

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Πτυχιακή εργασία με τίτλο:

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ  
ΜΕΣΩ ΑΠΛΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗΣ**



Όνοματεπώνυμο σπουδαστών: Χρονοπούλου Ελένη Α.Μ.32711  
Στάγια Μαρία Α.Μ.33944  
Επόπτης καθηγητής: Πλαστήρα Βιολέττα

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΦΩΝ.....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Γενικά .....	7
1.2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά εδαφών .....	8
1.2.3 Ορισμοί.....	9
1.2.3.1 Πορώδες και δείκτης πόρων .....	9
1.2.3.2 Ειδικό βάρος και πυκνότητα στερεάς φάσης.....	11
1.2.3.3 Φαινόμενο βάρος.....	12
1.2.3.4 Σχετική πυκνότητα .....	13
1.2.3.5 Ειδική επιφάνεια .....	14
1.2.3.6 Περιεκτικότητα σε νερό (w) .....	14
1.2.3.7 Γωνία εσωτερικής τριβής και συνοχή.....	16
1.2.3.8 Ενεργότητα.....	17
1.2.3.9 Δείκτης συμπιεστότητας .....	17
1.2.4 Συνεκτικότητα και πλαστικότητα αργιλικών εδαφών .....	18
1.2.4.1 Όριο υδαρότητας.....	19
1.2.4.2 Όριο πλαστικότητας.....	20
1.2.4.3 Όριο συρρίκνωσης .....	20
1.2.4.4 Δείκτης πλαστικότητας .....	21
<b>1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΛΑΦΩΝ.....</b>	<b>22</b>
1.3.1 Χονδρόκοκκα εδάφη .....	22
1.3.2 Λεπτόκοκκα εδάφη .....	23
<b>1.4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ .....</b>	<b>26</b>
1.4.1 Εργαστηριακές δοκιμές.....	26
1.4.1.1 Όρια Atterberg .....	26
1.4.1.2 Προσδιορισμός του ορίου Υδαρότητας (LL) (A.A.S.H.O.: T 89) (μέθοδος των τριών σημείων).....	26
1.4.1.3 Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας (LP) (A. A. S. H. O.: T 90-61).....	30
1.4.1.4 Κοκκομετρική Ανάλυση Εδαφών .....	32
1.4.1.5 Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης (Ταχεία Δοκιμή) Direct – Shear Test (Astm D3080-72) .....	42

1.4.1.6. Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης Unconfined Compression Testing (A.A.S.H.T.O.: T 208-70) .....	45
1.4.2 Εμπειρικοί τύποι για την ανεύρεση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών .....	52
1.4.2.1. Εισαγωγή .....	53
1.4.2.2. Γενικά .....	53
1.4.2.3. Χρήσιμες σχέσεις και ορισμοί .....	55
1.4.2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση των ψαθυρών εδαφών κατά τη διάρκεια της διάτμησης. ....	56
1.4.2.5. Παράγοντες διαφοροποίησης της διατμητικής αντοχής των ψαθυρών εδαφών .....	59
1.4.2.6. Ανάλυση προβλήματος εύρεσης πειραματικού τύπου .....	60
1.4.3. Πειραματική μελέτη λεπτόκοκκου εδάφους .....	61
1.4.3.1 Σχολιασμός πειραματικής μελέτης χονδρόκοκκου εδάφους .....	83
1.4.4. Πειραματική μελέτη χονδρόκοκκου εδάφους .....	84
1.4.4.1. Σχολιασμός πειραματικής μελέτης λεπτόκοκκου εδάφους .....	103
<b>1.5 ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>104</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>105</b>

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η **εδαφομηχανική** εξετάζει τη συμπεριφορά του εδάφους με την επιβολή φορτίων σε αυτό από τα τεχνικά έργα. Προβλέπει και δίνει λύσεις στα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν με την κατασκευή.

Στην εδαφομηχανική συναντούμε τις έννοιες: έδαφος, βράχος.

Τα εδάφη διακρίνονται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά:

Συνεκτικά εδάφη :	άργιλος < 0,002 mm 0,002 mm < ιλύς < 0,075 mm
μη συνεκτικά :	0,075 mm < άμμος < 2 mm χαλίκια > 2 mm

Η συλλογή πληροφοριών που αφορούν τις ιδιότητες των εδαφών καθώς και της συνολικής δομής του υπεδάφους που αφορούν το τεχνικό έργο, αποτελούν τη **γεωτεχνική έρευνα**, η οποία είναι απαραίτητη για τον σωστό σχεδιασμό του έργου.

Ο προγραμματισμός της γεωτεχνικής έρευνας περιλαμβάνει μερικά ή όλα από τα παρακάτω στάδια, με τις αντίστοιχες μεθόδους:

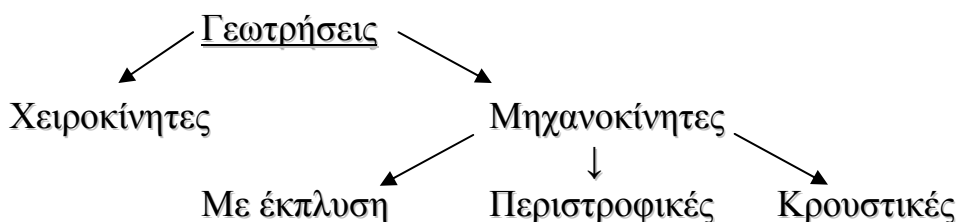
1) *Συλλογή όλων των πληροφοριών σχετικά με την κατασκευή* (διαστάσεις, είδος και χρήση έργου, όροι θεμελίωσης του Οικοδομικού Κανονισμού της περιοχής, κ.λπ.).

2) *Αναγνώριση της περιοχής*: Γίνεται με τη μελέτη διαφόρων πηγών, όπως:  
• Αεροφωτογραφιών, γεωλογικών χαρτών, μελετών

3) *Προκαταρκτική έρευνα*: Για τον καθορισμό του είδους των εδαφών, της στρωματογραφίας και της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα γίνονται:  
• Γεωτρήσεις, δοκιμαστικά φρέατα, γεωφυσικές μέθοδοι

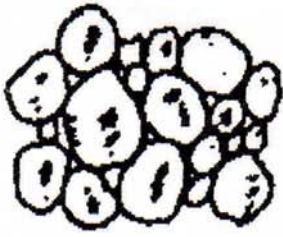
4) *Λεπτομερής έρευνα*: Για πολύπλοκα έργα ή για περιοχές όπου το έδαφος είναι κακής ποιότητας ή ανομοιόμορφο πραγματοποιούνται:  
• Δοκιμές (επί τόπου ή εργαστηριακές)

Οι εργαστηριακές δοκιμές για να διεξαχθούν χρειάζονται δείγματα εδάφους τα οποία διακρίνονται σε διαταραγμένα και αδιατάρακτα. Η **δειγματοληψία** μπορεί να γίνει με κατάλληλα εργαλεία ή με γεωτρήσεις.

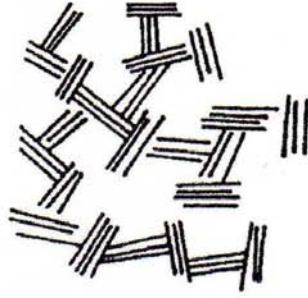


Η επεξεργασία όλων των πληροφοριών της γεωτεχνικής έρευνας οδηγεί στη σύνταξη της **γεωτεχνικής μελέτης** στην οποία αξιολογούνται τα δεδομένα, προτείνονται λύσεις στα προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν στην εφαρμογή του έργου και γίνεται ο ανάλογος σχεδιασμός.

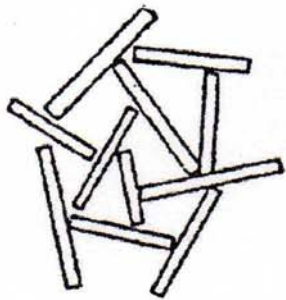
(Σημειώσεις Εδαφομηχανικής  
ΤΕΙ Πειραιά  
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων)



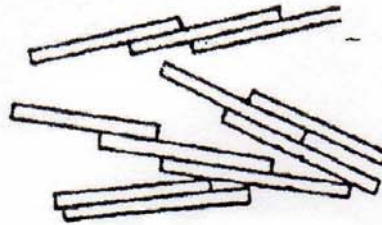
μη συνεκτικό έδαφος-  
κοκκώδης δομή  
(άμμοι, χαλίκια)



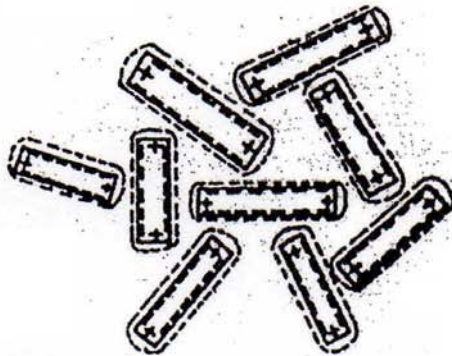
- συνεκτικό έδαφος-  
κυψελωτή δομή  
(άργιοι, ιλύες)



- δομή σε αδιατάρακτη άργιλο-



-δομή αναζυμωμένης αργίλου-



-Προσανατολισμός μορίων αργίλου-

## 1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

### 1.2.1 Γενικά

Εξετάζοντας διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών, μερικά από τα οποία σχετίζονται με ορισμένες φυσικές τους ιδιότητες (π.χ. συνεκτικότητα, ευαισθησία αργίλων), διαπιστώνουμε σημαντικές διαφορές σε εδάφη που όχι μόνο ανήκουν σε ίδιους εδαφικούς τύπους, αλλά έχουν ακόμη και την ίδια κοκκομετρική και λιθολογική σύσταση. Έτσι οι ποσοτικές και κυρίως οι ποσοτικές εκφράσεις των φυσικών αυτών χαρακτηριστικών τους μας παρέχουν το μέτρο της διαφοροποίησης ενός εδάφους από ένα άλλο και αποτελούν τα κριτήρια κατάταξής τους στα διάφορα ταξινομικά συστήματα. Οι δοκιμές με τις οποίες προσδιορίζουμε τα διάφορα αυτά χαρακτηριστικά των εδαφών καλούνται **δοκιμές κατάταξης**.

Τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά ή ιδιότητες των εδαφών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάταξή τους είναι:

- α. Η υφή.
- β. Η συνεκτικότητα.
- γ. Η κοκκομετρική σύσταση.
- δ. Το πορώδες και ο λόγος κενών.
- ε. Το ειδικό βάρος της στερεάς φάσης και το φαινόμενο βάρος του εδάφους.
- στ. Η σχετική πυκνότητα.
- ζ. Η περιεχομένη υγρασία.
- η. Ο βαθμός κορεσμού.
- θ. Η ευαισθησία και θιξοτροπία.

Εκτός από τις φυσικές αυτές ιδιότητες των εδαφών στις οποίες βασίζονται συνήθως οι κατατάξεις τους, υπάρχουν και άλλες ιδιότητες, οι οποίες σχετίζονται με την υδραυλική ή μηχανική συμπεριφορά τους και οι οποίες μας παρέχουν πρόσθετα στοιχεία κατάταξης των εδαφών. Τέτοιες ιδιότητες είναι:

- α. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.
- β. Η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής.
- γ. Η ελαστικότητα και συμπίεστικότητα.
- δ. Η αντίσταση στη διείδυση.
- ε. Η συμπύκνωση.
- στ. Η περατότητα.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών εκφράζονται κυρίως ποσοτικά. Μερικά όμως από αυτά, όπως η υφή και η συνεκτικότητα ενίοτε δε το χρώμα και η οσμή, εκφράζονται ποιοτικά.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εδαφών προσδιορίζονται μακροσκοπικά και επιτόπου στην ύπαιθρο. Αντίθετα, ο προσδιορισμός των ποσοτικών χαρακτηριστικών των εδαφών απαιτεί κατά κανόνα εργαστηριακές δοκιμές.

### 1.2.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Εδαφών

**Υφή:** Προσδιορίζει τη λεπτότητα και ομοιομορφία των συστατικών ενός εδάφους και καθορίζεται ανάλογα με την εντύπωση που προκαλεί η τριβή εδαφικού δείγματος ανάμεσα στα δάκτυλα. Η υφή χαρακτηρίζεται σαν αλευρώδης, λεία ή κοκκώδης.

**Συνεκτικότητα:** Έχει άμεση σχέση με το βαθμό πρόσφυσης των σωματιδίων μεταξύ τους και κατ' επέκταση με την αντίσταση που παρουσιάζει το έδαφος απέναντι σε δυνάμεις που προσπαθούν να το παραμορφώσουν – να διαταράξουν δηλαδή τη δομή του. Η συνεκτικότητα εξαρτάται από τη φύση των ζωνών ρόφησης των αργιλικών σωματιδίων και από το αν τα σωματίδια έρχονται σε επαφή με εξωτερικά τμήματα των ζωνών αυτών, οπότε η συνεκτικότητα είναι μικρή, ή με εσωτερικά τους τμήματα οπότε η συνεκτικότητα του εδάφους αυξάνει. Αν μειωθεί η περιεκτικότητα σε νερό μιας αργίλου, η απώλεια του νερού δεν επηρεάζει τις ζώνες ρόφησης αλλά προκαλεί την αύξηση της επιφανείας επαφής μεταξύ τους, πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συνεκτικότητας.

Η αντίσταση που παρουσιάζει ένα συνεκτικό έδαφος σε κάθε παραμόρφωσή του λόγω της συνεκτικότητάς του, οφείλεται στην αντίσταση για διάτμηση των ζωνών ρόφησης με τις οποίες οι κόκκοι έρχονται σε επαφή μεταξύ τους.

Ως προς τη συνεκτικότητα τα εδάφη χαρακτηρίζονται ποιοτικά σαν μαλακά, μέσης πλαστικότητας, στιφρά ή σκληρά.

Η ποιοτική διαβάθμιση της συνεκτικότητας σχετίζεται άμεσα με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, με την τάση, δηλαδή, που προκαλεί τη θραύση εδαφικού δοκιμίου που υπόκειται σε απλή, μονοαξονική θλίψη (Πιν. 1.1).



## ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Σχέση συνεκτικότητας και αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη αργιλικών εδαφών (Από K. Terzaghi – R. B. Peck, 1969)	
Συνεκτικότητα	Αντοχή (Kgr/cm <sup>2</sup> )
Πολύ μαλακή	<0.23
Μαλακή	0.25 – 0.50
Μέση	0.50 – 1.00
Στιφρή	1.00 – 2.00
Πολύ στιφρή	2.00 – 4.00
Σκληρή	> 4.00

### 1.2.3 Ορισμοί

#### 1.2.3.1 Πορώδες (n) και Δείκτης Πόρων (e)

Ο συνολικός όγκος V ενός ξηρού εδαφικού δείγματος αποτελείται από τον όγκο της στερεάς φάσης (εδαφικοί κόκκοι)  $V_s$  και από τον όγκο των κενών  $V_v$  που αφήνουν μεταξύ τους οι κόκκοι (Εικ. 1.7).

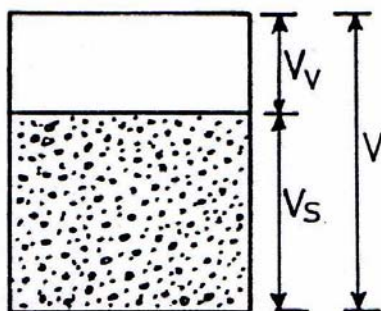
Σαν πορώδες (n) χαρακτηρίζουμε τον λόγο του όγκου των κενών  $V_v$  προς τον ολικό όγκο V του εδάφους, ενώ σαν **λόγω κενών** ή **δείκτη πόρων (e)** παίρνουμε το λόγο του όγκου των κενών  $V_v$  προς τον όγκο της στερεάς φάσης  $V_s$  (ή  $V - V_v$ ).

$$n = V_v/V \quad e = V_v/V_s$$

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

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

Το πορώδες εκφράζεται είτε με δεκαδικό αριθμό (π.χ.  $n = 0,42$ ), είτε με ποσοστό % (π.χ.  $n = 42\%$ ).



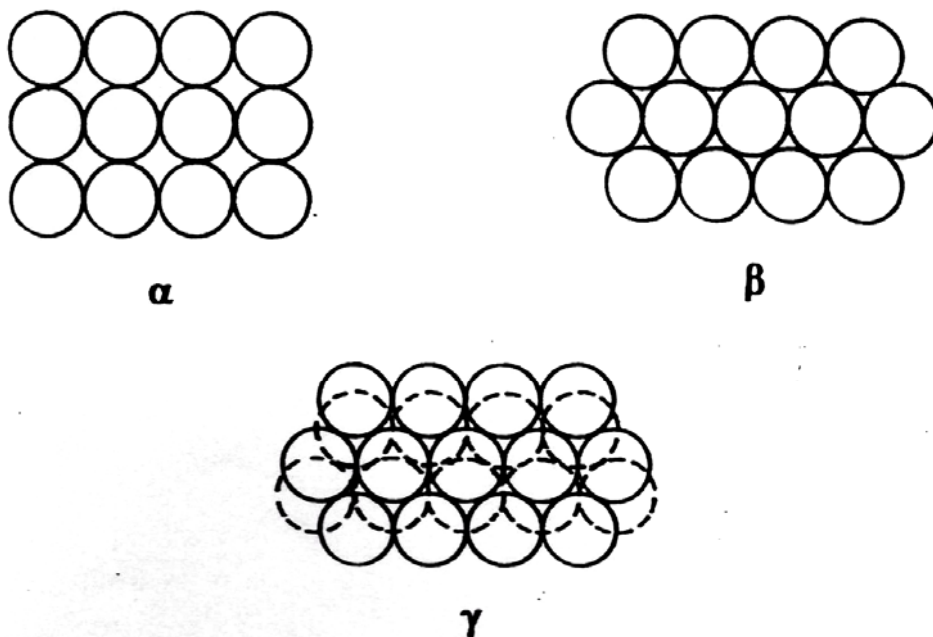
**Εικ. 1.7**  
Διάγραμμα φάσεων εδάφους.

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

Για να κατανοήσουμε το ρόλο που παίζει η διάταξη των κόκκων στη διαμόρφωση του πορώδους εξετάζουμε διάφορες διατάξεις ισομεγέθων σφαιρών με κλειστή δομή. Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε τη δυνατότητα να πάρουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στοίβαξης (διάταξης) των σφαιρών: την κυβική, τη ρομβική και την πυκνή στοίβαξη (Εικ. 1.8). Στην κυβική στοίβαξη το πορώδες και ο δείκτης πόρων έχουν τις μεγαλύτερες τιμές ( $n=0,48$  και  $e=0,91$ ). Στη ρομβική στοίβαξη οι τιμές μειώνονται σε  $n=0,41$  και  $e=0,70$ , ενώ στην πυκνή στοίβαξη γίνονται ακόμη μικρότερες ( $n=0,26$  και  $e=0,35$ ). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του πορώδους και του δείκτη πόρων σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις είναι ανεξάρτητες από το μέγεθος των σφαιρών.

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

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



**Εικ. 1.8**

Τρόποι στοίβαξης ισομεγέθων σφαιρών σε κλειστή δομή:  
α) κυβική, β) ρομβική και γ) πυκνή.

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

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

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

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1.Π

Πορώδες τυπικών εδαφών

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

Το πορώδες ορισμένων χαρακτηριστικών εδαφών παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.Π.

#### 1.2.3.2 Ειδικό Βάρος ( $\gamma_s$ ) και Πυκνότητας ( $\rho_s$ ) Στερεάς Φάσης

Η στερεά μάζα των εδαφών συνίσταται από μείγμα κόκκων διαφόρων ορυκτών, συνήθως χαλαζία, μαρμαρυγία και αργίλων. Τα αδρομερέστερα στοιχεία προερχόμενα από θραύσματα πετρωμάτων έχουν ποικίλη πετρολογική σύσταση. Το ειδικό βάρος του μείγματος αυτού των εδαφικών κόκκων κυμαίνεται μεταξύ 2,64 και 2,70 gr\*/cm<sup>3</sup>. Για τα συνήθη εδάφη το ειδικό βάρος της στερεάς φάσης τους ( $\gamma_s$ ) λαμβάνεται ίσο με 2,65 gr\*/cm<sup>3</sup> και αντίστοιχα η πυκνότητά της ( $\rho_s$ ) ίση με 2,65 gr\*/cm<sup>3</sup>.

Αν το έδαφος περιέχει βαρέα μέταλλα το ειδικό βάρος αυξάνει. Αντίθετα, αν περιέχει οργανικά στοιχεία μειώνεται σημαντικά. Έτσι σε εδάφη με βαρέα μέταλλα υπερβαίνει τα 3,00 gr\*/cm<sup>3</sup>, ενώ σε εδάφη με οργανικά συστατικά κατέρχεται σε 2,40 έως 2,50 gr\*/cm<sup>3</sup> και στην τύρφη φθάνει τα 1,80 gr\*/cm<sup>3</sup>.

### 1.2.3.3 Φαινόμενο Βάρος ( $\gamma$ )

Σαν φαινόμενο βάρος έχει επικρατήσει να χαρακτηρίζεται το ειδικό βάρος του αδιατάρακτου εδάφους. Με άλλα λόγια είναι το βάρος μοναδιαίου όγκου εδάφους στον οποίο περιλαμβάνονται η στερεά φάση και τα κενά του εδάφους.

Στην περίπτωση που το έδαφος είναι τελείως ξηρό το φαινόμενο ξηρό βάρος του ( $\gamma_d$ ) έχει τη μικρότερη τιμή, που είναι:

$$\gamma_d = (1-n) \cdot \gamma_s$$

Όταν το έδαφος είναι κορεσμένο – όλα τα κενά του είναι γεμάτα με νερό – το φαινόμενο, κορεσμένο βάρος του ( $\gamma_{\text{κορ}}$ ) παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή:

$$\gamma_{\text{κορ}} = (1-n) \cdot \gamma_s + n \cdot \gamma_w$$

όπου:  $\gamma_w$  = το ειδικό βάρος του νερού.

Εάν ένα μέρος μόνο των κενών του εδάφους είναι γεμάτο με νερό, τότε το υγρό, φαινόμενο βάρος ( $\gamma_h$ ) του παίρνει ενδιάμεση τιμή μεταξύ του ξηρού, φαινόμενου βάρους και του κορεσμένου, φαινόμενου βάρους του. Το υγρό, φαινόμενο βάρος δίνεται από τις σχέσεις:

$$\gamma_h = (1-n) \cdot \gamma_s + S_r \cdot n \cdot \gamma_w \quad \gamma_h = \frac{\gamma_s + S_r \cdot e \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

όπου:  $S_r$  είναι ο βαθμός κορεσμού του εδάφους (βλέπε σελ. 34),  $n$  το πορώδες του και  $e$  ο δείκτης πόρων.

Η παραπάνω σχέση αποδεικνύεται με βάση το διάγραμμα φάσεων εδάφους της Εικ. 1.9, όπου ο όγκος της στερεάς φάσης ( $V_s$ ) λαμβάνεται ίσος με 1. Έτσι έχουμε:

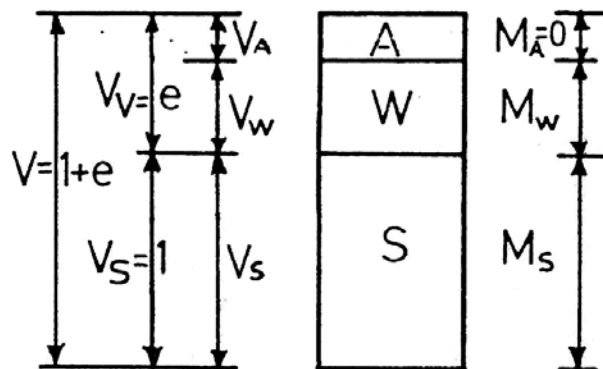
$$B_s = V_s \cdot \gamma_s = 1 \cdot \gamma_s = \gamma_s, \quad V_v = e$$

$$S_r = V_w / V_v \Rightarrow V_w = V_v \cdot S_r = e \cdot S_r, \quad B_w = V_w \cdot \gamma_w = e \cdot S_r \cdot \gamma_w$$

$$\gamma_h = \frac{B_s + B_w + B_A}{V_s + V_w + V_A}$$

Λαμβάνοντας το βάρος του αέρα ( $B_A$ ) ίσο με μηδέν έχουμε:

$$\gamma_h = \frac{\gamma_s + S_r + \gamma_w}{1 + e}$$



Εικ. 1.9

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1.III

Φαινόμενα βάρη εδαφών ( $\gamma_d$ =ξηρό,  $\gamma_{κορ}$ =κορεσμένο)

Έδαφος	$\gamma_d$	$\gamma_{κορ}$
Άμμος χαλαρή	1,30	1,80
Αμμοχάλικο πυκνό	2,00	2,24
Πηλός με χαλίκια	2,10	2,30
Πλαστική άργιλος	1,60	2,00
Σκληρή άργιλος	2,20	—

Το γινόμενο  $S_r$  είναι η υδροχωρητικότητα του εδάφους (βλέπε Κεφ. 1.3.8.), η οποία εκφράζει το λόγο του όγκου του νερού που περιέχει το έδαφος προς τον ολικό όγκο αυτού.

Στον Πίνακα 1.III δίνονται ενδεικτικές τιμές για το ξηρό φαινόμενο και κορεσμένο φαινόμενο βάρος ορισμένων χαρακτηριστικών εδαφών.

#### 1.2.3.4 Σχετική Πυκνότητα ( $D_r$ )

Όπως είπαμε παραπάνω, το πορώδες εξαρτάται και από τη διάταξη των κόκκων του εδάφους. Επομένως, από την τιμή και μόνο του πορώδους δεν

μπορούμε να συμπεράνουμε αν ένα έδαφος είναι πυκνό ή χαλαρό και κατά συνέπεια αν επιδέχεται ή όχι συμπύκνωση. Το κατά πόσο ένα έδαφος είναι πυκνό ή χαλαρό καθορίζεται από τη **σχετική πυκνότητα ( $D_r$ )**.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

όπου:

$e_{\max}$  = ο δείκτης πόρων για την πιο χαλαρή κατάσταση την οποία μπορεί να έχει το έδαφος.

$e_{\min}$  = ο δείκτης πόρων για την πιο πυκνή κατάσταση (επιτυγχάνεται με συνεχείς δονήσεις κάτω από την επίδραση κατακόρυφου φορτίου).

$e$  = ο δείκτης πόρων του φυσικού εδάφους.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ στα ψαθυρά εδάφη η σχετική πυκνότητα δεν επηρεάζεται σημαντικά από στατική φόρτιση που δέχεται το έδαφος, στα συνεκτικά εδάφη ο βαθμός πυκνότητάς τους εξαρτάται από το φορτίο που έχει εξασκηθεί πάνω σ' αυτά και μάλιστα και από το χρονικό διάστημα εξάσκησης του φορτίου.

### 1.2.3.5 Ειδική Επιφάνεια ( $S_s$ )

Σαν ειδική επιφάνεια καθορίζεται ο λόγος της συνολικής επιφάνειας των εδαφικών κόκκων προς το συνολικό βάρος αυτών (ενίοτε προς το συνολικό τους όγκο). Η ειδική επιφάνεια αυξάνεται όσο μειώνεται το μέσο μέγεθος των εδαφικών κόκκων. Για τις άμμους είναι της τάξης των  $10^2 \text{ cm}^2/\text{gr}$ , ενώ για τις αργίλους είναι της τάξης των  $10^5 \text{ cm}^2/\text{gr}$ . Η διαφορά αυτή αντανακλά και τη διαφορά της προσροφητικής ικανότητας μεταξύ των άμμων και των αργίλων.

### 1.2.3.6 Περιεκτικότητα σε νερό ( $w$ )

Μέσα στο έδαφος υπάρχει σημαντική ποσότητα νερού που κατά περίπτωση βρίσκεται κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Έτσι το εδαφικό νερό μπορεί να γεμίζει όλα τα κενά του εδάφους δημιουργώντας υδροφόρους ορίζοντες (**υπόγειο νερό**). Το νερό αυτό επειδή υπόκειται μόνο στη βαρύτητα καλείται και νερό βαρύτητας. Άλλοτε πάλι,

υποκείμενο τόσο στη βαρύτητα όσο και σε τριχοειδείς δυνάμεις διηθείται προς τα κάτω (**διηθούμενο νερό**). Ακόμη, ένεκα επιφανειακών τάσεων μπορεί να ανυψώνεται πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, μέσα σε τριχοειδή διάκενα του εδάφους και να δημιουργεί έτσι το **τριχοειδές νερό**. Τέλος, το εδαφικό νερό μπορεί να βρίσκεται προσροφημένο από αργιλικά σωματίδια στις ζώνες ρόφησης αυτών (**προσροφημένο νερό**), ή να συγκρατείται γύρω από εδαφικούς κόκκους με δυνάμεις συνοχής (**νερό συνοχής**).

Η **περιεκτικότητα σε νερό (w)** ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους του νερού ( $B_w$ ) που περιέχει, προς το βάρος του ξηρού εδάφους ή το βάρος της στερεάς φάσης ( $B_s$ ). Συνήθως εκφράζεται σαν ποσοστό %.

$$w = B_w / B_s \quad \text{ή} \quad w = (B_w / B_s) \cdot 100\%$$

Ο **βαθμός κορεσμού ( $S_r$ )** εκφράζει το ποσοστό του όγκου του νερού που περιέχει ένα έδαφος ( $V_w$ ), σε σχέση με τον όγκο του νερού που θα περιείχε αν ήταν κορεσμένο, ή σε σχέση με τον όγκο των κενών του που μπορούν να πληρωθούν με νερό ( $V_v$ ). Και ο βαθμός κορεσμού εκφράζεται συνήθως σαν ποσοστό %.

$$S_r = V_w / V_v \quad \text{ή} \quad S_r = (V_w / V_v) \cdot 100\%$$

Ανάλογα με το βαθμό κορεσμού τους τα εδάφη χαρακτηρίζονται όπως στον Πίνακα 1.IV.

