της σπαθίδας (σπάτουλας) καταβάλλοντας προσπάθεια να μην εγκλείσουμε φυσαλίδες μέσα στο δείγμα. Μετά την ισοπέδωση το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1cm. Το επί πλέον έδαφος απομακρύνεται.

Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μια σταθερή διαδρομή του οργάνου χαράξεως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, έτσι ώστε να σχηματισθεί καθαρή και απότομη χαραγή καταλλήλων διαστάσεων. Προς αποφυγή δημιουργίας σχισμών επί των πλευρών της χαραγής ή ολισθήσεως του εδάφους, επιτρέπονται μέχρι 6 τέτοιοι χειρισμοί. Το βάθος της χαραγής πρέπει να αυξάνει με κάθε χειρισμό, στο τέλος δεν πρέπει να φαίνεται ο πυθμένας του κυπέλλου.

Με περιστροφή του στροφάλου με ταχύτητα δύο στροφών ανά δευτερόλεπτο, ανυψώνεται και πέφτει το κύπελλο με το παρασκεύασμα, μέχρις ότου οι δύο πλευρές του δείγματος ενωθούν στον πυθμένα της χαραγής και σε μήκος 12,7χιλιοστά περίπου. Αναγράφεται ο αριθμός των κτύπων που χρειάστηκαν για να κλείσει έτσι η

χαραγή. Όταν περιστρέφεται ο στρόφιλος η συσκευή πρέπει να κρατιέται με το άλλο χέρι. Τμήμα εδάφους, ίσο περίπου με το πλάτος της σπαθίδας εκτεινόμενο από άκρο σε άκρο του πλακούντος του εδάφους, κάθετα προς την χαραγή και περιλαμβάνοντας το μέρος της χαραγής που ενώθηκε το έδαφος, τοποθετείται σε κατάλληλο γυάλινο υποδοχέα ζυγίζεται και ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε κλίβανο θερμοκρασίας 110 °C και ζυγίζεται πάλι. Καταγράφεται το ξηρό βάρος ως επίσης και το νερό που έχασε κατά την ξήρανση.

Η πιο πάνω δοκιμασία, επαναλαμβάνεται σε δύο τουλάχιστον επί πλέον τμήματα του δείγματος, στα οποία έχει προστεθεί αρκετό νερό για να γίνει το δείγμα περισσότερο ρευστό. Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η επίτευξη δειγμάτων τέτοιας συστάσεως ώστε να γίνεται τουλάχιστον ένας προσδιορισμός σε κάθε μια από τις ακόλουθες τρεις περιοχές κτύπων: 25 - 35, 20 - 30, 15 - 25.

- Τήρηση στοιχείων:

Η περιεκτικότητα σε νερό βρίσκεται όπως αναφέρεται στην προδιαγραφή προσδιορισμού φυσικής υγρασίας εδάφους. Στη συνέχεια επί ημιλογαριθμικού διαγράμματος σχηματίζεται η καμπύλη ροής, που παριστά την σχέση μεταξύ περιεχόμενης υγρασίας και αντίστοιχου αριθμού κτύπων, με τα ποσοστά υγρασίας σαν τετημημένες στην γραμμική κλίμακα και των αριθμό κτύπων, ως τεταγμένες, στην λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη ροής θα σχεδιάζεται ως ευθεία γραμμή όσον δυνατόν πλησιέστερα προς τα τρία αποτυπωθέντα σημεία. Το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στην καμπύλη ροής με την τεταγμένη των 25 κτύπων λαμβάνεται σαν όριο υδαρότητας.

2.2.3 Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας και του δείκτη πλαστικότητας

- Εξοπλισμός:

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός θα αποτελείται από:

1. Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120mm.
2. Σπαθίδα ή σπάτουλα με λεπίδα μήκους 80mm περίπου και πλάτος 20mm περίπου.
3. Επιφάνεια για την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμηριδωμένη ή κομμάτι ομαλού και αστίλβωτου χαρτιού για κυλίνδρωση του δείγματος.
4. Υποδοχείς γυάλινοι που παρεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά την ζύγιση.
5. Κλίβανος θερμοκρασίας 110°C.
6. Ζυγός ευαισθησίας 0,001g.

- Τρόπος εργασίας:

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20g από το μέρος του υλικού που έχει αναμιχθεί καλά, του διερχόμενου από το κόσκινο Νο40. Τοποθετείται το έδαφος, που έχει ξηραθεί στον αέρα, μέσα σε κάψα από πορσελάνη και αναμιγνύεται καλά με απεσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα σε βώλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος του βώλου αυτού βάρους 8g περίπου.

Συμπιέζεται και μορφώνεται το δείγμα δοκιμής των 8g σε μάζα ελλειψοειδούς σχήματος. Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της σμηριδωμένης γυάλινης πλάκας ή του κομματιού χαρτιού που βρίσκεται πάνω σε ομαλή οριζόντια επιφάνεια, με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου σε όλο το μήκος του. Ο αριθμός κυλινδρώσεως πρέπει να είναι μεταξύ 80 - 90 κινήσεων ανά λεπτό, υπολογιζόμενης της κινήσεως σαν μια πλήρη κίνηση του χεριού προς τα εμπρός και προς τα πίσω στη θέση εκκινήσεως.

Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3mm ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξι ή οκτώ τεμάχια. Συμπιέζονται τα τεμάχια μαζί μεταξύ των αντιχειρών και των δακτύλων και των δύο χεριών προς ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση. Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλίνδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm, με συλλογή (συνένωση), με αναζύμωση και επανακυλίνδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματισθεί με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3mm. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περατώσεως, με τον όρο ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm. Συγκεντρώνονται μαζί τα μέρη του θραυσθέντος εδάφους και τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλο προζυγισμένο υποδοχέα. Ο υποδοχέας με το έδαφος ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος. Το έδαφος που είναι μέσα στον υποδοχέα, ξηραίνεται σε κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία 110°C και ζυγίζεται. Το βάρος αυτό καταγράφεται. Η απώλεια βάρους αναφέρεται στο βάρος ύδατος.



Σχήμα 2.7. Απαιτούμενος εξοπλισμός προσδιορισμού ορίου πλαστικότητας

- Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

Ο προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών δοκιμών. Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν το ποσοστό επί τοις εκατό (%) του νερού, κατά βάρος, που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3mm που ξηράθηκαν στον κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, ως εξής:

$$\text{Όριο πλαστικότητας} = (\text{Βάρος Νερού} / \text{Βάρος ξηρού εδάφους}) \times 100$$

Ο δείκτης πλαστικότητας του εδάφους υπολογίζεται σαν η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας. Η διαφορά που αναγράφεται παραπάνω αναφέρεται ως "δείκτης πλαστικότητας", με εξαίρεση τις εξής περιπτώσεις: Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιορισθούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).

Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δεν μπορεί να προσδιορισθεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό). Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP. Το όριο πλαστικότητας και ο δείκτης πλαστικότητας εκφράζονται στρογγυλεμένοι

στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 εκφράζονται με ακρίβεια 0,1.

iii. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΔΟΚΙΜΕΣ

2.3.1. Ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών (USCS)

Το Ενοποιημένο Σύστημα κατάταξης εδαφών που αρχικά καταστρώθηκε από τον Casagrande και ήταν γνωστό σαν σύστημα κατάταξης αεροδρομίων είναι εκείνο που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο χρησιμοποιείται διεθνώς. Η τροποποιημένη κατάταξη των εδαφών κατά Casagrande υιοθετήθηκε από το Σώμα Στρατιωτικών Μηχανικών των ΗΠΑ, είναι δε τροποποίηση του πρώτου συστήματος κατατάξεως Αεροδρομίων κατά Casagrande που αναπτύχθηκε στον πόλεμο. Θεωρείται σαν το πιο πλήρες σύστημα ταξινόμησης των εδαφών, διότι ταξινομεί τα εδάφη με την συμπεριφορά τους σαν υλικά κατασκευής. Έτσι, βρίσκει πολύ μεγάλη εφαρμογή για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών στο εργοτάξιο κατασκευής οδών και αεροδρομίων. 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 εν συνεχεία ακολουθεί η κατάταξη σε ομάδες. Τα χονδρόκοκκα εδάφη διακρίνονται σε 8 ομάδες, τα λεπτόκοκκα σε 6 ομάδες και μια τελευταία ομάδα συγκεντρώνει ορισμένα είδη οργανικών εδαφών.

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

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

Το USCS διαχωρίζει και αυτό τα εδάφη σε χονδρόκοκκα (ή κοκκώδη) και λεπτόκοκκα (ιλιώδη και αργιλικά). Πλην όμως ως χονδρόκοκκα ορίζονται αυτά που το συγκρατούμενο ποσοστό στο κόσκινο 0.075mm είναι 50%. Αντίστοιχος είναι ο ορισμός των λεπτόκοκκων εδαφών. Τα χονδρόκοκκα εδάφη (χαλίκια και άμμοι) διαχωρίζονται σε οκτώ υποκατηγορίες (GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM και SC, αρχίζοντας από τα πολύ χονδρόκοκκα σε λιγότερο χονδρόκοκκα) και τα λεπτόκοκκα σε έξη υποκατηγορίες (ML, CL, OL, MH, CH και OH), κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους λεπτοκόκκου). Τα πολύ οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη ταξινομούνται όλα στην κατηγορία με το χαρακτηρισμό (Pt).

Για το συμβολισμό όλων των άλλων υποκατηγοριών πλην των πολύ οργανικών εδαφών χρησιμοποιούνται, όπως φαίνεται παραπάνω, δύο γράμματα. Τα γράμματα αυτά είναι συνδυασμός δύο από τα παρακάτω γράμματα: "G" για χαλίκι ή αμμοχάλικο, "S" για άμμο ή αμμοχάλικο, "M" για ιλύ και "C" για άργιλο, "W" για καλώς διαβαθμισμένα υλικά, "P" για κακώς διαβαθμισμένα υλικά (κυρίως με ομοιόμορφη διάσταση κόκκων), "H" για υλικά με όριο υδαρότητας υψηλό, "L" για υλικά με όριο υδαρότητας χαμηλό και "O" για υλικά με κάποια περιεκτικότητα οργανικών καταλοίπων. Έτσι, "GW" συμβολίζει χαλίκι ή αμμοχάλικο καλώς διαβαθμισμένο, ενώ "SP" ομοιόμορφη άμμο (ισόκοκκη).

Για την κατάταξη των εδαφών σε κάθε υποκατηγορία απαιτείται η γνώση των χαρακτηριστικών της κοκκομετρικής διαβάθμισης (διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο 0.075mm, d_{10} , d_{60} και d_{30}), τον συντελεστή ομοιομορφίας C_u , του συντελεστή

καμπυλότητας C_c και του δείκτη πλαστικότητας PI . Ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u υπολογίζεται πιο πάνω, ενώ ο συντελεστής καμπυλότητας C_c υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{10} \cdot d_{60})$$

Όπου d_{30} , d_{10} και d_{60} = οι διαστάσεις των κόκκων που αντιστοιχούν σε διερχόμενα ποσοστά 30%, 10% και 60%, αντίστοιχα.

Ο συντελεστής καμπυλότητας διασφαλίζει ότι η κοκκομετρική καμπύλη θα έχει ένα κοίλωμα μέσα σε ένα σχετικά στενό διάστημα για d_{60} και d_{10} . Οι τιμές που θα πρέπει να λαμβάνει το C_c , για καλώς διαβαθμισμένα χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά κυμαίνονται μεταξύ 1 και 3.

2.3.2. Κατηγορίες εδαφών κατά το ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών (USCS)

- Χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- α) Χαλικιώδη εδάφη
- β) Αμμώδη εδάφη
- γ) Ιλυοαργιλώδη εδάφη
- δ) Οργανικά ινώδη

- Χαλικιώδη εδάφη:

Έχουν μεγάλη αντοχή στην διάτμηση και επηρεάζονται λίγο από τις διακυμάνσεις της περιεχόμενης υγρασίας. Διακρίνονται σε:

Χαλίκια καλής διαβαθμίσεως (GW): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει χαλίκια καλής διαβαθμίσεως, η μίγμα χαλικιών και άμμου, με ή χωρίς ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Τα υλικά αυτά έχουν ευστάθεια, είναι διαπερατά και έχουν σχετικά μεγάλη εσωτερική τριβή.

Χαλίκια κακής διαβαθμίσεως (GP): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει χαλίκια κακής διαβαθμίσεως, ή μίγμα από χαλίκια και άμμο κακής διαβαθμίσεως, με ή χωρίς ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Παρ' όλο που τα υλικά αυτά είναι σχετικά ευσταθή, δεν έχουν συνήθως την μεγάλη αντοχή και εσωτερική τριβή της ομάδας των χαλικιών με την καλή κοκκομετρική διαβάθμιση.

Χαλίκια ιλυώδη (GM): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα ιλυώδη χαλίκια και τα μίγματα χαλικιών - άμμου - ιλύος με κακή διαβάθμιση. Επειδή υπάρχει σχετικά μεγάλο ποσοστό ιλύος η ομάδα αυτή έχει πάντοτε κακή διαβάθμιση. Έχει επίσης μεγάλη αντοχή στη διάτμηση.

Χαλίκια αργιλώδη (GC): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τα αργιλώδη χαλίκια και τα μίγματα χαλικιών - άμμου - ιλύος - αργίλου. Τα υλικά αυτά έχουν μέτρια ως μεγάλη αντοχή στην διάτμηση που εξαρτάται από το ποσοστό της περιεχόμενης αργίλου .

- Αμμώδη εδάφη:

Άμμος καλής διαβαθμίσεως (SW): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει άμμο καλής διαβαθμίσεως ή αμμοχάλικα με λίγα λεπτόκοκκα. Τα υλικά αυτά έχουν ν μικρή αντοχή στην διάτμηση

Άμμος κακής διαβαθμίσεως (SP): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει άμμο κακής διαβαθμίσεως ή μίγμα άμμου - χαλικιών - κακής διαβαθμίσεως με ή χωρίς λεπτόκοκκο υλικό. Τα υλικά αυτά έχουν μικρότερη αντοχή από την ομάδα άμμου καλής διαβαθμίσεως.

Άμμος ιλυώδης (SM): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει, τις ιλυώδεις άμμους και τα κακής διαβαθμίσεως μίγματα άμμου και ιλύος. Έχουν μικρότερη αντοχή, στην διάτμηση από την ομάδα ιλυωδών χαλικιών.

Άμμος αργιλώδης (SC): Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει τις αργιλώδεις άμμους και τα μίγματα άμμου - ιλύος - αργίλου. Μπορεί να αποτελείται από μίγμα καλής διαβαθμίσεως με αρκετό ποσοστό αργίλου σαν συνδετική ύλη με καλή αντοχή στην διάτμηση. Επίσης μπορεί να αποτελείται από μίγμα κακής διαβαθμίσεως με πλεόνασμα αργίλου με μέτρια αντοχή στην διάτμηση.

- Ιλυοαργιλώδη εδάφη:

Εδάφη κυρίως ιλυώδη (ML και MH): Ιλυώδη εδάφη που έχουν Όριο υδαρότητας μικρότερο του 50 κατατάσσονται στην ομάδα (ML) (Χαμηλό συμπιεστό). Ιλυώδη εδάφη που έχουν όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 50 κατατάσσονται στην ομάδα (MH) (Ψηλό συμπιεστό). Η ομάδα ιλύος (ML) στερείται γενικά πλαστικότητας και συνεκτικότητας και έχει μικρή αντοχή σε ξηρή κατάσταση. Η ομάδα ιλύος (MH) έχει συνήθως ελαφρές πλαστικές και συνεκτικές ιδιότητες και μικρή αντοχή σε ξηρή κατάσταση.

Εδάφη κυρίως αργιλώδη (CL, και CH): Τα εδάφη αυτά είναι κυρίως ανόργανες άργιλοι. Και σε αυτή την ομάδα τα εδάφη που έχουν όριο υδαρότητας μικρότερο του 50 κατατάσσονται στην ομάδα (CL) (χαμηλό συμπιεστό), ενώ τα εδάφη που έχουν όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 50 στην ομάδα (CH) (ψηλό συμπιεστό). Η ομάδα αργίλου (CL) έχει μέτρια ως μικρή πλαστικότητα, μικρή συνεκτικότητα και μικρή ως μέτρια αντοχή σε ξηρή κατάσταση. Η ομάδα (CH) έχει ψηλή πλαστικότητα και συνεκτικότητα.

Εδάφη ιλυώδη ή αργιλώδη με οργανικό υλικό (OL και OH): Τα εδάφη αυτά διακρίνονται από την παρουσία οργανικού υλικού. Η ομάδα (OL) έχει ελαφριά πλαστικότητα και συνεκτικότητα και πολύ μικρή αντοχή σε ξηρή κατάσταση. Η ομάδα (OH) έχει ψηλή πλαστικότητα και συνεκτικότητα με μέτρια ως ψηλή αντοχή σε ξηρή κατάσταση.

- Οργανικά ινώδη εδάφη:

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται τα ινώδη, πολύ οργανικά (κυρίως τύρφη) και άλλα ελώδη εδάφη. Όλα μαζί ταξινομούνται με την ονομασία "Peat" (τύρφη) και συμβολίζονται με (PT). Έχουν μικρή αντοχή σε ξηρή κατάσταση και χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα. Το όριο υδαρότητας τους είναι ψηλό και κυμαίνεται μεταξύ 100 και 300.

Ο αναλυτικός πίνακας της κατάταξης εδαφών με το σύστημα USCS φαίνεται στον Πίνακα 2.4 που ακολουθεί. Τα βασικά χαρακτηριστικά και οι μηχανικές ιδιότητες της κάθε εδαφικής κατηγορίας απεικονίζονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.4. Το Ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών (USCS)

Χαρακτηριστικά εδάφους		Εργαστηριακή κατάταξη	Σύμβολο ομάδας	Περιγραφή	
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ ΔΠ. Νο200 < 50%	ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΑ ΔΠ. Νο4 < 5%	Καθαρά αμμοχάλικα ΔΠ No200 < 5%	$U > 4$ και $C_c = 1 \div 3$	GW	Χάλικες και αμμοχάλικα καλής διαβάθμισης
			Ένα από τα ως άνω κριτήρια δεν ικανοποιείται	GP	Χάλικες ομοιόμορφης κοκκομετρίας
		Χάλικες με λεπτόκοκκα ΔΠ No200 > 12%	Σημείο Atterberg κάτω από τη γραμμή A ή $IP < 4$	GM	Πυλώδεις χάλικες, ιλυώδη αμμοχάλικα
			Σημείο Atterberg πάνω από τη γραμμή A ή $IP > 7$	GC	Αργιλόδεις χάλικες, αργιλόδη αμμοχάλικα
	ΑΜΜΟΙ ΔΠ. Νο4 > 50%	Άμμος ΔΠ No200 < 5%	$U > 6$ και $C_c = 1 \div 3$	SW	Άμμος καλής διαβάθμισης
			Ένα από τα ως άνω κριτήρια δεν ικανοποιείται	SP	Άμμος μέτριας διαβάθμισης
		Άμμος με λεπτόκοκκα ΔΠ No200 > 12%	Σημείο Atterberg κάτω από τη γραμμή A ή $IP < 4$	SM	Πυλώδεις άμμοι
			Σημείο Atterberg πάνω από τη γραμμή A ή $IP > 7$	SC	Αργιλόδεις άμμοι

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

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ ΔΠ.No200 > 50%		WL < 50	
		CL	Ανόργανες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
		OL	Οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη χαμηλής πλαστικότητας
		MH	Ανόργανες υλείς υψηλής πλαστικότητας
		CH	Ανόργανες άργιλοι υψηλής πλαστικότητας
		OH	Οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη υψηλής πλαστικότητας
Εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικά		Pt	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 (± 2 μονάδες) χρησιμοποιείται διπλό σύμβολο (π.χ. CL/CH, ML/MH)

Πίνακας 2.5. Ιδιότητες εδαφικών κατηγοριών του ενιαίου συστήματος κατάταξης (USCS)

Κατηγορίες εδαφών			Βασικά χαρακτηριστικά						
			Κατάλληλα ως υπέδαφος	Κατάλληλα ως υπόβαση	Επίδραση παγετού	Συμπεστικότητα & διόγκωση	Δυνατότητα αποστράγγισης	Τυπικές τιμές CBR (k)	
Χαλικώδη εδάφη	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Εξαιρετική	Εξαιρετική	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	40-80 (80-135)	
	GP	Ομοιομορφα χαλίκια ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Καλή έως εξαιρετική	Καλή	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	30-80 (80-135)	
	GM	Ιλυώδη χαλίκια, ιλυώδη αμμοχάλικα	Καλή έως εξαιρετική	Καλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Ελάχιστη	Μέτρια έως κακή	20-80 (55-135)	
	GC	Αργιλώδη χαλίκια, αργιλώδη 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	Ομοιομορφες 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	Αργιλώδεις άμμοι, μίγμα άμμου και αργίλου	Κακή έως μέτρια	Κακή	Ελάχιστη έως υψηλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Κακή/ αδιαπέρατο	5-20 (27-80)	
Ιλοαργιλώδη εδάφη	WL<50	ML	Ανόργανες ιλύες, πολύ λεπτές άμμοι, ιλο-αργιλώδεις άμμοι	Κακή έως μέτρια	Ακατάλληλη	Μέτρια έως πολύ μεγάλη	Ελάχιστη έως μέτρια	Μέτρια έως κακή	≤15 (27-55)
		CL	Ανόργανες άργιλοι μέσου-χαμηλού PI, χαλικιώδεις, 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	-	

iv. ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (Proctor)

2.4.1.Ορισμός

Συμπύκνωση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία επί εδαφικού ή άλλου κοκκώδους υλικού ασκείται μηχανικό έργο (με μορφή στατικής πίεσης ή κρούσης ή δόνησης), το οποίο προκαλεί προσέγγιση των κόκκων (τεχνητή αύξηση πυκνότητας) και αύξηση της μεταξύ τους τριβής, έτσι ώστε το υλικό να μπορεί να δεχθεί τα αναμενόμενα φορτία χωρίς οι παραμορφώσεις του να υπερβούν τα επιτρεπόμενα (ανεκτά) όρια.

