

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9  
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

## Τεχνική Γεωλογία Ι

Διδάσκοντας:  
Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ  
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργιών

## Εργαστηριακές δοκιμές Εδαφομηχανικής - Βραχομηχανικής

## Αντικείμενο της Διάλεξης

Αντικείμενο της διάλεξης είναι η παρουσίαση των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελούνται για τον προσδιορισμό των φυσικών και των μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών, στο πλαίσιο της Τεχνικογεωλογικής - Γεωτεχνικής έρευνας.

## Κατηγοριοποίηση εργαστηριακών δοκιμών

Διάκριση με βάση τη φύση των δοκιμαζόμενων υλικών

- Εργαστηριακές δοκιμές Εδαφομηχανικής
- Εργαστηριακές δοκιμές Βραχομηχανικής



Διάκριση με βάση το είδος των προσδιοριζόμενων παραμέτρων

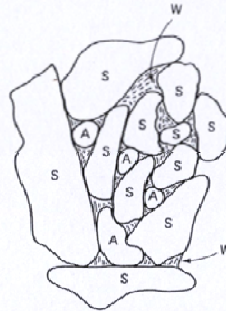
- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών
- Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών
- Δοκιμές προσδιορισμού υδραυλικών χαρακτηριστικών



## Έδαφος – Ορισμός

Σύμφωνα με τις θεωρήσεις των Μηχανικών, ως εδάφη χαρακτηρίζονται οι σχηματισμοί των οποίων τα στερεά συστατικά είναι μεταξύ τους ασύνδετα ή ελαφρώς συγκολλημένα ενώ τα μεταξύ τους κενά είναι πληρωμένα με υγρά ή και αέρια (συνήθως νερό και αέρα).

Επομένως, ως εδάφη χαρακτηρίζονται τα μη συμπαγή τριφασικά υλικά τα οποία εκτός από στερεά φάση, αποτελούνται και από υγρή ή και αέρια φάση.



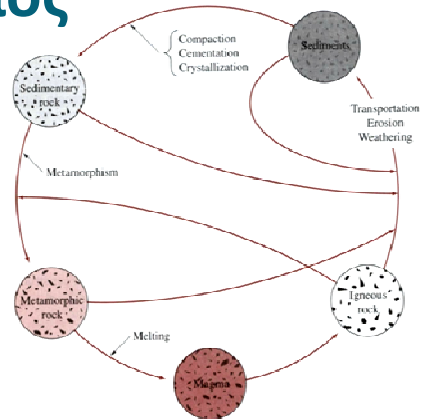
S: Solid  
W: Liquid  
A: Air

## Βράχος – Ορισμός

Ως βράχος ονομάζεται οποιαδήποτε φυσικός δημιουργούμενη συνεκτική μάζα ορυκτής ύλης.

Στους βράχους κατατάσσονται:

- Τα ιζηματογενή πετρώματα
- Τα πυριγενή πετρώματα και
- Τα μεταμορφωμένα πετρώματα



Η βραχομηχανική εκτός από τη μηχανική συμπεριφορά του άρρηκτου πετρώματος εξετάζει και τη συμπεριφορά της διερρηγμένης βραχομάζας. Δηλαδή βραχομηχανική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τις φυσικές ιδιότητες και τις αρχές μηχανικής συμπεριφοράς ισότροπου και ανισότροπου συνεχούς και ασυνεχούς βράχου.