Η **υδροχωρητικότητα ( $n_w$ )** τέλος εκφράζει το λόγο του όγκου του νερού ενός εδάφους, προς τον ολικό όγκο αυτού.

$$n_w = V_w / V$$

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1.IV

Χαρακτηρισμός εδάφους συναρτήσει του βαθμού κορεσμού του

Χαρακτηρισμός	$S_r$ (%)
Ξηρό	0
Υγρό	1-25
Πολύ υγρό	25-50
Διαποτισμένο	50-75
Πολύ διαποτισμένο	75-99
Κορεσμένο	100

### 1.2.3.7 Γωνία Εσωτερικής Τριβής ( $\phi$ ) και Συνοχής ( $c$ )

Η γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi$ ) αντιστοιχεί περίπου στην κλίση των πρανών ενός σωρού του ψαθυρού εδάφους, ο οποίος δημιουργείται με το άδειασμα του από ένα δοχείο πάνω σε οριζόντια επιφάνεια – με τον τρόπο αυτό το έδαφος αποκτά την πιο χαλαρή του κατάσταση – και εξαρτάται κυρίως από τη σχετική πυκνότητα του εδάφους. Όσο πιο μεγάλη είναι η σχετική πυκνότητα αυτού, τόσο μεγαλύτερη είναι και η γωνία εσωτερικής τριβής (Πιν. 1.IX). Στο μέγεθος της γωνίας αυτής επιδρούν ακόμη η κοκκομετρική διαβάθμιση και το σχήμα των κόκκων.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 1.IX

Αντιπροσωπευτικές τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής διαφόρων εδαφών.

Είδος εδάφους	Γωνία εσωτ. Τριβής	
	Χαλαρό	Πυκνό
Ομοιόμορφη άμμος με στρογγυλούς κόκκους	27,5°	34°
Άμμος καλά διαβαθμισμένη με γωνιώδεις κόκκους	33°	45°
Αμμοχάλικο	35°	50°
Πλωδής άμμος	27-33°	30-34°
Ανόργανη άμμος	27-30°	30-35°

Στις άμμους που περιέχουν ένα ποσοστό υγρασίας, παρουσιάζεται μια φαινόμενη συνοχή η οποία οφείλεται στις επιφανειακές τάσεις των μηνίσκων που δημιουργεί το νερό μέσα στα τριχοειδή διάκενα του εδάφους. Η συνοχή αυτή εξαφανίζεται όταν η άμμος ξηρανθεί ή κορεστεί με νερό.

Η συνοχή ( $c$ ) και η γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi$ ) στην πράξη λαμβάνονται σαν σταθερές και προσδιορίζουν τη συμπεριφορά του εδάφους σε ότι αφορά τη διατμητική του αντοχή. Στην πραγματικότητα, όμως, η τιμή τους δεν παραμένει σταθερή για ένα και το αυτό έδαφος, αφού εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως η προφόρτιση, το νερό των πόρων, η τιμή της ορθής τάσης, η ύπαρξη ή όχι προϋπάρχουσας επιφάνειας ολίσθησης.



### 1.2.3.8 Ενεργότητα

Είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται στα όρια Atterberg.

Η ενεργότητα  $A$  ενός εδάφους που περιέχει  $N\%$  ποσοστό αργίλου με δείκτη πλαστικότητας  $IP$  δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{IP}{N\% \text{ ποσοστό αργίλου}}$$

Ορυκτό αργίλου	Ενεργότης
Μοντμοριλλονίτης	4 + 7
Μοντμοριλλονίτης	1.5
Ϊλλίτης	0.5 + 1.3
Καολινίτης	0.3 + 0.5
Αλλουσίτης, (ανυδρίτης)	0.5
Αλλουσίτης, (υδρίτης)	0.1
Ατταπουλγίτης	0.5 + 1.2
Αλλοφάνης	0.5 + 1.2
Μοσχοβίτης	0.2
Ασβεστίτης	0.2
Χαλαζίτης	0.0

### 1.2.3.9 Δείκτης συμπιεστότητας ( $C_c$ )

$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p}$ : όπου  $e$  ο δείκτης κενών του εδάφους και  $p$  η τάση που

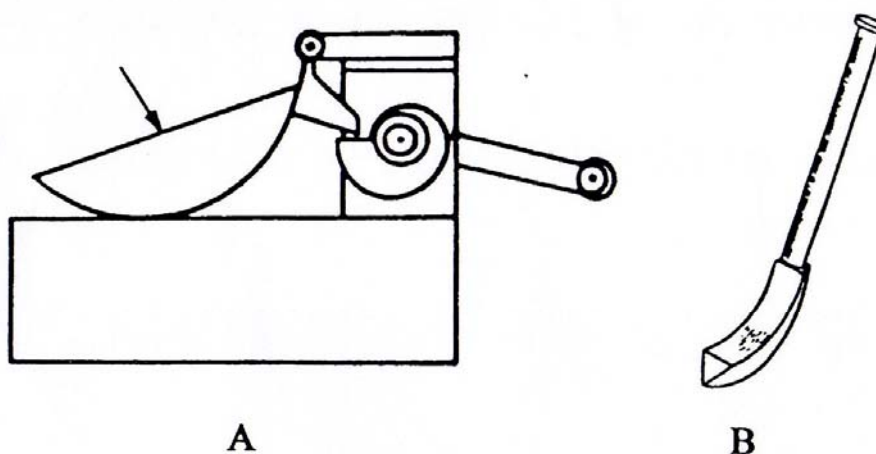
εφαρμόζεται κάθε φορά στο δοκίμιο. Ο δείκτης συμπιεστότητας προσδιορίζεται από το διάγραμμα ( $\log p - e$ ) και είναι η κλίση του ευθύγραμμου τμήματος του διαγράμματος. Είναι μοναδικός για ένα συγκεκριμένο έδαφος, κυμαίνεται κοντά στη μονάδα, είναι καθαρός αριθμός, όσο μεγαλύτερος είναι τόσο πιο συμπιεστό είναι το έδαφος.

Με το δείκτη συμπιεστότητας  $C_c$  μπορούμε να υπολογίσουμε το ύψος της καθίζησης στο στρώμα που εξετάζουμε.

#### 1.2.4 Συνεκτικότητα και Πλαστικότητα Αργιλικών Εδαφών

Σε συνεκτικά εδάφη που προηγουμένως έχουν αναζυμωθεί μπορούμε να μεταβάλουμε τη συνεκτικότητά τους αλλάζοντας την περιεκτικότητά τους σε νερό. Έτσι, για παράδειγμα, αν από μια άργιλο που βρίσκεται σε υδαρή κατάσταση – ρέει σαν παχύρευστο υγρό – αφαιρέσουμε νερό, θα μεταπέσει σε πλαστική κατάσταση και αν μειώσουμε ακόμη περισσότερο την περιεκτικότητά της σε νερό θα φθάσει σε στερεά κατάσταση.

Επειδή η περιεκτικότητα σε νερό όταν μεταβαίνουμε από τη μια κατάσταση στην άλλη διαφέρει από άργιλο σε άργιλο, χρησιμοποιούμε τις οριακές αυτές τιμές της περιεκτικότητας νερού για τη διάκριση και ταξινόμηση των αργίλων.



**Εικ. 1.10.**

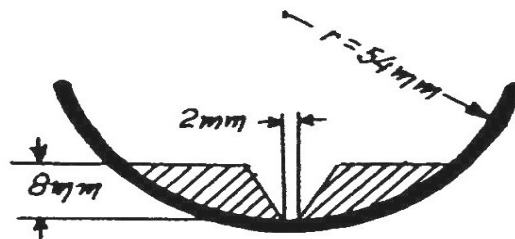
Τυποποιημένη συσκευή Casagrande (A) και εργαλείο διαχωρισμού του δείγματος (B).

Η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη δεν γίνεται απότομα. Με άλλα λόγια δεν υπάρχει κάποια κρίσιμη τιμή περιεκτικότητας νερού μιας αργίλου που μόλις την αποκτά να μεταπίπτει απότομα από τη μια κατάσταση στην άλλη (π.χ. από υδαρή σε πλαστική ή από πλαστική σε στερεά κατάσταση). Το πέρασμα γίνεται βαθμιαία με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα εύρος τιμών περιεκτικότητας νερού που να μη μπορούμε να κατατάξουμε με βεβαιότητα ένα αργιλικό δείγμα στη μια ή την άλλη κατάσταση.

Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η τυποποίηση κριτηρίων για τον καθορισμό των τιμών περιεκτικότητας νερού που συνεπάγονται μετάβαση από μια κατάσταση σε άλλη. Η μέθοδος που τυποποίησε τα κριτήρια αυτά είναι γνωστή σαν μέθοδος Atterberg και προέρχεται από τη γεωπονική εδαφολογία. Οι περιεκτικότητες σε νερό που αντιστοιχούν στα όρια μετάβασης από τη μια κατάσταση στην άλλη καλούνται όρια Atterberg (A. Casagrande, 1932), τα οποία αναλύουμε παρακάτω.

#### 1.2.4.1 Όριο υδαρότητας (LL ή Lw)

Προσδιορίζεται από την περιεκτικότητα σε νερό αργλικού δείγματος του οποίου τα δύο μέρη που έχουν διαχωριστεί μέσα στον υποδοχέα της τυποποιημένης συσκευής Casagrande από το τυποποιημένο εργαλείο που συνοδεύει αυτή (Εικ. 1.10) και έχουν τις διαστάσεις που φαίνονται στην Εικ. 1.11, αγγίζουν στο κάτω μέρος τους το ένα με το άλλο ύστερα από 25 κτύπους του υποδοχέα.

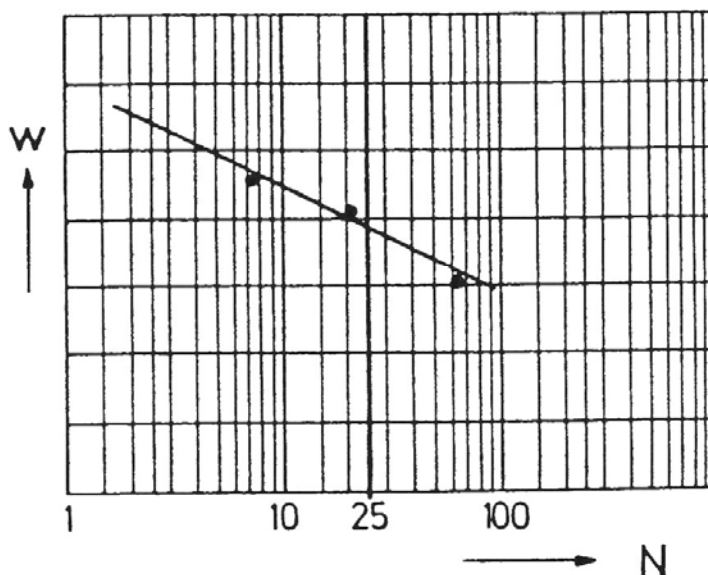


**Εικ. 1.11**

Διατομή εδαφικού δείγματος στον υποδοχέα της συσκευής Casagrande.

Επειδή είναι πολύ δύσκολο να πετυχαίνουμε κάθε φορά τέτοια περιεκτικότητα νερού, ώστε με 25 ακριβώς κτύπους του υποδοχέα να σμίγουν τα δύο μέρη του δείγματος, εκτελούμε τουλάχιστον δύο δοκιμές (συνήθως τρεις) για κάθε εδαφικό δείγμα με διαφορετική περιεκτικότητα νερού. Στη συνέχεια, επειδή υφίσταται γραμμική σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας νερού και του λογαρίθμου του αριθμού των κτύπων (N), είναι πολύ εύκολο να προσδιορίσουμε την περιεκτικότητα νερού που αντιστοιχεί στους 25 κτύπους, από την πειραματική καμπύλη (ευθεία γραμμή) του διαγράμματος " $\log(N) - w$ ". Συνήθως για

μεγαλύτερη ευκολία χρησιμοποιούμε ημιλογαριθμικό χαρτί (Εικ. 1.12).



*Εικ. 1.12*

Διάγραμμα  $\log(N) - w$  για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας.

#### 1.2.4.2 Όριο πλαστικότητας (LP ή Pw).

Καθορίζεται από την περιεκτικότητα σε νερό που έχει το έδαφος όταν κυλινδρώνοντάς το με το χέρι πάνω σε γυάλινη επιφάνεια κατορθώνουμε να φτιάχνουμε λεπτούς και μακρούς κυλίνδρους σαν μακαρόνια, διαμέτρου μέχρι 3 mm (κατώτατο όριο), ενώ προσπάθεια για περαιτέρω λέπτυνση αυτών προκαλεί τη ρωγμάτωση και το θρυμματισμό τους. Στην περίπτωση αυτή είναι προφανές ότι η εφαρμογή του κριτηρίου αυτού δεν ενέχει και τόσο μεγάλο βαθμό αντικειμενικότητας, γι' αυτό το λόγο απαιτείται έμπειρο προσωπικό εργαστηρίου για την εκτέλεση των δοκιμών αυτών.

#### 1.2.4.3 Όριο συρρίκνωσης (LS ή Sw).

Είναι η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους που κάτω από αυτή κάθε απώλεια νερού δεν προκαλεί μείωση του όγκου του. Αν κατέβει η περιεκτικότητα σε νερό κάτω από το όριο συρρίκνωσης το χρώμα του εδάφους γίνεται πιο ανοικτό.

#### 1.2.4.4 Δείκτης πλαστικότητας (IP).

Τα όρια Atterberg αλλάζουν για το ίδιο αργιλικό έδαφος με αλλαγή των προσροφημένων κατιόντων.

Η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας καθορίζει το δείκτη πλαστικότητας (IP):

$$IP=LL-LP$$

Ο δείκτης πλαστικότητας καθορίζει το εύρος της περιεκτικότητας σε νερό που έχει το εδάφος όταν τούτο βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι ένα έδαφος τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητάς του.

Ανάλογα με την τιμή του δείκτη πλαστικότητάς τους οι άργιλοι διακρίνονται σε:

όχι πλαστικές	όταν	$IP < 5$
λίγο πλαστικές	»	$5 < IP < 15$
πλαστικές	»	$15 < IP < 40$
πολύ πλαστικές	»	$IP > 40$

Η αντοχή ενός αργιλικού εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογη του δείκτη πλαστικότητάς του.

(Στοιχεία Μηχανικής πετρωμάτων και γεωτρήσεων  
Ζαφείρης Καροτσιέρης)

## 1.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

### 1.3.1 Χονδρόκοκκα εδάφη.

Αν το έδαφος είναι χονδρόκοκκο προσδιορίζουμε στη συνέχεια από την κοκκομετρική του ανάλυση αν πρόκειται για χάλικες ή για άμμο. Για να χαρακτηριστεί σαν χάλικες πρέπει ποσοστό μεγαλύτερο του 50% να συγκρατείται στο κόσκινο Νο 4. Αν το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο από 50% το έδαφος χαρακτηρίζεται σαν άμμος.

Για περαιτέρω ταξινόμηση τόσο των χάλικων όσο και της άμμου εξετάζουμε το ποσοστό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200. Αν το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο από 5% το έδαφος χαρακτηρίζεται σαν καθαροί χάλικες ή άμμος (χωρίς ή με πολύ λίγα λεπτόκοκκα συστατικά). Στη συνέχεια από την κοκκομετρική καμπύλη διαπιστώνουμε αν οι χάλικες ή η άμμος έχουν καλή ή κακή διαβάθμιση και χαρακτηρίζουμε ανάλογα το έδαφος. Και σ' αυτό το ταξινομικό σύστημα εδάφη με καλή διαβάθμιση συμβολίζονται με το γράμμα **W**, ενώ με κακή διαβάθμιση συμβολίζονται με το γράμμα **P**. Έτσι στην κατηγορία αυτή (χονδρόκοκκα εδάφη) μπορεί να έχουμε:

- |  |           |
|--|-----------|
| - Καθαρούς χάλικες ή αμμοχάλικο με καλή διαβάθμιση | <b>GW</b> |
| - Καθαρούς χάλικες ή αμμοχάλικο με κακή διαβάθμιση | <b>GP</b> |
| - Καθαρή άμμο ή χαλικώδη άμμο με καλή διαβάθμιση   | <b>SW</b> |
| - Καθαρή άμμο ή χαλικώδη άμμο με κακή διαβάθμιση   | <b>SP</b> |

Αν, τώρα, το ποσοστό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200 είναι περισσότερο από 12%, εκτελούμε δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg στο κλάσμα αυτό και προσδιορίζουμε τη θέση του στο διάγραμμα Casagrande. Αν είναι πάνω από τη γραμμή "A" η άμμος ή οι χάλικες χαρακτηρίζονται σαν αργιλώδεις, ενώ αν είναι κάτω από τη γραμμή "A" χαρακτηρίζονται σαν ιλυώδεις. Έτσι στην περίπτωση αυτή μπορεί να έχουμε:

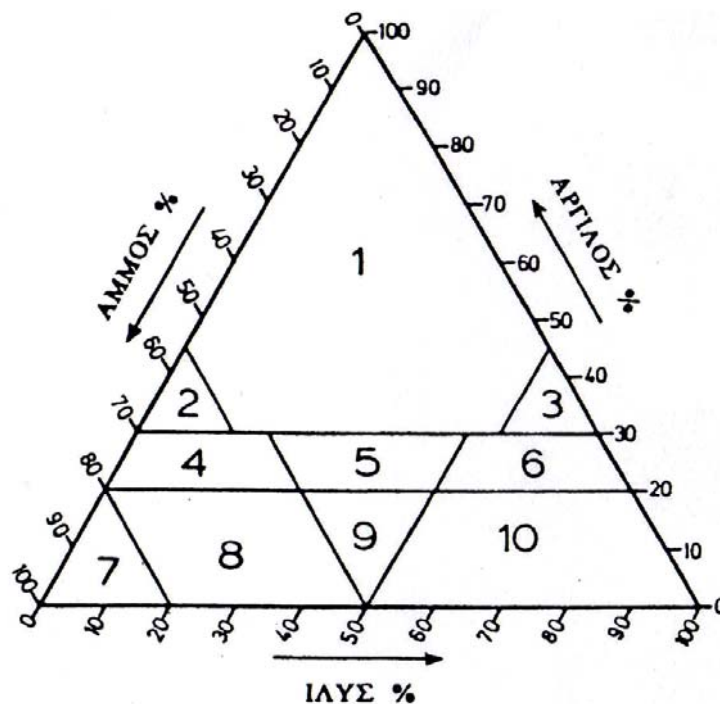
- |   |           |
|---|-----------|
| - Ιλυώδεις χάλικες ή ιλυώδες αμμοχάλικο     | <b>GM</b> |
| - Αργιλώδεις χάλικες ή αργιλώδες αμμοχάλικο | <b>GC</b> |
| - Ιλυώδη άμμο ή μείγμα άμμου – ιλύος        | <b>SM</b> |
| - Αργιλώδη άμμο ή μείγμα άμμου – αργίλου    | <b>SC</b> |

Αν η θέση του λεπτόκοκκου κλάσματος εντοπιστεί μέσα στη γραμμοσκιασμένη περιοχή του διαγράμματος Casagrande, τότε το έδαφος κατατάσσεται μεταξύ των κατηγοριών **GM-GC** ή των κατηγοριών **SM-SC**.

Στην περίπτωση που το ποσοστό των διερχομένων από το κόσκινο Νο 200 κυμαίνεται μεταξύ του 5 και 12%, το έδαφος κατατάσσεται μεταξύ των κατηγοριών **GW-GM** ή των κατηγοριών **SW-SM**.

### 1.3.2 Λεπτόκοκκα εδάφη

Στην περίπτωση που το έδαφος έχει χαρακτηριστεί σαν λεπτόκοκκο (ποσοστό > 50% διέρχεται από το κόσκινο Νο 200) προσδιορίζονται τα όρια Atterberg και ο δείκτης πλαστικότητας του διερχομένου από το κόσκινο Νο 200 κλάσματος. Τα εδάφη διακρίνονται σε 'κείνα με χαμηλό όριο υδαρότητας (L), αν  $LL < 50$  και σε άλλα με υψηλό όριο υδαρότητας (H), αν  $LL > 50$ .



**Εικ. 1.14**

Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών του U.S. Bureau of Soil and Public Roads Administrations.

1) Άργιλος, 2) Αμμώδης άργιλος, 3) Ιλυώδης άργιλος, 4) Αμμώδης αργιλοπηλός, 5) Αργιλοπηλός, 6) Ιλυώδης αργιλοπηλός, 7) Άμμος, 8) Αμμώδης πηλός, 9) Πηλός, 10) Ιλυώδης πηλός.

Και εδώ, αν το έδαφος στο διάγραμμα Casagrange εντοπίζεται σε θέση πάνω από τη γραμμή "A" χαρακτηρίζεται σαν άργιλος, ενώ κάτω από τη

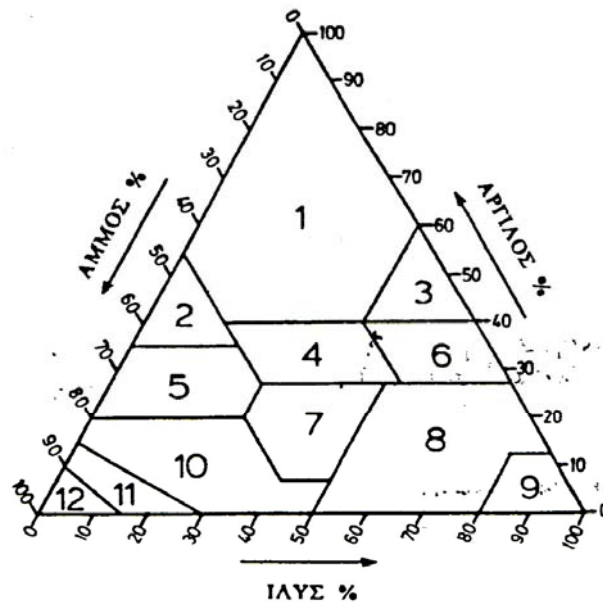
γραμμή "A" χαρακτηρίζεται σαν ιλύς. Στην περίπτωση που εντοπίζεται μέσα στη γραμμοσκιασμένη ζώνη κατατάσσεται μεταξύ αργίλου και ιλύος, ενώ όταν εντοπίζεται κάτω από τη γραμμή "A" ή τη γραμμοσκιασμένη ζώνη εξετάζεται αν περιέχει ή όχι οργανικά συστατικά. Έτσι, λοιπόν, τα εδάφη με  $LL > 50$  μπορούμε να τα διακρίνουμε σε:

- Ανόργανες ιλύες, μαρμαρυγιακά, αμμώδη ή ιλυώδη εδάφη, πλαστικές ιλύες. **MH**
- Ανόργανες αργίλους υψηλής πλαστικότητας, παχιές αργίλους. **CH**
- Οργανικές αργίλους μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, οργανικές ιλύες. **OH**

Ενώ τα εδάφη με  $LL < 50$  τα διακρίνουμε σε:

- Ανόργανες ιλύες, πολύ λεπτόκοκκες ιλυώδεις ή αργιλώδεις άμμους, αργιλώδεις ιλύες με μικρή πλαστικότητα. **ML**
- Ανόργανες αργίλους χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, ιλυώδεις αργίλους, ισχνές αργίλους. **CL**
- Οργανικές ιλύες και οργανικές ιλυώδεις αργίλου χαμηλής πλαστικότητας. **OL**





**Εικ. 1.15**

Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών του U.S. Department of Agriculture.  
 1) Άργιλος, 2) Αμμώδης άργιλος, 3) Ιλυώδης άργιλος, 4) Αργιλοπηλός, 5) Αμ-  
 μώδης αργιλοπηλός, 6) Ιλυώδης αργιλοπηλός, 7) Πηλός, 8) Ιλοοπηλός, 9) Ιλύς,  
 10) Αμμώδης πηλός, 11) Πηλώδης άμμος, 12) Άμμος.

Πολλές φορές, για να κατατάξουμε ένα έδαφος καταφεύγουμε σε τριγωνικά διαγράμματα ταξινόμησης. Η κατάταξη με τα διαγράμματα αυτά γίνεται με βάση το ποσοστό τριών εδαφικών κλασμάτων του εδάφους (άμμου - ιλύος - αργίλου), τα οποία και αντιπροσωπεύουν οι τρεις πλευρές του τριγώνου (Εικ. 1.14, Εικ. 1.15). Από τα ποσοστά των τριών εδαφικών κλασμάτων εντοπίζεται ένα σημείο στο εσωτερικό του τριγώνου το οποίο έχει διαιρεθεί σε περιοχές, κάθε μια από τις οποίες αντιπροσωπεύει συγκεκριμένη ομάδα εδαφών με ιδιαίτερη ονομασία.

(Στοιχεία Μηχανικής πετρωμάτων και γεωτρήσεων  
 Ζαφείρης Καροτσιέρης)

## **1.4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ**

### **1.4.1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ**

#### **1.4.1.1. Όρια Atterberg**

##### **Σκοπός:**

Ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg έχει σαν σκοπό την κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφών.

#### **1.4.1.2. Προσδιορισμός του ορίου Υδαρότητας (LL) (Α.Α.Σ.Η.Ο.: T 89) (μέθοδος των τριών σημείων)**

##### **Ορισμός:**

Όριο υδαρότητας είναι η περιεχόμενη υγρασία κατά την οποία το έδαφος, αφού χάσει νερό, μεταφέρεται από την υδαρή κατάσταση στην πλαστική.

##### **Εργαστηριακός εξοπλισμός**

- Δοχείο από πορσελάνη με διάμετρο 12 cm
- Σπάτουλα με διαστάσεις: 8 cm x 2 cm
- Συσκευή CASAGRANDE με προδιαγεγραμμένες διαστάσεις
- Όργανο για τη χάραξη
- Δοχεία
- Ζυγαριά με ανάγνωση 0,1 gr
- Κλίβανος 110°C, κάψες αλουμινένιες
- Κόσκινο No 40 (0,42 mm)



## Τρόπος εργασίας

Το αντιπροσωπευτικό δείγμα:

- ξεραίνεται σε θερμοκρασία μικρότερη από 60°C,
- κατατρίβεται προσεκτικά ώστε να μη μειωθεί το μέγεθος των κόκκων,
- τετραμερίζεται και
- κοσκινίζεται με το κόσκινο Νο 40

Παίρνουμε 100 gr περίπου από το υλικό που περνάει από το κόσκινο Νο 40 και το υλικό αυτό το αναμιγνύουμε με αποσταγμένο νερό. Η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιήσουμε, εξαρτάται από το έδαφος το οποίο υποβάλλουμε σε δοκιμή. Όσο πιο πλαστικό είναι, τόσο περισσότερο νερό μπορεί να απορροφήσει πριν φτάσει στη ρευστή κατάσταση.

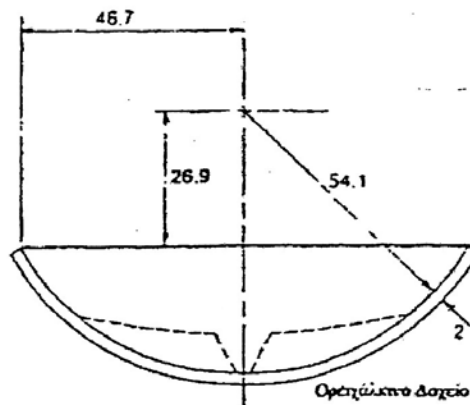
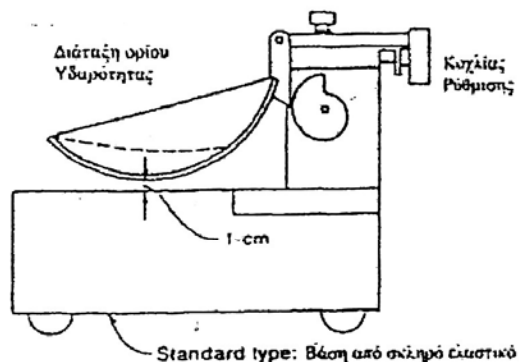
Από την εμπειρία μας ξεκινάμε με μια ποσότητα νερού, ώστε η περιεχόμενη υγρασία του να είναι μικρότερη από το όριο υδαρότητάς του.

Η ανάμιξη γίνεται με τη σπάτουλα. Αν χρειαστεί περισσότερο νερό, προσθέτουμε νερό σε ποσότητες από 1 μέχρι 3 ml.

Όταν ολοκληρωθεί η ανάμιξη και σχηματιστεί ομοιόμορφη πηχτή μάζα, το μείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα για μισή ώρα περίπου.

## Κατόπιν

- τοποθετείται στο κύπελλο της συσκευής,
- πιέζεται και απλώνεται με αργές, κατά το δυνατό κινήσεις της σπάτουλας και με φροντίδα ώστε να μην εγκλειστούν φυσαλίδες αέρα μέσα στη μάζα.



-περιγραφή συσκευής Casagrande-

Η μάζα πρέπει να έχει βάθος 1 cm στο σημείο μέγιστου πάχους.

Η μάζα χωρίζεται, με το όργανο χάραξης, σε δυο τμήματα κατά τον άξονα της συσκευής.

Η χαραγή πρέπει να είναι καθαρή, απότομη και να φτάνει μέχρι τον πυθμένα.