Με την συμπύκνωση επιτυγχάνεται:

- Αύξηση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Μείωση της συμπίεστικότητας και επομένως των προκαλούμενων καθιζήσεων του εδάφους, σε συνθήκες εξωτερικής φόρτισης
- Μείωση της διαπερατότητας του εδάφους
- Αύξηση της αντίστασης του εδάφους

Η συμπύκνωση του εδάφους εφαρμόζεται:

- Για τη σταθεροποίηση του εδάφους για θεμελίωση τεχνικών έργων
- Για τη δημιουργία ανθεκτικότερης εδαφικής επιφάνειας για περπάτημα και γενικότερη διαμόρφωση χώρου.
- Για την ομογενοποίηση του εδάφους θεμελίωσης
- Για τη δημιουργία στερεών εδαφικών επιχωμάτων, για την κατασκευή δρόμων κ.α.
- Για την κατασκευή χωμάτων φραγμάτων.
- Για τη βελτίωση της φέρουσας ικανότητας και μείωση των ενδεχόμενων καθιζήσεων εδαφικών υλικών πλήρωσης εκσκαφών κ.α.
- Για την αύξηση της παθητικής αντίστασης του εδάφους σε πλευρικές φορτίσεις.

2.4.2. Γενικά

Η συμπύκνωση των εδαφών και των αδρανών υλικών οδοστρωσίας μετριέται ποσοτικά με την τιμή, την οποία παίρνει το ξηρό φαινόμενο (ειδικό) βάρος τους γ_d (ή η ξερή πυκνότητα), ύστερα από ορισμένη εργαστηριακή δοκιμασία ή εργοταξιακή επεξεργασία. Έχουν επινοηθεί διάφορες μέθοδοι, με τις οποίες γίνεται συμπύκνωση των εδαφικών δοκιμίων στο εργαστήριο. Απ' αυτές πιο συνηθισμένη είναι η δοκιμασία Proctor (δυναμική μέθοδος συμπύκνωσης με κρούσεις ενός τύπτρου). Η δοκιμασία αυτή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της βέλτιστης περιεκτικότητας σε νερό, με την οποία – με δεδομένο σταθερό έργο συμπύκνωσης – επιτυγχάνεται η καλύτερη συμπύκνωση των εδαφικών υλικών, δηλαδή, η μέγιστη τιμή του ξηρού ειδικού βάρους. Η δοκιμασία Proctor διακρίνεται σε:

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

2.4.3 Στοιχεία της δοκιμής

Η δοκιμή διεξάγεται σε δείγματα υλικού χωρίς πολύ χονδρούς κόκκους, δηλ σε υλικά διερχόμενα από το κόσκινο Νο4 ($d < 4,76\text{mm}$) ή διερχόμενα από το κόσκινο $\frac{3}{4}$ '' ($d < 19,05\text{mm}$). Αν το δείγμα του εδάφους είναι υγρό όταν λαμβάνεται από το έργο, ξεραίνεται μέχρι να γίνει εύθρυπτο. Η ξήρανση γίνεται σε κατάλληλη συσκευή

ξήρανσης, έτσι ώστε η θερμοκρασία του δείγματος να μην ξεπεράσει τους 600°C (1400°F). Αν το έδαφος περιέχει μικροοργανισμούς, η ξήρανση γίνεται στον αέρα. Μετά γίνεται θρυμματισμός των σβώλων, χωρίς να θραύονται οι κόκκοι, και τέλος το εδαφικό υλικό κοσκινίζεται και απορρίπτεται το χονδρόκοκκο μερίδιο. Όταν η δοκιμασία γίνεται σε έδαφος διερχόμενο από το κόσκινο ¾'', τότε το μεταξύ 2 ¾'' μερίδιο των χονδρόκοκκων συστατικών αντικαθίσταται με ίσο βάρος υλικού με κόκκους διαμέτρου μεταξύ 5mm και 20mm (No 4 < d < ¾''). Στη συνέχεια το εδαφικό δείγμα υγραίνεται, τοποθετείται κατά στρώσεις μέσα σε μια κυλινδρική μήτρα και συμπυκνώνεται με χτυπήματα ενός τύπτρου καθορισμένου βάρους, που πέφτει από ορισμένο ύψος. Μετά το τέλος της συμπύκνωσης υπολογίζονται η υγρασία του δείγματος w και το ξηρό ειδικό βάρος γ_d.

Τα χαρακτηριστικά της μήτρας, η οποία είναι μεταλλική και έχει ανεξάρτητη πλάκα για πυθμένα, το βάρος και το ύψος της πτώσεως του τύπτρου, ο αριθμός των στρώσεων και ο αριθμός των κρούσεων του τύπτρου σε κάθε στρώση είναι τα ειδικά χαρακτηριστικά της δοκιμασίας, που αλλάζουν ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Συνοπτικά τα στοιχεία της δοκιμασίας αναφέρονται στον ακόλουθο Πίνακα 2.6:

Πίνακας 2.6. Στοιχεία δοκιμής συμπύκνωσης

Τύπος	Κυλινδρική μήτρα				Τύπτρο				Αριθμός στρώσεων
	D		h		Βάρος G		Ύψος πτώσεως		
	in	cm	in	cm	lb	kg	in	cm	
Proctor	4''	10,2	4,59	11,64	5,5	2,5	12''	30,18	3
C.B.R.	6''	15,24	4,59	11,64	5,5	2,5	12''	30,18	3
Proctor	4''	10,2	4,59	11,64	10	4,54	18''	45,72	5
C.B.R.	6''	15,24	4,59	11,64	10	4,54	18''	45,72	5

Από τον πίνακα φαίνεται ότι κατά την τροποποιημένη δοκιμασία ασκείται μεγαλύτερο έργο συμπυκνώσεως.

2.4.4 Διεξαγωγή της δοκιμής

Το κοκκώδες υλικό αναμειγνύεται καλά με επαρκή ποσότητα νερού ώστε να υγρανθεί κατά 4% περίπου κάτω από την αναμενόμενη βέλτιστη υγρασία και στη συνέχεια διαστρώνεται μέσα στη μήτρα και συμπυκνώνεται με κτύπους του κόπανου. Ο αριθμός των στρώσεων του υλικού και ο αριθμός των κτύπων ορίζονται από την εφαρμοζόμενη προδιαγραφή. Στη συνέχεια υπολογίζονται το υγρό βάρος (γ_w) του υλικού που έχει εντοπισθεί μέσα στη μήτρα (όγκου V), καθώς και η υγρασία του. Το ξηρό ειδικό (φαινόμενο) βάρος προσδιορίζεται από τις σχέσεις:

$$w = W_w / W_s, \quad \gamma_w = W/V \quad \text{και} \quad \gamma_d = \gamma_w / (1+w)$$

Έτσι αποκτάται ένα ζεύγος τιμών (W, γ_d) και η δοκιμή επαναλαμβάνεται για διαδοχικές αυξήσεις της υγρασίας κατά 1-2%, έως όταν οι τιμές του γ_w να αρχίσουν να ελαττώνονται ή να μην παρουσιάζουν ουσιώδη μεταβολή. Από κάθε δοκιμή προκύπτει ένα νέο ζεύγος τιμών w, γ_d. Στη συνέχεια, σε ένα διάγραμμα υγρασίας /

ξερού ειδικού βάρους ($w - \gamma_d$) τοποθετούνται τα σημεία, που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών κάθε δοκιμής και χαράσσεται η καμπύλη που ορίζουν τα σημεία αυτά.

Η υγρασία που αντιστοιχεί στην κορυφή της καμπύλης ($\max \gamma_d$) ονομάζεται βέλτιστη υγρασία (w_{β}). Δηλαδή είναι η υγρασία με την οποία, υπό το δεδομένο μηχανικό έργο συμπύκνωσης της εφαρμοζόμενης δοκιμασίας, επιτυγχάνεται η καλύτερη συμπύκνωση. Όσο το μηχανικό έργο συμπύκνωσης αυξάνει (βαρύτερος κόπανος ή αυξημένος αριθμός στρώσεων ή κτύπων κλπ.) είναι δυνατό να επιτυγχάνεται μεγαλύτερο $\max \gamma_d$ με μικρότερη βέλτιστη υγρασία.

Έτσι η καμπύλη της τροποποιημένης δοκιμασίας Proctor βρίσκεται πάντοτε πιο ψηλά και πιο αριστερά της αντίστοιχης καμπύλης της πρότυπης δοκιμασίας Proctor. Η καμπύλη συμπύκνωσης ενός υλικού και το ζεύγος τιμών ($w_{\beta}, \max \gamma_d$) είναι χαρακτηριστικές ιδιότητες (ταυτότητα) του υλικού, που είναι σταθερές εφόσον αναφέρονται σε συγκεκριμένη δοκιμασία.

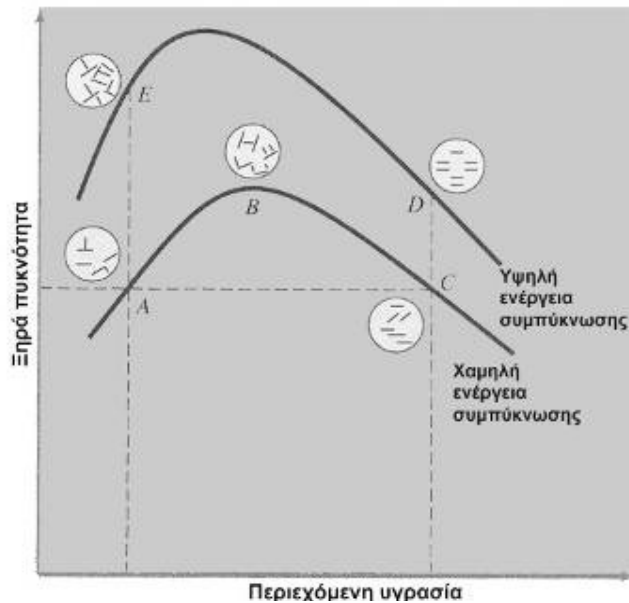
2.4.5 Συνθήκες συμπύκνωσης

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

α) τη διαπερατότητα, β) τη συμπιεστότητα, γ) 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 συμπύκνωσης από ότι τα χονδρόκοκκα. Στα σημαντικά οδικά έργα θα πρέπει, κατά το στάδιο της μελέτης, να διερευνάται η επίδραση των συνθηκών συμπύκνωσης 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 την ποιότητα της συμπύκνωσης αποτελεί η τιμή της ξηράς πυκνότητας γ_d . Για μια συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης η τιμή της ξηράς πυκνότητας του εδαφικού υλικού που υφίσταται συμπύκνωση είναι συνάρτηση της φυσικής υγρασίας. Το διάγραμμα (w, γ_d) έχει τη μορφή μιας καμπύλης που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω ενώ η μέγιστη ξηρά πυκνότητα επιτυγχάνεται για μια συγκεκριμένη τιμή της φυσικής υγρασίας, που ονομάζεται βέλτιστη φυσική υγρασία και για κάθε υλικό είναι συνάρτηση της ενέργειας συμπύκνωσης.



Σχήμα 2.8. Διάγραμμα φυσικής υγρασίας - ξηράς πυκνότητας

Η ασκούμενη ενέργεια συμπίκνωσης είναι καθοριστική για κάθε υλικό. Όσο υψηλότερη είναι η ενέργεια συμπίκνωσης, τόσο αυστηρότερος πρέπει να είναι ο έλεγχος της περιεχόμενης υγρασίας. Για την ίδια τιμή φυσικής υγρασίας (σημεία C και D, Σχήμα 2.8) η δυσκολία συμπίκνωσης που παρουσιάζεται στην υψηλή ενέργεια είναι μεγαλύτερη και το υλικό τείνει σε κατάσταση κορεσμού. Η σχέση "πυκνότητας – υγρασίας" είναι χαρακτηριστική και χρησιμεύει για τον 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 προσδιορισθεί η τιμή της υγρασίας για την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή της ξηράς πυκνότητας.

2.4.6 Επεξηγήσεις - Παρατηρήσεις

α) Βέλτιστη υγρασία

Η ύπαρξη μιας συγκεκριμένης κατάστασης διαβροχής του υλικού, κατά την οποία – με δεδομένο μηχανικό έργο – επιτυγχάνεται η καλύτερη συμπίκνωση, εξηγείται ως εξής:

- Όταν το υλικό είναι ξερό ή λίγο υγρό, οι μεταξύ των κόκκων τριβές είναι μεγάλες και το μηχανικό έργο συμπίκνωσης δεν μπορεί να τις υπερνικήσει και να προκαλέσει σημαντική προσέγγιση των κόκκων και αύξηση της πυκνότητας.
- Όσο η υγρασία του υλικού αυξάνει, το νερό δρα ως λιπαντικό μεταξύ των κόκκων και έτσι διευκολύνεται η προσέγγισή του, η μείωση των κενών και η αύξηση της μάζας του υλικού που εντοπίζεται μέσα στη μήτρα της δοκιμασίας.
- Η ευνοϊκή αυτή επίδραση της αύξησης της υγρασίας συνεχίζεται μέχρι ενός οριακού σημείου, μετά το οποίο η περιεχόμενη υγρασία είναι τόσο μεγάλη, ώστε μέρος της ασκούμενης πίεσης συμπίκνωσης να αναλαμβάνεται από τη μάζα του νερού ως «ουδέτερη» πίεση και να μη συμβάλει στην προσέγγιση των κόκκων. Έτσι αρχίζει να παρουσιάζεται μείωση της συμπίκνωσης του υλικού.

- Η οριακή τιμή της υγρασίας για την οποία επιτυγχάνεται η καλύτερη συμπύκνωση ($\max \gamma_d$) ονομάζεται βέλτιστη υγρασία (w_B).

β) Εργοταξιακή διαβροχή υλικών

Η γνώση της τιμής της βέλτιστης υγρασίας είναι πολύτιμο στοιχείο, γιατί καθορίζει την υγρασία με την οποία ένα υλικό πρέπει να διαβρέχεται στο εργοτάξιο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη συμπύκνωση με την μικρότερη κατανάλωση μηχανικού έργου. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πολύ υψηλή, τότε το υλικό πρέπει να διαβρέχεται συνεχώς, ώστε η υγρασία του να διατηρείται κοντά στην τιμή της βέλτιστης υγρασίας. Όταν η φυσική υγρασία του υλικού είναι μεγαλύτερη από την βέλτιστη υγρασία, τότε το υλικό πρέπει να αναμοχλεύεται και να αερίζεται. Τέλος, όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος διατηρούν την υγρασία του υλικού σε επίπεδα ανώτερα από την βέλτιστη υγρασία, τότε πρέπει να αυξάνεται το μηχανικό έργο συμπύκνωσης ή να περιορίζονται οι απαιτήσεις για επίτευξη μεγάλης τιμής γ_d .

γ) Καμπύλες κενών αέρα ($V_a\%$)

Λόγω του ρόλου που παίζει η υγρασία του υλικού όλες οι καμπύλες συμπύκνωσης τείνουν ασυμπτωματικά προς μια περιβάλλουσα γραμμή που αντιστοιχεί στην κατάσταση κορεσμού, δηλ. την κατάσταση που το ποσοστό των πόρων που καταλαμβάνεται από αέρα έχει γίνει μηδέν. Είναι φανερό ότι καμιά καμπύλη συμπύκνωσης δεν μπορεί να βρίσκεται έξω από την γραμμή κορεσμού ($V_a=0\%$).

δ) Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπύκνωση

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπύκνωση (δηλ. την επιτυγχανόμενη μέγιστη τιμή γ_d) είναι:

1. Το ποσοστό υγρασίας
2. Ο τύπος του υλικού (εδάφους ή αδρανούς)
3. Το μέγεθος του ασκούμενου μηχανικού έργου συμπύκνωσης
4. Η μέθοδος συμπύκνωσης

ε) Αποτελέσματα της συμπύκνωσης

Η διαδικασία συμπύκνωσης ενός υλικού επιτυγχάνει:

1. Αύξηση της αντοχής και της ευστάθειάς του
2. Μείωση της συμπιεστότητας (και άρα των αναμενόμενων υποχωρήσεων)
3. Μείωση της διαπερατότητας
4. Μείωση της προσρόφησης υγρασίας και ελάττωση του κινδύνου διάβρωσης.

στ) Βαθμός συμπύκνωσης

Η συμπύκνωση ενός υλικού στο έργο μπορεί να εκτιμηθεί με την τιμή του ξερού ειδικού βάρους (γ_d) που έχει αποκτήσει. Η επιτυγχανόμενη συμπύκνωση εκφράζεται ως ποσοστό της ιδανικής συμπύκνωσης που επιτυγχάνεται στο εργαστήριο με τη δοκιμασία Proctor. Αυτό γίνεται με τον προσδιορισμό του βαθμού συμπύκνωσης (Β.Σ. %) που ορίζεται ως εξής: Ο επιθυμητός Β.Σ. ενός υλικού ορίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου (αναμενόμενα φορτία, τμήμα έργου κλπ.), τα χαρακτηριστικά του υλικού και τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες από άποψη υγρασίας.