<b>Βασικές δοκιμές εδαφομηχανικής</b>	
<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>	<b>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ</b>
<b>Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων ή δοκιμές ταξινόμησης</b>	
Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας εδάφους	E105-36, παρ. 2, ASTM D 2216-90
Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους, συν. υλικού	E105-86, παρ. 3, AASHTO T147, ASTM C 29
Προσδιορισμός ειδικού βάρους στερεών συστατικών	E105-36, παρ. 4, ASTM D 854
Προσδιορισμός κόκκου, αναλ. ξηράς μεθόδου	E105-36, παρ.7, ASTM C 136-34
Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο	E105-36, παρ. 9, ASTM C 36-84
Προσδιορισμός ορίων υδαρότητας, πλαστικότητας	E105-36, παρ.5.6, ASTM D 4318-34
<b>Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων</b>	
Δοκιμή ανεμπόδιστη θλίψης	E105-36, παρ. 14, ASTM D 2166
Δοκιμή ταχείας διάτμησης χωρίς στερεοποίηση (UU)	E105-86,παρ.16-5-2.1,ASTM D3080
Δοκιμή ταχείας διάτμησης με στερεοποίηση	E105-86,παρ.16-5-2.2,ASTM D3080
Δοκιμή βραδείας διάτμησης με στερεοποίηση	E105-86,παρ.16-5-2.3,ASTM D3080
Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης	E105-36, παρ. 13, ASTM D 2435-30
Τριαξονική δοκιμή UU ή UUPP	E105-86, παρ.15-6.1, ASTM D 2350-43
Τριαξονική δοκιμή CUPP	E105-86, παρ.15-6.2, ASTM D 2850-82
Τριαξονική δοκιμή CD	E105-86, παρ. 15-6.31
Δοκιμή Δακτυλιοειδούς διάτμησης συνεκτικών εδαφών	ASTM D 6467-99
Πρότυπη και τροποποιημένη δοκιμή προσδιορισμού της βέλτιστης υγρασίας συμπίκνωσης ή δοκιμή Proctor	E105-36, παρ. 10.11, ASTM D 1557
Προσδιορισμός Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας, δοκιμή CBR.	E105-36, παρ. 125, ASTM D 1883
<b>Δοκιμές προσδιορισμού υδραυλικών παραμέτρων</b>	
Δοκιμή υδατοπερατότητας σταθερού φορτίου	E105-86, παρ. 17, E-13 USBR 5600-89
Δοκιμή υδατοπερατότητας μεταβλητού φορτίου	E105-86, παρ. 18, E-13 USBR 5600-89

<b>Βασικές δοκιμές βραχομηχανικής</b>	
<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>	<b>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ</b>
<b>Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων</b>	
Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος.	E103-84, παρ. 1
Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας.	E103-84, παρ. 3
Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης.	ISRM Suggested Method
<b>Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων</b>	
Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.	E103-84, παρ. 4, ASTM D2938-86
Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση.	E103-84, παρ. 5
Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό.	ASTM D 2936-84
Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη.	E103-84, παρ. 6, ASTM D2664-36
Προσδιορισμός διατμητικής αντοχής, φυσικής και τεχνητής ασυνέχειας.	ISRM Suggested Method
Προσδιορισμός σκληρότητας, με την σφύρα Schmidt.	E103-84, παρ. 7, ISRM Suggested Method
Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων	E494 ASTM

## Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής

- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων ή δοκιμές ταξινόμησης
- Ταξινόμηση εδαφών

### Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας εδάφους

Ως υγρασία ορίζεται ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους ( $G_w$ ) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους ( $G_d$ ).

Ποσότητα δείγματος εξαρτώμενη από την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού **ζυγίζεται πριν και μετά την ξήρανσή** της. Η διαφορά του βάρους αντιστοιχεί στην περιεχόμενη ποσότητα νερού ( $G_w$ ).

Για την ξήρανση το δοκίμιο τοποθετείται στο φούρνο σε θερμοκρασία  $105^\circ - 110^\circ \text{C}$ , μέχρι σταθερού βάρους. Η δοκιμή πραγματοποιείται το ελάχιστο σε τρία αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Η περιεκτικότητα σε νερό υπολογίζεται ως:

$$W = \frac{\text{Βάρος Νερού (}G_w\text{)}}{\text{Ξηρό Βάρος Δείγματος (}G_d\text{)}} * 100\%$$

## Φαινόμενο βάρος, $\gamma$

Το φαινόμενο βάρος,  $\gamma$ , εδαφικού δείγματος είναι το βάρος της μονάδας του όγκου της στερεάς μάζας, μαζί με το περιεχόμενο των κενών. Δηλαδή, το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους,  $G$ , προς τον όγκο του εδάφους,  $V$ .