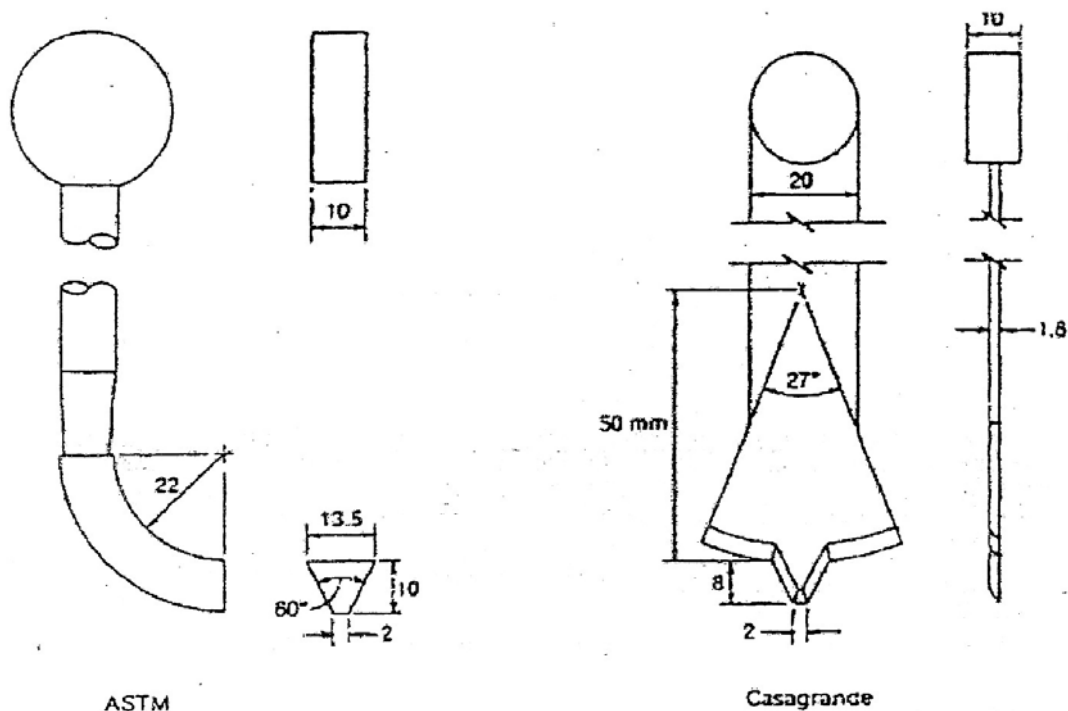
Για τη χαραγή επιτρέπονται μέχρι έξι πλήρεις (μπροστά – πίσω) χειρισμοί.

Ο στρόφαλος της συσκευής στρέφεται με δύο στροφές το δευτερόλεπτο.

Οι στροφές καταμετρούνται μέχρι που τα δύο τμήματα του εδάφους έρθουν σε επαφή σε μήκος 1,27 cm. Ο αριθμός των στροφών που πραγματοποιήθηκε καταγράφεται.

Τμήμα εδάφους κάθετα προς τη χαραγή:

- αφαιρείται με τη σπάτουλα,
- ζυγίζεται,
- ξεράζεται (110°C),
- ξαναζυγίζεται και
- προσδιορίζεται η υγρασία του (W%) με τη μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων.



-περιγραφή εργαλείων χάραξης-

Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται σε δύο ακόμα τμήματα του εδάφους μας προσθέτοντας κάθε φορά μικρή ποσότητα νερού (1 – 3 ml). Γίνεται προσπάθεια ώστε σε κάθε μία από τις δοκιμές να ενώνονται κατά 1,27 cm σε αριθμό κτύπων, που ανήκουν στις παρακάτω περιοχές:

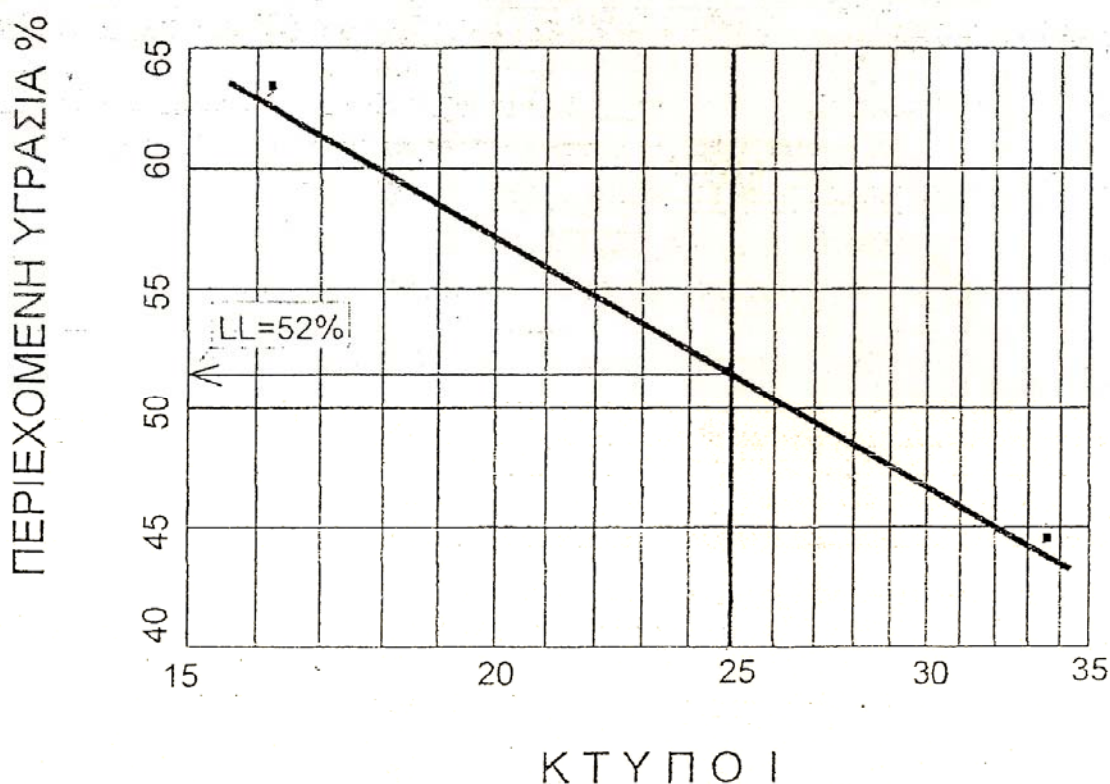
1<sup>η</sup> δοκιμή: 25 – 35 κτύπους

2<sup>η</sup> δοκιμή: 20 – 30 κτύπους

3<sup>η</sup> δοκιμή: 15 – 25 κτύπους

Σε ένα ημιλογαριθμικό χαρτί, απεικονίζουμε τα ζεύγη των τιμών των κτύπων με τις αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες. Στον άξονα των τετμημένων τοποθετούμε τον αριθμό των κτύπων και στον άξονα των τεταγμένων τις τιμές των υγρασιών.

Σχεδιάζεται ένα ευθύγραμμο τμήμα, όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς τις ανωτέρω συντεταγμένες.



Η υγρασία που αντιστοιχεί στο σημείο εκείνο του ευθυγράμμου τμήματος που έχει τετμημένη τους 25 κτύπους, είναι το όριο υδαρότητας του εδάφους.

### **1.4.1.3. Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας (LP) (A. A. S. H. O.: T 90-61)**

#### **Ορισμός**

Όριο πλαστικότητας είναι η πιο χαμηλή περιεχόμενη υγρασία για την οποία το έδαφος παραμένει πλαστικό.

#### **Εργαστηριακός εξοπλισμός**

- Δοχείο από πορσελάνη με διάμετρο 12 cm
- Σπάτουλα 8 cm x 2 cm
- Γυάλινη επιφάνεια για κυλίνδρωση
- Δοχεία
- Ζυγαριά που να ζυγίζει 0,1 gr

#### **Τρόπος εργασίας**

Το αντιπροσωπευτικό δείγμα:

- ξεραίνεται σε θερμοκρασία μικρότερη από 60°C,
- κατατρίβεται προσεκτικά ώστε να μη μειωθεί το μέγεθος των κόκκων,
- τετραμερίζεται, και
- κοσκινίζεται με το κόσκινο No 40 (0,42 mm).

Παίρνουμε 20 gr περίπου από το υλικό που περνάει από το κόσκινο No 40 και το υλικό αυτό το αναμιγνύουμε καλά με αποσταγμένο νερό ώστε να σχηματιστεί αρκετά πλαστική μάζα που να μορφώνεται εύκολα σβόλος.

Απ' αυτή την πλαστική μάζα παίρνουμε δείγμα 8 gr και του δίνουμε σχήμα ελλειψοειδές.

Το δείγμα κυλινδρώνεται ανάμεσα στα δάχτυλα και στη γυάλινη πλάκα, με πίεση ώστε να σχηματιστεί ραβδίσκος (μακαρόνι) με ίδια διάμετρο σε όλο το μήκος του.

Πραγματοποιούνται 80 με 90 κυλινδρώσεις το λεπτό.

Η πλήρης κυλίνδρωση συμπληρώνεται με την επιστροφή του χεριού-ραβδίσκου στην αρχική θέση.

Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου γίνει 3 mm χωρίς ρηγματώσεις, ο ραβδίσκος τεμαχίζεται σε 6 ή 8 τεμάχια.

Τα τεμάχια συμπιέζονται με τα δάχτυλα σε ομοιόμορφη μάζα με ελλειψοειδές σχήμα και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση για το σχηματισμό νέου ραβδίσκου 3 mm.

Όταν, κάποτε ο ραβδίσκος θρυμματιστεί σε διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 3 mm, η διαδικασία σταματάει.

Ο θρυμματισμός εμφανίζεται διαφορετικός σε διάφορους εδαφικούς τύπους.

Η μάζα του θρυμματισμένου ραβδίσκου τοποθετείται στον κλίβανο σε αλουμινένια κάψα, αφού ζυγιστεί και προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία με τη μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων.

Η υγρασία αυτή θα είναι το όριο πλαστικότητας του εδάφους.

Γίνονται δύο δοκιμές και σαν όριο πλαστικότητας υπολογίζεται ο μέσος όρος.

Δεν είναι πάντα δυνατός ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας σε ένα έδαφος. Μπορεί το έδαφος να θρυμματίζεται πολύ πριν φτάσει τα 3 mm διάμετρο, να μην μπορεί να γίνει εύπλαστη μάζα. Σε αυτή τη περίπτωση χαρακτηρίζεται σαν μη πλαστικό – *non plastic (NP)*.

#### 1.4.1.4. Κοκκομετρική Ανάλυση Εδαφών

**Γενικά:** Κοκκομετρική ανάλυση είναι ο προσδιορισμός της σχέσης του μεγέθους του ανοίγματος των βροχίδων διαφόρων κοσκίνων και του ποσοστού κατά βάρος της εδαφικής ποσότητας που διέρχεται από τα κόσκινα αυτά.

Στην πράξη χρησιμοποιούμε μία κατακόρυφη στήλη κοσκίνων με βαθμιαία μειούμενη βροχίδα από πάνω προς τα κάτω. Το προς έλεγχο υλικό (ξηρό στον κλίβανο) ρίχνεται στο υψηλότερο κόσκινο και ακολουθεί η κοσκίνιση.

**Ζυγίζονται τα συγκρατούμενα βάρη** και υπολογίζονται τα διερχόμενα από το κάθε κόσκινο.

**Σκοπός:** Σκοπός της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η κατάταξη των εδαφών.

#### **Προετοιμασία του υλικού:**

Γίνεται **ξήρανση** του εδαφικού δείγματος στους 60°C, και **λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα** μετά από τεταρτομερισμό ή διαχωρισμό, τόσο ώστε:

- α) το διερχόμενο βάρος από το κόσκινο 2 mm (No 10) να έχει βάρος 110 gr για αμμώδες έδαφος και 60 gr για αργιλώδες ή ιλυώδες έδαφος και
- β) το κατακρατούμενο ελάχιστο βάρος στο κόσκινο No 10 θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τον πιο κάτω πίνακα:

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΚΟΚΚΟΥ mm (inch.)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΒΑΡΟΣ (kgr)
9,5 (3/8)	0,5
25,0 (1)	2,0
50,0 (2)	4,0
75,0 (3)	5,0

Κατόπιν **κατατρίβεται** για να διαχωριστούν οι κόκκοι, σε συσκευές κονιοποίησης, όπως γουδί με γουδοχέρι.

Μετά **ζυγίζουμε** το ξηρό στους 60°C και αυτή θα είναι η συνολική ποσότητα W που θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή. Η ποσότητα όμως αυτή περιέχει υγρασιακή υγρασία γιατί δεν έχει ξηρανθεί στο κλίβανο στους 110±5°C μέχρι σταθεροποίησης του βάρους του.



Η ανωτέρω ποσότητα  $W$  χωρίζεται σε δύο ποσότητες χρησιμοποιώντας το κόσκινο No 10 (2 mm).

Το συγκρατούμενο στο No 10 κατατρίβεται και επαναλαμβάνεται η κοσκίνιση.

Η ποσότητα που θα συγκρατηθεί τελικά στο κόσκινο No 10 είναι το χοντρόκοκκο υλικό του συνολικού δείγματος και το συμβολίζουμε με  $W_{\chi}$ .

Η ποσότητα που πέρασε από το κόσκινο No 10 είναι το λεπτόκοκκο υλικό και το συμβολίζουμε με  $W_{\lambda}$  και θα είναι:

$$W_{\lambda} = W - W_{\chi}$$

Οι ανωτέρω ποσότητες πρέπει να αναχθούν σε ξηρές στο κλίβανο χωρίς υγροσκοπική υγρασία, γιατί τα ποσοστά τα διερχόμενα, που λαμβάνονται σαν τελικό αποτέλεσμα, υπολογίζονται στο συνολικό ξηρό δείγμα.

Το χοντρόκοκκο υλικό  $W_{\chi}$  λόγω του ότι η υγροσκοπική υγρασία του θεωρείται αμελητέα, εκλαμβάνεται ως ξηρό  $W_{\chi} = W_{\chi\xi}$ .

(Οι κόκκοι είναι μεγαλύτεροι από 2 mm, συνεπώς το βάρος της υγροσκοπικής υγρασίας είναι αμελητέο).

Η ξηρή ποσότητα του λεπτόκοκκου  $W_{\lambda\xi}$  υπολογίζεται, αφού υπολογιστεί η περιεχόμενη υγρασία  $w$  του λεπτόκοκκου υλικού από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα περίπου 10 gr, με τη γνωστή μέθοδο των διαδοχικών ζυγίσεων.

Δηλαδή:  $W_{\lambda\xi} = W_{\lambda} / 1 + w$ .

Συνεπώς η συνολική ξηρή ποσότητα που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση θα είναι:

$$W_{\xi} = W_{\chi\xi} + W_{\lambda\xi}$$

## ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ Η ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΧΕΙ ΩΣ ΕΞΗΣ:

- Υγρό δείγμα
- Ξήρανση της 60°C
- Ποσότητες ελάχιστες σύμφωνα με της προδιαγραφές
- Αντιπροσωπευτικό δείγμα – τεταρτομερισμός – διαχωρισμός
- Διαχωρισμός κόκκων (γουδί και γουδοχέρι) – κονιοποίηση
- Ζύγιση της συνολικής ποσότητας με υγροσκοπική υγρασία (w)
- Κοσκίνισμα στο No 10 (2 mm)
- Τρίψιμο του συγκρατούμενου στο κόσκινο No 10
- Κοσκίνισμα στο No 10
- Ζύγισης της συγκρατούμενης στο κόσκινο ποσότητας  $W_{\chi}$
- Υπολογισμός  $W_{\lambda} = W - W_{\chi}$
- Εύρεση υγροσκοπικής υγρασίας w
- Υπολογισμός  $W_{\lambda\xi} = W_{\lambda} / (1 + w)$
- Συνολική ποσότητα  $W_{\xi} = W_{\chi\xi} + W_{\lambda\xi}$
- Προσδιορισμός του % διερχόμενου λεπτόκοκκου  $P_{\lambda}$  και του % συγκρατούμενου  $P_{\chi}$  στο κόσκινο No 10.  
 $P_{\lambda} = (W_{\lambda\xi} / W_{\xi}) \times 100$ ,  $P_{\chi} = (W_{\chi\xi} / W_{\xi}) \times 100$



*Εικόνες κοσκίνων*

**ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΟΣΚΙΝΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΟΠΗΣ**  
κατά A.S.T.M.

<b>Αριθμός κόσκινου</b>	<b>Μέγεθος οπής κόσκινου σε (mm)</b>
4 – in	101,60
3 ½ - in	88,90
3 – in	76,20
2 ½ - in	68,50
2 – in	50,80
1 ¾ - in	44,40
1 ½ - in	38,10
1 ¼ - in	31,70
1 – in	25,40
7/8 – in	22,20
¾ - in	19,10
5/8 – in	15,90
½ - in	12,70
1/10 – in	11,10
3/8 – in	9,52
5/10 – in	7,93
¼ - in (No 3)	6,35
No 3 ½	5,66
No 4	4,76
No 5	4,00
No 6	3,36
No 7	2,83
No 8	2,38
No 10	2,00
No 12	1,68
No 14	1,41
No 16	1,19
No 18	1,00
No 20	0,84
No 25	0,71
No 30	0,59
No 35	0,50
No 40	0,42
No 45	0,35
No 50	0,297
No 60	0,250

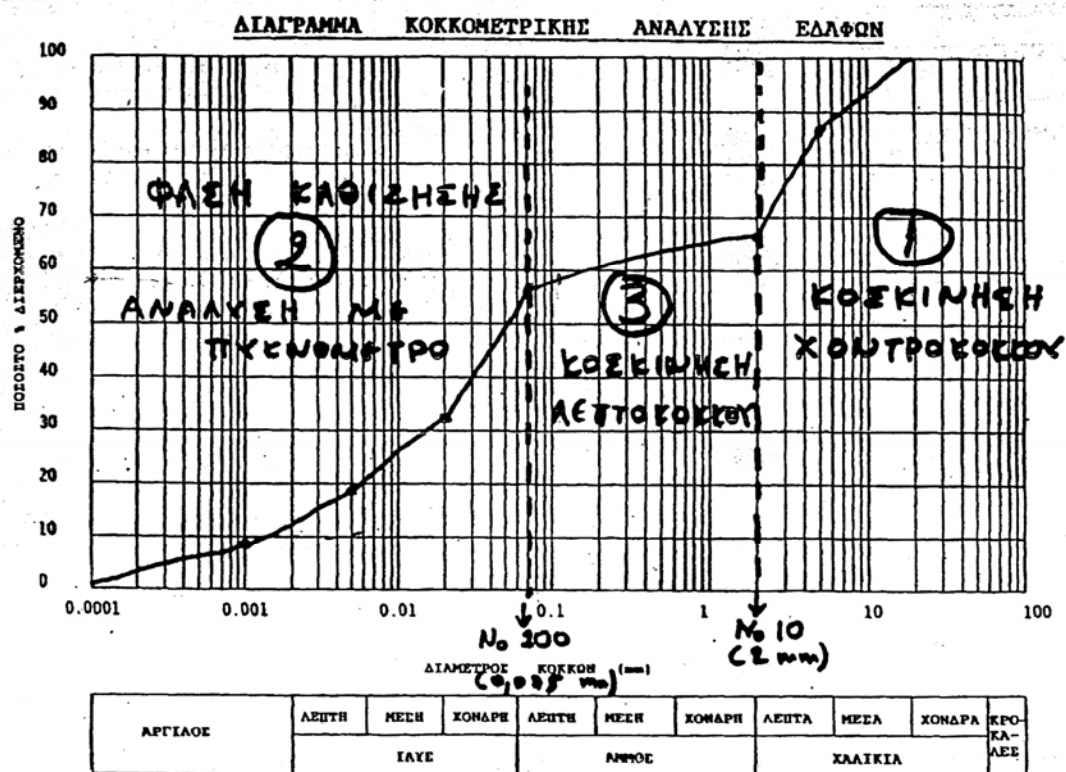
No 70	0,210
No 80	0,177
No 100	0,149
No 120	0,125
No 140	0,105
No 170	0,088
No 200	0,074
No 230	0,062

Η κοκκομετρική ανάλυση γίνεται σε τρεις φάσεις:

**A) στην κοσκίνιση του χοντρόκοκκου υλικού (συγκρατούμενου στο No 10 κόσκινο)**

**B) στη φάση της καθίζησης (ανάλυση δια αραιομέτρου). Αναλύεται το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No 200 (δηλ. ιλύς και άργιλος).**

**Γ) στην κοσκίνιση του λεπτόκοκκου. Κοσκινίζεται το υλικό ανάμεσα στο κόσκινο No 10 και No 200, δηλ. η άμμος.**



#### **A) Κοσκίνιση χοντρόκοκκου:**

Τοποθετούνται κόσκινα μεγαλύτερα από το Νο 10 σε ανάλογη σειρά πάνω από αυτό (π.χ. 3 in, 2 in, 1 in, 3/8 in, Νο 4). Κοσκινίζεται το υλικό που έχει συγκρατηθεί στο Νο 10. Ζυγίζεται και καταγράφεται το συγκρατούμενο βάρος σε κάθε κόσκινο μετά την κοσκίνιση. Τα βάρη αυτά με τους κατάλληλους υπολογισμούς μετατρέπονται σε ποσοστό διερχόμενα από το αντίστοιχο κόσκινο, επί του ξηρού βάρους του συνολικού δείγματος (Wξ). Στους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιούνται τα ποσοστά Ρχ και Ρλ που υπολογίστηκαν αρχικά.

#### **B) Φάση καθίζησης:**

Από το λεπτόκοκκο δείγμα Wλ (διερχόμενο από το Νο 10) παίρνουμε αντιπροσωπευτικό δείγμα 50 – 100 gr, ανάλογα το είδος του εδάφους. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι τόσο λιγότερη ποσότητα επιλέγεται. Αυτό το δείγμα θα χρησιμοποιηθεί για τη φάση της καθίζησης (κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο).

Αναλυτικά η διαδικασία αναφέρεται παρακάτω.

Τα ποσοστά που προκύπτουν από την ανάλυση ανάγονται σε ποσοστά % επί του συνολικού ξηρού δείγματος (Wξ) χρησιμοποιώντας το ποσοστό Ρλ.

#### **Γ) Κοσκίνιση λεπτόκοκκου:**

Μετά το πέρας της ανάλυσης με το αραιόμετρο, το δείγμα που βρίσκεται μέσα στο ογκομετρικό κύλινδρο (άμμος, ιλύς και άργιλος) αδειάζετε πάνω στο κόσκινο Νο 200 και ξεπλένοντας καλά το δείγμα, απομακρύνονται η ιλύς και η άργιλος που διέρχονται από το αντίστοιχο κόσκινο και έχουν ήδη αναλυθεί. Με αυτό τον τρόπο παραμένει η άμμος πάνω στο κόσκινο Νο 200, που είναι το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στη κοσκίνιση.

Αφού ξηρανθεί στο κλίβανο η άμμος, ακολουθεί η κοσκίνιση.

Χρησιμοποιούνται κόσκινα ανάμεσα στο Νο 10 και στο Νο 200. Τα ποσοστά που προκύπτουν, με τους κατάλληλους υπολογισμούς, ανάγονται σε ποσοστά % επί του συνολικού ξηρού δείγματος (Wξ) χρησιμοποιώντας το ποσοστό Ρλ.

Τέλος από τα διερχόμενα ποσοστά % επί του συνολικού ξηρού δείγματος, που έχουν υπολογιστεί και από τις τρεις φάσεις της κοκκομετρικής ανάλυσης, και τις αντίστοιχες διαμέτρους των κόκκων, **σχεδιάζεται το διάγραμμα της κοκκομετρικής καμπύλης** του εδάφους που αναλύσαμε.

## **Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο (πυκνόμετρο)**

Η μέθοδος αυτή περιγράφει τον τρόπο εργασίας για τον προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη (B φάση καθίζησης)

### **Εργαστηριακός εξοπλισμός**

- Ζυγός ακριβείας 0,1 gr.
- Γυάλινο ποτήρι 250 ml.
- Παράγοντας διασποράς
- Συσκευή ανάδευσης, μηχανική
- Αραιόμετρο (Πυκνόμετρο), για τη μέτρηση του ειδικού βάρους.
- Γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000 ml.
- Θερμόμετρο ακριβείας 0,5 C.
- Κόσκινο No 10 (2 mm).
- Υδατόλουτρο ή χώρος σταθερής θερμοκρασίας.

### **Τρόπος εργασίας:**

Από το δείγμα που διέρχεται από το κόσκινο No 10, λαμβάνονται περίπου 50 gr. για τα περισσότερα εδάφη ή 100 gr. για τα αμμώδη. Το δείγμα ζυγίζεται, τοποθετείται μέσα σε ποτήρι των 250 ml, καλύπτεται με 125 ml από το έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς, που έχει επιλεγεί, αναδεύεται καλά με γυάλινη ράβδο και αφήνεται να διαβραχεί επί 12 τουλάχιστον ώρες.

Σαν παράγοντα διασποράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε από τους τέσσερεις που δίνονται στον πίνακα παρακάτω. Το έτοιμο διάλυμα παρασκευάζεται με διάλυση της καθορισμένης ποσότητας άλατος όπως δίνεται στον πίνακα, σύμφωνα με τον παράγοντα διασποράς που έχει επιλεγεί, σε αποσταγμένο νερό, ώστε να παρασκευαστεί 1 lt διαλύματος.

Χημική ένωση	Γραμμάρια άλατος ανά λύτρο έτοιμου διαλύματος	Χημικός τύπος
Εξαμεταφωσφορικό νάτριο με Ανθρακικό Νάτριο ως ρυθμιστικό (1)	45,7	$\text{NaPO}_3$ ή $(\text{NaPO}_3)_6$
Πολυφωσφορικό Νάτριο	21,6	$\text{Na}_{12}\text{P}_{10}\text{O}_{31}$
Τριφωσφορικό Νάτριο	18,8	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
Τετραφωσφορικό Νάτριο (2)	35,1	$\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{33}$
(1) Εμπορική ονομασία “Calgon” (2) Εμπορική ονομασία “Quadrofos”		

Μετά τη διαβροχή, το περιεχόμενο του ποτηριού μεταφέρεται με επίπλυση μέσα σε ένα κύπελλο διασποράς, προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρις ότου πληρωθεί το κύπελλο περισσότερο από το μισό και το περιεχόμενο αναδεύεται με τη μηχανική συσκευή ανάδευσης επί 1 min, ώστε να επιτευχθεί διασπορά.

Στη συνέχεια το μείγμα μεταφέρεται στο γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο, όπου προστίθεται αποσταγμένο νερό, της ίδιας θερμοκρασίας με το υδατόλουτρο, μέχρι τελικού όγκου 1000 ml.

Τότε ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετείται μέσα στο υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας.

Όταν το εδαφικό αιώρημα αποκτήσει τη θερμοκρασία του υδατόλουτρου, εξάγεται ο κύλινδρος και το περιεχόμενό του αναταράσσεται επί 1 min, κλείνοντάς τον με την παλάμη μας.

Σημειώνεται ο χρόνος περάτωσης της ανατάραξης, τοποθετείται ο κύλινδρος μέσα στο υδατόλουτρο και διαβάζεται η ένδειξη του αραιομέτρου στο τέλος των 2 min. Παράλληλα παίρνουμε μέτρηση και της θερμοκρασίας του αιωρήματος.

Οι επόμενες ενδείξεις παίρνονται στα 5, 15, 30, 60, 250, 1440 min.



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

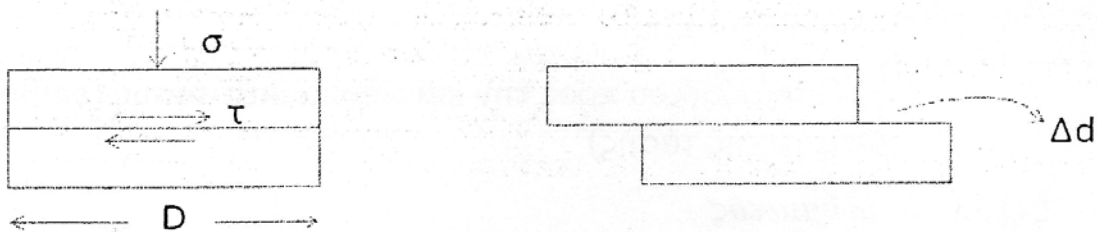
Μετά την τελική ανάγνωση του αραιομέτρου, το αιώρημα πλένεται πάνω σε κόσκινο No 200. Το κλάσμα που συγκρατείται στο κόσκινο No 200 ξηραίνεται και εκτελείται κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα ανάμεσα στο No 10 και στο No 200. (Φάση Γ: κοσκίνιση λεπτόκοκκου).

#### 1.4.1.5. ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (ΤΑΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΗ) DIRECT – SHEAR TEST (ASTM D3080-72)

##### Γενικά

Στη δοκιμή της άμεσης διάτμησης το έδαφος θραύεται κατά μία προδιαγεγραμμένη επίπεδη επιφάνεια, που λέγεται επιφάνεια διάτμησης. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Ο υποδοχέας, που περιέχει το δοκίμιο, χωρίζεται σε δύο τμήματα, τα οποία ολισθαίνουν το ένα σε σχέση με το άλλο, με σταθερή ταχύτητα.

Οι τάσεις που εφαρμόζονται στο δοκίμιο στη διάρκεια μιας δοκιμής, είναι: μία σταθερή ορθή τάση ( $\sigma$ ) και μια αυξανόμενη διατμητική ( $\tau$ ) με σταθερή ταχύτητα.