2.4.7 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την επίτευξη της δοκιμής συμπύκνωσης χωρίζεται στον

α) Ειδικό εξοπλισμό, και στον β) γενικό εξοπλισμό

α) Ειδικός Εξοπλισμός:

Συσκευή συμπύκνωσης: α) Μήτρα Proctor

β) Αποσυνδεδεμένος δακτύλιος μήτρας

γ) Σφύρα και διάταξη ελέγχου της πτώσης

β) Γενικός Εξοπλισμός:

1. Ψεκαστήρας υγρασίας
2. Κόσκινο Νο 4
3. Δοχείο με πρόσθετο ελαστικό στο άκρο
4. Σέσουλα
5. Χάρακας και σπάτουλα
6. Μεγάλος δίσκος για ανάμειξη
7. Ζυγοί
8. Φούρνος ξήρανσης
9. Υποδοχής ξήρανσης



Σχήμα 2.9. Εξοπλισμός για την επίτευξη της δοκιμής συμπύκνωσης

2.4.8 Διαδικασία δοκιμής

1. Καθάρισμα της μήτρας του δακτυλίου και της βάσης της συσκευής Proctor, με ελαφρά λαδωμένο πανί από ξεραμένο υλικό και σκόνη για να μπορεί το δοκίμιο να ζυγιστεί καλά.
2. Ζύγισμα της κενής μήτρας(με βάση αλλά χωρίς το δακτύλιο).
3. Τοποθέτηση του δείγματος στη μήτρα Proctor, σε μια στρώση 4cm.
4. Ελαφριά πίεση του εδάφους για να γίνει ομαλή η επιφάνεια του και έπειτα συμπύκνωση με 25 χτυπήματα της σφύρας. Η σφύρα τοποθετείται με τη κομμένη της άκρη να εφάπτεται στο εσωτερικό τοίχωμα της μήτρας. Ανασήκωση, με ορμή της σφύρας μέχρι το τέλος της διαδρομής της (να ακουστεί καθαρά, το χτύπημα

- μετάλλου σε μέταλλο), και κατόπιν πτώση της με το βάρος της. Μετά από κάθε πτώση, ανασήκωση, λίγο της συσκευής και επανατοποθέτηση της περιφερειακά της μήτρας ώστε τελικά να γίνει ομοιόμορφη κατανομή των κρούσεων,
5. Επανάληψη της διαδικασίας για δεύτερο και τρίτο στρώμα προσθέτοντας και το δακτύλιο όταν η μήτρα κοντεύει να γεμίσει. Μετά την συμπύκνωση και του τρίτου στρώματος, η επιφάνεια του εδάφους πρέπει να εξέχει ελαφρά από το πάνω χείλος της μήτρας.
 6. Αφαιρείται ο δακτύλιος και έπειτα το έδαφος που εξέχει ώστε να έρθει στο ύψος του χείλους της μήτρας. Για την απομάκρυνση του δακτυλίου, τον περιστρέφουμε αρχικά, για να θραύσει ο σύνδεσμος μεταξύ αυτού και του εδάφους πριν χωρισθεί από την μήτρα. Αυτό εμποδίζει το συμπυκνωμένο έδαφος να παρασυρθεί, όταν αφαιρείται ο δακτύλιος. Η αφαίρεση του πλεονάζοντος εδάφους πρέπει να γίνεται με πολλές αποξέσεις με το χάρακα(ή μία ίσια, μακριά σπάτουλα, αρχίζοντας από το κέντρο προς το άκρο της μήτρας).
 7. Ζύγιση του κυλίνδρου με τη μήτρα.
 8. Αφαίρεση του δείγματος από τον κύλινδρο, λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος, από την καρδιά του δείγματος για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας.

Επιπλέον, για τις ανάγκες της πειραματικής διερεύνησης της επίδρασης της συμπύκνωσης στη διατμητική αντοχή, από κάθε δοκίμιο Proctor, ελήφθησαν με κατάλληλο δειγματολήπτη 2 κυλινδρικά δοκίμια για τη δοκιμή άμεσης διάτμησης.

v. ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ (C.B.R.)

2.5.1 Γενικά

Ο Καλιφορνιακός λόγος φέρουσας ικανότητας, ή συντομότερα : "Καλιφορνιακός δείκτης – C.B.R.", είναι μια παράμετρος με την οποία εκφράζεται η αντοχή (φέρουσα ικανότητα) εδαφικών υλικών ή αδρανών οδοστρωσίας ως ποσοστό της αντοχής ενός τυποποιημένου "πρότυπου" υλικού που λαμβάνεται σαν μέτρο σύγκρισης. Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του C.B.R. προτάθηκε από την Διεύθυνση οδών της πολιτείας της Καλιφόρνιας πριν από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο (1938) και με διάφορες μικροπαραλλαγές, έγινε ευρύτατα αποδεκτή. Ο υπολογισμός του C.B.R. ενός εδάφους ή αδρανούς υλικού γίνεται για να χρησιμεύσει σαν παράμετρος υπολογισμού του πάχους "εύκαμπτων" οδοστρωμάτων (που αποτελούνται από στρώσεις τέτοιων υλικών), σύμφωνα με την ομώνυμη εμπειρική μέθοδο C.B.R. ή με παραπλήσιες μεθόδους.

Για τον προσδιορισμό του C.B.R. εκτελείται μια προτυποποιημένη δοκιμασία που θα περιγραφεί αναλυτικά παρακάτω. Κατ' αυτήν ένα τυποποιημένο έμβολο πιέζεται επί του εξεταζόμενου υλικού και χαράσσεται η γραμμή (καμπύλη) πιέσεων – διεισδύσεων. Ως "πρότυπο" υλικό αναφοράς λαμβάνεται ένα καλά συμπυκνωμένο θραυστό υλικό λατομείου, του οποίου η καμπύλη πιέσεων – διεισδύσεων έχει επίσης προτυποποιηθεί και δείχνει:

-Για διείσδυση σε βάθος 0,1''(2,5mm) → απαιτούμενη πίεση επί εμβόλου:1000 psi (70 kg/cm²)

-Για διείσδυση σε βάθος 0,2'' (5,0mm) → απαιτούμενη πίεση επί εμβόλου:1500 psi (105 kg/cm²)

Ο δείκτης C.B.R. εκφράζεται ως ο λόγος (σε εκατοστιαία ποσοστά) των πιέσεων (ή φορτίων) που προκαλούν ίσες διεισδύσεις τόσο στο εξεταζόμενο όσο και στο πρότυπο υλικό. Είναι φανερό από τον ορισμό ότι το "πρότυπο" έχει C.B.R.=100. Επειδή ένα εδαφικό υλικό έχει συνήθως μικρότερη φέρουσα ικανότητα από ένα

συμπυκνωμένο θραυστό υλικό βάσης, αναμένεται ότι οι υπολογιζόμενες τιμές του C.B.R. για τα υλικά αυτά θα είναι αριθμοί πολύ μικρότεροι του 100.

2.5.2 Δοκιμή προσδιορισμού του C.B.R.

- Βασικοί τύποι δοκιμής:

Η δοκιμασία προσδιορισμού του C.B.R. διεξάγεται συνηθέστερα στο εργαστήριο, σε διαταραγμένα (αναζυμωθέντα) δοκίμια, που έχουν συμπυκνωθεί έτσι ώστε να έχουν τις συνθήκες υγρασίας και το ξερό ειδικό βάρος (βαθμό συμπύκνωσης %) που εκτιμάται ότι θα έχει το εξεταζόμενο υλικό στο έργο. Όταν υπάρχει ενδεχόμενο το υλικό, έδαφος ή αδρανές, να βρεθεί κατά την διάρκεια ζωής και λειτουργίας του έργου υπό συνθήκες μεγάλης υγρασίας, τότε η δοκιμασία διεξάγεται σε δοκίμια που έχουν κορεσθεί, ύστερα από κατάλληλο υδρωποτισμό 4 ημερών.

Μερικές φορές είναι επιθυμητό να ελεγχθούν οι εργαστηριακές τιμές C.B.R. με αυτές που προσδιορίζονται επί τόπου, κατά την κατασκευή. Τότε διεξάγεται εργοταξιακή δοκιμασία με ειδικό εξοπλισμό, δια του οποίου πιέζεται το τυποποιημένο έμβολο επί της επιφάνειας του εξεταζόμενου υλικού. Η δοκιμή πάντοτε συνοδεύεται από τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας και του ξερού ειδικού βάρους του υλικού. Τα αποτελέσματα των εργοταξιακών δοκιμών δεν συσχετίζονται πάντοτε ικανοποιητικά με τα αντίστοιχα εργαστηριακά. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στα χονδρόκοκκα υλικά, των οποίων η τοποθέτηση και συμπύκνωση μέσα στις εργαστηριακές μήτρες επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Αντίθετα στα αργιλώδη εδάφη παρουσιάζονται συνήθως μικρές αποκλίσεις μεταξύ εργαστηριακών και εργοταξιακών τιμών C.B.R. Η διεξαγωγή εργοταξιακής δοκιμασίας συνιστάται όταν η εξεταζόμενη στρώση δεν αναμοχλεύεται ή συμπυκνώνεται κατά την κατασκευή, οπότε συμφέρει η γνώση της τιμής C.B.R. του αδιατάρακτου υλικού.

Στην τελευταία αυτή περίπτωση μπορεί να διεξαχθούν και εργαστηριακές δοκιμασίες σε αδιατάρακτα δοκίμια, που λαμβάνονται με προσοχή και ειδική δοκιμασία από ερευνητικά ορύγματα.

- Εργαστηριακή δοκιμασία:

Προδιαγραφές: Η δοκιμασία εκτελείται με τη βοήθεια μιας τυποποιημένης συσκευής και η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά σε σχετικές προδιαγραφές. Υπάρχουν μικρές παραλλαγές μεταξύ των προδιαγραφών που ισχύουν σε διάφορα κράτη. Στην Ελλάδα ισχύει και εφαρμόζεται η προδιαγραφή A.A.S.H.O.: T193-63, της οποίας οι υποδείξεις αναφέρονται παρακάτω.

- Εργαστηριακός εξοπλισμός:

1. Μήτρες: Είναι κυλινδρικά μεταλλικά δοχεία εσωτερικής διαμέτρου $152,4 \pm 0,66$ mm και ύψους περί τα $177,8 \pm 0,41$ mm και με διατηρητή βάση, η οποία μπορεί να προσαρμόζεται και στα δύο άκρα του δοχείου. Είναι επιθυμητό να έχουμε τουλάχιστον τρεις μήτρες για κάθε δοκιμή.
2. Παρέμβλημα. Ένας κυκλικός μεταλλικός δίσκος διαμέτρου $150,8 \pm 0,8$ mm και ύψους $61,37 \pm 0,13$ mm.
3. Κόπανος. Ένας κόπανος βάρους 2.49kg με επιφάνεια κρούσεις κυκλική, διαμέτρου 50.8mm. Αυτός φέρει διάταξη για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως για ελεύθερη πτώση 304,8mm επάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου.
4. Συσκευή για την μέτρηση της διόγκωσης. Αποτελείται από την πλάκα διόγκωσης με στέλεχος μέτρησης και τρίποδα υποστήριξης με μικρομετρητή. Η πλάκα διόγκωσης είναι μεταλλική, κυκλική, διαμέτρου 149,2mm, διάτρητη με οπές διαμέτρου (1,6mm). Ο τρίποδας που χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει το

μηκυνσιόμετρο είναι διαρθωμένος ώστε να προσαρμόζεται στο δακτύλιο προέκτασης της μήτρας.

5. Μηκυνσιόμετρα. Δύο μηκυνσιόμετρα που έχει καθένα ικανότητα μέτρησης μέχρι 25,4mm και με προσέγγιση 0,02mm.
6. Βάρη επιφόρτισης. Ένα δακτυλιοειδές μεταλλικό φορτίο με κυκλική οπή στο μέσο, διαμέτρου 54mm, μερικά μεταλλικά φορτία με εγκοπή ή διαιρούμενα, όλα διαμέτρου 149,2mm και βάρους το καθένα $2.27 \pm 0.04\text{kg}$.
7. Έμβολο διεיסδυσης. Μεταλλικό έμβολο κυκλικής διατομής με διάμετρο $49.63 \pm 0.13\text{mm}$, εμβαδό διατομής 1935mm^2 και μήκους όχι μικρότερο από 102mm.
8. Συσκευή φόρτισης. Μια συσκευή θλίψης που έχει την ικανότητα να εξασκεί φόρτιση ομοιόμορφα αυξανόμενου φορτίου μέχρι 44,5 kN και με ταχύτητα φόρτισης 1,3mm/min. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για να εξαναγκάσει το έμβολο να διεισδύσει στο δοκίμιο.
9. Δοχείο υδρεποτισμού. Ένα δοχείο υδρεποτισμού κατάλληλο ώστε να διατηρείται η στάθμη του νερού 25.4 mm πάνω από τα δοκίμια.
11. Κλίβανος ξήρανσης. Ένα κλίβανο ξήρανσης ικανό να διατηρεί θερμοκρασία $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ για την ξήρανση των δειγμάτων.
12. Διάφορα. Διάφορα εργαλεία, όπως δοχεία ανάμιξης, σπάτουλες, διηθητικό χαρτί, ζυγοί κ.λπ.



Σχήμα 2.10. Προετοιμασία και συμπύκνωση του δοκιμίου στη μήτρα Proctor



Σχήμα 2.11. Εξοπλισμός για την εκτέλεση της δοκιμής CBR



Σχήμα 2.12. Διείσδυση εμβόλου κατά τη δοκιμή CBR

- Περιγραφή εργασίας:
Ετοιμάζεται δείγμα σύμφωνα με την Πρότυπη Μέθοδο PROCTOR, με τη διαφορά ότι θα ζυγίζει 35kg ή περισσότερο. Υλικό που διέρχεται από κόσκινο ανοίγματος

50mm και που συγκρατείται στο κόσκινο 19mm θα αντικαθίσταται με υλικό που διέρχεται από το κόσκινο ανοίγματος 19mm και συγκρατείται στο κόσκινο Νο4 (4.75mm) όπως επεξηγείται στην πιο πάνω μέθοδο. Εκλέγεται αντιπροσωπευτική ποσότητα βάρους περίπου 11kg για ένα έλεγχο υγρασίας- πυκνότητας και διαχωρίζεται το υπόλοιπο του δείγματος, ώστε να ληφθούν τρεις αντιπροσωπευτικές ποσότητες βάρους περίπου 6,8kg η κάθε μία.

- Σχέση υγρασίας πυκνότητας:

Η ποσότητα των 11kg χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της βέλτιστης υγρασίας και της μέγιστης ξηράς πυκνότητας, σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο Proctor.

- Διαδικασία δοκιμής:

Κανονικά πρέπει να συμπυκνωθούν τρία δείγματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πυκνότητες που θα προκύψουν από την συμπύκνωση να κυμαίνονται από 95% (ή λιγότερο) μέχρι 100% (ή περισσότερο) της μέγιστης ξηράς πυκνότητας. Συνδέεται η μήτρα στο δίσκο της βάσης, στερεώνεται ο δακτύλιος προέκτασης και ζυγίζεται με προσέγγιση 5g. Εισάγεται το παρέμβλημα στη μήτρα και τοποθετείται τραχύ διηθητικό χαρτί στην επάνω επιφάνεια του δίσκου. Αναμιγνύεται κάθε μία από τις ποσότητες των 6,8kg, που έχουν παρασκευασθεί σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, με αρκετό νερό, ώστε να ληφθεί η βέλτιστη υγρασία. Συμπυκνώνεται μια από τις ποσότητες του μίγματος του εδάφους – νερού μέσα στη μήτρα σε τρεις ίσες στρώσεις και λαμβάνεται συμπυκνωμένο δοκίμιο εδάφους πάχους περίπου 127mm. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με τον ελάχιστο αριθμό κτύπων, που έχει εκλεγεί, ώστε να ληφθεί από την συμπύκνωση πυκνότητα 95% ή λιγότερη της μέγιστης πυκνότητας.

Προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία του υλικού στην αρχή και στο τέλος της συμπύκνωσης αυτής (2 δείγματα). Κάθε δείγμα για τον καθορισμό της υγρασίας πρέπει να ζυγίζει τουλάχιστον 100g για τα λεπτόκοκκα εδάφη και 500g για τα χονδρόκοκκα. Εξάγεται ο δακτύλιος προέκτασης και με ράβδο επιπεδώνεται το έδαφος που συμπυκνώθηκε στο ύψος των χειλιών της μήτρας. Επιφανειακές ανωμαλίες γεμίζουν με λεπτόκοκκο υλικό. Απομακρύνεται το παρέμβλημα, τοποθετείται τραχύ διηθητικό χαρτί στο διάτρητο δίσκο της βάσης αντιστρέφεται η μήτρα και συμπυκνωμένο δοκίμιο εδάφους τοποθετείται πάνω σε διηθητικό χαρτί. Στερεώνεται η διάτρητη πλάκα της βάσης στη μήτρα και προσαρμόζεται ο δακτύλιος προέκτασης. Ζυγίζεται η μήτρα και το δοκίμιο με προσέγγιση 5g. Οι δύο άλλες ποσότητες των 6,8kg συμπυκνώνονται με μόνη διαφορά ότι ένας ενδιάμεσος αριθμός κτύπων κατά στρώση χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση του δεύτερου δοκιμίου και ο μέγιστος αριθμός κτύπων κατά στρώση χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση του τρίτου δοκιμίου.

- Υδρεποτισμός:

Τοποθετείται πάνω στο εδαφικό δείγμα, μέσα στη μήτρα, πλάκα με στέλεχος ρύθμισης της διόγκωσης και τοποθετούνται επαρκή δακτυλιοειδή βάρη για την 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 $\pm 2,26\text{kg}$ απ' αυτό. Σε καμιά περίπτωση τα φορτία αυτά δεν θα είναι συνολικά μικρότερα από 4,54kg. Τοποθετείται ο τρίποδας με το μηκυνσιόμετρο στην κορυφή της μήτρας και λαμβάνεται μια αρχική ανάγνωση. Εμβαπτίζεται η μήτρα στο νερό, ώστε το επάνω και το κάτω μέρος του δοκιμίου να βρίσκεται σε ελεύθερη επαφή με το νερό. Κατά την διάρκεια του υδρεποτισμού διατηρείται η στάθμη του νερού στη μήτρα και στο δοχείο υδρεποτισμού περίπου 25,4mm επάνω από την κορυφή του δοκιμίου. Ο υδρεποτισμός του δοκιμίου διαρκεί

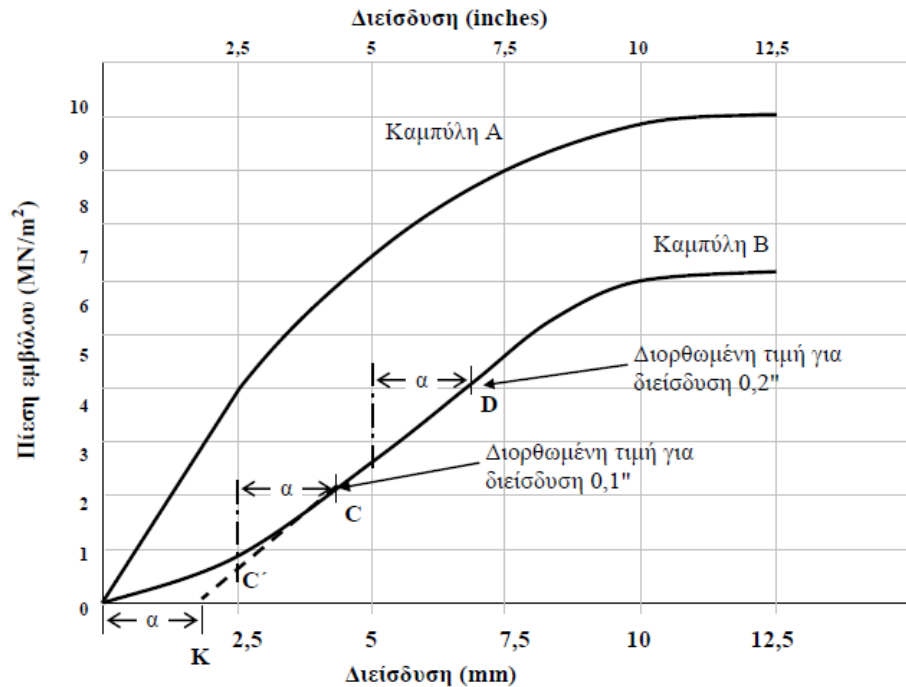
96 ώρες (4 μέρες). Μετά από 96 ώρες εκτελείται μια τελευταία ανάγνωση στα δοκίμια που βρίσκονται μέσα στο νερό και υπολογίζεται η διόγκωση, σαν ποσοστό του αρχικού μήκους του δείγματος. Το ποσοστό διόγκωσης ισούται με τη μεταβολή του μήκους σε mm κατά τη διάρκεια υδρεπιοτισμού x 100 ανά 116.4mm. Εξάγονται τα δοκίμια από το δοχείο υδρεπιοτισμού, απομακρύνεται το νερό από την άνω βάση των δοκιμίων και αφήνονται επί 15 min να στραγγίσουν με τη βαρύτητα. Πρέπει να καταβάλλεται προσοχή ώστε να αποφεύγεται η διατάραξη της επιφανείας των δοκιμίων κατά την απομάκρυνση τους από το νερό. Τα βάρη επιφορτίσεως και οι διατηρητές πλάκες αφαιρούνται μετά την αποστράγγιση.

- Δοκιμή διείσδυσης:

Προκαλείται επιφόρτιση πάνω στα δοκίμια με όσα δακτυλιοειδή φορτία χρησιμοποιήθηκαν κατά τον υδρεπιοτισμό. Μόλις γίνεται η τοποθέτηση ενός φορτίου επάνω στο δοκίμιο και για να αποφευχθεί διαρροή μαλακού υλικού κατά την φορτίση, αφήνεται να επικαθήσει επάνω στο δοκίμιο το έμβολο διεισδύσεως. Μετά την επικάθιση του εμβόλου διεισδύσεως, τοποθετούνται τα υπόλοιπα βάρη φορτίσεως γύρω από το έμβολο. Το έμβολο διεισδύσεως με φορτίο 44,5 N, (4,54kg), αφήνεται να επικαθήσει επάνω στο δοκίμιο, και στη συνέχεια μηδενίζονται οι ενδείξεις των οργάνων μετρήσεως της διεισδύσεως και του φορτίου. Τα φορτία εξασκούνται πάνω στο έμβολο διεισδύσεως έτσι ώστε η διείσδυση να είναι ομοιόμορφη και με ταχύτητα περίπου 1,3mm/min. Λαμβάνονται ενδείξεις του φορτίου για διεισδύσεις: 0,64 – 1,27 – 1,91- 2,54 – 5,08 και 7,62mm. Επίσης εάν χρειάζεται μπορεί να ληφθούν αναγνώσεις για διεισδύσεις 10,16mm 12,70mm.