Η διατμητική αντοχή του εδάφους δίνεται από τη σχέση COULOMB

$$\tau = c + \sigma \cdot \epsilon \varphi$$

- $\tau$ : η διατμητική αντοχή
- $C$ : η συνοχή.
- $\sigma$ : η ορθή τάση.
- $\varphi$ : η γωνία εσωτερικής τριβής.

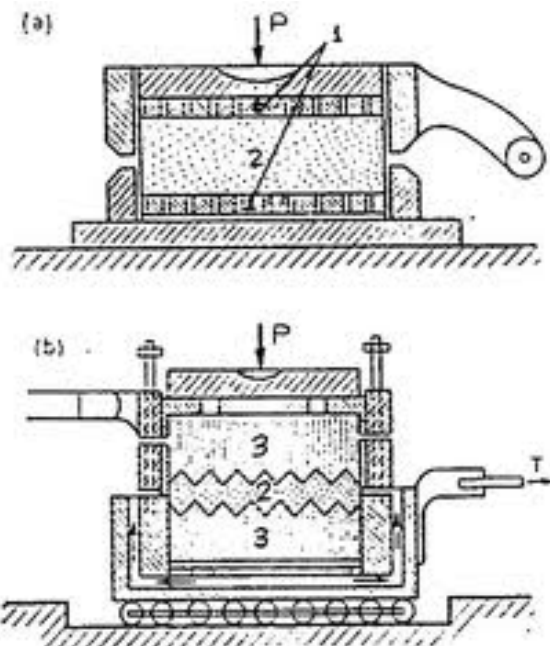
Στη δοκιμή της διάτμησης η διατμητική αντοχή του δοκιμίου προσδιορίζεται τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου ή όταν η σχετική μετατόπιση στο δοκίμιο, γίνει 10%.

##### Σκοπός

Με τη δομική τούτου προσδιορίζονται οι παράμετροι του εδάφους: συνοχή ( $c$ ) και γωνία εσωτερικής τριβής ( $\varphi$ ).

## Εξοπλισμός

- **Μηχανή διάτμησης**, η οποία αποτελείται από τα εξής τμήματα:
  - Συσκευή διάτμησης (υποδοχέας δοκιμίου), η οποία αποτελείται βασικά από δύο μεταλλικά πλαίσια που ολισθαίνουν σχετικά μεταξύ τους και δύο παρόλιθους που τοποθετούνται πάνω και κάτω από το δοκίμιο, που επιτρέπουν τη στράγγιση του δοκιμίου.
  - Το μηκυνσιόμετρο (2) το οποίο μετράει τη σχετική μετατόπιση των τμημάτων της συσκευής (αναγνώσεις Rd).
  - Το μηκυνσιόμετρο (3) το οποίο μετράει την βράχυνση του δυναμομετρικού δακτυλίου (αναγνώσεις RT).
  - Το μηκυνσιόμετρο (1) το οποίο μετράει την καθίζηση του δοκιμίου.
  - Σύστημα εφαρμογής φορτίου.
    - Κάθετου προς την επιφάνεια διάτμησης (επιβολή ορθής τάσης)
    - Παράλληλου προς την επιφάνεια διάτμησης (επιβολή διατμητικής τάσης)
- **Εξολκέας δείγματος**
- **Κλίβανος ξήρανσης** (για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας)
- **Ζυγός ακριβείας 0,01 gr**
- **Υγραντήρας** για τη διατήρηση της υγρασίας του δοκιμίου.



Η συσκευή διάτμησης την ώρα της δοκιμής

## **Δοκίμιο**

Η δοκιμή μπορεί να γίνει σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Το δείγμα που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετό για τον σχηματισμό 3 τουλάχιστον δοκιμίων, με τις ίδιες διαστάσεις.

Το δοκίμιο είναι τετραγωνικό με πλευρά 6 cm και πάχος περίπου 1 cm.

Γενικώς: ελάχιστος λόγος πλευράς προς πάχος δοκιμίου 2 : 1.

## **Πορεία δοκιμής**

1) Συνδέουμε τα δύο τμήματα του κιβωτίου με τις βίδες.

Μετράμε τη διάμετρο της συσκευής.

Τοποθετούμε τον κάτω πωρόλιθο.

2) Τοποθετούμε προσεχτικά το δείγμα μέχρι 5 MM περίπου από την κορυφή. Εφαρμόζουμε τον πάνω πωρόλιθο.

3) Φέρνουμε σε επαφή το σύστημα: άξονας ώθησης – κιβώτιο – δυναμόμετρο. Μηδενίζουμε τα μηκυσιόμετρα:

- του δυναμόμετρου,
- των καθιζήσεων,
- της σχετικής μετατόπισης.

4) Εφαρμόζουμε το κατακόρυφο φορτίο. Το φορτίο πρέπει να δίνει τάσεις στην περιοχή: 0,25 στην 1<sup>η</sup> και στη 2<sup>η</sup> και 0,75 KG/CM<sup>2</sup> στην 3<sup>η</sup> δοκιμή, εκτός αν διαφορετικά καθοριστεί.

5) Αποσυνδέουμε τα δύο τμήματα του κιβωτίου (ξεβιδώνουμε τις βίδες) και εφαρμόζουμε οριζόντια ώθηση περιστρέφοντας τον στρόφαλο.

Η οριζόντια ταχύτητα που προσδίνουμε είναι από 0,5 μέχρι 2 MM ανά λεπτό.

Παίρνουμε ενδείξεις στο κατακόρυφο μηκυσιόμετρο και στο μηκυσιόμετρο του δυναμόμετρου σε κάθε 50 ενδείξεις του οριζόντιου μηκυσιόμετρου.

Το δοκίμιο πρέπει να «αστοχήσει» σε 3 μέχρι 5 λεπτά για μη συνεκτικό έδαφος και σε 5 μέχρι 10 λεπτά για συνεκτικό έδαφος.

Γίνονται συνολικά τρεις δοκιμές αυξάνοντας την ορθή τάση σε κάθε δοκιμή.

#### 1.4.1.6. ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ UNCONFINED COMPRESSION TESTING (A.A.S.H.T.O.: T 208-70)

##### Σκοπός:

Αυτή η δοκιμή είναι μια γρήγορη δοκιμή για την εκτίμηση της συνοχής (C) των συνεκτικών εδαφών.

##### Ορισμοί:

Κατά τη δοκιμή αυτή, το δοκίμιο διαμορφώνεται κυλινδρικό και εφαρμόζεται αξονικό φορτίο (P). Αν είναι (A') η επιφάνεια του δοκιμίου σε κάθε χρονική στιγμή, τότε η ορθή τάση θα είναι:

$$\sigma = P / A'$$

Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ( $q_u$ ) του εδάφους ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει τη μία από τις ακόλουθες καταστάσεις:

A) γίνεται θραύση

B) η παραμόρφωση γίνεται 20% (χωρίς να έχει προηγηθεί θραύση)

Από τις δυο αυτές τάσεις θα δεχόμαστε σαν αντοχή του δοκιμίου αυτή που χρονικά εμφανίζεται πρώτη.

Η ανηγμένη αξονική παραμόρφωση ( $\epsilon$ ) ορίζεται από τη σχέση:

$$\epsilon = (\Delta H) / H_0$$

και είναι:  $\Delta H$  η ολική αξονική βράχυνση του δοκιμίου μέχρι εκείνη τη στιγμή

$H_0$  το αρχικό ύψος του δοκιμίου.

##### Προϋποθέσεις:

Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο κάτω από τις παρακάτω προϋποθέσεις:

A) Να είναι το έδαφος **συνεκτικό**, γιατί το δοκίμιο είναι ελεύθερο πλευρικά.

B) Η γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi = 0$ .

Γ) Η δοκιμή να ολοκληρώνεται μέσα σε **15 min** το πολύ, για να μην χάνει υγρασία το δοκίμιο, οπότε η  $\phi$  να διατηρείται ίση με μηδέν.

Συνεπώς η δοκιμή γίνεται σε **κορεσμένα αργιλικά δοκίμια**.

### Εργαστηριακός εξοπλισμός

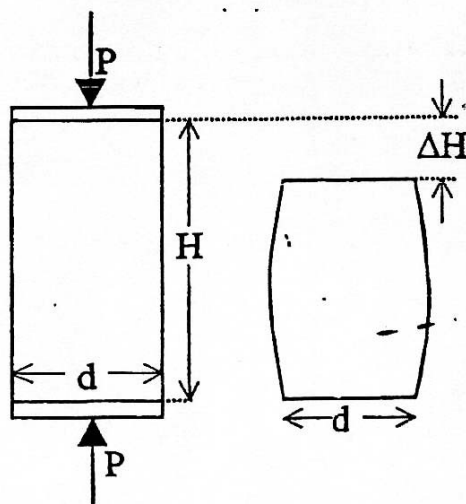
Συσκευή για την εκτέλεση της δοκιμής, εφοδιασμένη με:

- Μετρητή παραμορφώσεως, που έχει ικανότητα ανάγνωσης 0,01mm.
- Δακτύλιο ανάγνωσης των ασκούμενων φορτίων.
- Παχύμετρο.
- Χρονόμετρο.
- Κλίβανο θερμοκρασίας  $105 \pm 5$  °C.
- Ζυγαριές με ακρίβεια 0,1 gr και 0,01 gr.
- Δοχεία, εργαλεία κοπής και αναζύμωσης, εξολκέα.

### Δοκίμιο

Το δοκίμιο μπορεί να είναι:

- Αδιατάραχτο
- Αναζυμώμενο



Τα αδιατάραχτα δοκίμια παρασκευάζονται από μεγάλα αδιατάραχτα δοκίμια, τα οποία παίρνονται με δειγματοληπτικούς σωλήνες λεπτών τοιχωμάτων.

Τα δοκίμια καπελώνονται με γύψο όταν οι βάσεις τους είναι ανώμαλες.

Τα αναζυμωμένα δοκίμια παρασκευάζονται με αναζύμωση του αδιατάρακτου δείγματος μέσα σε λεπτή ελαστική μεμβράνη με τα δάχτυλα για να διατηρηθεί η υγρασία.

Το δοκίμιο που θα προκύψει πρέπει:

- Να μην έχει εγκλωβισμένο αέρα.
- Να έχει ομοιόμορφη πυκνότητα.
- Να έχει τη φυσική του υγρασία και το φυσικό λόγο κενών.

Το δοκίμιο στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε κυλινδρικό τύπο με τους παρακάτω περιορισμούς:

- Η ελάχιστη διάμετρος του δοκιμίου θα είναι 3,30 cm.
- Ο μεγαλύτερος κόκκος του δοκιμίου πρέπει να είναι μικρότερος από το 1/10 της διαμέτρου του δοκιμίου. Για δοκίμια με διάμετρο μεγαλύτερη από 7,15 cm, το μέγεθος του μεγαλύτερου κόκκου πρέπει να είναι μικρότερο από το 1/6 της διαμέτρου.
- Ο λόγος του ύψους του δοκιμίου (H) προς τη διάμετρό του (D) πρέπει να είναι  $2 \leq H / D \leq 3$ , για να μη γίνεται λυγισμός.



*Κυλινδρικά δοκίμια πριν και μετά τη δοκιμή*



*Μηχανή ανεμπόδιστης θλίψης*



## Πορεία δοκιμής

Εφαρμόζεται το φορτίο ώστε να προσδίνεται ανηγμένη αξονική παραμόρφωση 1/2% μέχρι 2% ανά λεπτό και καταγράφονται οι τιμές του φορτίου και οι παραμορφώσεις κάθε 30 sec.

Για δοκίμιο με ύψος 76 mm η παραμόρφωση ( $\Delta H$ ) ανά λεπτό μπορεί να είναι μεταξύ 0,38 mm και 1,52 mm.

Η ταχύτητα παραμόρφωσης ρυθμίζεται έτσι ώστε ο χρόνος θραύσης για τα μη καλυμμένα δοκίμια να μην ξεπερνάει τα 10 λεπτά.

Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι να παρατηρηθεί μείωση της τιμής του φορτίου ή μέχρι να εμφανιστεί ανηγμένη παραμόρφωση ίση με 20%.

Όταν τελειώσει η δοκιμή πρέπει να σχεδιαστεί σκαρίφημα που να δείχνει τον τρόπο θραύσης του δοκιμίου.

## Υπολογισμοί

Η ανηγμένη παραμόρφωση ορίστηκε ως:

$$\varepsilon = (\Delta H) / H_0$$

Ο αρχικός όγκος του δοκιμίου είναι:  $V = A * H_0$

A: το εμβαδό της κάθετης επιφάνειας στον άξονα του κυλίνδρου (βάση).

Δεχόμαστε ότι η δοκιμή συμβαίνει δίχως μεταβολή του όγκου του δοκιμίου.

Αν το βαρελάκι του δοκιμίου εξομοιωθεί με κύλινδρο βάσης  $A'$  και ίσου ύψους, τότε ο όγκος του θα δίνεται από τη σχέση:

$$V' = A' * (H_0 - \Delta H)$$

Αλλά είναι αμετάβλητος ο όγκος:  $V = V'$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:

$$A' = A / (1 - \varepsilon)$$

Η τελευταία σχέση δίνει τη διατομή του κυλίνδρου σε συνάρτηση με την ανηγμένη αξονική παραμόρφωση ( $\epsilon$ ).

Από το δοκίμιο είναι γνωστά τα μεγέθη:  $A$ ,  $H_0$

Για κάθε μέτρηση είναι γνωστά τα:  $(\Delta H)$ ,  $P$

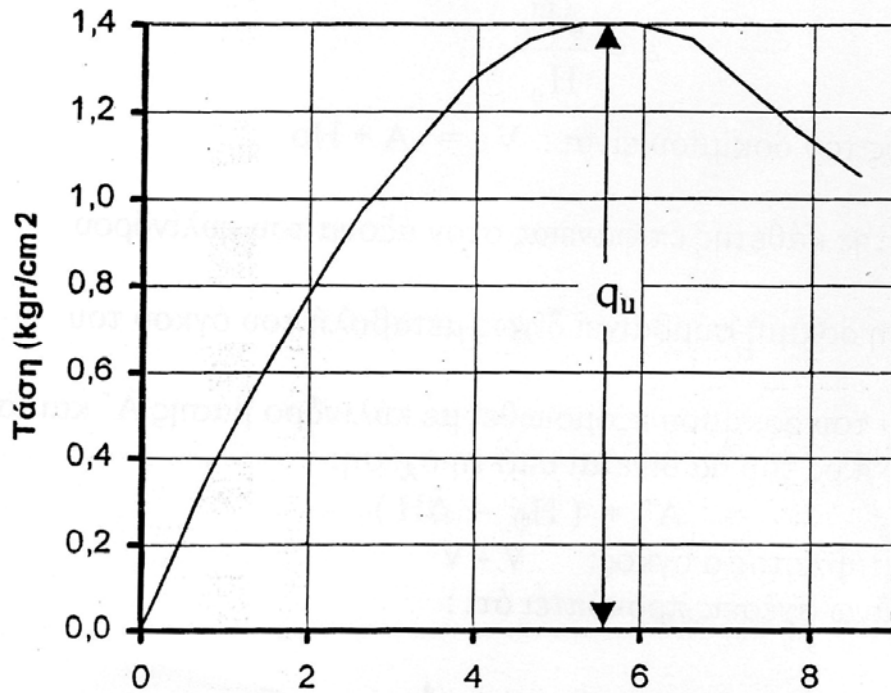
Για κάθε μέτρηση θα προσδιορίζονται τα:  $\epsilon$ ,  $\sigma$  από τις σχέσεις:

$$\epsilon = (\Delta H) / H_0 \qquad \sigma = P / A' \qquad A' = A / (1 - \epsilon)$$

Και θα προκύπτουν σημεία  $K$  με συντεταγμένες  $K$  ( $\epsilon$ ,  $\sigma$ ) στο διάγραμμα με άξονες ( $\epsilon\%$ ) και ( $\sigma$ ).

Τα διάφορα σημεία  $K$  θα ενώνονται με συνεχή γραμμή και από την καμπύλη που προκύπτει θα καθορίζεται η αντοχή στην ανεμπόδιση θλίψη. Αυτή θα είναι η ( $\sigma$ ) που αντιστοιχεί στη θραύση ή η ( $\sigma'$ ) που αντιστοιχεί στην  $\epsilon = 20\%$ .

Από το ίδιο διάγραμμα μπορεί να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους  $E$  που είναι η κλίση της ευθείας στις αρχικές παραμορφώσεις. Στο δελτίο θα αναφέρονται όλα τα χαρακτηριστικά της δοκιμής.



### Αποτελέσματα

Από το διάγραμμα του Mohr προκύπτει ότι η συνοχή  $c$  ισούται με το μισό της αντοχής στην ανεμπόδιστη θλίψη.

$$C = q_u/2$$

(Σημειώσεις Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ)

#### **1.4.2. ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ**

##### **A) ΓΙΑ ΤΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ**

Πραγματοποιούμε τις δοκιμές των ορίων ATTERBERG , της κοκκομετρικής ανάλυσης και τη δοκιμή της άμεσης διάτμησης ενώ βρίσκουμε το δείκτη συμπίεστότητας  $C_c$  μέσω ενός εμπειρικού τύπου. Η δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης , γίνεται συμπληρωματικά για την εύρεση της συνοχής.

##### **Δείκτης συμπίεστότητας $C_c$**

Ένας γνωστός εμπειρικός τύπος που συνδέει το δείκτη συμπίεστότητας με το όριο υδαρότητας είναι:  $C_c = A (LL - 10)$  όπου  $A$  η ενεργότητα που ορίζεται από τον δείκτη πλαστικότητας προς του επί % αργιλικού κλάσματος του δείγματος.

$$A = I_p / N\%$$

(Το  $N\%$  βρίσκεται από την κοκκομετρική καμπύλη του λεπτόκοκκου δείγματος, όπως θα δείξουμε παρακάτω).

## B) ΓΙΑ ΤΑ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ

### 1.4.2.1. Εισαγωγή

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε μια μέθοδο που αναλύεται στην διδακτορική διατριβή του Ν. Δ. Παπαχαρίση που υποβλήθηκε στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Με τη μέθοδο αυτή αποφεύγεται η απώλεια χρόνου και η αύξηση της δαπάνης. Επιπλέον αυξάνεται η ακρίβεια των υπολογισμών λόγω προσδιορισμού της γωνίας εσωτερικής τριβής από την εκάστοτε κοκκομετρική καμπύλη, ενός φάσματος κοκκομετρικών διαβαθμίσεων όπως παρουσιάζονται επιτόπου στα μεγάλα τεχνικά έργα.

### 1.4.2.2. Γενικά

Η κλασική εδαφομηχανική στηρίζεται στις πλαστικές τάσεις και περισσότερο στις τάσεις οι οποίες εμφανίζονται κατά την στιγμή της θραύσης του εδάφους, δηλαδή δέχεται πλαστική κατάσταση στην περιοχή θραύσης και στην υπόλοιπη περιοχή, ελαστική.

Στις δοκιμές συνεκτικών εδαφών, το μέγεθος των δομικών είναι μικρών διαστάσεων, λόγω των ελαχίστων διαστάσεων των κόκκων του εδαφίου υλικού. Στα δοκίμια των ψαθυρών εδαφών οι απαιτούμενες διαστάσεις αυξάνονται ανάλογα με τη μέγιστη διάμετρο των περιεχόμενων κόκκων. Βασικά, επιδιώκεται ο λόγος της διαμέτρου του δείγματος ( $ds$ ) προς την μέγιστη διάσταση των κόκκων ( $d_{max}$ ), να είναι μεγαλύτερος του 10, δηλαδή  $ds/d_{max} > 10$ . λόγω αυτών των απαιτήσεων, για τις διαστάσεις των δειγμάτων, χρησιμοποιούνται συσκευές τις οποίες οι θάλαμοι των δειγμάτων έχουν ανάλογες διαστάσεις. Αυτό έχει ως επακόλουθο την αύξηση του κόστους προμήθειας αυτών, με συνέπεια την ύπαρξη ανάλογων συσκευών σε ειδικά μόνο εργαστήρια κυρίως ερευνητικά. Ως εκ τούτου η ύπαρξη συσκευών προς εύρεση της γωνίας εσωτερικής τριβής  $\phi$ , για δοκίμια μεγάλων διαστάσεων σε εργοτάξια, καθίσταται αδύνατον.

Συνέπεια αυτού είναι η δύσκολη αντιμετώπιση των προβλημάτων επιλογής υλικού άμεσα, κατά τη διάρκεια κατασκευής των έργων. Συνήθως, μια αλλαγή υλικού ενός δανειοθαλάμου δημιουργεί προβλήματα ως προς την άμεση εύρεση της παραμέτρου της γωνίας εσωτερικής τριβής του υλικού αυτού και επιπλέον οικονομική επιβάρυνση. Χαρακτηριστικό είναι ότι στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά δείγματα εδάφους ψαθυρών εδαφών που περιέχουν κόκκους μεγάλων διαστάσεων που στέλνονται στο εξωτερικό.

Είναι φανερό ότι οι πειραματικοί προσδιορισμοί δεν μπορούν να γίνονται επί όλου του φάσματος των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων σ' ένα τεχνικό έργο αλλά σε χαρακτηριστικά στάδια. Επακόλουθο αυτού είναι ο περιορισμός της ακρίβειας των χαρακτηριστικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στη μελέτη του έργου. Χαρακτηριστικό πρόβλημα παραμένει, ο καθορισμός υλικών, τα οποία αποτελούν χαρακτηριστική παράμετρο αντοχής.

Δύο είναι τα προβλήματα προς αντιμετώπιση των ψαθυρών εδαφών ως προς τα κοκκώδη υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα, φράγματα, αναχώματα, βάσεις οδών βαρείας κυκλοφορίας κ.τ.λ. Αυτά είναι: [α] προσδιορισμός των χαρακτηριστικών παραμέτρων αντοχής των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν και [β] ο εκ των προτέρων καθορισμός των απαιτούμενων υλικών.

Από πειραματικές δοκιμές εργοταξίων για την κοκκομετρική ανάλυση των εδαφών, γνωστού ότι η κοκκομετρική διαβάθμιση επηρεάζει την αντοχή του εδάφους, θεωρήθηκε ότι ως βάση για την επίλυση του προβλήματος πρέπει να τεθεί η κοκκομετρική ανάλυση.

Από δοκιμές εργαστηρίων σε προκατασκευασμένα εδαφικά δείγματα κοκκωδών υλικών, προέκυψε μια σχέση η οποία στηρίζεται στα δεδομένα της κοκκομετρικής διαβάθμισης των συγκεκριμένων εδαφών. Με τη σχέση αυτή είναι εφικτό να αντιμετωπισθούν τα παρακάτω προβλήματα. [α] γνωρίζοντας την κοκκομετρική διαβάθμιση ενός ψαθυρού εδάφους να προσδιορίζεται η γωνία εσωτερικής τριβής του και [β] για συγκεκριμένη τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής  $\phi$  να καθορίζεται εκ των προτέρων η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού.

Γενικότερα η εξυπηρέτηση της μεθόδου που παρουσιάζεται είναι ότι δεν χρειάζεται να κάνουμε τις κλασσικές δοκιμές αντοχής, παρά μόνο μία κοκκομετρική ανάλυση. Κατόπιν συγκρίνουμε τη κοκκομετρική καμπύλη που προκύπτει με άλλες που έχουμε από άλλες δοκιμές. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή οι παράλληλες κοκκομετρικές αντιπροσωπεύουν χονδρόκοκκα εδάφη με την ίδια περίπτωση γωνία εσωτερικής τριβής.

#### **1.4.2.3. Χρήσιμες σχέσεις και ορισμοί**

##### **Ο Συντελεστής του Hazen(συντελεστής ομοιομορφίας)**

Καλείται ο λόγος της τιμής της διαμέτρου των διερχόμενων κόκκων σε ποσοστό 60% του συνόλου ως προς την τιμή της διαμέτρου των διερχόμενων κόκκων σε ποσοστό 10%.

##### **Κρίσιμος δείκτης πόρων $e_{cr}$**

Συμβαίνει σε μια πυκνή άμμο να παρατηρείται αύξηση του δείκτη πόρων με αυξανόμενες παραμορφώσεις ενώ σε μια χαλαρή να παρατηρείται ελάττωση του δείκτη πόρων. Για μεγάλες παραμορφώσεις οι δείκτες πόρων αμφότερων των καταστάσεων αρχικής συμπίκνωσης τείνουν προς

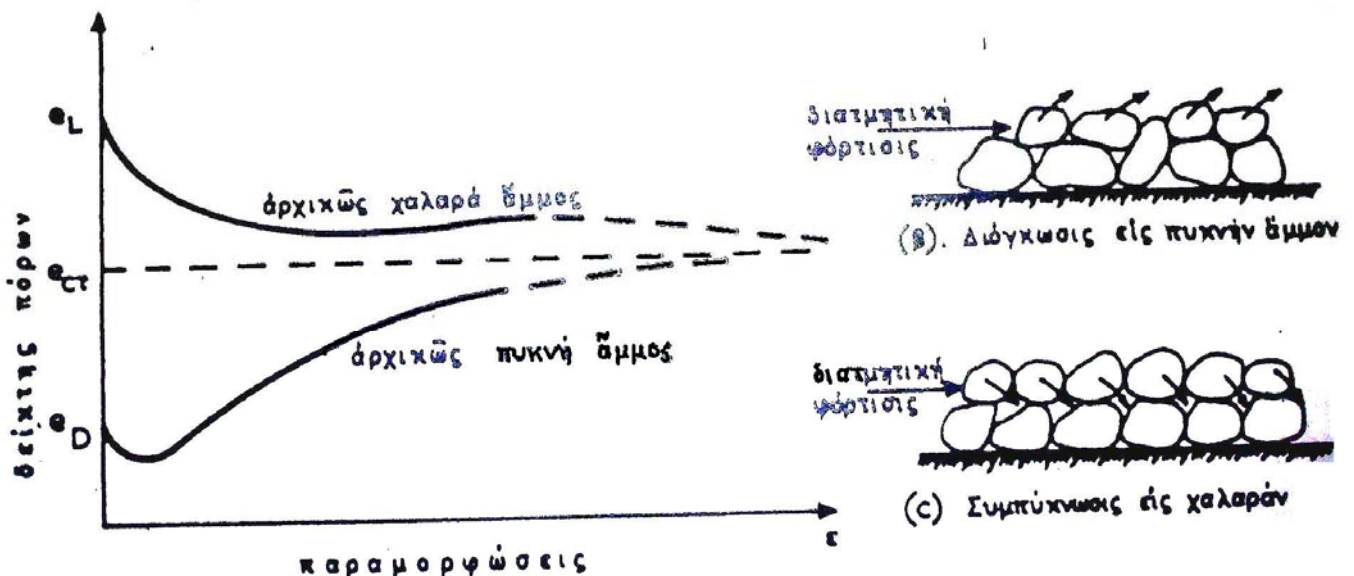
την τιμή αυτή, η οποία καλείται «κρίσιμος δείκτης πόρων»  $e_{cr}$ . Από αυτό έπεται ότι η άμμος όταν βρίσκεται υπό τον κρίσιμο δείκτη πόρων κατά τη

διάρκεια της διάτμησης, δεν μεταβάλλει τον όγκο της. Η πυκνότητα που αντιστοιχεί στον κρίσιμο δείκτη πόρων καλείται «κρίσιμη πυκνότητα».

Η εικόνα 3α δικαιολογεί τη μεταβολή του όγκου και του δείκτη πόρων κατά τη διάτμηση άμμου. Στην εικόνα 3β παρουσιάζεται πυκνή άμμος, της οποίας οι κόκκοι, υπό την επήρεια διατμητικής δύναμης, κινούνται προς τα πάνω ενώ τα αντίθετα συμβαίνουν σε χαλαρή άμμο. Το ότι δύο κατηγορίες άμμων καταλήγουν σε αυτό το δείκτη πόρων ασύμπτωτα είναι αποτέλεσμα της τελικής τους αντοχής, η οποία είναι περίπου ίδια.

#### 1.4.2.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση των ψαθυρών εδαφών κατά τη διάρκεια της διάτμησης.

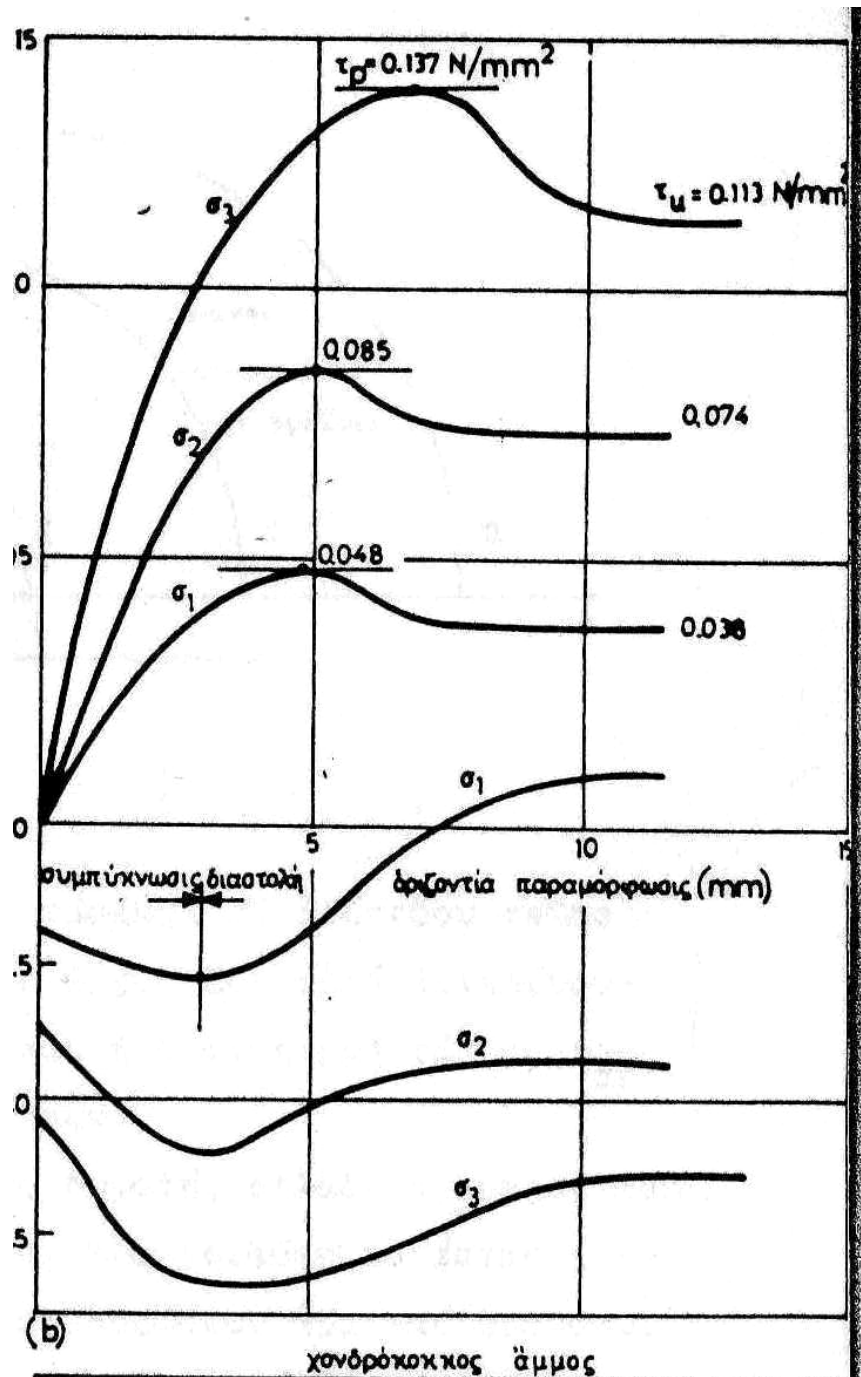
Στην παράγραφο 2.2. Εικ. 3 φαίνεται ότι μια άμμος υποκείμενη σε διάτμηση, αναλόγων της αρχικής της κατάστασης, πυκνής ή χαλαρής, με αντίστοιχους αρχικούς δείκτες πόρων  $e_D$  και  $e_L$ , παραμορφωμένη αυξάνει ή ελαττώνει τον όγκο της, καταλήγοντας σ' ένα δείκτη πόρων,  $e_{cr}$ , κρίσιμο με όγκο μη μεταβαλλόμενο περαιτέρω, υπό κρίσιμη πυκνότητα. Ο κρίσιμος δείκτης πόρων ως εκ τούτου είναι μια σταθερά του υλικού.



(α) Σχέσεις, δείκτη πόρων—παραμορφώσεων



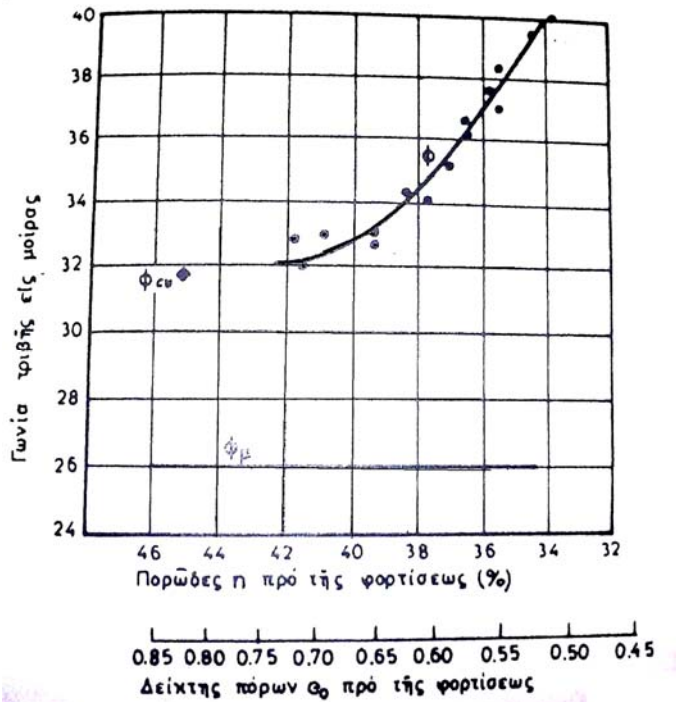
Εικ.3 Μεταβολή όγκου ψαθυρού εδάφους κατά την διάρκεια διάτμησης



Εικόνα 3α

Εικόνα 3β

Στην παρακάτω εικόνα δίδεται μια σχέση μεταξύ του δείκτη πόρων  $e_0$ , ή του πορώδους  $n$ , και των διαφόρων γενιών τριβής.



ΕΙΚ.11 Διάγραμμα γωνίας τριβής προς αρχικό δείκτη πόρων λεπτής άμμου.

Η δοκιμή στην οποία ελέγχεται ο όγκος του δοκιμίου περιλαμβάνει δοκίμιο πυκνής άμμου στο οποίο απαιτείται αύξηση της πλευρικής πίεσης. Ως αποτέλεσμα έχει την ανάπτυξη μεγαλύτερης τελικής φόρτισης στο δοκίμιο. Στην περίπτωση δοκιμίου με χαλαρή άμμο απαιτείται η ελάττωση της πλευρικής πίεσης με αποτέλεσμα την πτώση της τελικής φόρτισης.

Στην δοκιμή της πυκνής άμμου, λόγω της αύξησης της διατμητικής αντοχής υπό σταθερό όγκο παρατηρείται θραύση των εδαφών λόγω υπερνίκησης των δυνάμεων τριβής, οπότε και παρατηρούνται μεγαλύτερες παραμορφώσεις.

Μετά από σειρά δοκιμών έχει αποδειχθεί ότι τις περισσότερες φορές η γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$  είναι η ίδια, ενώ τις υπόλοιπες είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση θραύσεως από ελκυσμό.

Ως προς την επίδραση του ρυθμού φορτίσεως, στη γωνία τριβής  $\varphi$ , γίνεται δεκτό ότι η αύξησή του επιφέρει αύξηση στην  $\tan\varphi$  κατά 10% ή κατ' άλλους 1-2%, τιμή η οποία είναι και η πιθανότερη.

Η περιεχόμενη υγρασία της άμμου είναι πάντοτε μικρή, εκτός αν έχει ξηραθεί στον κλίβανο. Η επιρροή αυτή στις εργαστηριακές δοκιμές είναι ελάχιστη και σπανίως λαμβάνεται υπ' όψιν στους υπολογισμούς. Στην περίπτωση ξήρανσης της άμμου στον κλίβανο τα αποτελέσματα εμφανίζονται αυξημένα μέχρι και 5°. Η ελάττωση της τιμής της γωνίας τριβής από την υγρασία οφείλεται κυρίως στο λιπαντικό ρόλο του νερού.

#### **1.4.2.5. Παράγοντες διαφοροποίησης της διατμητικής αντοχής των ψαθυρών εδαφών.**

Η επιρροή της κοκκομετρικής διαβάθμισης στην διατμητική αντοχή ενός ψαθυρού εδάφους είναι φανερή με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με τον αρχικό δείκτη πόρων και ο δεύτερος απ' ευθείας με την γωνία εσωτερικής τριβής. Σε εδάφη διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης, με την ίδια ενέργεια συμπυκνώσεως συνήθως παρουσιάζεται διαφορετικός αρχικός δείκτης πόρων. Επίσης με την ίδια ενέργεια συμπυκνώσεως ώστε να επιτυγχάνεται ο ίδιος αρχικός δείκτης πόρων παρουσιάζεται διαφορετική γωνία τριβής.

#### 1.4.2.6. Παράγοντες που οδηγούν στην εύρεση εμπειρικού τύπου

Μελετώντας τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη γωνία εσωτερικής τριβής και με προϋπόθεση ότι ο προσδιορισμός της θα καθίσταται δυνατόν σε οποιοδήποτε εργοτάξιο χωρίς ειδικές συσκευές και με οποιοδήποτε μέγεθος κόκκων αναζητήθηκε μια μέθοδος η οποία θα πληροί τις προϋποθέσεις αυτές αλλά θα είναι οικονομική, γρήγορη και ακριβής.

Υπό το πνεύμα αυτό ορίστηκε ένας πειραματικός τύπος ο οποίος να περιέχει τους παραπάνω παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την γωνία εσωτερικής τριβής.

Για την πραγματοποίηση του τύπου αυτού κατασκευάστηκε και η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας ή συντελεστής του Hazen  $U = d_{60}/d_{10}$ , σταθερός για την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση και ίσος με παράλληλες κοκκομετρικές καμπύλες. Κατόπιν αυτών θεωρήθηκε σκόπιμο να διεξαχθεί μια σειρά πειραμάτων απ' ευθείας διάτμησης με προκατασκευασμένες καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης και σε όσο το δυνατόν ευρύτερο φάσμα της περιοχής των ψαθυρών εδαφών, με έλεγχο όλων των επηρεαζόμενων παραγόντων.

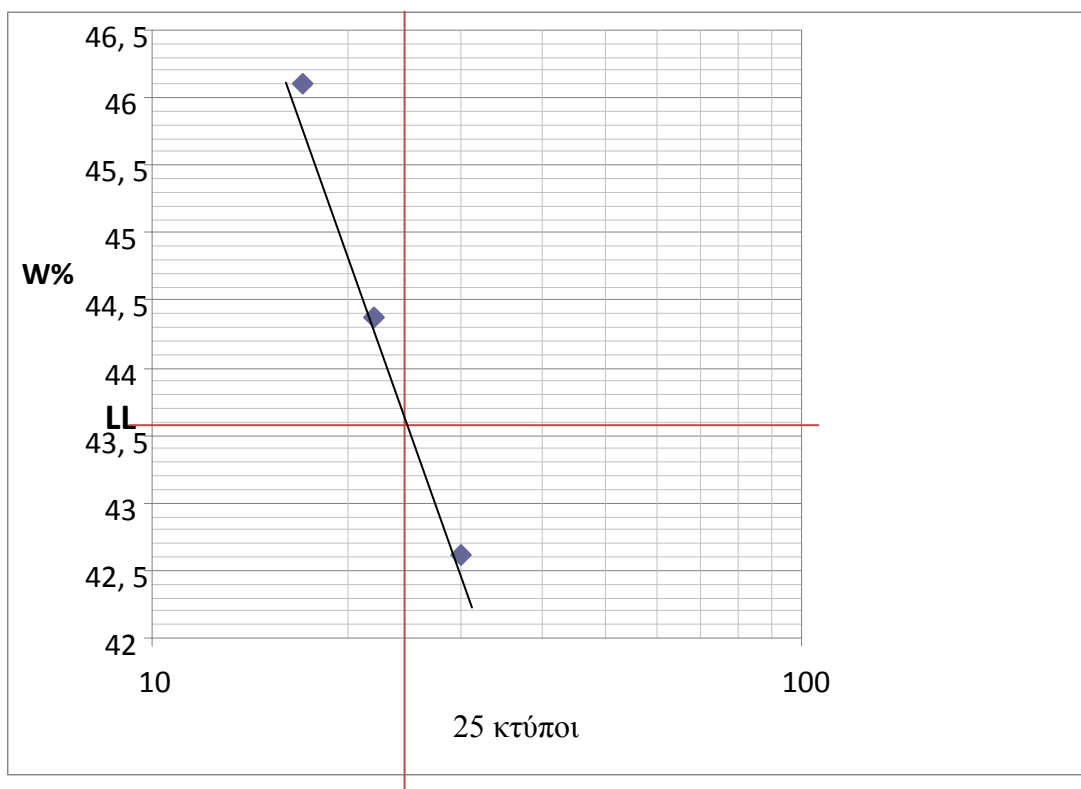
Το υλικό χωρίστηκε σε κλάσματα με κόσκινα U.S. Standard. Χρησιμοποιήθηκαν κόσκινα της σειράς χονδρών κοσκίων  $1\frac{1}{2}''$ ,  $1''$ ,  $\frac{3}{4}''$ ,  $\frac{1}{2}''$ ,  $\frac{3}{8}''$  και της σειράς λεπτών κοσκίων 30, 60, 100 και 200.

### 1.4.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ (LL)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	1	2	3
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ	30	22	17
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	55	52	40
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ & ΚΑΨΑΣ	31,64	30,7	31,12
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ & ΚΑΨΑΣ	28,75	28,18	28,34
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	21,97	22,5	22,31
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	2,89	2,52	2,78
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	6,78	5,68	6,03
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	42,62	44,37	46,1
Μ.Ο ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ%		<b>44,36</b>	

κτύποι	30	22	17
w%	42,62	44,37	46,1

Από το παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ότι στους 25 κτύπους: **LL=43,6%**



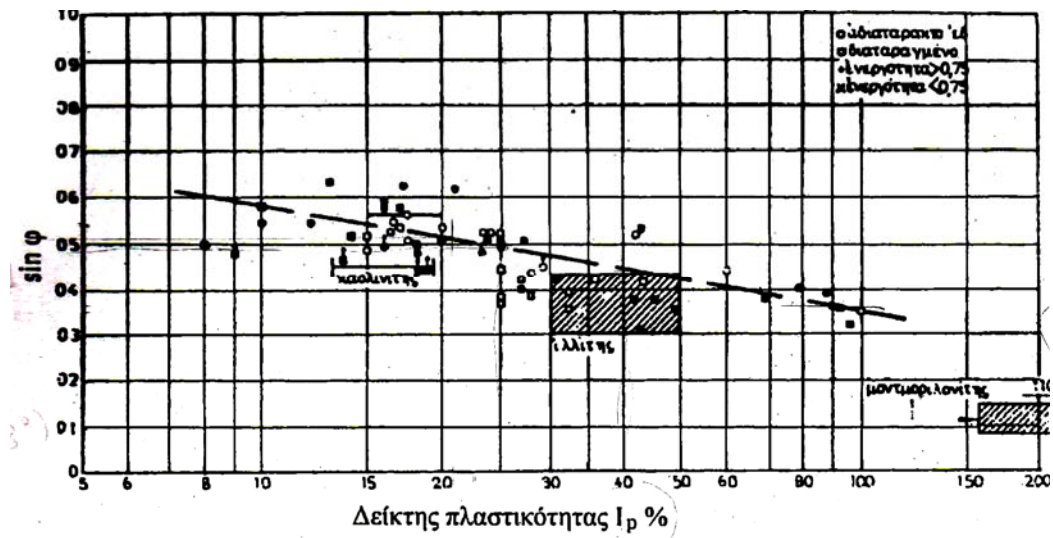


*-Συσσκευή casagrande-*

**ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	1	2
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ	44	53
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ & ΚΑΨΑΣ	27,56	25,82
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ & ΚΑΨΑΣ	22,44	25,14
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	21,78	22,2
ΒΑΡΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	5,12	0,68
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	0,66	2,94
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ%	ΑΚΥΡΗ ΤΙΜΗ	23,13
Μ.Ο ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ%		<b>23,13</b>

$IP = LL - LP$   
 $IP = 43,6 - 23,13 = 20,47\%$



Για  $Ip = 20,47\%$  το  $\sin \phi = 0,51$   
 Άρα  $\phi = 28^\circ$

### Δείκτης συμπιεστότητας $C_c$

Ένας γνωστός εμπειρικός τύπος που συνδέει το δείκτη συμπιεστότητας με το όριο υδαρότητας είναι:  $C_c = A (LL - 10)$  όπου  $A$  η ενεργότητα που ορίζεται από τον δείκτη πλαστικότητας προς του επί % αργλικού κλάσματος του δείγματος.

$$A = I_p / N\%$$

$$A = 20,47/0,286=0,0072$$

(Το  $N\%$  βρίσκεται από την κοκκομετρική καμπύλη του λεπτόκοκκου δείγματος, όπως θα δείξουμε παρακάτω).

$$C_c = 0,0072(43,6-10)$$

$$C_c = 0,242$$



**ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ  
(ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ – ΑΜΜΟΥ) ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

<b>Χονδρόκοκκο κλάσμα P<sub>χ</sub>%=0%</b>					
<b>Βάρος : 0 gr</b>					
<b>Λεπτόκοκκο κλάσμα P<sub>λ</sub>%=100%</b>					
<b>Βάρος : 47,07 gr</b>					
<b>No10</b>	<b>0</b>	<b>47,07</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>No16</b>	<b>0,99</b>	<b>46,08</b>	<b>97,9</b>	<b>97,9</b>	<b>97,9</b>
<b>No30</b>	<b>1,88</b>	<b>44,2</b>	<b>93,3</b>	<b>93,9</b>	<b>93,9</b>
<b>No40</b>	<b>1,3</b>	<b>42,9</b>	<b>91,14</b>	<b>91,14</b>	<b>91,14</b>
<b>No50</b>	<b>0,54</b>	<b>42,36</b>	<b>89,99</b>	<b>89,99</b>	<b>89,99</b>
<b>No200</b>	<b>7,23</b>	<b>35,13</b>	<b>74,63</b>	<b>74,63</b>	<b>74,63</b>

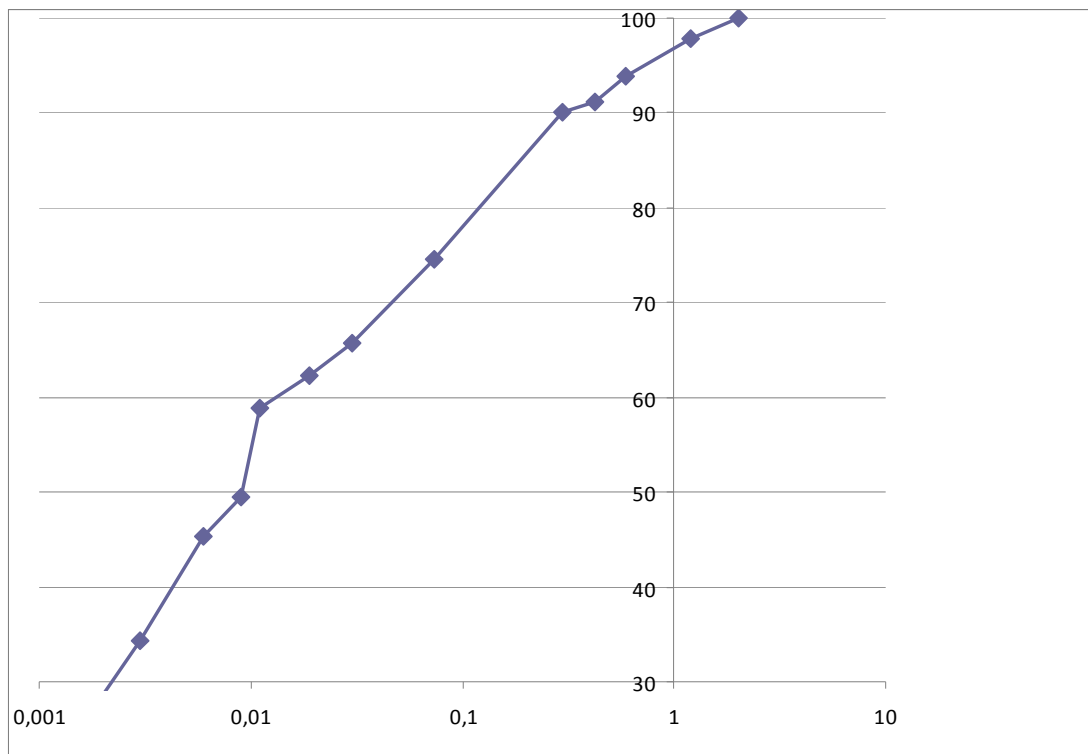
**ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ**

<b>Χρόνος min</b>	<b>D mm</b>	<b>Θερμο κρασία C</b>	<b>Ri</b>	<b>Διορθω μένη πυκν. (c)</b>	<b>R-1 =(Ri+c)- 1</b>	<b>P% 1606(R-1)*α /Pπυκν.ξ.</b>	<b>Pα%</b>
<b>0</b>		<b>27</b>					
<b>2</b>	<b>0,041</b>	<b>27</b>	<b>1,022</b>	<b>-0,00255</b>	<b>0,01945</b>	<b>0,657</b>	<b>65,7</b>
<b>5</b>	<b>0,026</b>	<b>27</b>	<b>1,021</b>	<b>-0,00255</b>	<b>0,01845</b>	<b>0,623</b>	<b>62,3</b>
<b>15</b>	<b>0,015</b>	<b>27</b>	<b>1,020</b>	<b>-0,00255</b>	<b>0,01745</b>	<b>0,589</b>	<b>58,9</b>
<b>30</b>	<b>0,011</b>	<b>27</b>	<b>1,0172</b>	<b>-0,00255</b>	<b>0,01465</b>	<b>0,495</b>	<b>49,5</b>
<b>60</b>	<b>0,007</b>	<b>27</b>	<b>1,016</b>	<b>-0,00255</b>	<b>0,01345</b>	<b>0,454</b>	<b>45,4</b>
<b>250</b>	<b>0,004</b>	<b>26</b>	<b>1,013</b>	<b>-0,00280</b>	<b>0,01020</b>	<b>0,344</b>	<b>34,4</b>
<b>1440</b>	<b>0,002</b>	<b>27</b>	<b>1,011</b>		<b>0,011</b>	<b>0,371</b>	<b>37,1</b>

$D = D' * K_L * K_G * K_N$					
Χρόνος (min)	D'	K <sub>L</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>N</sub>	D(mm)
2	0,041	0,8	0,99	0,92	0,030
5	0,026	0,81	0,99	0,92	0,019
15	0,015	0,82	0,99	0,92	0,011
30	0,011	0,87	0,99	0,92	0,009
60	0,007	0,88	0,99	0,92	0,006
250	0,004	0,9	0,99	0,93	0,003
1440	0,002	0,91	0,99	0,92	0,002

Οι συντελεστές K<sub>L</sub>, K<sub>G</sub>, K<sub>N</sub>, υπολογίζονται από τους πίνακες που παρατίθενται παρακάτω.

*κοκκομετρική καμπύλη λεπτόκοκκου (άργιλος - άμμος) δείγματος*



## Τιμές του $\alpha$ για διάφορα εδάφη

Ειδικό βάρος	σταθερά $\alpha$
2,95	0,94
2,90	0,95
2,85	0,96
2,80	0,97
2,75	0,98
2,70	0,99
2,65	1,00
2,60	1,01
2,55	1,02
2,50	1,03
2,45	1,05

Πίνακας 4

Σύνθετες διορθώσεις επί των ενδείξεων που διαβάζονται στο πρότυπο, κατά Α.Α.Σ.Η.Ο., υδρομέτρο εδάφους 151 Η, για τις αναγραφόμενες θερμοκρασίες και διαλύματα διασποράς (I), ώστε να γίνει αναγωγή αυτών σε ενδείξεις μέσα σε αποσταγμένο νερό θερμοκρασίας 20°C.

Θερμοκρασία του διαλύματος Βαθμοί °C	Διόρθωση της ενδείξεως του υδρομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	NaPO <sub>3</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>12</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>3</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>6</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub> Ειδ. Βάρος
19	-0.00456	-0.00214	-0.00214	-0.00342
19 1/2	-0.00443	-0.00204	-0.00204	-0.00330
20	-0.00430	-0.00193	-0.00193	-0.00318
20 1/2	-0.00418	-0.00183	-0.00183	-0.00308
21	-0.00404	-0.00173	-0.00173	-0.00298
21 1/2	-0.00392	-0.00162	-0.00162	-0.00286
22	-0.00399	-0.00151	-0.00151	-0.00276
22 1/2	-0.00367	-0.00141	-0.00141	-0.00265
23	-0.00354	-0.00131	-0.00131	-0.00254
23 1/2	-0.00342	-0.00120	-0.00120	-0.00243
24	-0.00329	-0.00110	-0.00110	-0.00232
24 1/2	-0.00316	-0.00100	-0.00100	-0.00222
25	-0.00304	-0.00089	-0.00089	-0.00211
25 1/2	-0.00292	-0.00079	-0.00079	-0.00200
26	-0.00280	-0.00068	-0.00068	-0.00190
26 1/2	-0.00267	-0.00058	-0.00058	-0.00179
27	-0.00255	-0.00067	-0.00047	-0.00168
27 1/2	-0.00244	-0.00037	-0.00037	-0.00158
28	-0.00232	-0.00027	-0.00027	-0.00148
28 1/2	-0.00220	-0.00017	-0.00017	-0.00137
29	-0.00207	-0.00006	-0.00006	-0.00125
29 1/2	-0.00195	+0.00004	+0.00004	-0.00115
30	-0.00184	+0.00014	+0.00014	-0.00106
30 1/2	-0.00171	+0.00025	+0.00025	-0.00094
31	-0.00158	+0.00035	+0.00035	-0.00083
31 1/2	-0.00146	+0.00046	+0.00046	-0.00073
32	-0.00134	+0.00057	+0.00057	-0.00062
32 1/2	-0.00122	+0.00068	+0.00068	-0.00051
33	-0.00110	+0.00079	+0.00079	-0.00040
33 1/2	-0.00097	+0.00089	+0.00089	-0.00030

Θερμοκρασία του διαλύματος Βαθμοί °C	Διόρθωση της ενδείξεως του υδρομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	NaPO <sub>3</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>2</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>2</sub> P <sub>10</sub> O <sub>10</sub> Ειδ. Βάρος	Na <sub>2</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub> Ειδ. Βάρος
34	-0.00085	+0.00099	+0.00099	-0.00019
34 1/2	-0.00073	+0.00110	+0.00110	-0.00009
35	-0.00061	+0.00121	+0.00121	-0.00002

(1) Τα διαλύματα αυτά παρασκευάζονται δι' αραιώσεως 125 ml ετοιμού διαλύματος, όπως περιγράφεται στη παράγραφο 3.3., μέχρι συμπλήρωσεως 1000 ml.

Πίνακας 5

Συνθήκες διορθώσεως επί των ενδείξεων που διαβάζονται στο πρότυπο, κατά A.S.H.O., υδρομέτρο εδάφους 152 H, για τις αναγραφόμενες θερμοκρασίες και διαλύματα διασποράς (1), ώστε να γίνει αναγωγή αυτών σε ενδείξεις μέσα σε αποσταγμένο νερό θερμοκρασίας 20°C.

Θερμοκρασία του διαλύματος Βαθμοί °C	Διόρθωση της ενδείξεως του υδρομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	NaPO <sub>3</sub> g/L	Na <sub>2</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub> g/L	Na <sub>2</sub> P <sub>10</sub> O <sub>10</sub> g/L	Na <sub>2</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub> g/L
19	-7.4	-3.5	-3.5	-5.5
19 1/2	-7.2	-3.3	-3.3	-5.3
20	-6.9	-3.1	-3.1	-5.1
20 1/2	-6.7	-2.9	-2.9	-4.9
21	-6.5	-2.7	-2.7	-4.7
21 1/2	-6.3	-2.6	-2.6	-4.6
22	-6.1	-2.4	-2.4	-4.4
23	-5.8	-2.2	-2.2	-4.2
23 1/2	-5.6	-2.0	-2.0	-4.0
24	-5.4	-1.8	-1.8	-3.8
24 1/2	-5.2	-1.6	-1.6	-3.6
25	-4.9	-1.4	-1.4	-3.4
25 1/2	-4.7	-1.2	-1.2	-3.2
26	-4.5	-1.1	-1.1	-3.0
26 1/2	-4.3	-0.9	-0.9	-2.8
27	-4.1	-0.7	-0.7	-2.6
28	-3.8	-0.5	-0.5	-2.4
28 1/2	-3.6	-0.3	-0.3	-2.2
29	-3.4	-0.1	-0.1	-2.1

Θερμοκρασία του διαλύματος Βαθμοί °C	Διόρθωση της ενδείξεως του υδρομέτρου για τους παρακάτω παράγοντες διασποράς			
	NH <sub>4</sub> PO <sub>3</sub> g/L	Na <sub>2</sub> P <sub>10</sub> O <sub>31</sub> g/L	Na <sub>2</sub> P <sub>10</sub> O <sub>10</sub> g/L	Na <sub>2</sub> P <sub>4</sub> O <sub>13</sub> g/L
29 1/2	-3.2	+0.1	+0.1	-1.9
30	-3.0	+0.2	+0.2	-1.7
30 1/2	-2.7	+0.4	+0.4	-1.6
31	-2.5	+0.6	+0.6	-1.3
31 1/2	-2.3	+0.8	+0.8	-1.1
32	-2.1	+1.0	+1.0	-0.9
33	-1.9	+1.2	+1.2	-0.7
33 1/2	-1.7	+1.4	+1.4	-0.5
34	-1.4	+1.6	+1.6	-0.4
34 1/2	-1.2	+1.8	+1.8	-0.2
35	-1.0	+2.0	+2.0	0.0
35 1/2	-0.8	+2.1	+2.1	+0.2
36	-0.6	+2.3	+2.3	+0.4
36 1/2	-0.4	+2.5	+2.5	+0.6

(1) Τα διαλύματα παρασκευάζονται δι' αραιώσεως 125 ml ετοιμού διαλύματος, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.3., μέχρι συμπλήρωσεως 1000 ml.