- Υπολογισμοί – τήρηση στοιχείων:

Η καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων σχεδιάζεται για κάθε δοκίμιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αρχική διείσδυση λαμβάνει χώρα χωρίς αναλογική αύξηση της αντιδράσεως σε διείσδυση και η καμπύλη πιθανόν να είναι κοίλη προς τα άνω. Για να λάβουμε την πραγματική σχέση τάσεων – παραμορφώσεων, διορθώνουμε την καμπύλη που έχει τα κοίλα στραμμένα προς τα άνω ειδικά στο τμήμα της κοντά στην αρχή των συντεταγμένων, αναπροσαρμόζοντας τη θέση της αρχής. Η νέα θέση της αρχής των συντεταγμένων καθορίζεται με προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος καμπύλης τάσεων – παραμορφώσεων μέχρις ότου αυτό τμήσει τον άξονα των τεταγμένων (Σχήμα 2.13). Οι διορθωμένες τιμές πίεσεως θα καθορισθούν για κάθε δοκίμιο από τις διεισδύσεις 2,54mm και 5,08mm.



Σχήμα 2.13. Κανονική και διορθωμένη καμπύλη Φορτίου - Διείδυσης εμβόλου

Οι λόγοι Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας λαμβάνονται σε ποσοστό %, με διαίρεση των διορθωμένων τιμών πιέσεων που αντιστοιχούν στις διειδύσεις των 2,54mm και 5,08mm δια των αντιστοιχών προτύπων πιέσεων 6,9MPa (70.3 Kg/cm²) και 10,35MPa (105,5 Kg/cm³). Ο λόγος αυτός πρέπει να πολλαπλασιασθεί επί 100. Το C.B.R ισούται με τη διορθωμένη τιμή πίεσεως x 100 προς τη πρότυπη πίεση. Σαν τιμή του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας εκλέγεται αυτή που αντιστοιχεί σε διείδυση 2,54mm. Εάν ο λόγος της φέρουσας ικανότητας που αντιστοιχεί σε διείδυση 5,08mm είναι μεγαλύτερος η δοκιμή θα επαναληφθεί. Εάν η δοκιμή επαληθεύσεως δώσει όμοια αποτελέσματα, θα χρησιμοποιηθεί ο λόγος που αντιστοιχεί σε διείδυση 5,08mm. Με χρησιμοποίηση των στοιχείων που λαμβάνονται από τα τρία δοκίμια παριστάνεται γραφικά η σχέση C.B.R. και πυκνότητας ξηρού συμπυκνωμένου εδάφους. Κατόπιν ορίζεται το C.B.R της μελέτης στο επιθυμητό ποσοστό της μέγιστης πυκνότητας. Συνήθως εκλέγεται το C.B.R. που αντιστοιχεί στο ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό συμπυκνώσεως σύμφωνα με τις προδιαγραφές του έργου.

- Παρουσίαση αποτελεσμάτων:

Το δελτίο θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα για κάθε δοκίμιο:

1. Ενέργεια συμπυκνώσεως, (αριθμός κτύπων ανά στρώση).
2. Ξηρή πυκνότητα συμπυκνωμένου δείγματος σε kg/m³.
3. Περιεχόμενη υγρασία όταν συμπυκνώνεται στη μήτρα %.
4. Διόγκωση %, αναφέρεται εν προκειμένω και το βάρος επιφορτίσεως για τις τρεις περιπτώσεις των δοκιμίων, (10 - 30 – 65 κτύποι), με ακρίβεια ακέραιας μονάδας.
5. Καλιφορνιακός Λόγος Φέρουσας Ικανότητας, εκφραζόμενος % με ένα δεκαδικό ψηφίο για τιμές του C.B.R.< 10, ενώ για μεγαλύτερες τιμές σαν ακέραιος αριθμός.

vi. ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ – ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

2.6.1 Γενικά

Σε όλα τα προβλήματα ευστάθειας των εδαφών, όπως ο σχεδιασμός των θεμελιώσεων, τοίχων αντιστήριξης και αναχωμάτων, είναι απαραίτητη η γνώση της αντοχής των εδαφών που σχετίζονται με αυτά. Ο προσδιορισμός της αντοχής αποτελείται ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα Εδαφομηχανικής και ιδιαίτερα αν το έδαφος είναι συνεκτικό.

Γενικά, αντοχή σε διάτμηση ονομάζεται η διατμητική τάση, η οποία μπορεί να προκαλέσει ολίσθηση δύο εσωτερικών επιφανειών του εδάφους.

$$\tau = \sigma \cdot \epsilon\phi\phi$$

όπου:

ϕ : είναι η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους

τ : είναι η διατμητική δύναμη και

σ : ορθή τάση

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι δοκιμή διάτμησης είναι:

1. Η απευθείας (ή άμεση) διάτμηση
2. Η κυλινδρική (ή τριαξονική) θλίψη, και
3. Η διάτμηση από στρέψη

Στη δοκιμή της απευθείας διάτμησης, το έδαφος υπόκειται σε θραύση, με κίνηση, του ενός τμήματος του υποδοχέα του εδάφους, ως προς το άλλο. Στη δοκιμή της διάτμησης με στρέψη, μια κυλινδρική στήλη εδάφους υπόκειται σε περιστροφική κίνηση μέσω ενός δίσκου, στην κορυφή ή στον πυθμένα. Στην κυλινδρική ή τριαξονική θλίψη, φορτίζεται αξονικά ένα κυλινδρικό δοχείο μέχρι τη θραύση του. Το δοκίμιο καλύπτεται με μια ελαστική μεμβράνη και γύρω από αυτό εφαρμόζεται μια ομοιόμορφη πίεση με τη βοήθεια ενός ρευστού. Η δοκιμή που προτιμάται για καλύτερα εργαστηριακά αποτελέσματα, είναι αυτή της απευθείας (ή άμεσης) διάτμησης.

2.6.2 Προσδιορισμός Άμεσης Διάτμησης

Στη δοκιμή αυτή το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγραμμένη επίπεδη επιφάνεια που λέγεται και επιφάνεια διάτμησης. Μετρείται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με τη μεταβολή της ορθής τάσης, που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

1. Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου
2. Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου
3. Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

Ο πιο αντιπροσωπευτικός τύπος είναι η βραδεία δοκιμή σε στερεοποιημένα δοκίμια η οποία και συνίσταται, σε αντίθεση με τους άλλους δύο τύπους που πρέπει να αποφεύγονται. Οι τύποι της δοκιμής (1) και (2) εφαρμόζονται σε γεωτεχνικά προβλήματα, όπου εξετάζεται η θραύση του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν να γίνει εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων που δημιουργείται λόγω της φόρτισης(στάδιο

αμέσως μετά την κατασκευή). Ο τύπος της δοκιμής (3) εφαρμόζεται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου το έδαφος οδηγείται σε θραύση αργά, ώστε να είναι δυνατή η εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων (στάδιο λειτουργίας).

- Εργαστηριακός εξοπλισμός:
 1. Ράβδος για συμπίκνωση του εδάφους
 2. Ζυγός ακριβείας 0,1gr
 3. Παχύμετρο
 4. Κανόνας
 5. Χρονόμετρο
 6. Συσσκευή άμεσης διάτμησης

Υπάρχουν διάφορες συσκευές διάτμησης, όπου η διάτμηση του εδαφικού υλικού επιβάλλεται κατά μία ή δύο επιφάνειες τετραγωνικού ή κυλινδρικού δοκιμίου. Στο συνήθη τύπο ο υποδοχέας του δοκιμίου αποτελείται από δύο δακτυλίους. Το δοκίμιο κρατείται μέσα σ' αυτούς και μεταξύ δύο πωρόλιθων, με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκλείεται στρέψη του δοκιμίου. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή της ορθής και διατμητικής τάσης, κάθετης και παράλληλης προς το επίπεδο διάτμησης, αντίστοιχα. Κατά την δοκιμή είναι δυνατόν να μετριοούνται εκτός από τις εφαρμοζόμενες τάσεις και η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου και η διατμητική παραμόρφωση με ειδικά μηκυσιόμετρα. Το πλαίσιο του δοκιμίου, θα πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτο έτσι ώστε να αποφεύγεται στρέβλωση του δοκιμίου. Για τη μέτρηση της μεταβολής του πάχους του δοκιμίου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μηκυσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,002mm, και για τη μέτρηση των μετακινήσεων κατά τη διεύθυνση διάτμησης μηκυσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,02mm.

- Διαδικασία δοκιμής:
 1. Η συσκευή διάτμησης συναρμολογείται με τα πλαίσια ευθυγραμμισμένα και σταθερά. Γίνεται ελαφρό γρασάρισμα στις επιφάνειες επαφής των πλαισίων ώστε να εξασφαλίζεται υδατοστεγανότητα στη περίπτωση που γίνεται στερεοποίηση του δοκιμίου πριν από την κυρίως δοκιμή της διάτμησης και επίσης για τη μείωση των τριβών κατά την διάρκεια της διάτμησης.
 2. Το δοκίμιο τοποθετείται προσεχτικά, και γίνεται η σύνδεση των μηχανισμών φόρτισης. Προσδιορίζεται το αρχικό πάχος του δοκιμίου.
 3. Εφαρμόζεται κατακόρυφο φορτίο (0,5 – 1,0 kg/cm²)
 4. Τα δύο τμήματα του υποδοχέα αποχωρίζονται ώστε να μην υπάρχει άλλη σύνδεση μεταξύ των τμημάτων του υποδοχέα, εκτός από το έδαφος.
 5. Προσαρτώνται τα μηκυσιόμετρα που μετρούν τις οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις.
 6. Αρχίζει η επιβολή της οριζόντιας δύναμης και λαμβάνονται, ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως ανά 3sec) οι ενδείξεις της διατμητικής, οι ενδείξεις της διατμητικής (οριζόντιας) δύναμης, των οριζοντίων και κατακόρυφων μετατοπίσεων. Συνεχίζεται η επιβολή φορτίου ως ότου ληφθεί οριζόντια μετατόπιση περίπου 15% της διαμέτρου του δοκιμίου, εκτός αν ληφθεί προηγουμένως σταθερή διατμητική δύναμη.
 7. Επαναλαμβάνονται τα παραπάνω άλλη μια φορά με διαφορετικά κατακόρυφα φορτία.
 8. Μετά το τέλος της δοκιμής, το δοκίμιο αφαιρείται από το δακτύλιο, ξηραίνεται και ζυγίζεται για το προσδιορισμό του ξηρού βάρους

- Υπολογισμοί – παρουσίαση αποτελεσμάτων

Υπολογίζονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Αρχική φυσική υγρασία
2. Αρχικό ξηρό και υγρό φαινόμενο βάρος του εδαφικού δείγματος
3. Στοιχεία διατμητικής τάσης και παραμόρφωσης
4. Δείκτης πόρων
5. Βαθμός κορεσμού

Από κάθε δοκιμή που έγινε προκύπτει ένα ζεύγος τιμών (τ , σ), οι οποίες και παρουσιάζονται σε ένα αντίστοιχο διάγραμμα. Για κάθε δοκιμή διάτμησης παρουσιάζονται οι καμπύλες με άξονες:

- I. Διατμητική τάση – Διατμητική παραμόρφωση.
- II. Διατμητική τάση – Μεταβολή πάχους του δοκιμίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

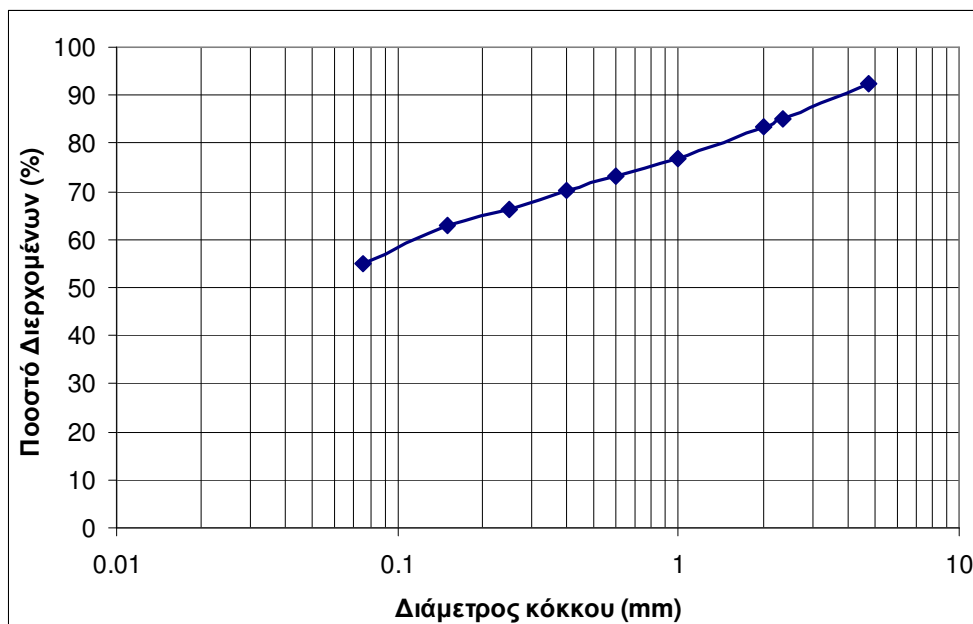
i. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Συνολική ποσότητα ξηρού δείγματος διερχόμενο από το κόσκινο 3/8" (9.5mm):
2000gr

Τελική ποσότητα ξηρού δείγματος μετά την πλύση των λεπτών: 925gr

Πίνακας 3.1. Πίνακας υπολογισμών της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα

Άνοιγμα κοσκίνου	Βάρος κοσκίνου (gr)	Βάρος κοσκίνου+ συγκρατούμενου εδάφους (gr)	Βάρος συγκρατούμενου εδάφους (gr)	Αθροιστικό Βάρος διερχόμενου εδάφους (gr)	Κατά βάρος ποσοστό διερχόμενου εδάφους (%)
4.75	1025	1175	150	1850	92.5
2.36	1062	1210	148	1702	85.1
2	1041	1076	35	1667	83.35
1	900	1029	129	1538	76.9
0.6	867	941	74	1464	73.2
0.4	856	913	57	1407	70.35
0.25	738	822	84	1323	66.15
0.15	740	806	66	1257	62.85
0.075	760	920	160	1097	54.85
Συλλέκτης	827	849	22		

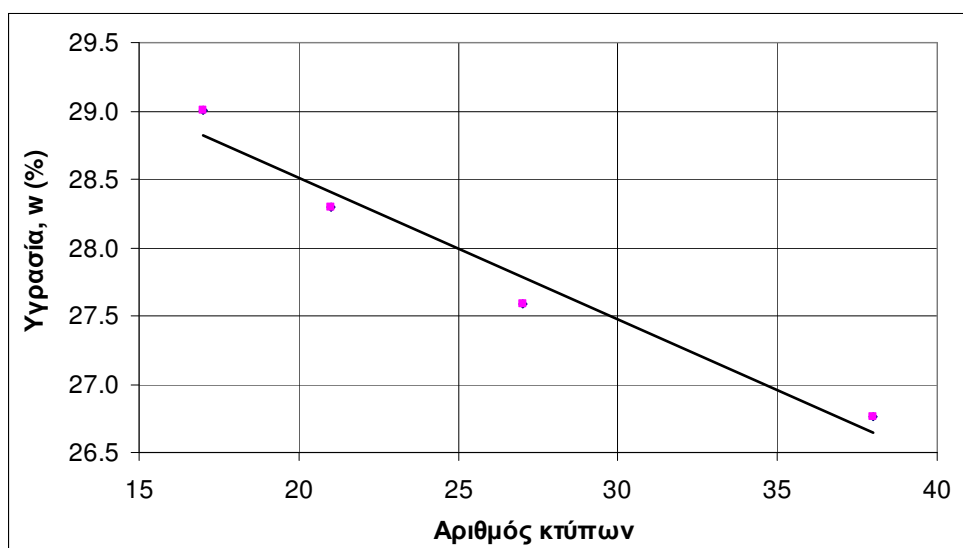


Σχήμα 3.1. Κοκκομετρική καμπύλη χονδροκόκκου κλάσματος

ii. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG

Πίνακας 3.2. Πίνακας υπολογισμών δοκιμής ορίου υδαρότητας

Αριθμός υποδοχεία	Βάρος υποδοχεία	Αριθμός κτύπων	Βάρος υποδοχεία +Υγρού δείγματος	Βάρος υποδοχεία + Ξηρού δείγματος	Βάρος ξηρού δείγματος	Βάρος νερού	w%
	gr		Gr	gr	gr	gr	%
1	20.45	21	29.88	27.8	7.35	2.08	28.3
2	18.22	17	29.14	26.685	8.465	2.455	29.0
3	17.13	27	29.34	26.7	9.57	2.64	27.6
4	18.175	38	29.26	26.92	8.745	2.34	26.8



Σχήμα 3.2. Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας

Πίνακας 3.3. Πίνακας υπολογισμών δοκιμής ορίου πλαστικότητας

Αριθμός υποδοχεία	Βάρος υποδοχεία	Βάρος υποδοχεία +Υγρού δείγματος	Βάρος υποδοχεία +Ξηρού δείγματος	Βάρος ξηρού δείγματος	Βάρος νερού	w%
	gr	gr	gr	gr	gr	%
1	17.81	23.7	22.8	4.99	0.9	18.036
2	18.41	23.17	22.4	3.99	0.77	19.298
3	14.24	19.74	18.85	4.61	0.89	19.306

Όριο Υδαρότητας, LL: 28
 Όριο Πλαστικότητας PL: 19
 Δείκτης Πλαστικότητας PI: 9

iii. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ- ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Από την κοκκομετρική ανάλυση προέκυψε ότι το 55% του εδαφικού δείγματος διέρχεται από το κόσκινο Νο200, ενώ από το χονδρόκοκκο κλάσμα το μεγαλύτερο μέρος ανήκει στο κλάσμα της άμμου.

Συνολικά το δείγμα χαρακτηρίζεται ως λεπτόκοκκο και με βάση τα αποτελέσματα των ορίων Atterberg κατατάσσεται στην κατηγορία CL (άργιλος χαμηλής πλαστικότητας), σύμφωνα με το Ενιαίο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών (Πίνακας 2.4).