Πίνακας 6

Εξεύρεση συντελεστού K<sub>L</sub> για το πυκνόμετρο 151 H

Πυκνότητα	K <sub>L</sub>	Πυκνότη.	K <sub>L</sub>	Πυκνότη.	K <sub>L</sub>
1065	0.408	1036	0.672	1010	0.907
1064	0.415	1035	0.680	1009	0.918
1063	0.424	1034	0.690	1008	0.927
1062	0.433	1033	0.699	1007	0.938
1061	0.442	1032	0.708	1006	0.946
1060	0.450	1031	0.718	1005	0.955
1059	0.459	1030	0.728	1004	0.962
1058	0.467	1029	0.737	1003	0.971
1057	0.478	1028	0.743	1002	0.980
1056	0.489	1027	0.752	1001	0.990
1055	0.500	1026	0.760	1000	1.000
1054	0.510	1025	0.770		
1053	0.518	1024	0.778		
1052	0.526	1023	0.788		
1051	0.535	1022	0.796		
1050	0.544	1021	0.805		

Πυκνότητα	KL	Πυκνότη.	KL	Πυκνότη.	KL
1049	0,552	1020	0,817		
1048	0,562	1019	0,825		
1047	0,572	1018	0,833		
1046	0,581	1017	0,841		
1045	0,590	1016	0,850		
1044	0,600	1015	0,860		
1043	0,608	1014	0,868		
1042	0,619	1013	0,878		
1041	0,628	1012	0,888		
1040	0,637	1011	0,896		
1039	0,643				
1038	0,652				
1037	0,662				

Πίνακας 7

Εξέλιξη συντελεστού  $K_L$  για πυκνόμετρο 152 Η

g/L	KL	g/L	KL	g/L	KL	g/L	KL
1		31	830	61	650	91	465
2		32	825	62	643	92	459
3		33	819	63	636	93	453
4	996	34	814	64	630	94	448
5	990	35	805	65	625	95	442
6	985	36	800	66	621	96	437
7	979	37	794	67	614	97	429
8	971	38	789	68	608	98	424
9	967	39	773	69	601	99	418
10	962	40	778	70	596	100	413
11	955	41	770	71	590	101	408
12	950	42	764	72	584	102	403
13	944	43	758	73	573	103	398
14	938	44	752	74	572	104	394
15	931	45	748	75	565	105	390
16	924	46	743	76	560		
17	918	47	737	77	552		
18	911	48	731	78	547		
19	904	49	725	79	542		
20	897	50	718	80	535		
21	890	51	712	81	529		
22	884	52	705	82	523		
23	878	53	692	83	518		
24	872	54	683	84	513		
25	867	55	686	85	506		

g/L	KL	g/L	KL	g/L	KL	g/L	KL
26	860	56	680	86	500		
27	855	57	674	87	492		
28	849	58	669	88	455		
29	841	59	662	89	479		
30	835	60	655	90	472		

Πίνακας 8

1. Συντελεστής διορθώσεως  $K_G$  σε συνάρτηση με το ειδικό βάρος, του εδάφους.
2. Συντελεστής διορθώσεως  $K_H$  σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (για να ληφθεί υπόψη η μεταβολή του ιξώδους του μέσου διασποράς).

Ειδ. Βάρος	$K_G$	$C^\circ$	$K_H$
2,60	1,016	15	1,053
2,61	1,013	15,5	1,046
2,62	1,010	16	1,043
2,63	1,007	16,5	1,034
2,64	1,003	17	1,028
2,65	1,000	17,5	1,020
2,66	0,998	18	1,014
2,67	0,995	18,5	1,008
2,68	0,990	19	1,000
2,69	0,987	19,5	0,995
2,70	0,985	20	0,988
2,71	0,983	20,5	0,984
2,72	0,980	21	0,980
2,73	0,978	21,5	0,975
2,74	0,975	22	0,967
2,75	0,972	22,5	0,962
		23	0,956
		23,5	0,950
		24	0,946
		24,5	0,940
		25	0,935
		25,5	0,930
		26	0,925
		26,5	0,920

## ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ (ΑΡΓΙΛΟΣ – ΑΜΜΟΣ)

### 1<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

Μετατόπιση Δd	$\varepsilon=\Delta d/D$	$\varepsilon\%$	Φορτίο RT	$T=(RT*71,2)$	$\tau=T/A$
mm			mm		kgf/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0
0,3003003	0,005005	0,500501	0,104457	7,437326	0,206592
0,636431886	0,010607	1,06072	0,153203	10,90808	0,303002
0,974269724	0,016238	1,623783	0,18454	13,13928	0,36498
1,320638821	0,022011	2,201065	0,207173	14,7507	0,409742
1,677245427	0,027954	2,795409	0,229805	16,36212	0,454503
2,038970789	0,033983	3,398285	0,248955	17,72563	0,492379
2,404108654	0,040068	4,006848	0,266365	18,96518	0,526811
2,774365274	0,046239	4,623942	0,283774	20,20474	0,561243
3,151446901	0,052524	5,252412	0,297702	21,19638	0,588788
3,528528529	0,058809	5,880881	0,309889	22,06407	0,612891
3,903903904	0,065065	6,506507	0,318593	22,68384	0,630107
4,275866776	0,071264	7,126445	0,325557	23,17967	0,64388
4,646123396	0,077435	7,743539	0,327298	23,30362	0,647323
5,014673765	0,083578	8,35779	0,329039	23,42758	0,650766
5,386636637	0,089777	8,977728	0,329039	23,42758	0,650766
5,76030576	0,096005	9,60051	0,327298	23,30362	0,647323
6,137387387	0,10229	10,22898	0,327298	23,30362	0,647323

$$\sigma_1 = 20/36 \text{ kgr/cm}^2$$
$$\sigma_1 = 0,555556 \text{ kgr/cm}^2$$

D: πλευρά δοκιμίου=60mm

A: εμβαδόν δοκιμίου=36cm<sup>2</sup>

σ: ορθή τάση

V: όγκος δοκιμίου=122,4cm<sup>3</sup>

Rd: αναγνώσεις μηκυσιομέτρου οριζόντιας μετατόπισης

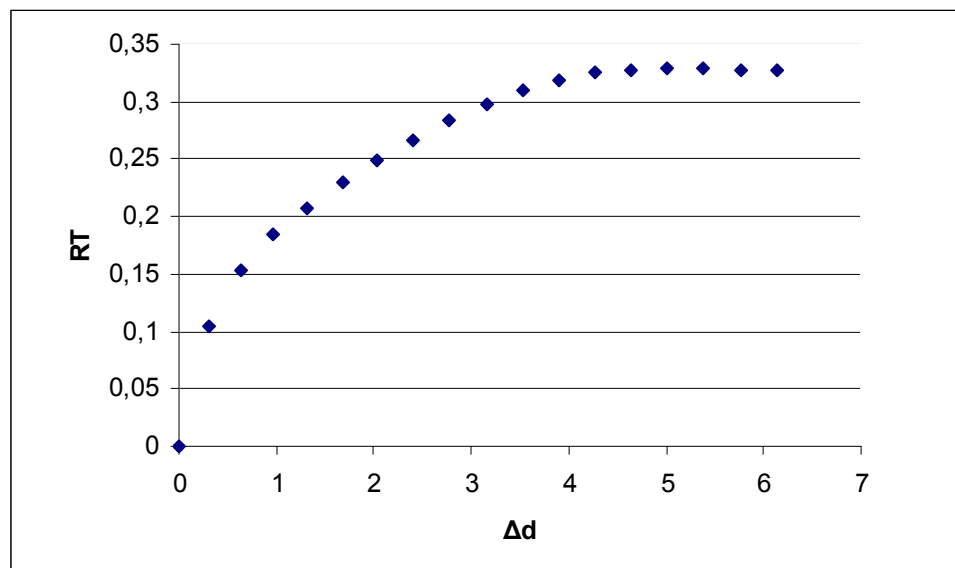
Δd: οριζόντια μετατόπιση

RT: αναγνώσεις μηκυσιομέτρου, βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου=

CRT: συντελεστής βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου=

T: φορτίο διατμητικής τάσης

τ: διατμητική

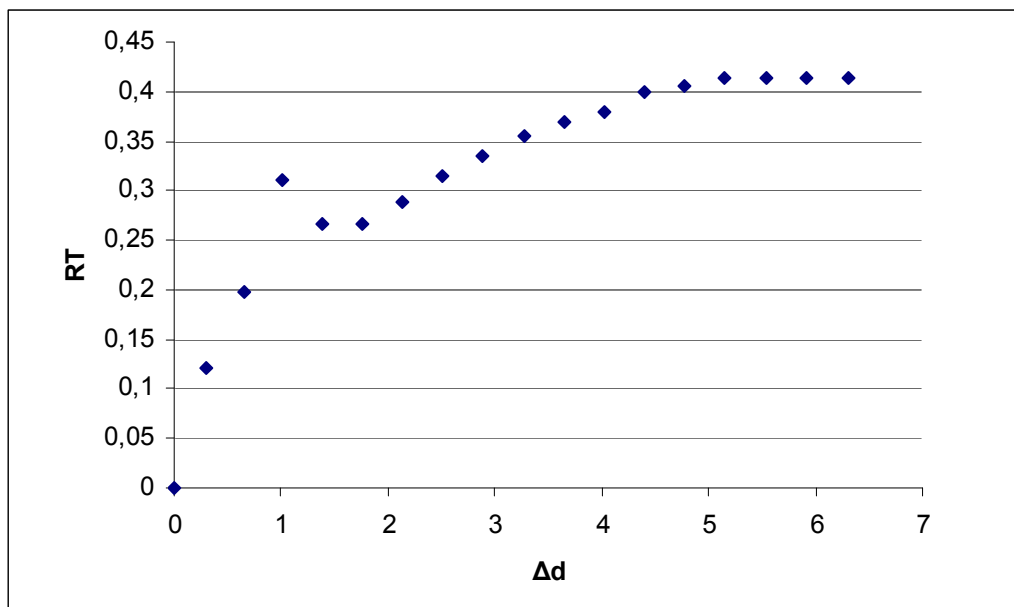


## 2<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

$\sigma_2=40/36 \text{ kgr/cm}^2$   
 $\sigma_2=1,111 \text{ kgr/cm}^2$

D: πλευρά δοκιμίου=60mm  
 A: εμβαδόν δοκιμίου=36cm<sup>2</sup>

Μετατόπιση Δd	$\varepsilon=\Delta d/D$	$\varepsilon\%$	Φορτίο RT	$T=(RT*71,2)$	$\tau=T/A$
mm			mm		kgr/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0
0,295182	0,00492	0,491969	0,120125	8,552925	0,237581
0,646669	0,010778	1,077782	0,198468	14,13092	0,392526
1,013514	0,016892	1,689189	0,309889	22,06407	0,612891
1,380358	0,023006	2,300596	0,266365	18,96518	0,526811
1,752321	0,029205	2,920534	0,266365	18,96518	0,526811
2,127696	0,035462	3,54616	0,288997	20,5766	0,571572
2,503071	0,041718	4,171785	0,315111	22,43593	0,62322
2,885272	0,048088	4,808786	0,334262	23,79944	0,661096
3,267472	0,054458	5,445787	0,355153	25,28691	0,702414
3,64626	0,060771	6,0771	0,369081	26,27855	0,72996
4,025048	0,067084	6,708413	0,379526	27,02228	0,750619
4,402129	0,073369	7,336882	0,398677	28,38579	0,788494
4,779211	0,079654	7,965352	0,405641	28,88162	0,802267
5,154586	0,08591	8,590977	0,414345	29,50139	0,819483
5,535081	0,092251	9,225134	0,414345	29,50139	0,819483
5,915575	0,098593	9,859291	0,414345	29,50139	0,819483
6,301188	0,10502	10,50198	0,414345	29,50139	0,819483





### 3<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

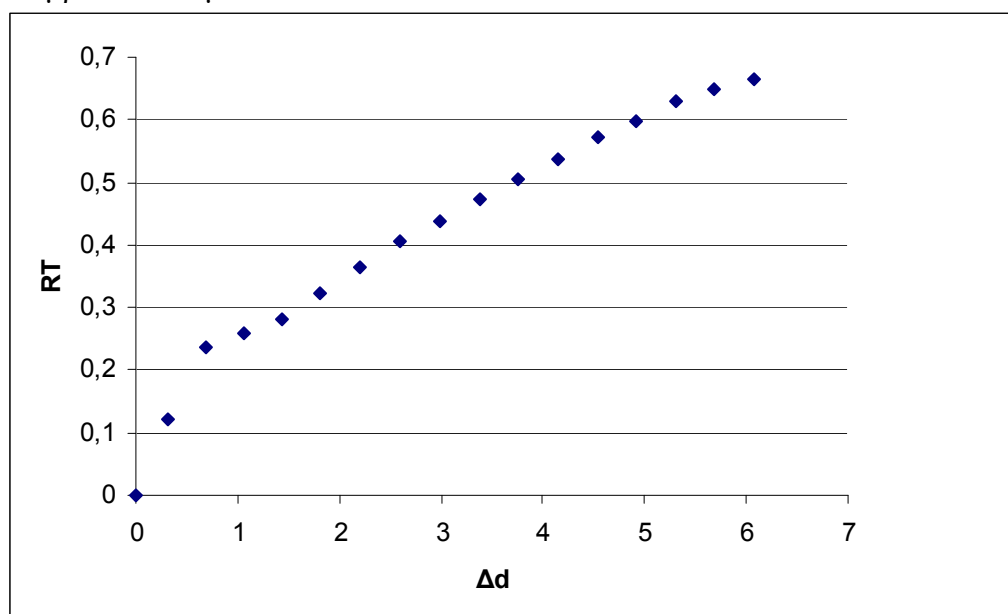
Μετατόπιση Δd	$\varepsilon=\Delta d/D$	$\varepsilon\%$	Φορτίο RT	$T=(RT*71,2)$	$\tau=T/A$
mm			mm		kgf/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0
0,310538	0,005176	0,517563	0,120125	8,552925	0,237581
0,679088	0,011318	1,131814	0,236769	16,85794	0,468276
1,054464	0,017574	1,757439	0,25766	18,3454	0,509595
1,433251	0,023888	2,388752	0,282033	20,08078	0,557799
1,815452	0,030258	3,025753	0,322075	22,93175	0,636993
2,201065	0,036684	3,668441	0,363858	25,90669	0,71963
2,588384	0,04314	4,313973	0,405641	28,88162	0,802267
2,980822	0,04968	4,968036	0,438719	31,23677	0,867688
3,37326	0,056221	5,622099	0,473538	33,71588	0,936552
3,763991	0,062733	6,273319	0,504875	35,94708	0,99853
4,15131	0,069189	6,918851	0,537953	38,30223	1,063951
4,533511	0,075559	7,555851	0,571031	40,65738	1,129372
4,917417	0,081957	8,195696	0,598886	42,64067	1,184463
5,30303	0,088384	8,838384	0,628482	44,74791	1,242998
5,690349	0,094839	9,483916	0,647632	46,11142	1,280873
6,082787	0,10138	10,13798	0,665042	47,35097	1,315305

$$\sigma_3 = 80/36 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_3 = \mathbf{2,22 \text{ kgf/cm}^2}$$

D: πλευρά δοκιμίου=60mm

A: εμβαδόν δοκιμίου=36cm<sup>2</sup>

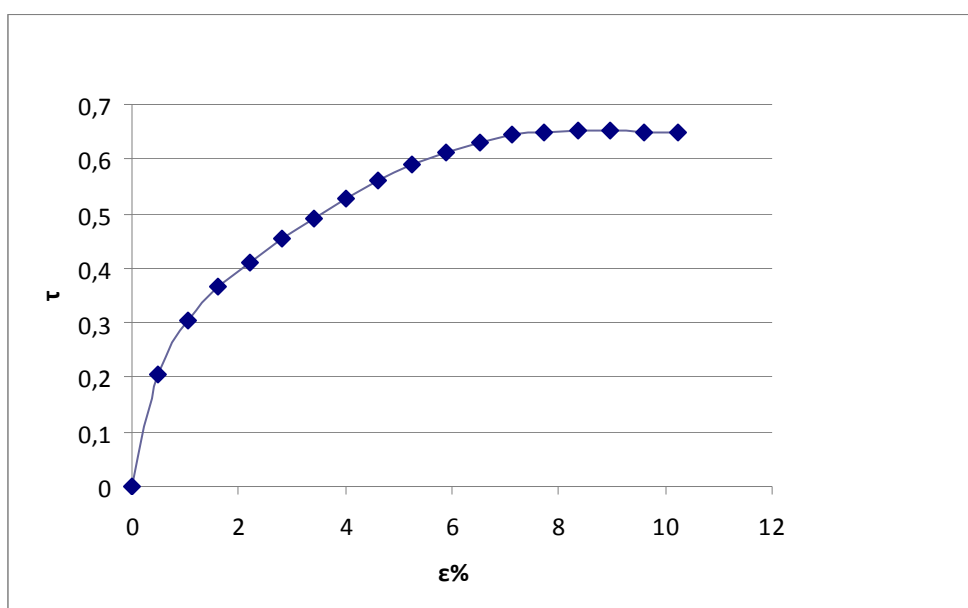


## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ $\epsilon\%$ - $\tau$

### 1η ΔΟΚΙΜΗ

$\epsilon\%$	$\tau_1=T/A$ kgr/cm <sup>2</sup>
0	0
0,500501	0,206592
1,06072	0,303002
1,623783	0,36498
2,201065	0,409742
2,795409	0,454503
3,398285	0,492379
4,006848	0,526811
4,623942	0,561243
5,252412	0,588788
5,880881	0,612891
6,506507	0,630107
7,126445	0,64388
7,743539	0,647323
8,35779	0,650766
8,977728	0,650766
9,60051	0,647323
10,22898	0,647323

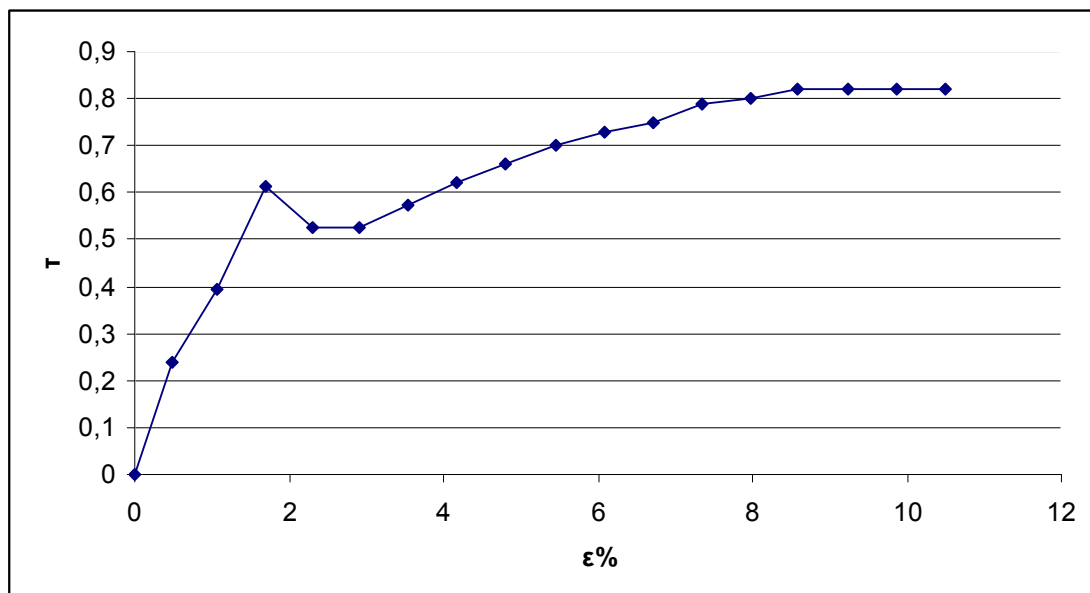
$$\tau_1 = 0,651 \text{ kgr/cm}^2$$



## 2η ΔΟΚΙΜΗ

$\epsilon\%$	$\tau_1=T/A$ $\text{kgr/cm}^2$
0	0
0,491969	0,237581
1,077782	0,392526
1,689189	0,612891
2,300596	0,526811
2,920534	0,526811
3,54616	0,571572
4,171785	0,62322
4,808786	0,661096
5,445787	0,702414
6,0771	0,72996
6,708413	0,750619
7,336882	0,788494
7,965352	0,802267
8,590977	0,819483
9,225134	0,819483
9,859291	0,819483
10,50198	0,819483

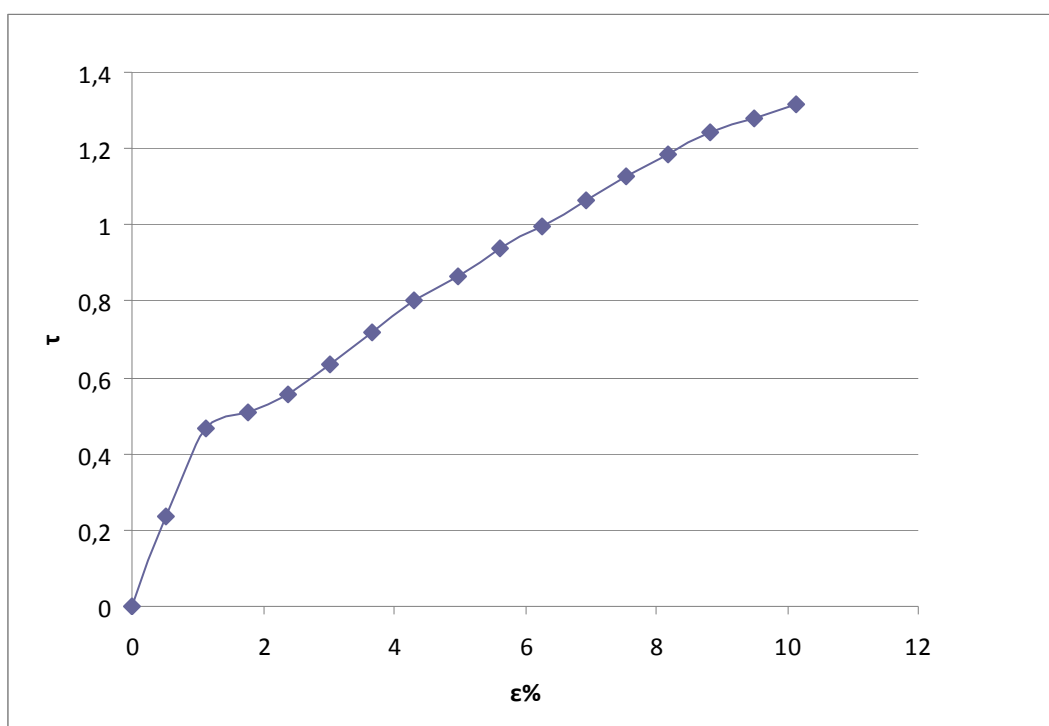
$$\tau_2=0,819 \text{ kgr/cm}^2$$



### 3<sup>α</sup> ΔΟΚΙΜΗ

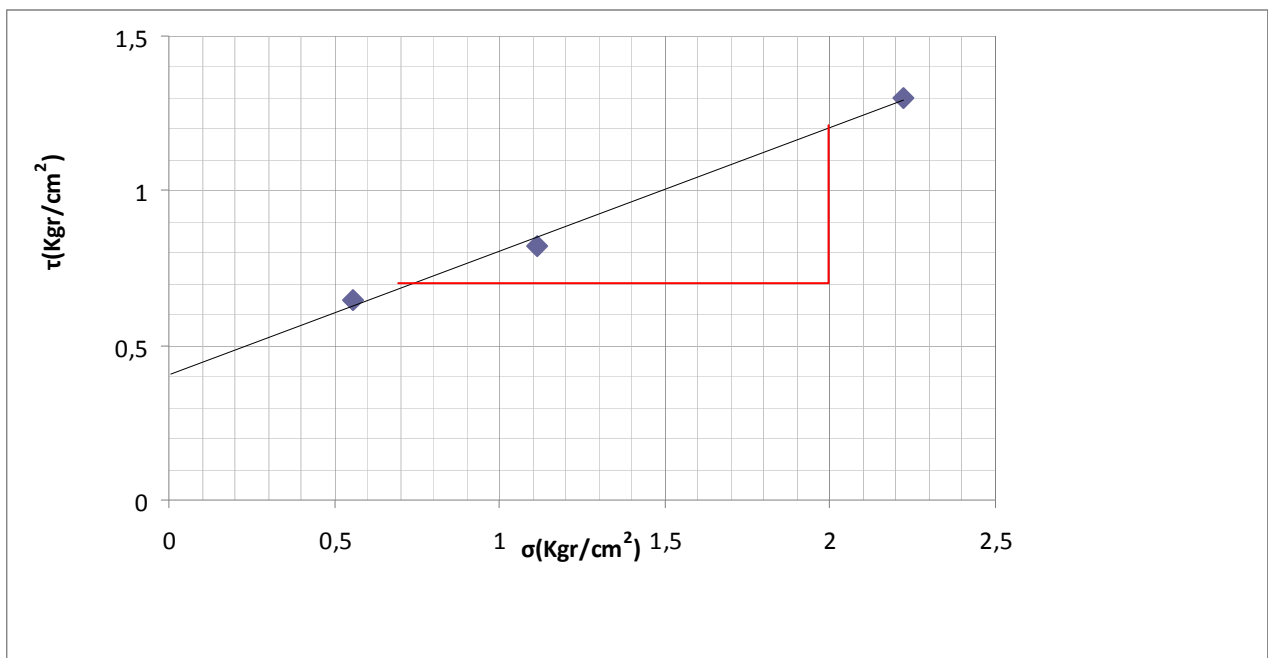
$\epsilon\%$	$\tau_1=T/A$ $\text{kgr/cm}^2$
0	0
0,517563	0,237581
1,131814	0,468276
1,757439	0,509595
2,388752	0,557799
3,025753	0,636993
3,668441	0,71963
4,313973	0,802267
4,968036	0,867688
5,622099	0,936552
6,273319	0,99853
6,918851	1,063951
7,555851	1,129372
8,195696	1,184463
8,838384	1,242998
9,483916	1,280873
10,13798	1,315305

$\tau_3 = 1,315 \text{ kgr/cm}^2$



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ - ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ**

1	2	3	
0,555556	1,111111	2,222222	$\sigma(\text{kgr/cm}^2)$
0,647323	0,819483	1,3	$\tau(\text{kgr/cm}^2)$



$\phi=21,8^\circ$   
 $c=0,4$



*-εικόνες άμεσης διάτμησης λεπτόκοκκου εδάφους-*

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**  
**ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ**

<b>ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (D)</b>	3,8cm
<b>ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (H)</b>	76mm
<b>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (A)</b>	$(\pi \cdot D^2)/4$ 11,34cm <sup>2</sup>

RH = αναγνώσεις μηκυνσιομέτρου βράχυνσης του ύψους του δοκιμίου  
 RP = αναγνώσεις μηκυνσιομέτρου βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου  
 CRP (συντελεστής βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου) =40 kgr/mm

<b>ΔH</b>	<b>RP</b>	<b>P</b> <b>(RP*CRP)</b>	<b>ε=ΔH/H</b>	<b>1-ε</b>	<b>A'=A/1-ε</b>	<b>σ=P/A</b>	<b>ε%</b>
<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>kgr</b>			<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>Kgr/cm<sup>2</sup></b>	

0,088992	0	0	0,001171	0,998829	11,35329	0	0,117095
0,530531	0,052597	2,103889	0,006981	0,993019	11,41972	0,185528	0,698067
0,891635	0,077989	3,119559	0,011732	0,988268	11,47462	0,275093	1,173204
1,269852	0,110636	4,425421	0,016709	0,983291	11,53269	0,390249	1,670858
1,543675	0,137841	5,513639	0,020312	0,979688	11,57511	0,486212	2,031151
1,571057	0,11789	4,715612	0,020672	0,979328	11,57937	0,415839	2,06718
1,591594	0,136027	5,441091	0,020942	0,979058	11,58256	0,479814	2,094202
1,978368	0,235781	9,431225	0,026031	0,973969	11,64308	0,831678	2,603116
2,312089	0,33372	13,34881	0,030422	0,969578	11,69581	1,177144	3,042223
2,642388	0,428033	17,1213	0,034768	0,965232	11,74847	1,509815	3,476826
3,135268	0,535041	21,40163	0,041254	0,958746	11,82794	1,887269	4,125353
3,720564	0,636608	25,46431	0,048955	0,951045	11,92372	2,24553	4,895479
4,654984	0,781703	31,26814	0,06125	0,93875	12,07989	2,757331	6,124978
5,310446	0,843369	33,73476	0,069874	0,930126	12,1919	2,974847	6,987429
5,775945	0,903221	36,12885	0,075999	0,924001	12,27272	3,185965	7,599927
6,172987	0,948564	37,94254	0,081224	0,918776	12,3425	3,345903	8,122352
6,694962	0,968514	38,74057	0,088092	0,911908	12,43546	3,416276	8,80916
7,126232	0,977583	39,10331	0,093766	0,906234	12,51333	3,448264	9,376621
7,6773	0,979396	39,17586	0,101017	0,898983	12,61426	3,454661	10,10171
8,228368	0,948564	37,94254	0,108268	0,891732	12,71683	3,345903	10,8268
8,671618	0,928613	37,14452	0,1141	0,8859	12,80055	3,27553	11,41002

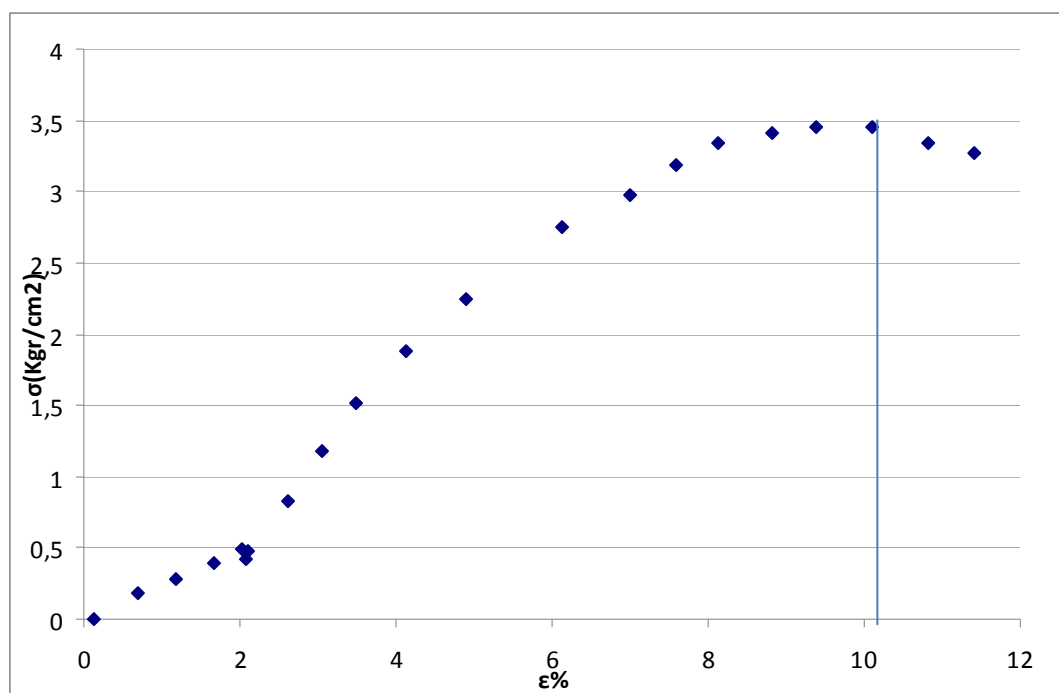
Από το παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε ότι:

$$q_u = 3,45 \text{ kgr/cm}^2$$

$$c = q_u/2$$

$$\text{Άρα } c = 1,725 \text{ kgr/cm}^2$$

Επίσης ,έχουμε σαν δεδομένο:  $\varphi=0^\circ$





<b>ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΤΟ ΧΕΡΙ</b>	<b>ΑΝΤΟΧΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΕΩΣ (kgr/cm<sup>2</sup>)</b>
ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΗ	ΕΥΚΟΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΗΣ ΠΥΓΜΗΣ ΤΟΥ ΧΕΡΙΟΥ	< 0,25
ΜΑΛΑΚΗ	ΕΥΚΟΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΟΣ	0,25 – 0,5
ΜΕΣΗ	ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΡΚΕΤΕΣ inches ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΟΣ	0,5 – 1
ΣΚΛΗΡΗ	ΕΥΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ ΑΛΛΑ ΔΙΕΙΣΔΥΕΙ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ	1 -2
ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΗ	ΕΥΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΝΥΧΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	2 – 4
ΠΑΡΑ ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΗ	ΔΥΣΚΟΛΩΣ ΧΑΡΑΣΣΕΤΑΙ ΜΕ ΝΥΧΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	> 4

**ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ**  
**ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ  $\phi$**

ΕΔΑΦΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ		
	Χωρίς στερεοποίηση Χωρίς αποστράγγιση UU	Με στερεοποίηση Χωρίς αποστράγγιση CU	Με στερεοποίηση Με αποστράγγιση CD
<b>ΧΑΛΙΚΙΑ</b> Μεσαίου μεγέθους Αμμώδη	44° - 55° 35° - 50°		40° - 55° 35° - 50°
<b>ΑΜΜΟΣ</b> Χαλαρή - ξηρή » - κορεσμένη Πυκνή ξερή » κορεσμένη	28,5° - 34° 28,5° - 34° 35° - 46° 34° - 45°		43° - 50° 43° - 50°
<b>ΙΛΥΣ Η ΙΛΥΩΔΗΣ ΑΜΜΟΣ</b> Χαλαρή Πυκνή	20° - 22° 25° - 30°		27° - 30° 30° - 35°
<b>ΑΡΓΙΛΟΣ</b>	0° (Κορεσμένη)	3° - 20°	20° - 42°

#### **1.4.3.1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ**

Οι γωνίες που βρήκαμε από την δοκιμή άμεσης διάτμησης και από τον πειραματικό τύπο είναι αρκετά κοντά με μία απόκλιση κοντά στο 22%, οπότε και θεωρούνται δεκτές.

Σχετικά με το δείκτη συμπιεστότητας  $C_c$  που είναι σχετικά χαμηλός, η τιμή του δικαιολογείται καθώς το έδαφός μας έχει σχετικά υψηλό ποσοστό άμμου (27%), άρα η τιμή είναι κοντά στην πραγματικότητα . Οι καθαρές άργιλοι έχουν τιμή κοντά στην μονάδα.

Επίσης πρέπει να διευκρινιστεί ότι η δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης , γίνεται συμπληρωματικά για την εύρεση της συνοχής . Δεν έχει σχέση με τους εμπειρικούς τύπους, με τους οποίους βρίσκουμε μόνο τη γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$ .

#### 1.4.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

##### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Λόγω του αυξημένου δείκτη κενών των ψαθυρών εδαφών και της ταχύτητας της δοκιμής άμεσης διάτμησης, το ύψος του δοκιμίου μεταβάλλεται συνεχώς. Οπότε, σαν τελικό ύψος παίρνουμε το αρχικό που μετρήσαμε και προσθέτουμε ή αφαιρούμε τη μεταβολή του ύψους του δοκιμίου τη στιγμή της θραύσης.

Μέσω του τελικού ύψους του δοκιμίου βρίσκουμε τον όγκο του και κατόπιν το ειδικό βάρος ( $\gamma$ ) του χαλαρού δοκιμίου και το συγκρίνουμε με το ειδικό βάρος του συμπυκνωμένου δοκιμίου. (Παραπάνω εξηγήσαμε γιατί ο όγκος του χαλαρού δοκιμίου βρίσκεται τη στιγμή της θραύσης αυτού.)

Έπειτα βρίσκουμε το δείκτη πόρων ( $n$ ) του χαλαρού και του συμπυκνωμένου εδάφους αλλά και τη στιγμή της θραύσης, μέσω των ειδικών βαρών χαλαρού και συμπυκνωμένου εδάφους και στη συνέχεια τον δείκτη σχετικής πυκνότητας ( $D_r$ ).

Από το δείκτη σχετικής πυκνότητας ( $D_r$ ) βρίσκουμε το συντελεστή  $\lambda$ , ο οποίος βρίσκεται στον τελικό τύπο εύρεσης της γωνίας εσωτερικής τριβής  $\phi$ .

$$\tan\phi = (A \cdot \cos\rho^{0.9}) / \sigma^{1/3} + B \cdot \lambda$$

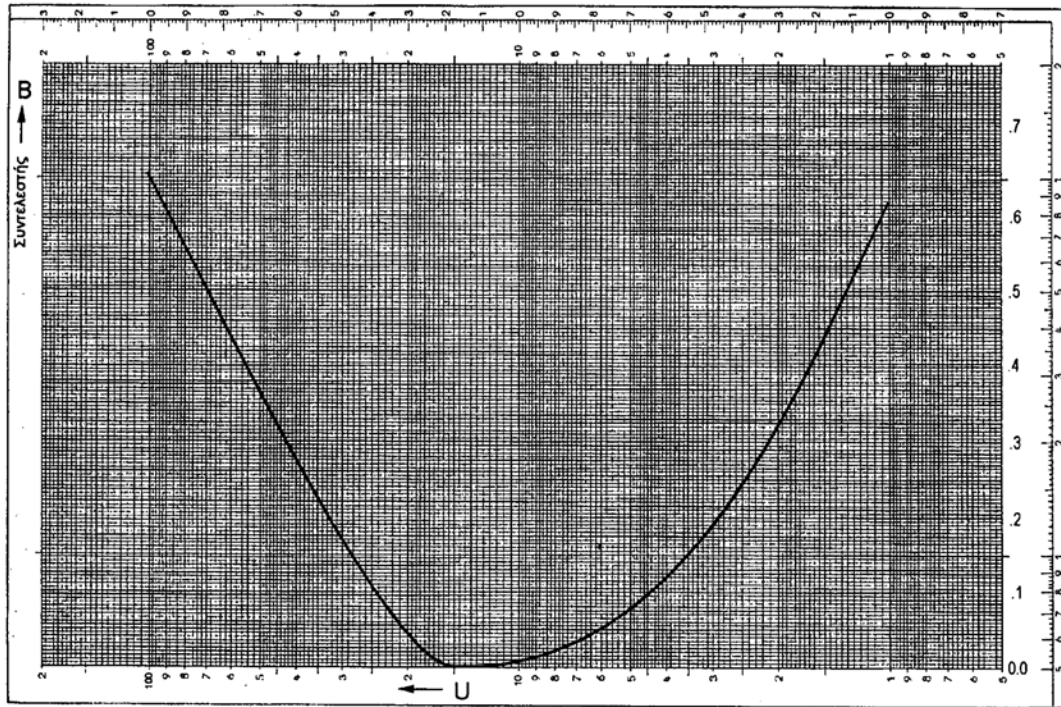
Όπου:

A: συντελεστής του γωνιώδες των κόκκων (βρίσκεται από τον πίνακα V παρακάτω)

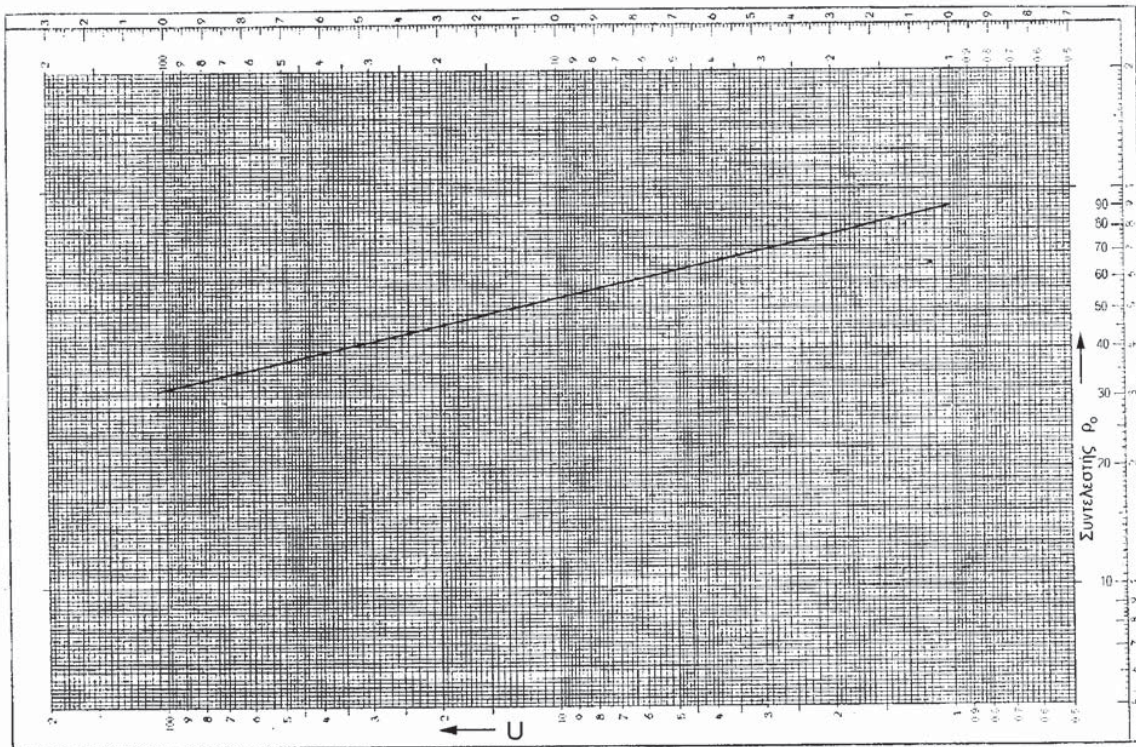
$\rho$ : συντελεστής εξαρτώμενος από την κλίση της κοκκομετρικής διαβάθμισης (βρίσκεται από το νομογράφημα 1, μέσω του συντελεστή ομοιομορφίας ( $u = d_{60}/d_{10}$ ) ο οποίος υπολογίζεται από την κοκκομετρική καμπύλη του χονδρόκοκκου (χαλίκι-άμμος) δείγματος.

B: συντελεστής ομοιομορφίας (υπολογίζεται από το νομογράφημα 2 παρακάτω)

$\sigma$ : εφαρμοζόμενη ορθή τάση



Σχήμα 8.2. Νομογράφημα 2, εύρεσης τιμών του συντελεστού B.



Σχήμα 8.1. Νομογράφημα 1, εύρεσης τιμών του συντελεστού  $\rho^0$ .

## ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ(ΧΑΛΙΚΙ – ΑΜΜΟΣ) ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

### 1<sup>η</sup> δοκιμή

$$\sigma_1 = 20/36 \text{ kgr/cm}^2$$

$$\sigma_1 = 0,556 \text{ kgr/cm}^2$$

D: πλευρά δοκιμίου=60mm

A: εμβαδόν δοκιμίου=36cm<sup>2</sup>

V: όγκος δοκιμίου=122,4cm<sup>3</sup>

Rd: αναγνώσεις μηκυσιομέτρου οριζόντιας μετατόπισης

Δd: οριζόντια μετατόπιση

RT: αναγνώσεις μηκυσιομέτρου, βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου=

CRT: συντελεστής βράχυνσης της διαμέτρου του δυναμομετρικού δακτυλίου=

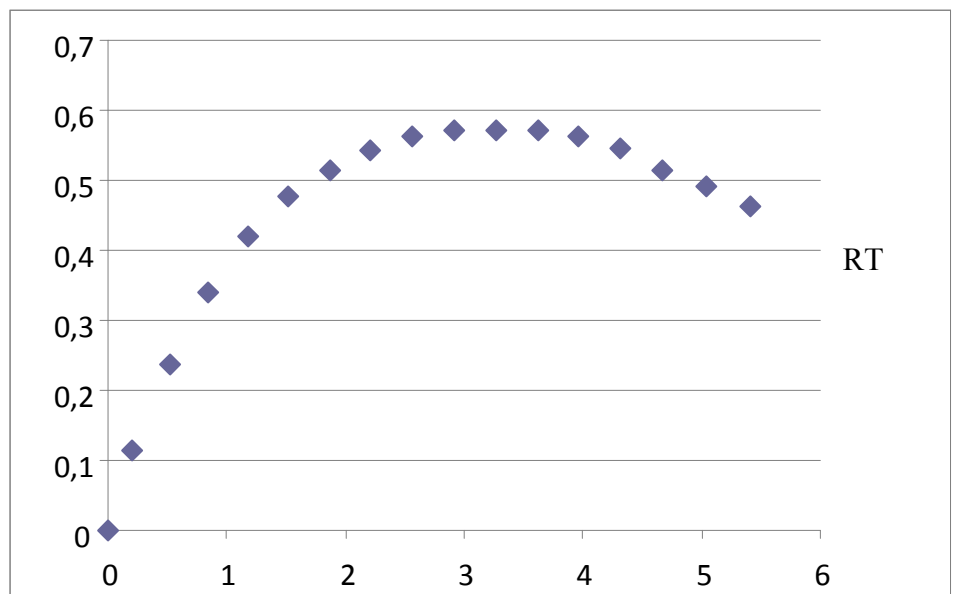
T: φορτίο διατμητικής τάσης

τ: διατμητική τάση

σ: ορθή τάση

ΔH	Μετατόπιση Δd	$\epsilon = \Delta d / D$	$\epsilon \%$	Φορτίο RT	$T = (RT * 71,2)$	$\tau = T / A$
mm	mm			mm		kgr/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0
-0,01277	0,194513	0,003242	0,324188	0,113162	8,057103	0,223808
-0,01507	0,525526	0,008759	0,875876	0,236769	16,85794	0,468276
-0,01507	0,848007	0,014133	1,413345	0,341226	24,29526	0,674868
0,028866	1,182432	0,019707	1,970721	0,419568	29,87326	0,829813
0,117509	1,52027	0,025338	2,533784	0,477019	33,96379	0,943439
0,232974	1,863227	0,031054	3,105378	0,513579	36,56685	1,015746
0,367087	2,211302	0,036855	3,685504	0,541435	38,55014	1,070837
0,50069	2,559378	0,042656	4,265629	0,564067	40,16156	1,115599
0,652429	2,910865	0,048514	4,851442	0,572772	40,78134	1,132815
0,802381	3,262353	0,054373	5,437255	0,572772	40,78134	1,132815
0,950544	3,615547	0,060259	6,025912	0,572772	40,78134	1,132815
1,098452	3,961916	0,066032	6,603194	0,564067	40,16156	1,115599
1,257344	4,316817	0,071947	7,194695	0,544916	38,79805	1,077724
1,414704	4,676836	0,077947	7,794727	0,513579	36,56685	1,015746
1,528892	5,04368	0,084061	8,406133	0,492688	35,07939	0,974427
1,650999	5,41223	0,090204	9,020384	0,463092	32,97214	0,915893

D	RT
mm	mm
0	0
0,194513	0,113162
0,525526	0,236769
0,848007	0,341226
1,182432	0,419568
1,52027	0,477019
1,863227	0,513579
2,211302	0,541435
2,559378	0,564067
2,910865	0,572772
3,262353	0,572772
3,615547	0,572772
3,961916	0,564067
4,316817	0,544916
4,676836	0,513579
5,04368	0,492688
5,41223	0,463092



## 2<sup>η</sup> δοκιμή

$$\sigma_2 = 40/36 \text{ kgr/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 1,111 \text{ kgr/cm}^2$$

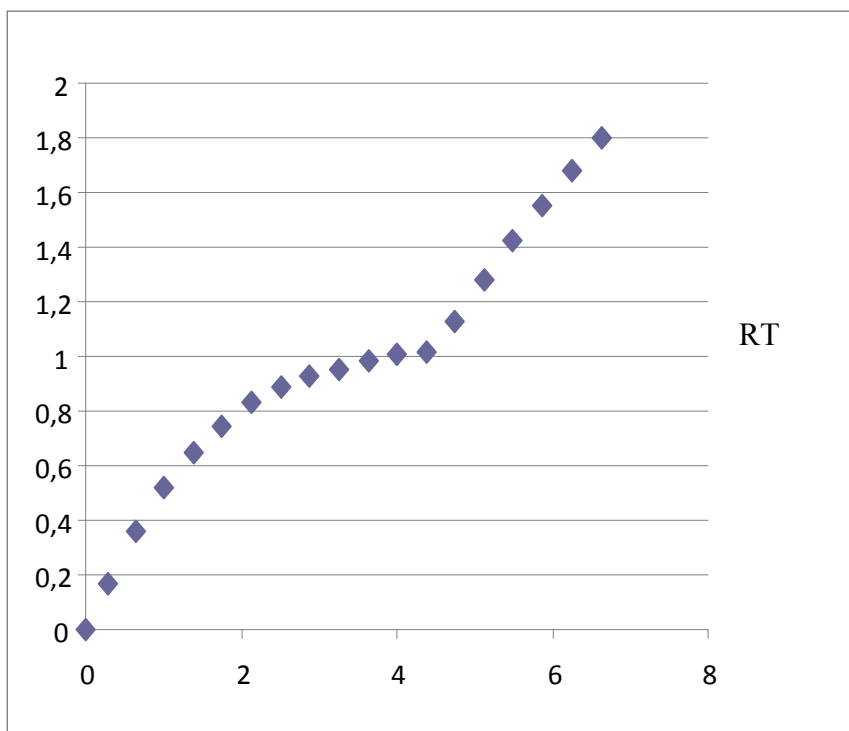
D: πλευρά δοκιμίου=60mm

A: εμβαδόν δοκιμίου=36cm<sup>2</sup>

$\Delta H$	$\Delta d$	$\varepsilon = \Delta d/D$	$\varepsilon\%$	RT	$T = (RT * 71,2)$	$\tau = T/A$
mm	mm			mm		kgr/cm <sup>2</sup>
-0,10729	0	0	0	0	0	0
-0,12338	0,295182	0,00492	0,491969	0,170613	12,14763	0,337434
-0,12466	0,651788	0,010863	1,086314	0,356894	25,41086	0,705857
-0,11598	1,016926	0,016949	1,694877	0,518802	36,93872	1,026076
-0,05058	1,382064	0,023034	2,30344	0,64415	45,86351	1,273986
0,023502	1,752321	0,029205	2,920534	0,746866	53,17688	1,477136
0,135135	2,12599	0,035433	3,543316	0,830432	59,12674	1,642409
0,249323	2,503071	0,041718	4,171785	0,884401	62,96936	1,749149
0,390078	2,881859	0,048031	4,803099	0,926184	65,94429	1,831786
0,536198	3,260647	0,054344	5,434412	0,954039	67,92758	1,886877
0,674654	3,637729	0,060629	6,062881	0,980153	69,78691	1,938525
0,824094	4,007985	0,0668	6,679975	1,006267	71,64624	1,990173
0,906095	4,378242	0,072971	7,29707	1,013231	72,14206	2,003946
0,927553	4,748498	0,079142	7,914164	1,124652	80,07521	2,224311
0,946712	5,120461	0,085341	8,534102	1,276114	90,85933	2,52387
0,961784	5,495837	0,091597	9,159728	1,420613	101,1476	2,809656
0,975323	5,872918	0,097882	9,788197	1,549443	110,3203	3,064454



$\Delta d$	RT
mm	mm
0	0
0,295182	0,170613
0,651788	0,356894
1,016926	0,518802
1,382064	0,64415
1,752321	0,746866
2,12599	0,830432
2,503071	0,884401
2,881859	0,926184
3,260647	0,954039
3,637729	0,980153
4,007985	1,006267
4,378242	1,013231
4,748498	1,124652
5,120461	1,276114
5,495837	1,420613
5,872918	1,549443
6,253413	1,681755
6,635613	1,80188



### 3η δοκιμή

$\sigma_3 = 80/36 \text{ kgr/cm}^2$

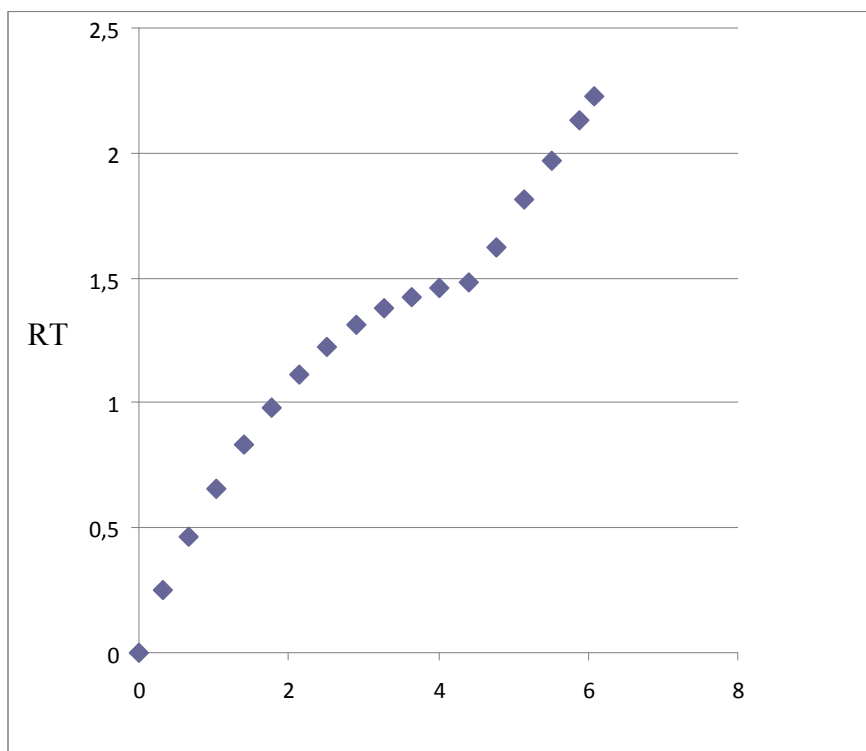
**$\sigma_3 = 2,22 \text{ kgr/cm}^2$**

D: πλευρά δοκιμίου=60mm

A: εμβαδόν δοκιμίου=36cm<sup>2</sup>

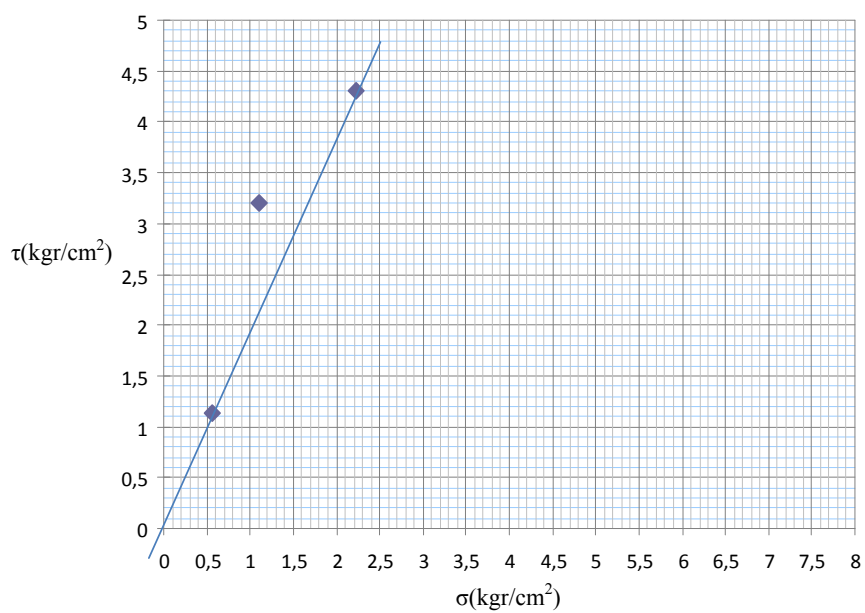
$\Delta H$ mm	$\Delta d$ mm	$\epsilon = \Delta d/D$	$\epsilon\%$	RT mm	$T = (RT * 71,2)$	$\tau = T/A$ kgr/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0
-0,01788	0,312244	0,005204	0,520407	0,247214	17,60167	0,488935
-0,04036	0,662026	0,011034	1,103376	0,466574	33,22006	0,922779
-0,05058	1,027164	0,017119	1,711939	0,658078	46,85515	1,301532
-0,05058	1,395714	0,023262	2,32619	0,832173	59,2507	1,645853
-0,05058	1,765971	0,029433	2,943284	0,981894	69,91086	1,941968
-0,03219	2,143052	0,035718	3,571754	1,114206	79,33148	2,203652
0,023246	2,520134	0,042002	4,200223	1,223886	87,14067	2,420574
0,087621	2,902334	0,048372	4,837224	1,309192	93,21448	2,589291
0,16579	3,279416	0,054657	5,465693	1,382312	98,42061	2,733906
0,271292	3,653085	0,060885	6,088475	1,420613	101,1476	2,809656
0,37705	4,023342	0,067056	6,705569	1,460655	103,9986	2,88885
0,498902	4,395304	0,073255	7,325507	1,485028	105,734	2,937055
0,560466	4,765561	0,079426	7,942602	1,622563	115,5265	3,209068
0,576815	5,135818	0,085597	8,559696	1,812326	129,0376	3,584378
0,597507	5,511193	0,091853	9,185322	1,972493	140,4415	3,901153
0,616921	5,889981	0,098166	9,816635	2,130919	151,7214	4,214485

$\Delta d$ mm	RT mm
0	0
0,312244	0,247214
0,662026	0,466574
1,027164	0,658078
1,395714	0,832173
1,765971	0,981894
2,143052	1,114206
2,520134	1,223886
2,902334	1,309192
3,279416	1,382312
3,653085	1,420613
4,023342	1,460655
4,395304	1,485028
4,765561	1,622563
5,135818	1,812326
5,511193	1,972493
5,889981	2,130919
6,082787	2,226671
0,312244	0,247214



### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

1	2	3	Μονάδες
0,556	1,111	2,22	$\sigma(\text{kgf/cm}^2)$
1,13815	3,2	4,3	$\tau(\text{kgf/cm}^2)$