Το αυθεντικό φυσικό έδαφος, αν είχε ληφθεί ολόκληρο το χονδρόκοκκο κλάσμα και όχι μόνο το διερχόμενο από το κόσκινο των 3/8" (9.5mm), θα κατατασσόταν στην κατηγορία SC (αργιλώδης άμμος) που θεωρείται κακό έδαφος για τεχνικά έργα (μικρή αντοχή – κακή αποστράγγιση), όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.5.

iv. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (PROCTOR)

Διαστάσεις μήτρας:

Διάμετρος, D (cm): 10.1

Ύψος, H (cm): 11.7

Όγκος, V (cm³): 937.39 cm³

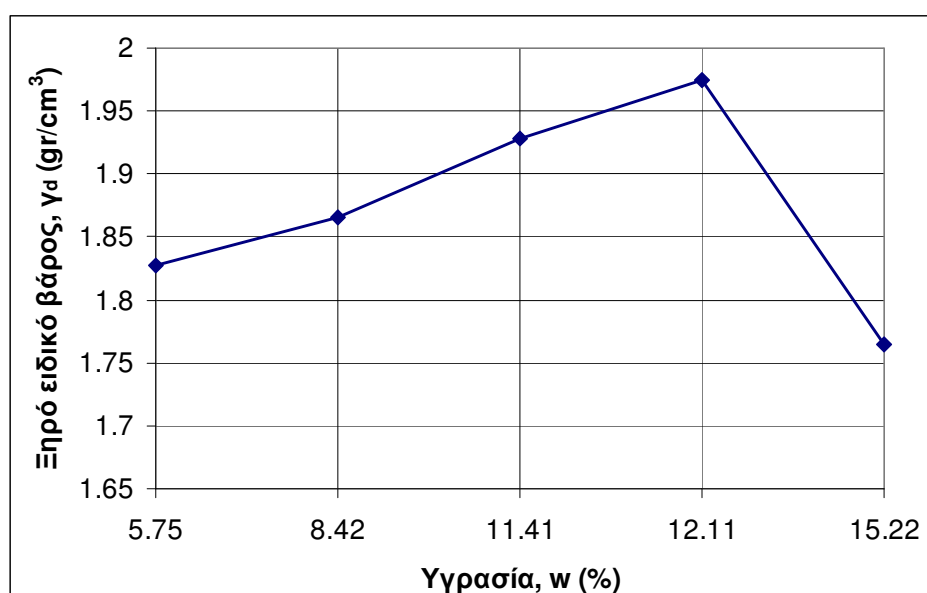
Πίνακας 3.4. Πίνακας υπολογισμού φαινόμενης πυκνότητας από τη δοκιμή Proctor

Αριθμός δείγματος	ποσοστό προστιθέμενης υγρασίας	Βάρος μήτρας	Βάρος μήτρας +υγρού δείγματος	γ_w	γ_d
	%	kg	kg	gr/cm ³	gr/cm ³
1	3	3.312	5.123	1.932	1.827
2	6	3.316	5.211	2.022	1.865
3	9	3.307	5.32	2.148	1.928
4	10	3.366	5.441	2.214	1.975
5	12	3.335	5.342	2.033	1.765

Οι τιμές του ξηρού φαινόμενου βάρους γ_d που απεικονίζονται στον Πίνακα 3.4, έχουν υπολογιστεί από τη σχέση $\gamma_d = \gamma_w / (1 + w)$, για τις τιμές της υγρασίας w που υπολογίζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5. Πίνακας υπολογισμού ποσοστών υγρασίας δειγμάτων δοκιμής Proctor

Αριθμός υποδοχέα	Βάρος υποδοχέα	Βάρος υπ.+υγρού δείγματος	Βάρος υπ.+ξηρού δείγματος	Βάρος ξηρού δείγματος	Βάρος νερού	w%
	gr	gr	gr	gr	gr	%
1	33.73	143.48	137.48	103.75	5.97	5.75
2	38.95	139.61	131.79	92.84	7.82	8.42
3	34.02	117.39	117.39	74.83	8.54	11.41
4	22.52	202.1	202.1	160.18	19.4	12.11
5	19.67	188.66	188.66	146.67	22.32	15.22



Σχήμα 3.3. Καμπύλη $\gamma_d - w$ από τη δοκιμή Proctor

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής Proctor προκύπτει:

Μέγιστο ξηρό ειδικό βάρος: $\gamma_{d, \max} = 1.975 \text{ gr/cm}^3$

Βέλτιστη υγρασία: $w_{\beta} = 12.1 \%$

v. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΔΕΙΚΤΗ CBR

Διαστάσεις μήτρας: Διάμετρος, D: 15cm, Ύψος, H: 12.5cm, Όγκος, V: 2208.9 cm³
 Εμβαδό διατομής κυλινδρικού εμβόλου A: 19 cm²

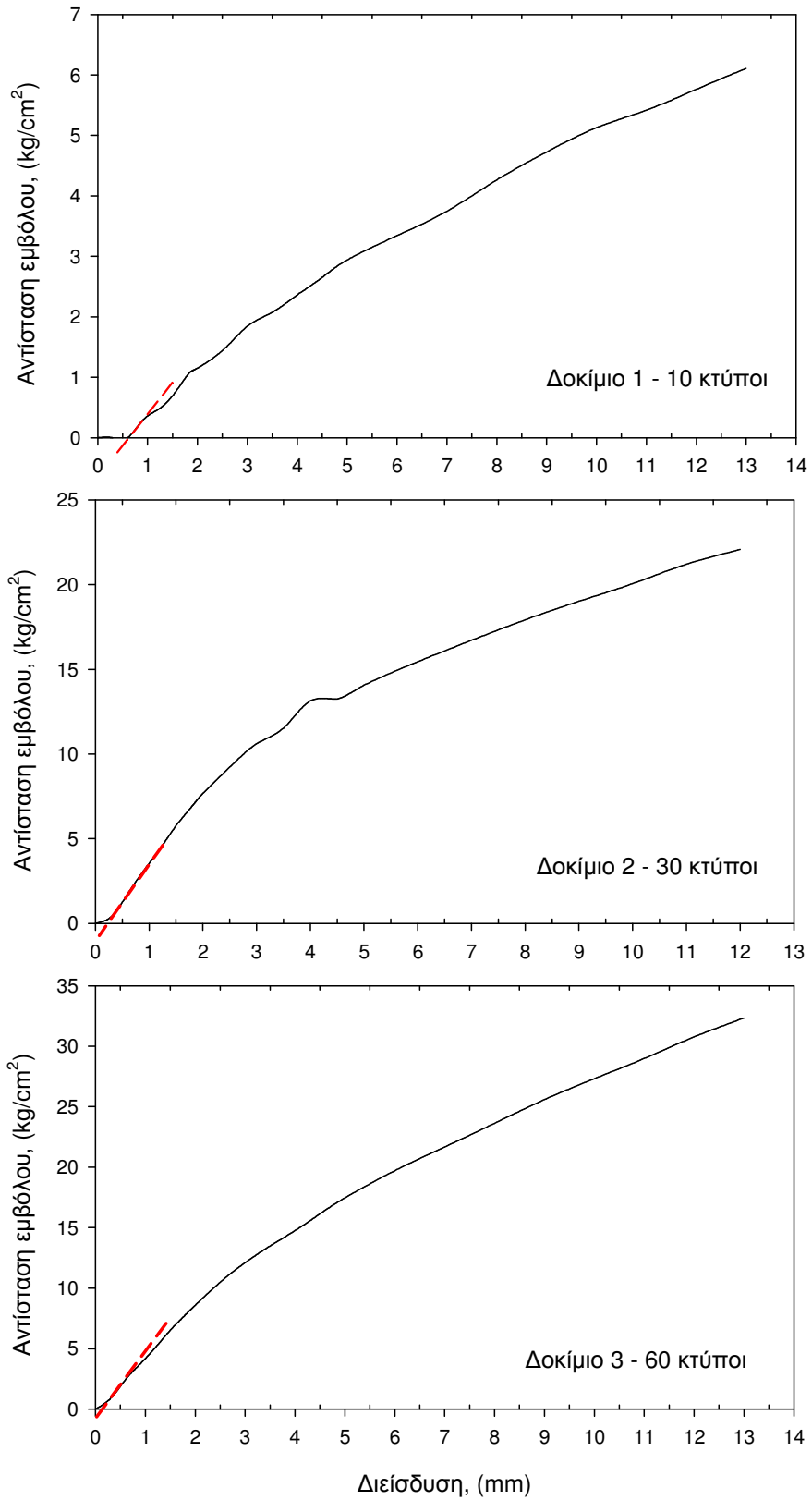
Παρασκευάζονται τρία δοκίμια με τη βέλτιστη υγρασία $w = 12\%$, με διαφορετικό αριθμό κτύπων 10, 30 και 60 κτύπους ανά στρώση.

Πίνακας 3.6. Πίνακας υπολογισμού φαινόμενης πυκνότητας δοκιμών CBR

Δοκιμή	Ποσοστό υγρασίας, w (%)	Βάρος μήτρας (gr)	Βάρος μήτρας και υγρού εδάφους (gr)	Βάρος υγρού δείγματος (gr)	γ_w (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)
1 – 10 ΚΤΥΠΟΙ	14,94	14308	19012	4704	2.13	1.853
2 – 30 ΚΤΥΠΟΙ	13,2	14552	19372	4820	2.182	1.928
3 – 60 ΚΤΥΠΟΙ	12	14430	19314	4882	2.210	1.973

Πίνακας 3.7. Πίνακας μετρήσεων διείσδυσης εμβόλου – αντίστασης από τις δοκιμή CBR

Διείσδυση (mm)	Δοκίμιο 1		Δοκίμιο 2		Δοκίμιο 3	
	Φορτίο (υποδ.)	τάση (kg/cm ²)	Φορτίο (υποδ.)	τάση (kg/cm ²)	Φορτίο (υποδ.)	τάση (kg/cm ²)
0	0	0.000	0	0.000	0	0.000
0.3	0	0.000	7	0.403	15	0.864
0.6	0	0.000	30	1.729	42	2.421
0.9	5	0.288	54	3.112	65	3.746
1.2	8	0.461	76	4.380	88	5.072
1.5	12	0.692	100	5.763	113	6.512
1.8	18	1.037	120	6.916	135	7.780
2	20	1.153	133	7.665	149	8.587
2.5	25	1.441	160	9.221	182	10.489
3	32	1.844	184	10.604	210	12.103
3.5	36	2.075	200	11.526	234	13.486
4	41	2.363	228	13.140	256	14.754
4.5	46	2.651	230	13.255	280	16.137
5	51	2.939	244	14.062	303	17.462
6	58	3.343	268	15.445	342	19.710
7	65	3.746	290	16.713	376	21.669
8	74	4.265	311	17.923	410	23.629
9	82	4.726	330	19.018	444	25.588
10	89	5.129	348	20.056	474	27.317
11	94	5.417	368	21.208	503	28.989
12	100	5.763	383	22.073	534	30.775
13	106	6.109	-	-	561	32.331



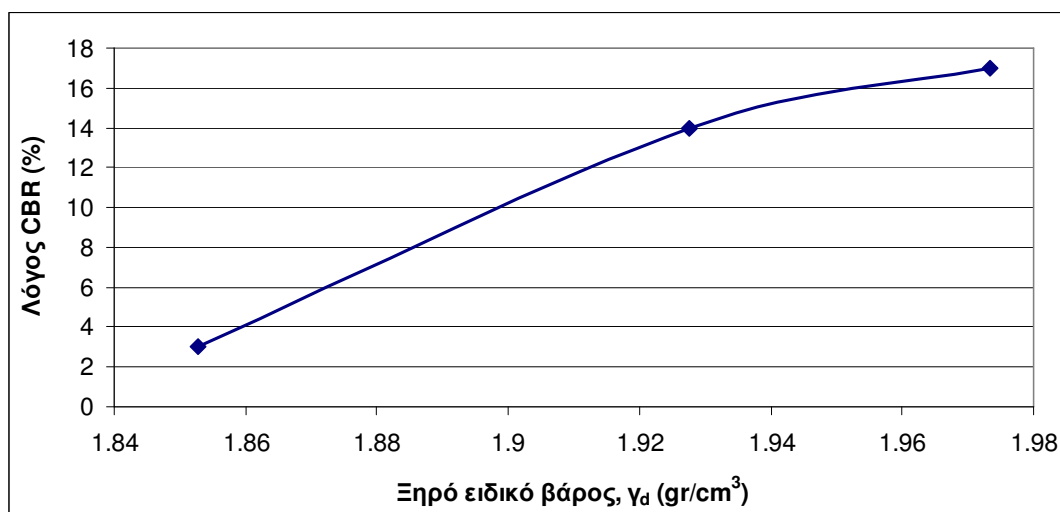
Σχήμα 3.4. Καμπύλες διείσδυσης – φορτίου των δοκιμών CBR

Πίνακας 3.8. Αντιστάσεις εμβόλου στις πρότυπες τιμές διείσδυσης

Αριθμός Δοκιμίου	Διόρθωση	Τάση στα διορθωμένα 2.5 mm (kg/cm ²)	Τάση στα διορθωμένα 5 mm (kg/cm ²)
1	0.61	1.9	3.18
2	0.24	9.93	14.37
3	0.18	11	17.85

Δοκίμιο 1: $CBR_{2.5} = 2.71$ $CBR_{5.0} = 3.03$ → **CBR = 3**
Δοκίμιο 2: $CBR_{2.5} = 14.19$ $CBR_{5.0} = 13.69$ → **CBR = 14**
Δοκίμιο 3: $CBR_{2.5} = 15.71$ $CBR_{5.0} = 17$ → **CBR = 17**

Οι παραπάνω τιμές απεικονίζονται στο Σχήμα 3.5 που ακολουθεί, συναρτήσει του ξηρού ειδικού βάρους, γ_d



Σχήμα 3.5. Καμπύλη CBR – ξηρού ειδικού βάρους, γ_d

Σύμφωνα με τον ορισμό, μια τυπική τιμή του λόγου CBR είναι αυτή που αντιστοιχεί σε $\gamma_d = 0.95$ αρα $\gamma_{d, \max} = 1.88 \text{ gr/cm}^3$, για την οποία λαμβάνεται λόγος CBR = 8, ενώ η μέγιστη τιμή του λόγου, για $\gamma_{d, \max}$ φτάνει την τιμή 17. Οι τιμές αυτές είναι απολύτως αναμενόμενες και μέσα στα όρια που δίνονται στον Πίνακα 2.5.

Τέλος, η διόγκωση των δοκιμίων κατά τον υδροεμπροτισμό μετρήθηκε στο 0.5% του ύψους.

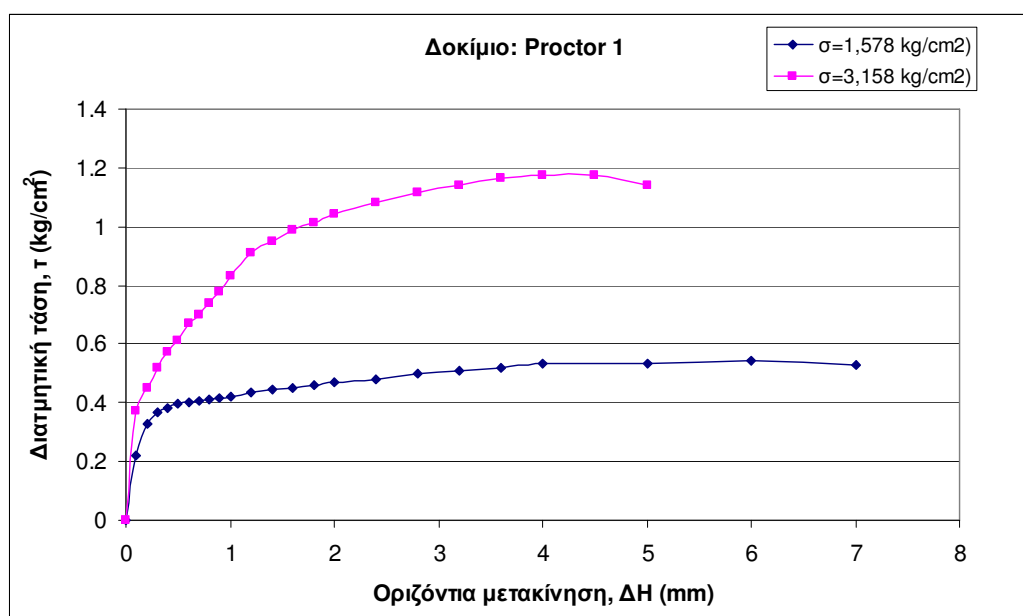
vi. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

3.6.1 Διατμηση δοκιμιων της δοκιμης συμπτκνωσης (Με υδροεμπροτισμό)

Πίνακας 3.9. Πίνακας μετρήσεων Δοκιμίου Proctor 1

ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	50	6.95	0.21945601	0.1	85	11.815	0.373075
0.2	75	10.425	0.32918401	0.2	103	14.317	0.452079
0.3	84	11.676	0.36868609	0.3	118	16.402	0.517916
0.4	86.5	12.0235	0.37965889	0.4	131	18.209	0.574975
0.5	90	12.51	0.39502081	0.5	139	19.321	0.610088
0.6	91	12.649	0.39940993	0.6	153	21.267	0.671535
0.7	93	12.927	0.40818817	0.7	160	22.24	0.702259
0.8	94	13.066	0.41257729	0.8	168	23.352	0.737372
0.9	95	13.205	0.41696641	0.9	177	24.603	0.776874
1	96	13.344	0.42135553	1	190	26.41	0.833933
1.2	99	13.761	0.43452289	1.2	208	28.912	0.912937
1.4	102	14.178	0.44769025	1.4	216	30.024	0.94805
1.6	103	14.317	0.45207937	1.6	225	31.275	0.987552
1.8	105	14.595	0.46085761	1.8	231	32.109	1.013887
2	107	14.873	0.46963585	2	238	33.082	1.044611
2.4	109	15.151	0.47841409	2.4	246	34.194	1.079724
2.8	114	15.846	0.5003597	2.8	254	35.306	1.114837
3.2	116	16.124	0.50913794	3.2	260	36.14	1.141171
3.6	118	16.402	0.51791618	3.6	265	36.835	1.163117
4	122	16.958	0.53547266	4	268	37.252	1.176284
6	124	17.958	0.54447266	5	260	36.14	1.141171

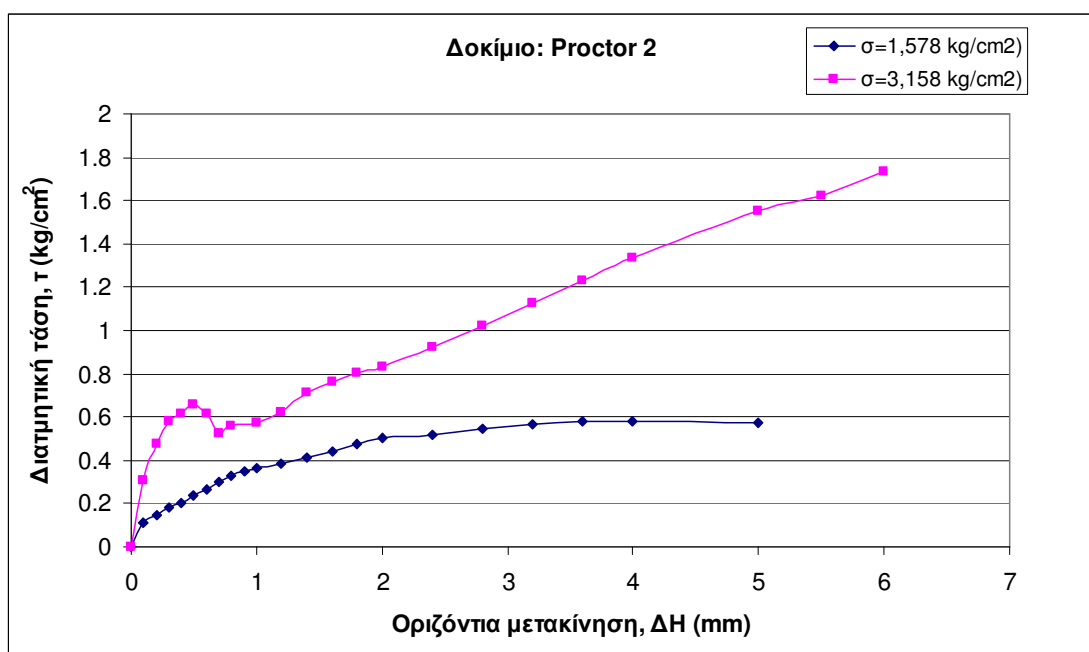
Σταθερά δυναμομετρικού δακτυλίου: 0.139 kg/υποδιαίρεση



Σχήμα 3.6. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (Δοκίμιο Proctor 1)

Πίνακας 3.10. Πίνακας μετρήσεων Δοκιμίου Proctor 2

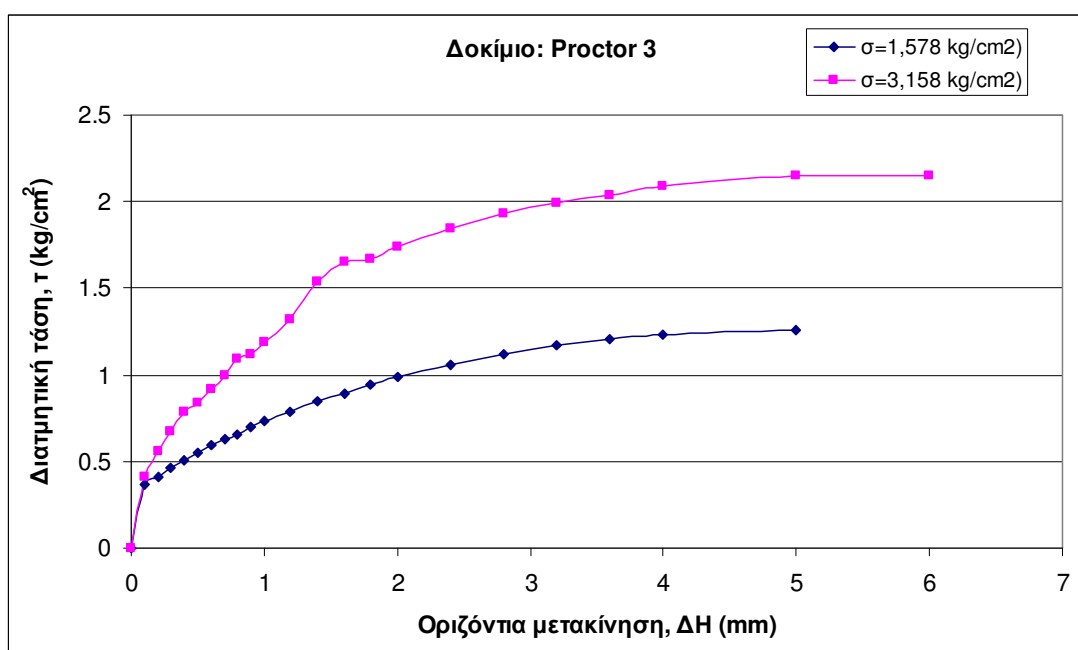
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	Τα (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	26	3.614	0.11411712	0.1	70	9.73	0.307238
0.2	34	4.726	0.14923008	0.2	108	15.012	0.474025
0.3	41	5.699	0.17995393	0.3	132	18.348	0.579364
0.4	47	6.533	0.20628865	0.4	141	19.599	0.618866
0.5	54	7.506	0.23701249	0.5	149	20.711	0.653979
0.6	61	8.479	0.26773633	0.6	141	19.599	0.618866
0.7	69	9.591	0.30284929	0.7	120	16.68	0.526694
0.8	75	10.425	0.32918401	0.8	125	17.375	0.54864
0.9	79	10.981	0.34674049	0.9	127	17.653	0.557418
1	83	11.537	0.36429697	1	130	18.07	0.570586
1.2	87	12.093	0.38185345	1.2	142	19.738	0.623255
1.4	94	13.066	0.41257729	1.4	162	22.518	0.711037
1.6	101	14.039	0.44330113	1.6	173	24.047	0.759318
1.8	108	15.012	0.47402497	1.8	183	25.437	0.803209
2	115	15.985	0.50474882	2	189	26.271	0.829544
2.4	118	16.402	0.51791618	2.4	210	29.19	0.921715
2.8	125	17.375	0.54864002	2.8	233	32.387	1.022665
3.2	129	17.931	0.5661965	3.2	257	35.723	1.128004
3.6	133	18.487	0.58375298	3.6	270	37.53	1.185062
4	132	18.348	0.57936386	4	279	38.781	1.224565
5	130	18.07	0.57058562	5	275	38.225	1.207008



Σχήμα 3.7. Καμπύλες Διαμετρικής τάσης – μετακίνησης (Δοκίμιο Proctor 2)

Πίνακας 3.11. Πίνακας μετρήσεων Δοκιμίου Proctor 3

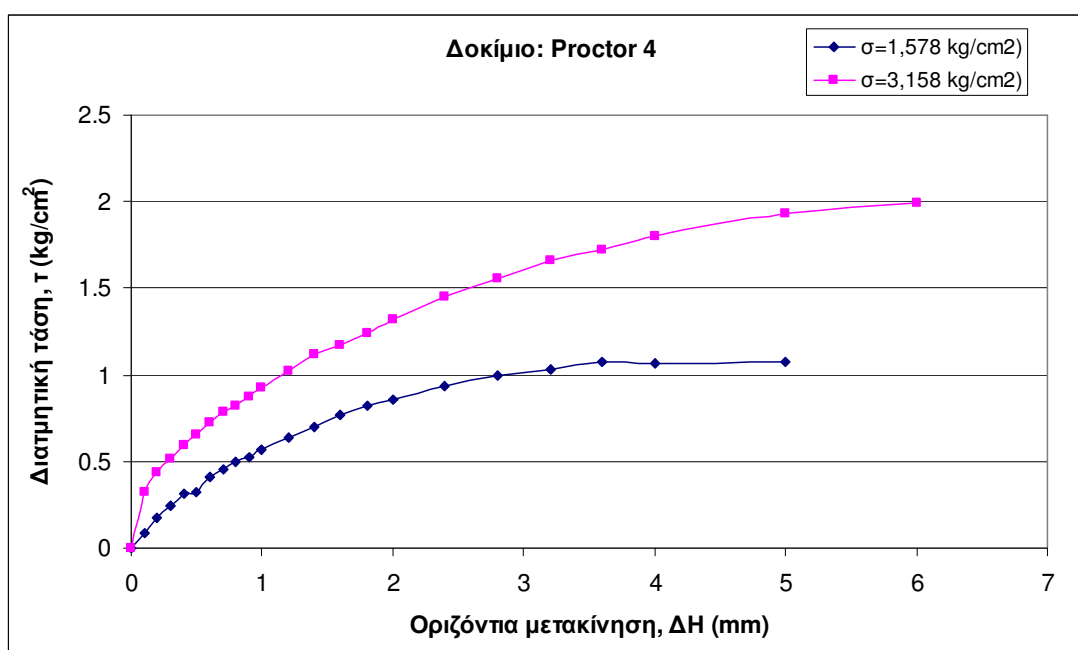
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	83	11.537	0.36429697	0.1	93	12.927	0.408188
0.2	94	13.066	0.41257729	0.2	128	17.792	0.561807
0.3	106	14.734	0.46524673	0.3	154	21.406	0.675925
0.4	115	15.985	0.50474882	0.4	179	24.881	0.785653
0.5	125	17.375	0.54864002	0.5	192	26.688	0.842711
0.6	135	18.765	0.59253122	0.6	209	29.051	0.917326
0.7	143	19.877	0.62764418	0.7	227	31.553	0.99633
0.8	150	20.85	0.65836802	0.8	248	34.472	1.088502
0.9	159	22.101	0.6978701	0.9	255	35.445	1.119226
1	168	23.352	0.73737218	1	270	37.53	1.185062
1.2	180	25.02	0.79004162	1.2	300	41.7	1.316736
1.4	193	26.827	0.84710019	1.4	350	48.65	1.536192
1.6	203	28.217	0.89099139	1.6	377	52.403	1.654698
1.8	215	29.885	0.94366083	1.8	380	52.82	1.667866
2	225	31.275	0.98755203	2	396	55.044	1.738092
2.4	240	33.36	1.05338883	2.4	420	58.38	1.84343
2.8	254	35.306	1.11483651	2.8	440	61.16	1.931213
3.2	267	37.113	1.17189508	3.2	454	63.106	1.992661
3.6	274	38.086	1.20261892	3.6	465	64.635	2.040941
4	281	39.059	1.23334276	4	475	66.025	2.084832
5	286	39.754	1.25528836	5	489	67.971	2.14628
				6	490	68.11	2.150669



Σχήμα 3.8. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (Δοκίμιο Proctor 3)

Πίνακας 3.12. Πίνακας μετρήσεων Δοκιμίου Proctor 4

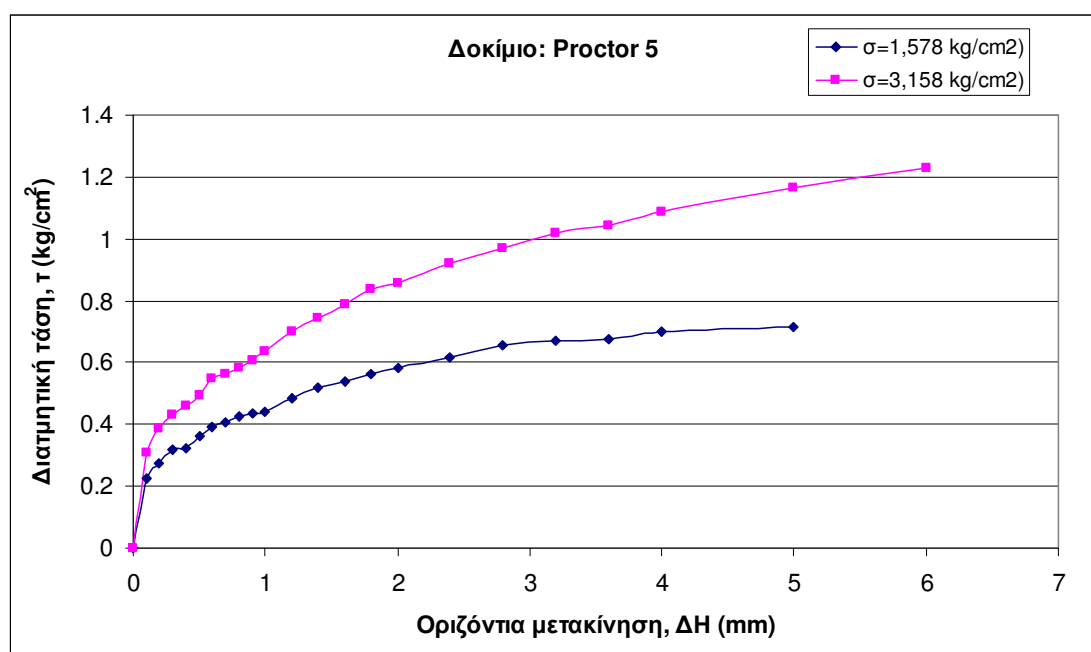
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	20	2.78	0.0877824	0.1	73	10.147	0.320406
0.2	40	5.56	0.17556481	0.2	100	13.9	0.438912
0.3	55	7.645	0.24140161	0.3	117	16.263	0.513527
0.4	72	10.008	0.31601665	0.4	135	18.765	0.592531
0.5	74	10.286	0.32479489	0.5	150	20.85	0.658368
0.6	93	12.927	0.40818817	0.6	166	23.074	0.728594
0.7	103	14.317	0.45207937	0.7	179	24.881	0.785653
0.8	113	15.707	0.49597058	0.8	188	26.132	0.825155
0.9	120	16.68	0.52669442	0.9	200	27.8	0.877824
1	130	18.07	0.57058562	1	212	29.468	0.930493
1.2	145	20.155	0.63642242	1.2	233	32.387	1.022665
1.4	160	22.24	0.70225922	1.4	254	35.306	1.114837
1.6	175	24.325	0.76809602	1.6	267	37.113	1.171895
1.8	187	25.993	0.82076547	1.8	283	39.337	1.242121
2	196	27.244	0.86026755	2	300	41.7	1.316736
2.4	213	29.607	0.93488259	2.4	330	45.87	1.44841
2.8	228	31.692	1.00071939	2.8	355	49.345	1.558138
3.2	235	32.665	1.03144323	3.2	378	52.542	1.659087
3.6	244	33.916	1.07094531	3.6	393	54.627	1.724924
4	243	33.777	1.06655619	4	410	56.99	1.799539
5	245	34.055	1.07533443	5	440	61.16	1.931213
				6	455	63.245	1.99705



Σχήμα 3.9. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (Δοκίμιο Proctor 4)

Πίνακας 3.13. Πίνακας μετρήσεων Δοκιμίου Proctor 5

ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	Τ (kg)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	51	7.089	0.22384513	0.1	70	9.73	0.307238
0.2	63	8.757	0.27651457	0.2	88	12.232	0.386243
0.3	73	10.147	0.32040577	0.3	98	13.622	0.430134
0.4	74	10.286	0.32479489	0.4	105	14.595	0.460858
0.5	83	11.537	0.36429697	0.5	113	15.707	0.495971
0.6	89	12.371	0.39063169	0.6	125	17.375	0.54864
0.7	93	12.927	0.40818817	0.7	128	17.792	0.561807
0.8	97	13.483	0.42574465	0.8	133	18.487	0.583753
0.9	99	13.761	0.43452289	0.9	138	19.182	0.605699
1	100	13.9	0.43891201	1	145	20.155	0.636422
1.2	110	15.29	0.48280322	1.2	160	22.24	0.702259
1.4	118	16.402	0.51791618	1.4	170	23.63	0.74615
1.6	123	17.097	0.53986178	1.6	180	25.02	0.790042
1.8	128	17.792	0.56180738	1.8	191	26.549	0.838322
2	133	18.487	0.58375298	2	195	27.105	0.855878
2.4	140	19.46	0.61447682	2.4	210	29.19	0.921715
2.8	150	20.85	0.65836802	2.8	221	30.719	0.969996
3.2	153	21.267	0.67153538	3.2	232	32.248	1.018276
3.6	154	21.406	0.6759245	3.6	237	32.943	1.040221
4	160	22.24	0.70225922	4	248	34.472	1.088502
5	163	22.657	0.71542658	5	265	36.835	1.163117
				6	280	38.92	1.228954

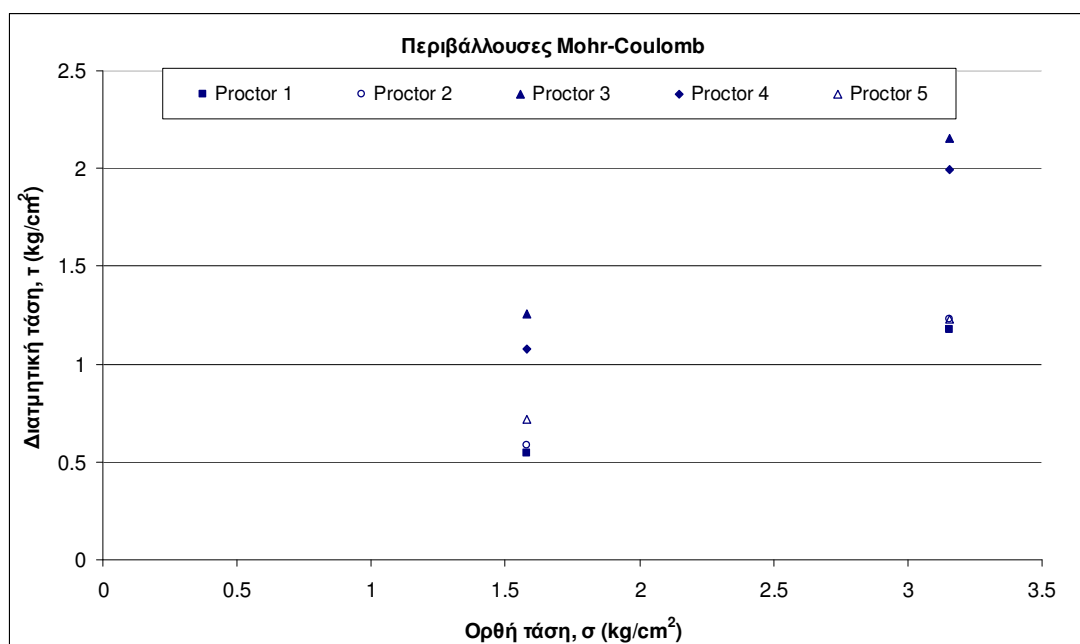


Σχήμα 3.10. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (Δοκίμιο Proctor 5)

Πίνακας 3.14. Ζεύγη τιμών τάσεων αστοχίας

Κατακόρυφη δύναμη (kg)	Ορθή τάση (kg/cm ²)	Διατμητική τάση αστοχίας, τ (kg/cm ²)				
		Proctor 1	Proctor 2	Proctor 3	Proctor 4	Proctor 5
50	1.5788	0.544	0.584	1.255	1.075	0.715
100	3.1576	1.176	1.229	2.151	1.997	1.23

Διάμετρος δοκιμίου, D = 6.35cm², Εμβαδό δοκιμίου, A = 31.67cm²



Σχήμα 3.11. Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr - Coulomb

Επειδή οι συγκεκριμένες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε υδροεμποτισμένα δοκίμια, η συνοχή που έδωσαν είναι σχεδόν μηδενική. Συνεπώς, αν υπολογιστεί η κλίση της κάθε περιβάλλουσας, προκύπτουν οι τιμές της γωνίας τριβής που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

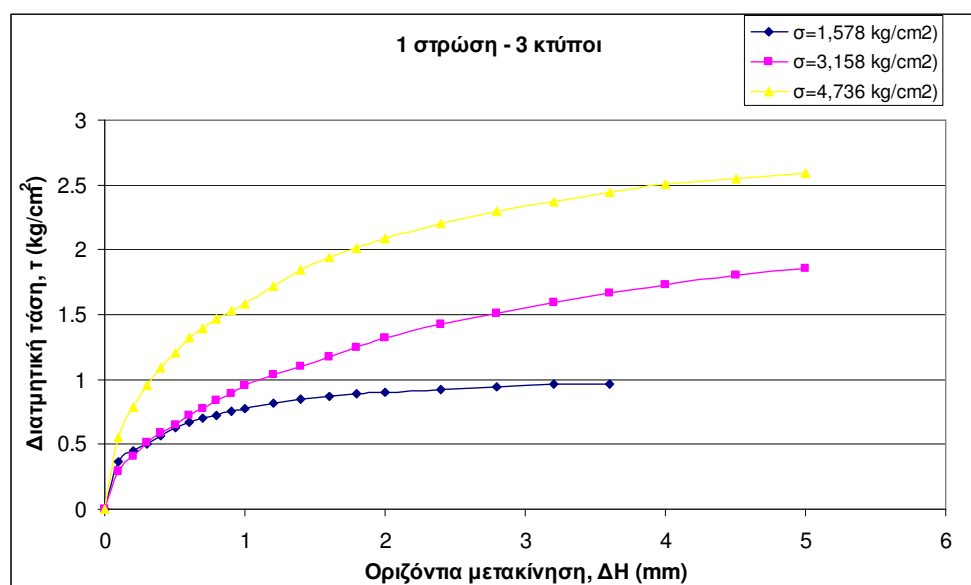
Πίνακας 3.15. Τιμές φαινόμενης γωνίας τριβής

	Proctor 1	Proctor 2	Proctor 3	Proctor 4	Proctor 5
tanφ	0.4002989	0.408533	0.567512	0.58398	0.326193
φ (°)	21.816172	22.22163	29.57545	30.28409	18.06596

3.6.2 Διατμηση δοκιμιων επιτοπου συμπυκνωμενων στη συσκευη διατμησης

Πίνακας 3.16. Δοκίμια διαμορφωμένα σε 1 στρώση, με 3 κτύπους ανά στρώση

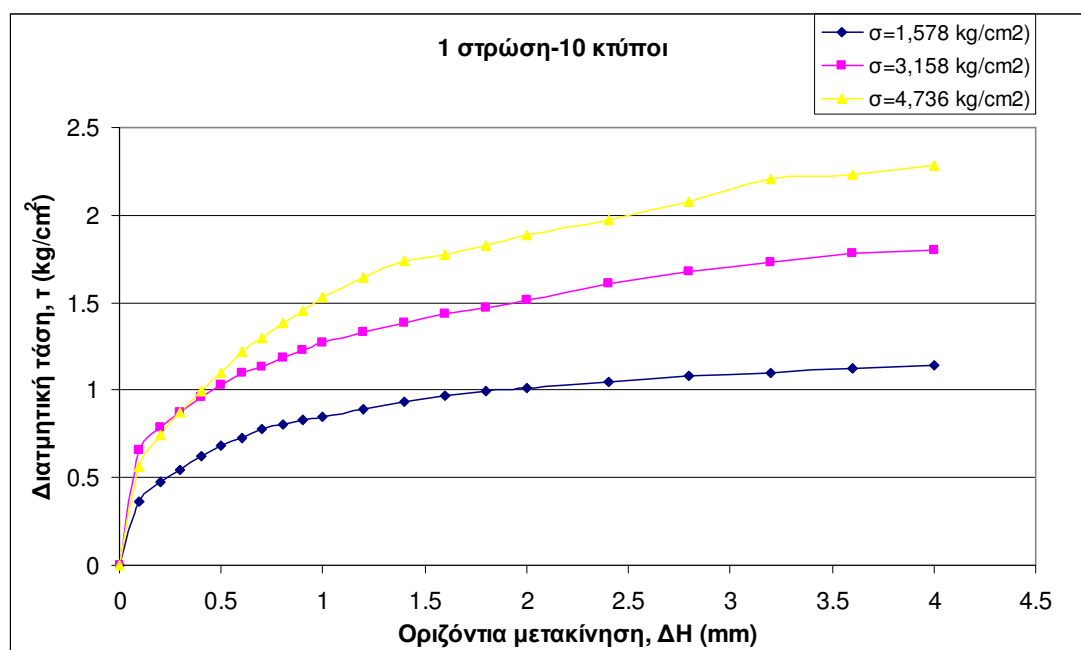
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	83	0.364297	0.1	67	0.294071	0.1	126	0.553029
0.2	102	0.44769	0.2	94	0.412577	0.2	180	0.790042
0.3	115	0.504749	0.3	116	0.509138	0.3	218	0.956828
0.4	129	0.566196	0.4	134	0.588142	0.4	248	1.088502
0.5	144	0.632033	0.5	149	0.653979	0.5	275	1.207008
0.6	152	0.667146	0.6	166	0.728594	0.6	300	1.316736
0.7	159	0.69787	0.7	178	0.781263	0.7	318	1.39574
0.8	166	0.728594	0.8	190	0.833933	0.8	335	1.470355
0.9	171	0.75054	0.9	203	0.890991	0.9	350	1.536192
1	177	0.776874	1	217	0.952439	1	362	1.588861
1.2	187	0.820765	1.2	237	1.040221	1.2	393	1.724924
1.4	193	0.8471	1.4	252	1.106058	1.4	420	1.84343
1.6	199	0.873435	1.6	267	1.171895	1.6	442	1.939991
1.8	203	0.890991	1.8	285	1.250899	1.8	459	2.014606
2	205	0.89977	2	301	1.321125	2	475	2.084832
2.4	211	0.926104	2.4	325	1.426464	2.4	503	2.207727
2.8	216	0.94805	2.8	345	1.514246	2.8	523	2.29551
3.2	219	0.961217	3.2	364	1.59764	3.2	539	2.365736
3.6	220	0.965606	3.6	380	1.667866	3.6	556	2.440351
			4	394	1.729313	4	570	2.501798
			5	423	1.856598	5	590	2.589581