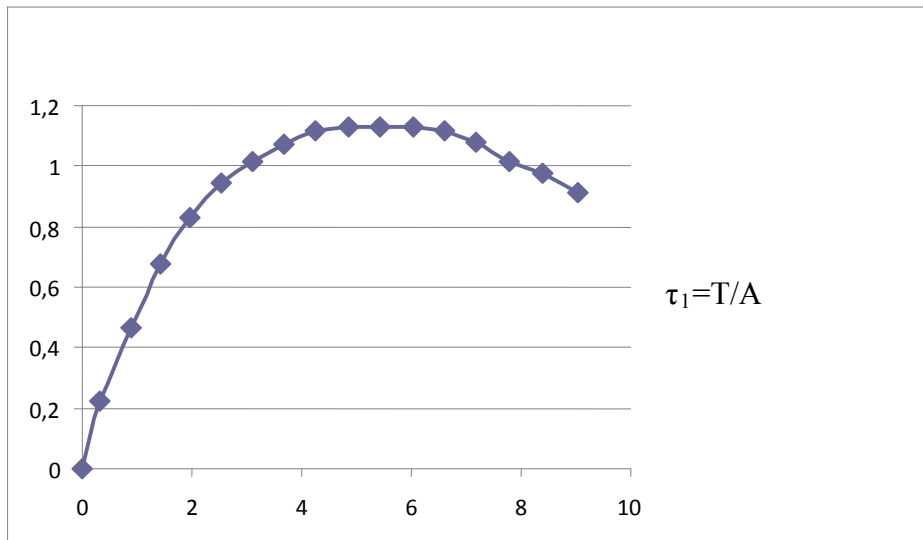
$$\varphi=63,43^\circ$$

$$c=0 \text{ KN/m}^2$$

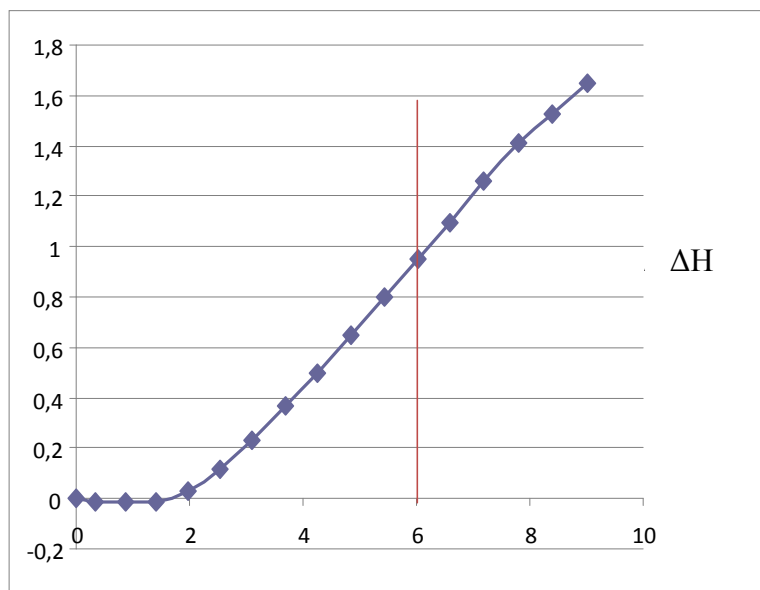
## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

### 1<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

$\epsilon\%$	$\tau=T/A$
	kgf/cm <sup>2</sup>
0	0
0,324188	0,223808
0,875876	0,468276
1,413345	0,674868
1,970727	0,829813
2,533784	0,943439
3,105378	1,015746
3,685504	1,070837
4,265629	1,115599
4,851442	1,132815
5,437255	1,132815
6,025912	1,132815
6,603194	1,115599
7,194695	1,077724
7,794727	1,015746
8,406133	0,974427
9,020384	0,915893



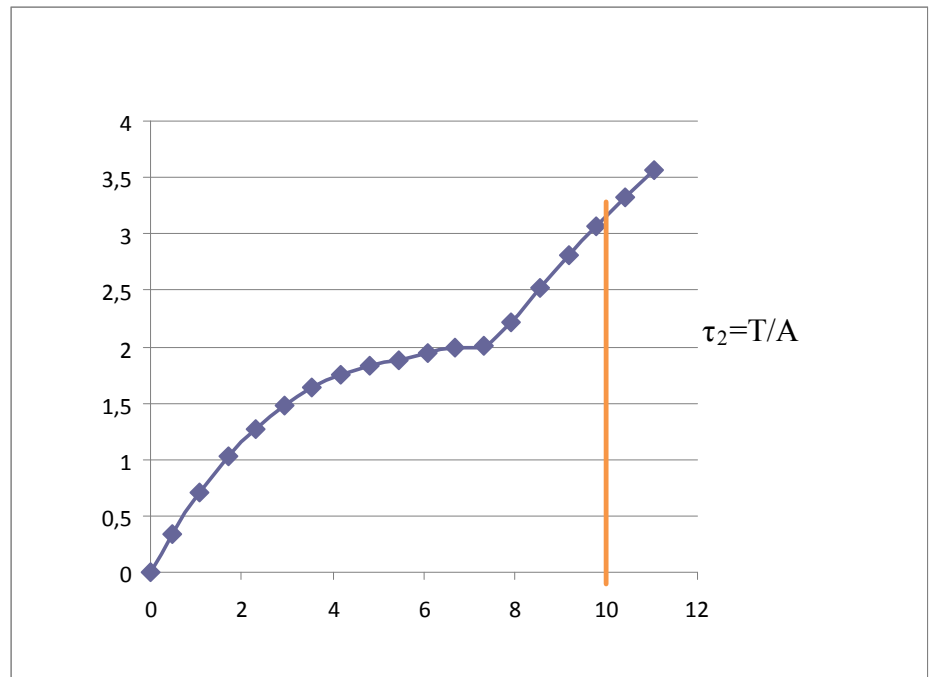
$\epsilon\%$	$\Delta H$
	Mm
0	0
0,324188	-0,01277
0,875876	-0,01507
1,413345	-0,01507
1,970727	0,028866
2,533784	0,117509
3,105378	0,232974
3,685504	0,367087
4,265629	0,50069
4,851442	0,652429
5,437255	0,802381
6,025912	0,950544
6,603194	1,098452
7,194695	1,257344
7,794727	1,414704
8,406133	1,528892
9,020384	1,650999



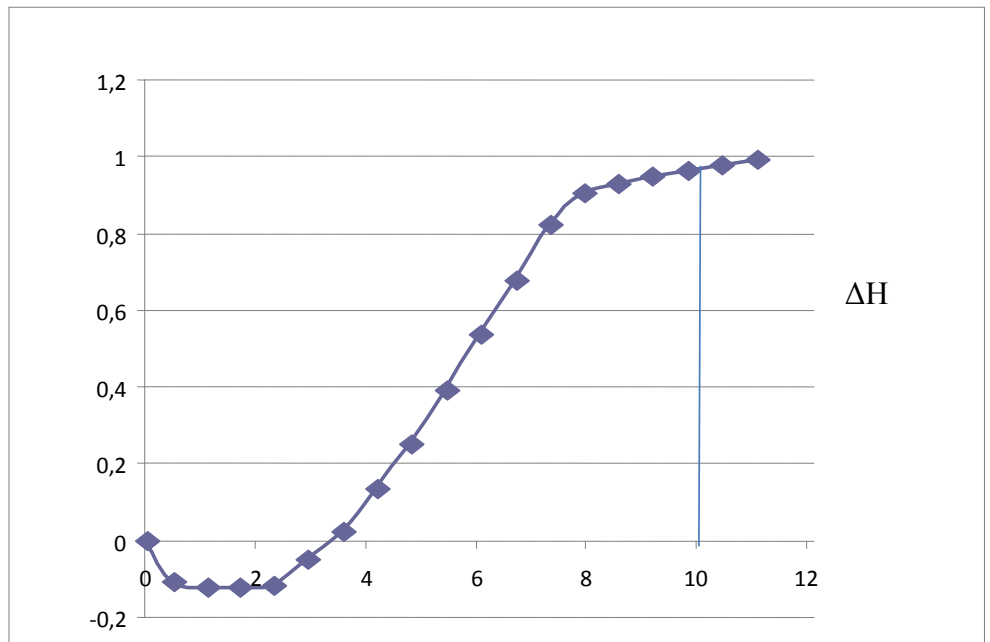
$H=24\text{mm}$   
 $H_T=H+0,950544$   
 $H_T=24,95\text{mm}$   
 $H_T=2,495\text{cm}$

## 2<sup>α</sup> ΔΟΚΙΜΗ

ε%	τ=T/A
	kgr/cm <sup>2</sup>
0	0
0,491969	0,337434
1,086314	0,705857
1,694877	1,026076
2,30344	1,273986
2,920534	1,477136
3,543316	1,642409
4,171785	1,749149
4,803099	1,831786
5,434412	1,886877
6,062881	1,938525
6,679975	1,990173
7,29707	2,003946
7,914164	2,224311
8,534102	2,52387
9,159728	2,809656
9,788197	3,064454
<b>10,42235</b>	<b>3,326137</b>
11,05935	3,563719



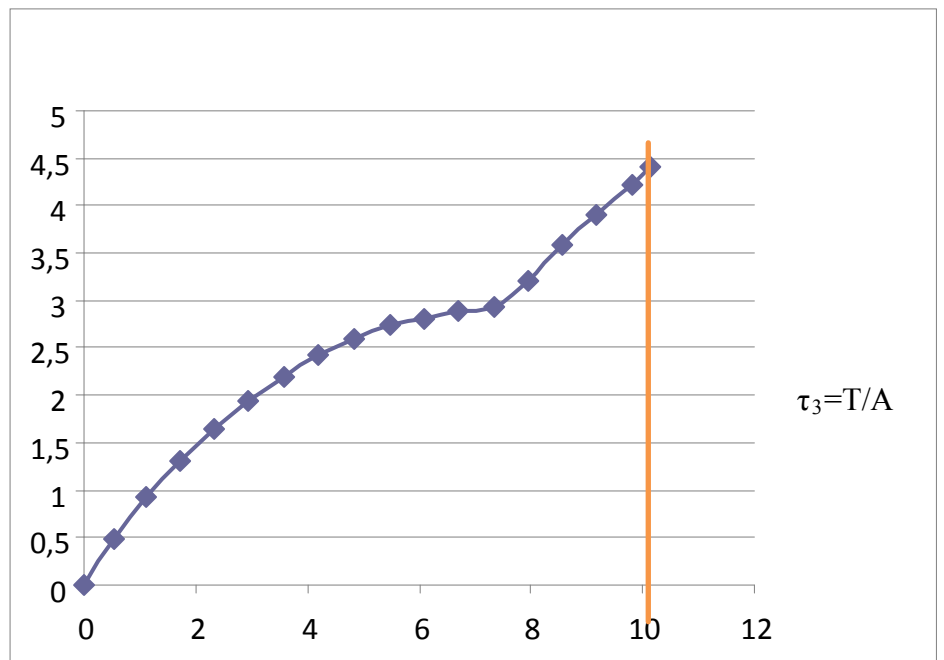
ε%	ΔH
	mm
0	0
0,491969	-0,10729
1,086314	-0,12338
1,694877	-0,12466
2,30344	-0,11598
2,920534	-0,05058
3,543316	0,023502
4,171785	0,135135
4,803099	0,249323
5,434412	0,390078
6,062881	0,536198
6,679975	0,674654
7,29707	0,824094
7,914164	0,906095
8,534102	0,927553
9,159728	0,946712
9,788197	0,961784
<b>10,42235</b>	<b>0,975323</b>
11,05935	0,989629



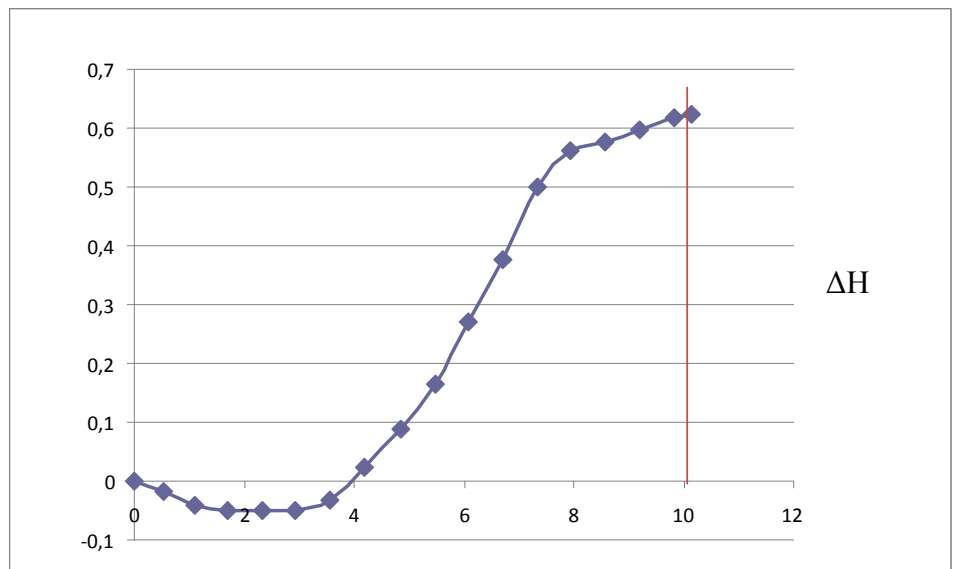
$H_T = 24 + 0,97$   
 $H_T = 24,97 \text{ mm}$   
 $H_T = 2,47 \text{ cm}$

### 3<sup>я</sup> ΔOKIMH

$\varepsilon\%$	$\tau=T/A$ kgr/cm <sup>2</sup>
0	0
0,520407	0,488935
1,103376	0,922779
1,711939	1,301532
2,32619	1,645853
2,943284	1,941968
3,571754	2,203652
4,200223	2,420574
4,837224	2,589291
5,465693	2,733906
6,088475	2,809656
6,705569	2,88885
7,325507	2,937055
7,942602	3,209068
8,559696	3,584378
9,185322	3,901153
9,816635	4,214485
<b>10,13798</b>	<b>4,403861</b>



$\varepsilon\%$	$\Delta H$ mm
0	0
0,520407	-0,01788
1,103376	-0,04036
1,711939	-0,05058
2,32619	-0,05058
2,943284	-0,05058
3,571754	-0,03219
4,200223	0,023246
4,837224	0,087621
5,465693	0,16579
6,088475	0,271292
6,705569	0,37705
7,325507	0,498902
7,942602	0,560466
8,559696	0,576815
9,185322	0,597507
9,816635	0,616921
<b>10,13798</b>	<b>0,623308</b>

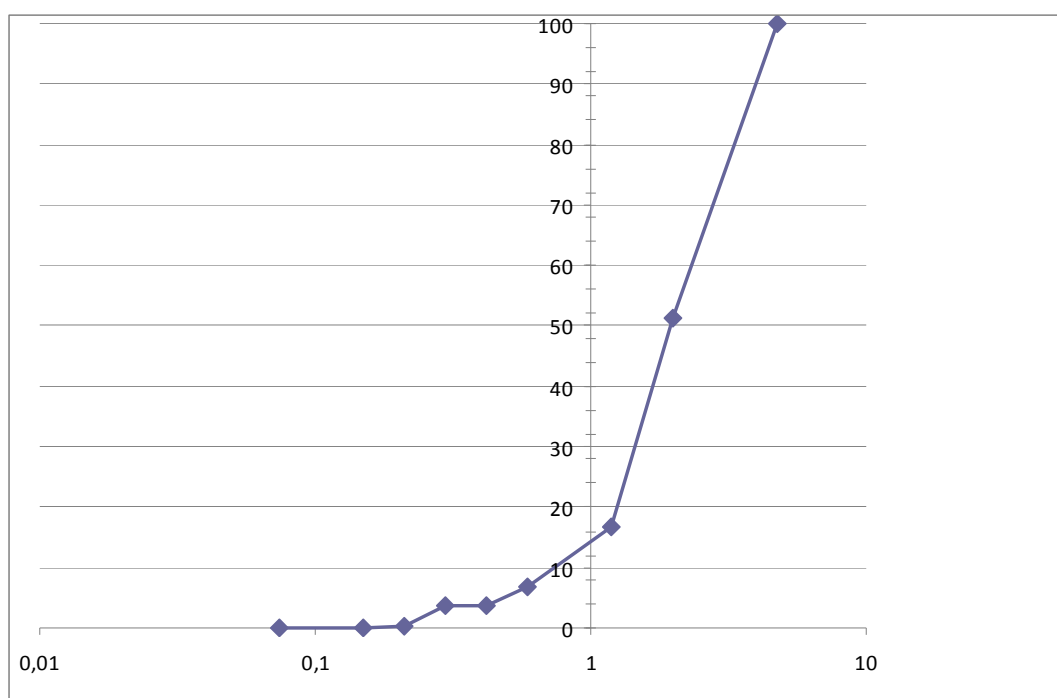


$H\tau=24+0,62$   
 $H\tau=24,62\text{mm}$   
 $H\tau=2,462\text{cm}$

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ  
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ  
( ΧΑΛΙΚΙΟΥ – ΑΜΜΟΥ ) ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

<b>Χονδρόκοκκο κλάσμα Ρχ%=48,71%</b>					
<b>Βάρος : 503,22 gr</b>					
<b>Αριθμός κοσκίνου</b>	<b>Συγκρατούμενο gr</b>	<b>Διερχόμενο gr %</b>		<b>Αναγωγή επί του συνολικού</b>	<b>Διερχόμενο %</b>
<b>¾ -in</b>	<b>0</b>	<b>503,22</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>3/8-in</b>	<b>0</b>	<b>503,22</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>No4</b>	<b>0</b>	<b>503,22</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>No10</b>	<b>503,22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>51,29</b>	<b>51,29</b>
<b>Λεπτόκοκκο κλάσμα Ρλ%=51,29%</b>					
<b>Βάρος : 529,33 gr</b>					
<b>No10</b>	<b>0</b>	<b>529,33</b>	<b>100</b>	<b>51,29</b>	<b>51,29</b>
<b>No16</b>	<b>356,82</b>	<b>172,51</b>	<b>32,59</b>	<b>16,71</b>	<b>16,71</b>
<b>No30</b>	<b>102,53</b>	<b>69,98</b>	<b>13,22</b>	<b>6,78</b>	<b>6,78</b>
<b>No40</b>	<b>32,77</b>	<b>37,21</b>	<b>7,03</b>	<b>3,6</b>	<b>3,6</b>
<b>No50</b>	<b>0</b>	<b>37,21</b>	<b>7,03</b>	<b>3,6</b>	<b>3,6</b>
<b>No70</b>	<b>35,02</b>	<b>2,19</b>	<b>0,41</b>	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>
<b>No100</b>	<b>1,22</b>	<b>0,97</b>	<b>0,18</b>	<b>0,094</b>	<b>0,094</b>
<b>No200</b>	<b>0,97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

*κοκκομετρική καμπύλη χονδρόκοκκου(χαλίκι - άμμος) δείγματος*





## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΙΔΙΚΩΝ ΒΑΡΩΝ( $\gamma$ ) ΧΑΛΑΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

### ΧΑΛΑΡΟ ΔΕΙΓΜΑ

**ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** 24mm

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (ΜΕ ΕΝΑ ΠΩΡΟΛΙΘΟ):** 2987,7gr

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ & ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 3166,2 gr

**ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 178,5gr

**ΠΛΕΥΡΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ(ΜΕ ΕΝΑ ΠΩΡΟΛΙΘΟ) :** 60 \* 34 = 2040mm<sup>2</sup>

**ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ :** 60 \* 60 \* 34 = 122,4cm<sup>3</sup>

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

$$\underline{\gamma_z = 178,5/122,4 = 1,46 \text{ gr/cm}^3}$$

### ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΟ ΔΕΙΓΜΑ

#### 1<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

**ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** 24mm

**ΒΑΡΟΣ ΠΩΡΟΛΙΘΟΥ :** 63,10gr

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (ΜΕ ΕΝΑ ΠΩΡΟΛΙΘΟ) :** 3050,8gr

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ & ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 3189 gr

**ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 138,2gr

**ΠΛΕΥΡΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ(ΜΕ ΕΝΑ ΠΩΡΟΛΙΘΟ) :** 60 \* 24 = 1440mm<sup>2</sup>

**ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ :** 60 \* 60 \* 24 = 86,4cm<sup>3</sup>

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

$$\underline{\gamma_{1c} = 138,2/86,4 = 1,46 \text{ gr/cm}^3 = \gamma_{d1}}$$

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) τη στιγμή της θραύσης = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

Όγκος δείγματος :  $\beta * \upsilon * H_1$  (ύψος που έχουμε υπολογίσει από το διάγραμμα  $\epsilon\%$  -  $\Delta H$  τη στιγμή της θραύσης)

$$\underline{\gamma_{10}} = 138,2/6*6*2,495 = 1,54 \text{ gr/cm}^3$$

- $\gamma_{d1} > \gamma_{10}$  δηλαδή  $1,60 > 1,54$

## 2<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

**ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** 24mm

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

(ΜΕ ΔΥΟ ΠΩΡΟΛΙΘΟΥΣ & ΤΜ. ΚΥΨΕΛΗΣ & ΒΙΛΕΣ) : 3050,8gr

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

(ΜΕ ΔΥΟ ΠΩΡΟΛΙΘΟΥΣ & ΤΜ. ΚΥΨΕΛΗΣ & ΒΙΛΕΣ)

& ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : 3196,1 gr

**ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 145,3gr

**ΠΛΕΥΡΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (ΜΕ ΕΝΑ ΠΩΡΟΛΙΘΟ) :**  $60 * 24 = 1440 \text{mm}^2$

**ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ :**  $60 * 60 * 24 = 86,4 \text{cm}^3$

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

$$\underline{\gamma_{20}} = 145,3/86,4 = 1,68 \text{ gr/cm}^3$$

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) τη στιγμή της θραύσης = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

Όγκος δείγματος :  $\beta * \upsilon * H_2$  (ύψος που έχουμε υπολογίσει από το διάγραμμα  $\epsilon\%$  -  $\Delta H$  τη στιγμή της θραύσης)

$$\underline{\gamma_{20}} = 145,3/6*6*2,49 = 1,62 \text{ gr/cm}^3$$

- $\gamma_{d2} > \gamma_{20}$  δηλαδή  $1,68 > 1,62$

### 3<sup>η</sup> ΔΟΚΙΜΗ

**ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:** 24mm

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

**(ΜΕ ΔΥΟ ΠΩΡΟΛΙΘΟΥΣ & ΤΜ. ΚΥΨΕΛΗΣ & ΒΙΔΕΣ) :** 3050,8gr

**ΒΑΡΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

**(ΜΕ ΔΥΟ ΠΩΡΟΛΙΘΟΥΣ & ΤΜ. ΚΥΨΕΛΗΣ & ΒΙΔΕΣ)**

**& ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 3195,9 gr

**ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :** 145,1gr

**ΠΛΕΥΡΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ(ΜΕ ΕΝΑ ΠΩΡΟΛΙΘΟ) :** 60 \* 24 = 1440mm<sup>2</sup>

**ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ :** 60 \* 60 \* 24 = 86,4cm<sup>3</sup>

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

$$\underline{\gamma_{30}} = 145,1/86,4 = 1,68 \text{ gr/cm}^3$$

**Ειδικό βάρος( $\gamma$ ) τη στιγμή της θραύσης = Βάρος υγρού δείγματος/όγκο δείγματος**

Όγκος δείγματος :  $\beta * \nu * H_{\tau_3}$  (ύψος που έχουμε υπολογίσει από το διάγραμμα  $\epsilon\%$  -  $\Delta H$  τη στιγμή της θραύσης)

$$\underline{\gamma_{30}} = 145,1/6*6*2,462 = 1,64 \text{ gr/cm}^3$$

- $\gamma_{d3} > \gamma_{30}$  δηλαδή 1,68 > 1,64

### ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ (Dr)

$$Dr = (n_{\max} - n) / n_{\max} - n_{\min}$$

$n = 1 - \gamma_{\theta}/\gamma_s$			$n = 1 - \gamma_{\sigma}/\gamma_s$		
n(τη στιγμή της θραύσης)			n(συμπυκνωμένου δείγμ.)		
$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_{\min 1}$	$n_{\min 2}$	$n_{\min 3}$
0,429	0,395	0,392	0,407	0,378	0,378

$$n_{\max} = [1 - \gamma_d(\text{χαλαρού δείγμ.})] / \gamma_s$$

$$n_{\max} = (1 - 1,46) / 2,70$$

$$\underline{n_{\max} = 0,46}$$

- όπου  $\gamma_s$ : φαινόμενο ειδικό βάρος εδάφους

Το φαινόμενο ειδικό βάρος ή καθαρό βάρος  $\gamma_s$  (gr/cm<sup>3</sup>) στερεάς ύλης είναι το βάρος της στερεάς ύλης χωρίς τους πόρους σε σχέση με τον όγκο της στερεάς αυτής ύλης.

$\gamma_s = W_d / V_d$  (gr/cm<sup>3</sup>) το οποίο έχουμε υπολογίσει και ισούται με:  
 $\gamma_s = 2,70$  gr/cm<sup>3</sup>

Συνεπώς:

$D_{r1}$	$D_{r2}$	$D_{r3}$
0,585	0,792	0,829

Υπολογισμός συντελεστή  $\lambda$

$\lambda = 0,7 ( 1 + D_r )$		
$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$
1,1095	1,2544	1,2800

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ (φ)

$$\tan\varphi = (A \cdot \cos\rho^{0,9}) / \sigma^{1/3} + B \cdot \lambda$$

$$u = 3,29$$

[από την κοκκομετρική καμπύλη του χονδρόκοκκου(χαλίκι – άμμος)  
δείγματος]

$$\rho = 65$$

από νομογράφημα 1

$$B = 0,2$$

από νομογράφημα 2

$$A = 1,2$$

από πίνακα V

Π Ι Ν Α Κ Ε V.

Ποσοστά γωνιωδών κόκκων %	Τιμή του συντελεστού A
20	1,0
40	1,1
50	1,2
60	1,3
70	1,4
80	1,5
90	1,6
100	1,7

tanφ		
1	2	3
41,75°	38,12°	34,2°

#### 1.4.4.1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Η τιμή της  $\phi$  στα χονδρόκοκκα, στη δοκιμή άμεσης διάτμησης που κάναμε βρέθηκε  $63^{\circ}$ , ενώ με τους εμπειρικούς τύπους  $40^{\circ}$  περίπου. Η διαφορά οφείλεται στο εξής : Η μηχανή της διάτμησης που έχουμε στο εργαστήριο έχει μικρό κιβώτιο – τετραγωνικό με 6 cm πλευρά – το οποίο είναι κατάλληλο για εδάφη με μέγεθος κόκκου το πολύ μέχρι 2 mm. Για το δείγμα το δικό μας το χονδρόκοκκο , που έχει κόκκους και μεγαλύτερους των 2 mm, απαιτείται κιβώτιο , σύμφωνα με τις προδιαγραφές , με πλευρά γύρω στα 30 cm. Γενικώς, όσο πιο χοντρόκοκκο είναι το έδαφος τόσο πιο μεγάλο κιβώτιο χρειάζεται. Γι αυτό το λόγο έδωσε μεγάλα φορτία στις διατμητικές τάσεις θραύσης και βγήκε η γωνία γύρω στις  $63^{\circ}$ , που δεν είναι σωστή, είναι αρκετά μεγάλη για το συγκεκριμένο έδαφος. Οι γωνίες που βρέθηκαν με τον εμπειρικό τύπο είναι πιο κοντά στη πραγματικότητα.

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις όπου μπορούμε να αποφύγουμε τη χρήση της διάτμησης και να χρησιμοποιήσουμε τον εμπειρικό τύπο που παρουσιάσαμε. α) Αν το έδαφος που εξετάζουμε έχει παράλληλη κοκκομετρική καμπύλη με άλλο γνωστής  $\phi$  , τότε έχει την ίδια  $\phi$  με αυτό .Αναφέρεται στη διατριβή ότι η μελέτη έχει δείξει ότι εδάφη με παράλληλες κοκκομετρικές καμπύλες έχουν την ίδια  $\phi$ . β) Αν γνωρίζουμε από τα στοιχεία της γεώτρησης την κατακόρυφη τάση  $\sigma$  από τα υπερκείμενα εδάφη και ξέρουμε και το πορώδες στη φυσική κατάσταση, άρα και την ανάλογη σχετική πυκνότητα ,μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον εμπειρικό αυτό τύπο.

## 1.5 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι να μελετήσουμε τη δυνατότητα της εύρεσης των μηχανικών ιδιοτήτων συνεκτικών και μη συνεκτικών εδαφών μέσω απλών δοκιμών κατάταξης και θλίψης.

Πραγματοποιούμε τις δοκιμές κοκκομετρικής ανάλυσης και διάτμησης για τα ψαθυρά εδάφη, ενώ για τα λεπτόκοκκα εκτός από τις δύο προηγούμενες δοκιμές, πραγματοποιούμε ακόμα τη δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης και των ορίων Atterberg.

Θέλοντας να αποφύγουμε τις χρονοβόρες δοκιμές της στερεοποίησης για τα συνεκτικά εδάφη και της τριαξονικής για τα μη συνεκτικά, χρησιμοποιούμε εμπειρικούς τύπους που προσδιορίζουν, σύμφωνα με μελέτες, τον δείκτη συμπιεστότητας  $C_c$  και τη γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi$ ).

Τέλος συγκρίνουμε τη συνοχή ( $C$ ) και τη γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi$ ) με τις αντίστοιχες τιμές των μεγεθών αυτών που βρήκαμε με τη βοήθεια των εμπειρικών τύπων.

Επίσης, βγάζουμε συμπεράσματα για την εγκυρότητα των εμπειρικών αυτών τύπων και σχολιάζουμε την απόκλισή τους από τις τιμές των αντίστοιχων μεγεθών που υπολογίσαμε από τις εργαστηριακές δοκιμές.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Παπαχαρίσης, Γραμματικόπουλος, Μάνου

### ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Αρχές και εφαρμογές

G.E. Barnes

Εκδόσεις : Κλειδάριθμος

### ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Δημήτριος Θ. Βαλαλάς

Εκδόσεις : Αδελφοί Κυριακίδη Α.Ε

### Γεωτεχνική Μηχανική

Κων/νος Α. Κολέτσος

Εκδόσεις : University Studio Press, Θεσ/κη 2004

### Θεμελιώσεις

Joseph Bowles

Εκδόσεις : Fountas

### Στοιχεία Μηχανικής πετρωμάτων και γεωτρήσεων

Ζαφείρης Καροτσιέρης

### Προσδιορισμός της γωνίας εσωτερικής τριβής ( $\phi$ )

των ψαφυρών εδαφών εκ της κοκκομετρικής

των διαβαθμίσεως

Διατριβή επί διδακτορία, υποβληθείσα στο Α.Π.Θ

Νικόλαος Δ. Παπαχαρίσης