Σχήμα 3.12. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (1 στρώση - 3 κτύπους)

Πίνακας 3.17. Δοκίμια διαμορφωμένα σε 1 στρώση, με 10 κτύπους ανά στρώση

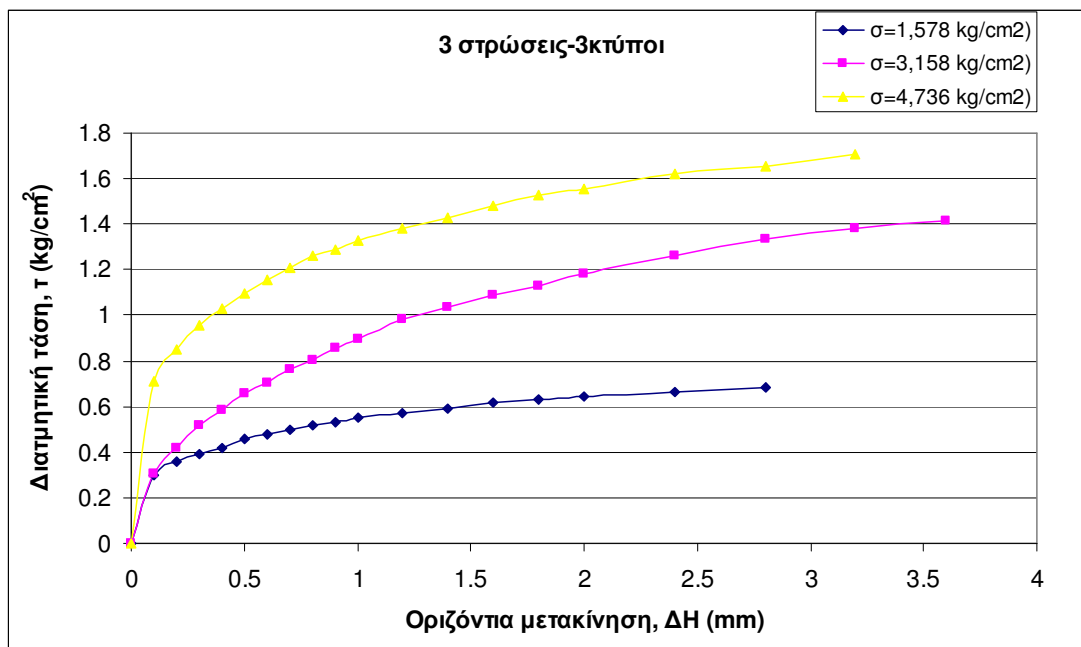
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	82	0.35990785	0.1	150	0.658368	0.1	128	0.561807
0.2	108	0.47402497	0.2	180	0.790042	0.2	170	0.74615
0.3	125	0.54864002	0.3	200	0.877824	0.3	200	0.877824
0.4	142	0.62325506	0.4	218	0.956828	0.4	227	0.99633
0.5	155	0.68031362	0.5	235	1.031443	0.5	251	1.101669
0.6	165	0.72420482	0.6	250	1.09728	0.6	277	1.215786
0.7	177	0.77687426	0.7	258	1.132393	0.7	296	1.29918
0.8	183	0.80320899	0.8	270	1.185062	0.8	315	1.382573
0.9	189	0.82954371	0.9	280	1.228954	0.9	332	1.457188
1	194	0.85148931	1	290	1.272845	1	348	1.527414
1.2	203	0.89099139	1.2	303	1.329903	1.2	375	1.64592
1.4	212	0.93049347	1.4	316	1.386962	1.4	396	1.738092
1.6	220	0.96560643	1.6	327	1.435242	1.6	404	1.773205
1.8	226	0.99194115	1.8	336	1.474744	1.8	415	1.821485
2	230	1.00949763	2	345	1.514246	2	430	1.887322
2.4	238	1.04461059	2.4	366	1.606418	2.4	450	1.975104
2.8	246	1.07972355	2.8	382	1.676644	2.8	474	2.080443
3.2	250	1.09728003	3.2	395	1.733702	3.2	503	2.207727
3.6	256	1.12361476	3.6	406	1.781983	3.6	509	2.234062
4	260	1.14117124	4	410	1.799539	4	520	2.282342



Σχήμα 3.13. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (1 στρώση - 10 κτύπους)

Πίνακας 3.18. Δοκίμια διαμορφωμένα σε 3 στρώσεις, με 3 κτύπους ανά στρώση

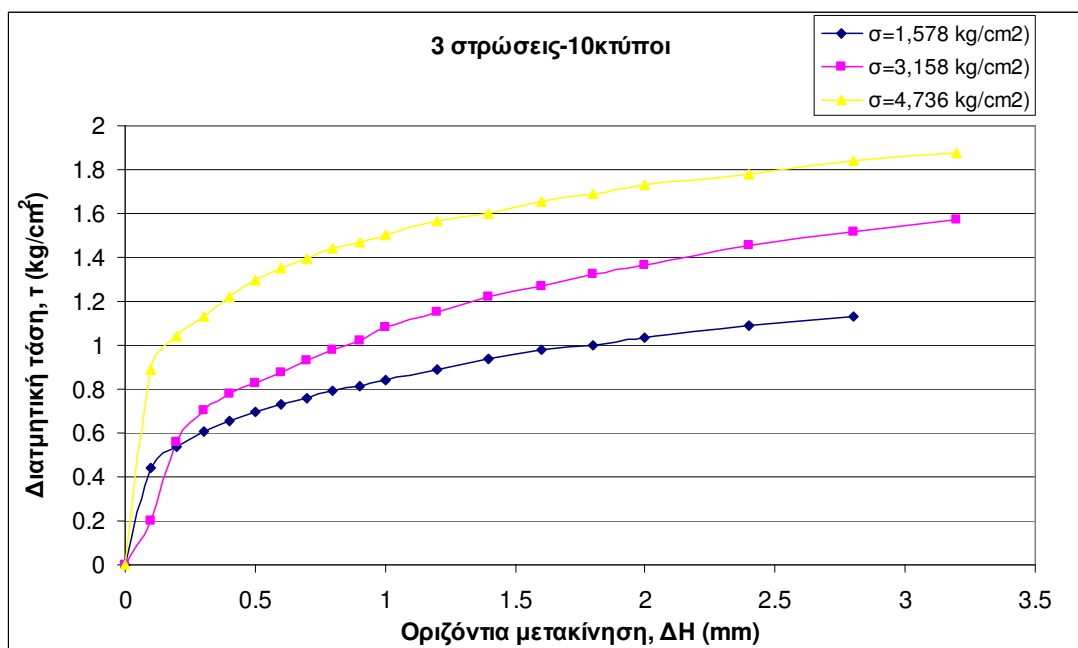
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	68	0.29846017	0.1	70	0.307238	0.1	162	0.711037
0.2	82	0.35990785	0.2	95	0.416966	0.2	193	0.8471
0.3	89	0.39063169	0.3	118	0.517916	0.3	218	0.956828
0.4	96	0.42135553	0.4	133	0.583753	0.4	235	1.031443
0.5	104	0.45646849	0.5	150	0.658368	0.5	249	1.092891
0.6	109	0.47841409	0.6	161	0.706648	0.6	264	1.158728
0.7	114	0.5003597	0.7	174	0.763707	0.7	275	1.207008
0.8	118	0.51791618	0.8	183	0.803209	0.8	287	1.259677
0.9	121	0.53108354	0.9	195	0.855878	0.9	294	1.290401
1	125	0.54864002	1	205	0.89977	1	303	1.329903
1.2	130	0.57058562	1.2	224	0.983163	1.2	315	1.382573
1.4	135	0.59253122	1.4	236	1.035832	1.4	325	1.426464
1.6	140	0.61447682	1.6	248	1.088502	1.6	338	1.483523
1.8	144	0.6320333	1.8	258	1.132393	1.8	348	1.527414
2	147	0.64520066	2	269	1.180673	2	354	1.553749
2.4	151	0.66275714	2.4	287	1.259677	2.4	369	1.619585
2.8	156	0.68470274	2.8	304	1.334293	2.8	377	1.654698
			3.2	315	1.382573	3.2	389	1.707368
			3.6	323	1.417686			



Σχήμα 3.14. Καμπύλες Διαμητικής τάσης – μετακίνησης (3 στρώσεις - 3 κτύπους)

Πίνακας 3.19. Δοκίμια διαμορφωμένα σε 3 στρώσεις, με 10 κτύπους ανά στρώση

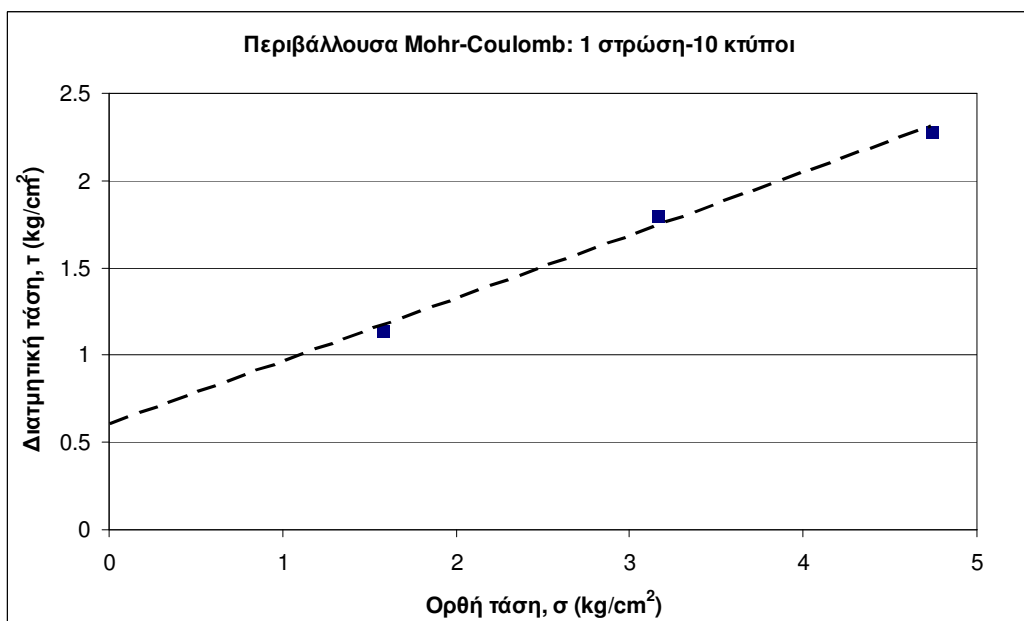
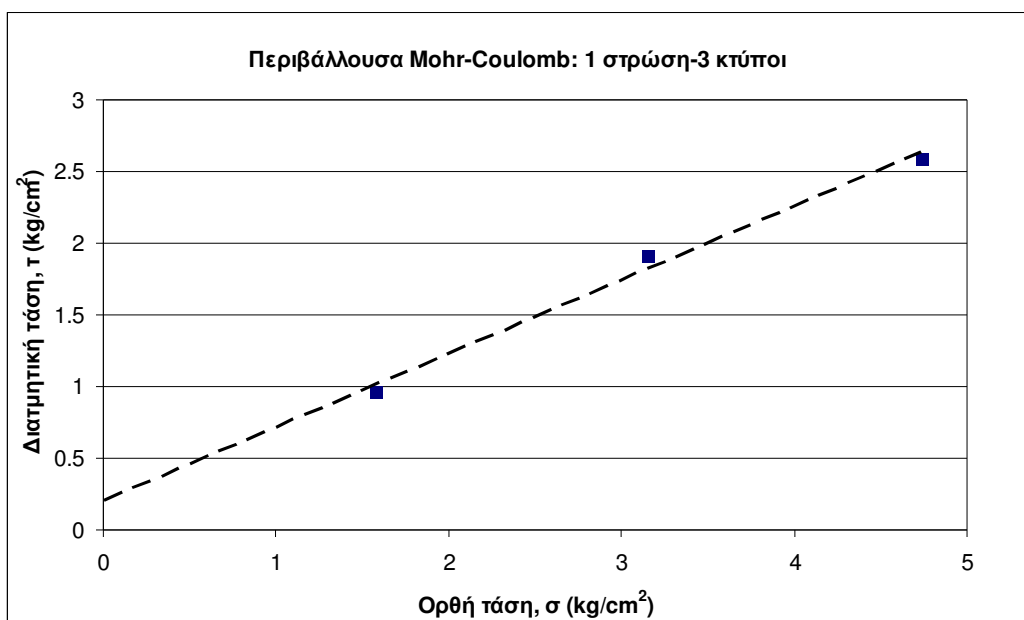
ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)	ΔΗ (mm)	Τ (υποδ)	τ (kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	100	0.43891201	0.1	45	0.19751	0.1	203	0.890991
0.2	123	0.53986178	0.2	128	0.561807	0.2	238	1.044611
0.3	138	0.60569858	0.3	160	0.702259	0.3	258	1.132393
0.4	149	0.6539789	0.4	178	0.781263	0.4	278	1.220175
0.5	158	0.69348098	0.5	188	0.825155	0.5	296	1.29918
0.6	166	0.72859394	0.6	200	0.877824	0.6	308	1.351849
0.7	173	0.75931778	0.7	212	0.930493	0.7	318	1.39574
0.8	180	0.79004162	0.8	223	0.978774	0.8	328	1.439631
0.9	186	0.81637635	0.9	233	1.022665	0.9	334	1.465966
1	191	0.83832195	1	246	1.079724	1	343	1.505468
1.2	203	0.89099139	1.2	262	1.149949	1.2	356	1.562527
1.4	213	0.93488259	1.4	278	1.220175	1.4	365	1.602029
1.6	223	0.97877379	1.6	289	1.268456	1.6	377	1.654698
1.8	228	1.00071939	1.8	302	1.325514	1.8	385	1.689811
2	235	1.03144323	2	311	1.365016	2	394	1.729313
2.4	248	1.08850179	2.4	332	1.457188	2.4	405	1.777594
2.8	258	1.132393	2.8	346	1.518636	2.8	419	1.839041
			3.2	358	1.571305	3.2	427	1.874154



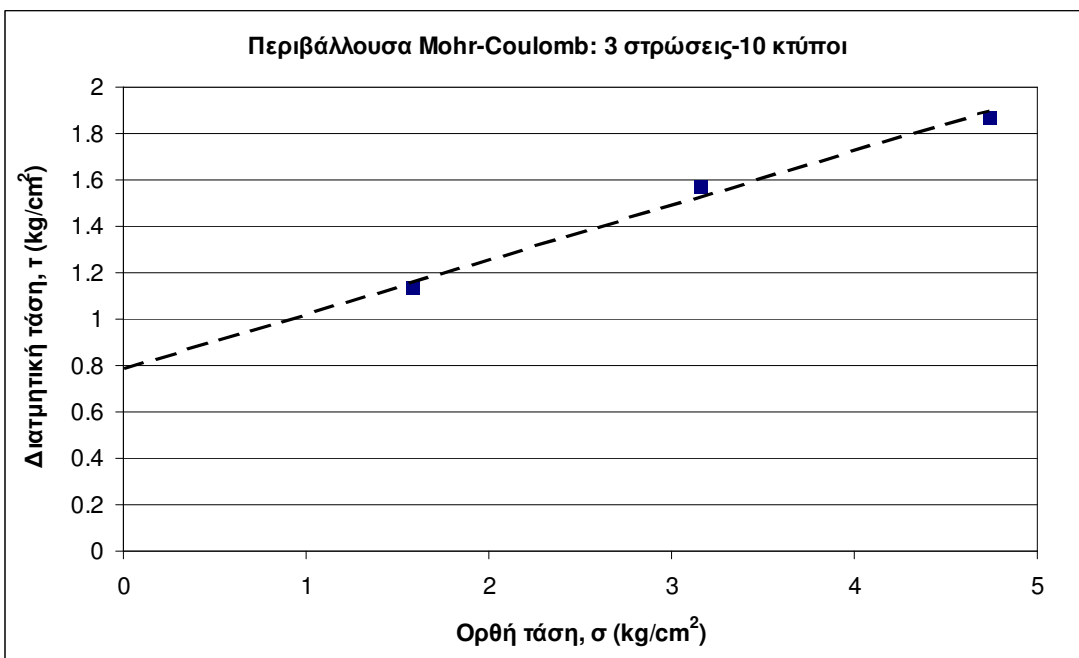
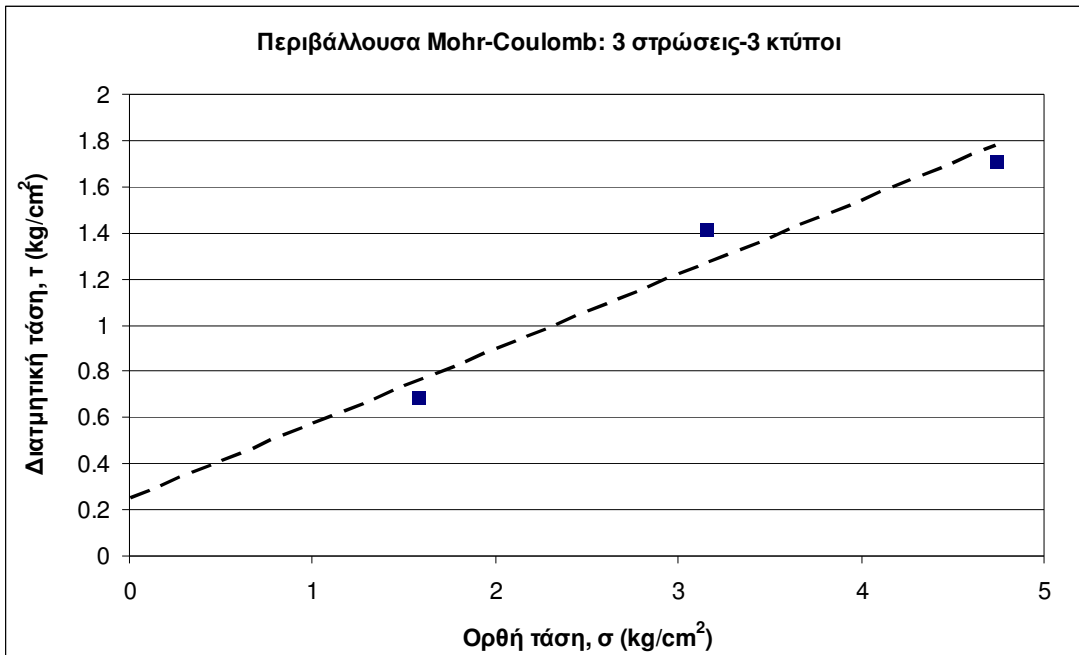
Σχήμα 3.15. Καμπύλες Διατμητικής τάσης – μετακίνησης (3 στρώσεις - 10 κτύπους)

Πίνακας 3.20. Ζεύγη τιμών τάσεων αστοχίας

Κατακόρυφη δύναμη (kg)	Ορθή τάση (kg/cm ²)	Διατμητική τάση αστοχίας, τ (kg/cm ²)			
		1 στρ – 3 ΚΤ	1 στρ – 10 ΚΤ	3 στρ – 3 ΚΤ	3 στρ – 10 ΚΤ
50	1.5788	0.9656064	1.141171	0.684703	1.132393
100	3.1576	1.9092673	1.799539	1.417686	1.571305
150	4.7365	2.5895809	2.282342	1.707368	1.874154



Σχήμα 3.16. Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr – Coulomb για τα δοκίμια συμπυκνωμένα σε 1 στρώση



Σχήμα 3.17. Περιβάλλουσες αστοχίας Mohr – Coulomb για τα δοκίμια συμπυκνωμένα σε 3 στρώσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ - ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πολλές φορές, στα τεχνικά έργα προκύπτει η ανάγκη εκτίμησης των τιμών διαφόρων παραμέτρων χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης των κατάλληλων δοκιμών για τον προσδιορισμό του. Στις περιπτώσεις αυτές, είναι ιδιαίτερος χρήσιμες διάφορες ημιεμπειρικές ή εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες βασίζονται σε ικανό αριθμό πειραματικών μετρήσεων και συσχετίζουν τις μηχανικές παραμέτρους του εδάφους με γνωστές, φυσικές ή άλλες ιδιότητες. Οι σχέσεις αυτές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για επαλήθευση αποτελεσμάτων δοκιμών αμφίβολης ακρίβειας. Η χρήση τους, ωστόσο, πρέπει να γίνεται με μέτρο και με την επιφύλαξη η οποία προκύπτει από τη σαφή γνώση της διάστασης που έχει κάθε παράμετρος και κάθε δοκιμή. Στην παρούσα εργασία τέτοιες συσχετίσεις χρησιμοποιούνται για να ελεγχθεί αν τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν δίνουν αποτελέσματα εντός των αναμενόμενων ορίων.

i. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΛΟΓΟΥ CBR ΜΕ ΟΡΙΑ ATTERBERG

Ο δείκτης CBR αποτελεί μία παράμετρο για την εκτίμηση της οποίας, η χρήση οποιασδήποτε σχέσης είναι παρακινδυνευμένη. Ορισμένες, ωστόσο, προτάσεις για την εκτίμηση του δείκτη CBR είναι οι εξής:

α) $CBR = 4250 / (W_L \cdot PI)$ για λεπτόκοκκα εδάφη με τάση υπερεκτίμησης του δείκτη.

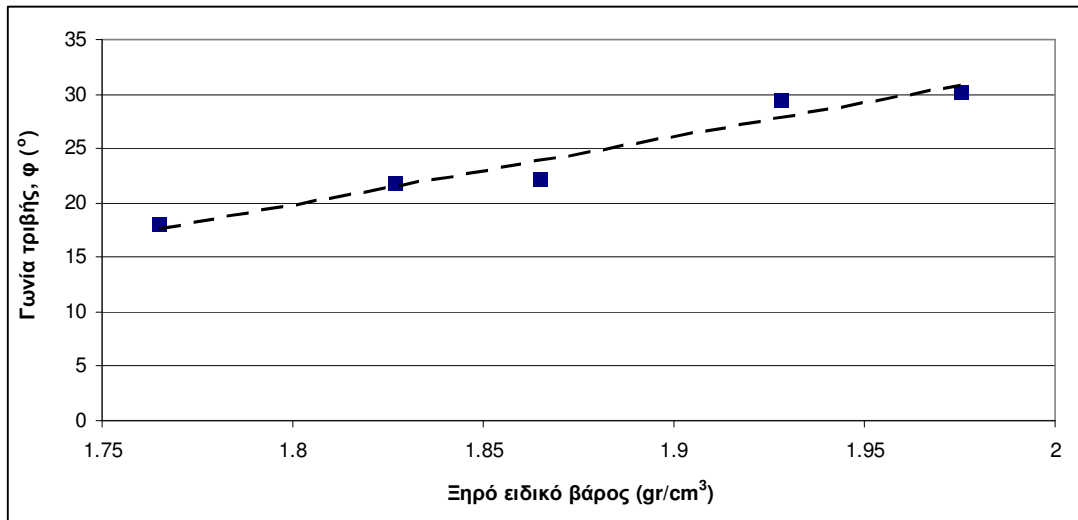
Για $W_L = 28$ και $PI = 9$, η παραπάνω σχέση δίνει τιμή $CBR = 17$, που ταυτίζεται με την τιμή που μετρήθηκε πειραματικά και αντιστοιχεί στο $\gamma_{d, max}$

β) $CBR = 100 / IP$ (Μουρατίδης, 1994) η οποία ισχύει μόνο για λεπτόκοκκα.

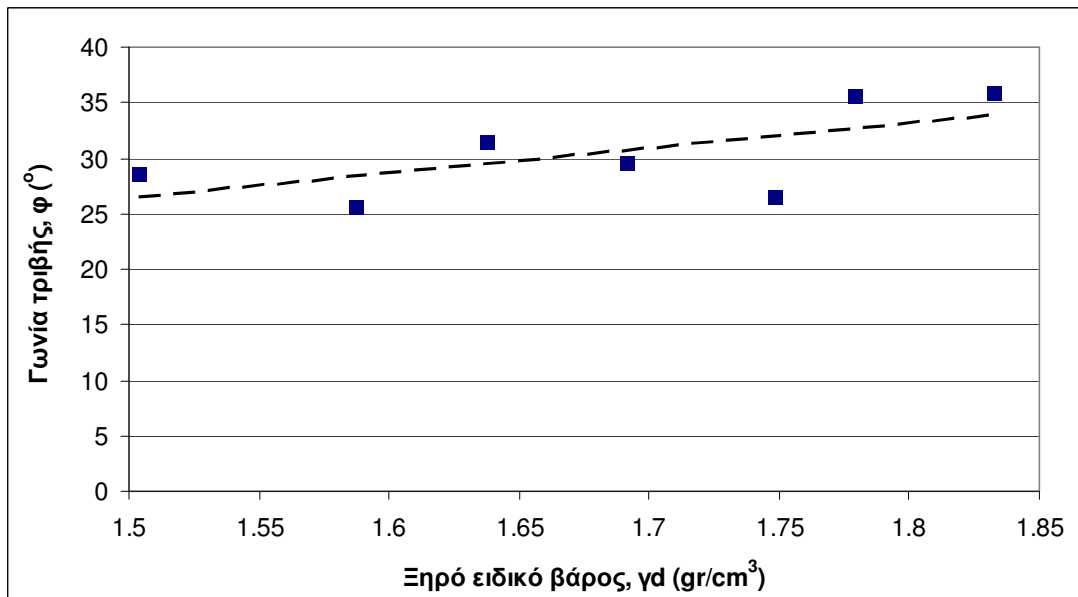
Για $PI = 9$, η παραπάνω σχέση δίνει τιμή $CBR = 11$, που βρίσκεται μέσα στα όρια των πειραματικών μετρήσεων.

ii. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΞΗΡΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές δοκιμών άμεσης διάτμησης: η πρώτη πραγματοποιήθηκε σε δείγματα που ελήφθησαν από τα δοκίμια της δοκιμής Proctor, στα οποία έγινε πλήρης κορεσμός, ενώ η δεύτερη σειρά πραγματοποιήθηκε σε δοκίμια που συμπυκνώθηκαν επιτόπου μέσα στη συσκευή άμεσης διάτμησης, με τη βέλτιστη υγρασία, χωρίς επιπλέον προσθήκη υγρασίας. Η μεταβολή της γωνίας τριβής που μετρήθηκε με την αύξηση της ξηρής πυκνότητας γ_d , παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.1 και 4.2 αντίστοιχα. Από τα Σχήματα φαίνεται πρώτον ότι η γωνία τριβής αυξάνεται με τη συμπύκνωση, όπως είναι αναμενόμενο και δεύτερον ότι η διατμητική αντίσταση ενός αργιλώδους εδάφους είναι αρκετά χαμηλότερη όταν αυτό είναι κορεσμένο (18° έως 30° αντί 25° έως 35°).



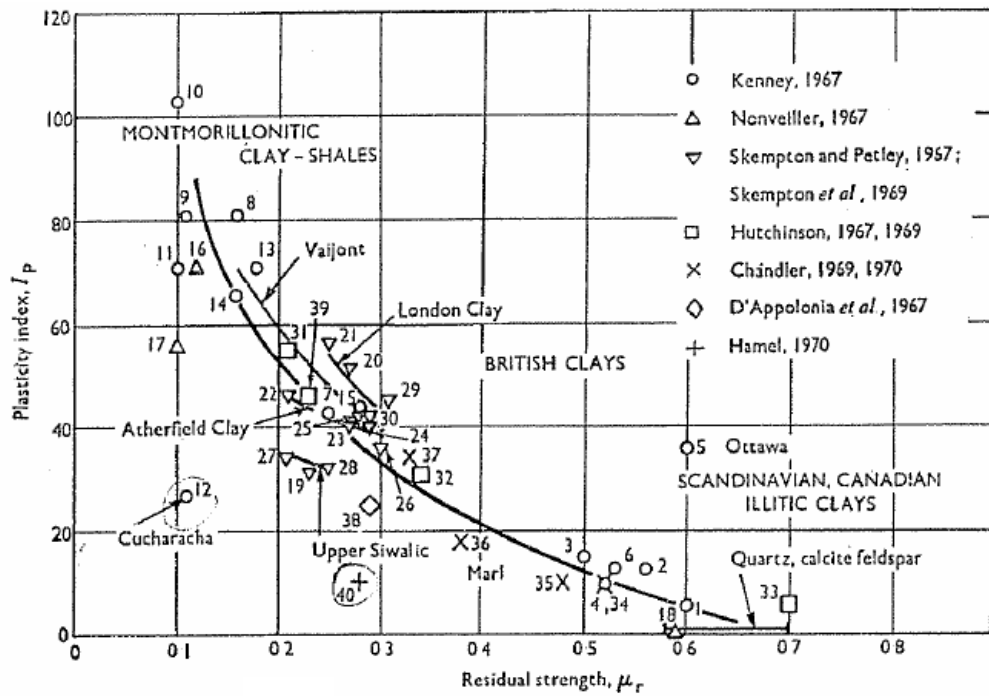
Σχήμα 4.1. Μεταβολή γωνίας τριβής φ με το ξηρό ειδικό βάρος για κορεσμένα δοκίμια



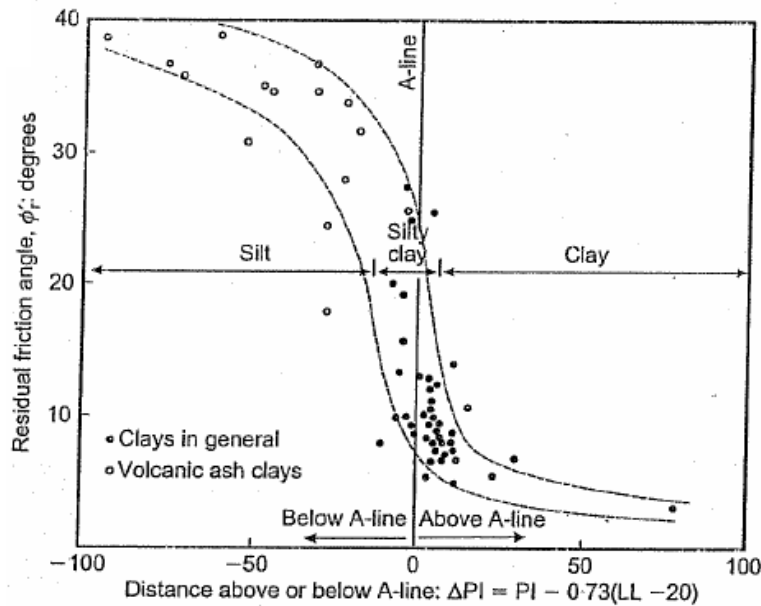
Σχήμα 4.2. Μεταβολή γωνίας τριβής φ με το ξηρό ειδικό βάρος χωρίς κορεσμό των δοκιμίων

iii. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ΜΕ ΤΑ ΟΡΙΑ ATTERBERG

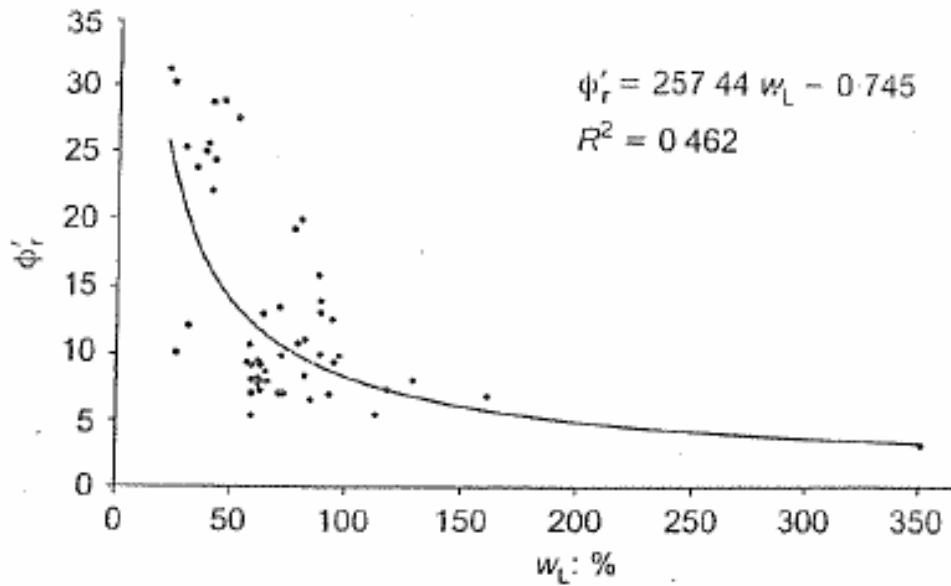
Στα Σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται ένας μεγάλος αριθμός συσχετίσεων της γωνίας τριβής με τα όρια Atterberg (όριο υδαρότητας W_L και δείκτη πλαστικότητας PI).



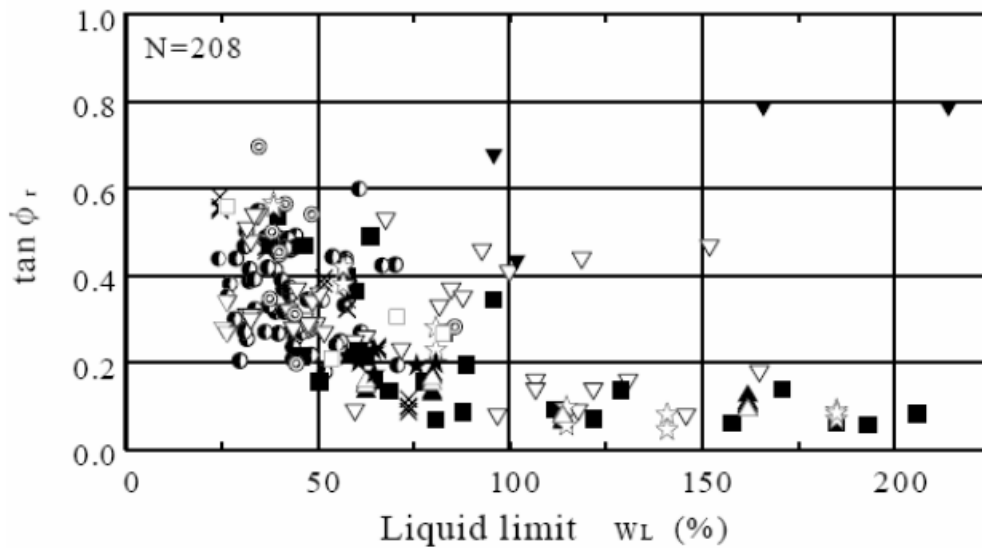
Σχήμα 4.3. Συσχέτιση γωνίας τριβής ($\tan\phi$) – Δείκτης πλαστικότητας PI (Voight, 1970)



Σχήμα 4.4. Συσχέτιση γωνίας τριβής ($\tan\phi$) – Δείκτη πλαστικότητας PI (Wesley, 1992)



Σχήμα 4.5. Συσχέτιση γωνίας τριβής (ϕ) – Ορίου υδαρότητας W_L (Wesley, 1992)



Σχήμα 4.6. Συσχέτιση γωνίας τριβής (ϕ) – Ορίου υδαρότητας W_L (Suzuki et al., 1990)

Από όλες τις παραπάνω συσχετίσεις, για $W_L = 28$ και $PI = 9$ προκύπτουν τιμές μέσα στο εύρος 15° έως 30° , που συμφωνούν με τις τιμές που μετρήθηκαν πειραματικά.

iv. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής ήταν η πειραματική διερεύνηση των μηχανικών παραμέτρων, διατμητικής αντοχής και φέρουσας ικανότητας, λεπτόκοκκου εδάφους σε σχέση με τη συμπύκνωση και τα όρια Atterberg. Στο πλαίσιο αυτής διεξήχθησαν εργαστηριακές δοκιμής κατάταξης (κοκκομετρία, όρια Atterberg), συμπύκνωσης κατά Proctor, Καλιφορνιακού Δείκτη Φέρουσας Ικανότητας, γνωστότερου ως CBR και δοκιμές άμεσης διάτμησης.

Τα πειραματικά αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα απλών εμπειρικών συσχετίσεων (μαθηματικών σχέσεων ή νομογραφημάτων) με τα όρια Atterberg και βρέθηκαν να κυμαίνονται εντός των αναμενόμενων ορίων. Το εδαφικό υλικό που εξετάστηκε βρέθηκε ότι ανήκει στην κατηγορία CL (αργίλος χαμηλής πλαστικότητας) ή SC (αργιλώδης άμμος) σύμφωνα με το Ενιαίο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών (USCS), που θεωρείται κακό έδαφος για τεχνικά έργα.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η γωνία τριβής του συγκεκριμένου εδάφους είναι αρκετά χαμηλή, ξεκινώντας από τις 25° και αυξάνοντας στις 35° με τη συμπύκνωση. Οι τιμές αυτές πέφτουν αρκετά όταν το έδαφος είναι κορεσμένο και συγκεκριμένα κυμαίνονται από 18° έως 30°. Όσον αφορά τη συνοχή, αυτή είναι αμελητέα όταν το έδαφος είναι υγρό προς κορεσμένο, καθώς το λεπτόκοκκο αργιλικό κλάσμα φτάνει πολύ γρήγορα στο όριο υδαρότητας που είναι μόλις 28%. Αποτέλεσμα της χαμηλής γωνίας τριβής και συνοχής είναι η χαμηλή αντοχή σε φέρουσα ικανότητα, καθώς οι λόγοι CBR που μετρήθηκαν κυμαίνονται από 8 έως 17, για βαθμό συμπύκνωσης από 95% έως 100%.

Οι παραπάνω τιμές επιβεβαιώνονται από διάφορες απλές εμπειρικές συσχετίσεις του CBR με τα όρια Atterberg. Συμφωνία επίσης παρατηρείται και με τις συσχετίσεις που αφορούν τη γωνία τριβής, αν και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων. Αν και οι εμπειρικές συσχετίσεις δεν μπορούν να αντικαταστήσουν μία πρότυπη εργαστηριακή δοκιμή και τα αποτελέσματά τους πρέπει να χρησιμοποιούνται πολύ προσεκτικά, είναι πολύ χρήσιμες στη φάση της προμελέτης και όπου απαιτείται μία γρήγορη αλλά σχετικά αξιόπιστη εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ.Γραμματικόπουλος Ν.Μάνου-Ανδρεάδου Θ.Χατζηγωγός.
« Εδαφομηχανική», Θεσσαλονίκη 2002.
2. Δημήτρης Παγουλάτος- Δημήτρης Παγανός,« Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφομηχανικής I & II », Πάτρα 2005.
3. Δημήτριος Θ Βαλάλας . « Εδαφομηχανική», Θεσσαλονίκη 1996.
4. Ιωάννης Δ. Κοφίτσας , «Υποστρώματα και καταστρώματα οδών» Αθήνα 1986.
5. Αριστομένης Καμάρης, (1996) «Προσδιορισμός των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και φέρουσας ικανότητας των εδαφών μέσω απλών εμπειρικών συσχετίσεων», Θεσσαλονίκη 2007.
6. Αθανάσιος Νικολαΐδης «Οδοποιία οδοστρώματα – υλικά», Θεσσαλονίκη 1996.
7. Αναστάσιος Μουρατίδης «Οδοποιία - Η κατασκευή των οδικών έργων», Θεσσαλονίκη 2008.
9. Αναστάσιος Μουρατίδης «Χωματοουργικές εργασίες και τεχνικά έργα οδοποιίας», Αθήνα 2007.
10. Terzaghi « Εφηρμοσμένη εδαφομηχανική», Αθήνα 1982.