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Το φαινόμενο βάρος,  $\gamma$ , ανάλογα με το βαθμό κορεσμού του δείγματος, διακυμαίνεται από την ελάχιστη τιμή του ξηρού φαινόμενου βάρους,  $\gamma_d$ , έως τη μέγιστη τιμή του κορεσμένου φαινόμενου βάρους,  $\gamma_{sat}$ .

Όταν το εδαφικό δείγμα βρίσκεται υπό συνθήκες άνωσης τότε αναφερόμαστε στο φαινόμενο βάρος υπό άνωση,  $\gamma'$ .

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \gamma_d \left( 1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Για  $\gamma_s = 2,7 \text{ gr/cm}^3$  και  $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$  προκύπτει ότι το  $\gamma' = 0,6\gamma_d$ .

## Εργαστηριακός προσδιορισμός φαινόμενου βάρους

- Για τον προσδιορισμό του βάρους αδιατάρακτο κομμάτι δείγματος (περίπου 100gr) ζυγίζεται με ακρίβεια.
- Για τον προσδιορισμό του όγκου το δείγμα παραφινώνεται και βυθίζεται σε ογκομετρικό κύλινδρο. Από τη διαφορά της αρχικής και τελικής ένδειξης της στάθμης του νερού μέσα στο σωλήνα, προκύπτει ο όγκος του παραφινωμένου δείγματος. Από τη διαίρεση του όγκου με το βάρος προκύπτει το φαινόμενο βάρος. Επισημαίνεται, ότι από τη διαφορά βάρους του αρχικού και του παραφινωμένου δείγματος προκύπτει ο όγκος της επικάλυψης ο οποίος και αφαιρείται από τους υπολογισμούς.

Το φαινόμενο βάρος μπορεί να υπολογιστεί και μέσω της ζύγισης δείγματος γνωστού όγκου. Π.χ. δείγματος το οποίο έχει τοποθετηθεί εντός δακτυλίου γνωστών διαστάσεων ή έχει διαμορφωθεί για την εκτέλεση άλλης δοκιμής.

## Ειδικό βάρος ή φαινόμενο βάρος στερεών συστατικών, $\gamma_s$

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους ή το φαινόμενο βάρος των στερεών συστατικών,  $\gamma_s$ , είναι το βάρος της μονάδας του όγκου μόνο των στερεών συστατικών του εδαφικού δείγματος. Το ειδικό βάρος ορίζεται ως ο λόγος του βάρους,  $G_s$ , ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους,  $V_s$ , προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4° C.

$$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (\text{Καθαρός Αριθμός})$$

Οι τιμές του ειδικού βάρους κυμαίνονται από 2,65 έως 2,80. Συνήθως για τους γεωτεχνικούς υπολογισμούς και χωρίς να εκτελούνται περεταίρω εργαστηριακές δοκιμές χρησιμοποιείται η τιμή 2,7.

## Εργαστηριακός προσδιορισμός ειδικού βάρους λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών

- Ογκομετρικός κύλινδρος πληρώνεται με αποσταγμένο νερό πραγματικής θερμοκρασίας δωματίου μέχρι τα 100 ml και εν συνεχεία ζυγίζεται ( $W_a$ ).
- Το εδαφικό δείγμα (τουλάχιστον 25 gr) ζυγίζεται ( $W_o$ ) και τοποθετείται μέσα στον κενό ογκομετρικό κύλινδρο μαζί με νερό, αφού αφαιρεθεί ο περιεχόμενος αέρας με αντλία κενού ή με βρασμό, ο κύλινδρος πληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι τα 100 ml.
- Τέλος, λαμβάνεται το βάρος  $W_b$  του κυλίνδρου με το περιεχόμενό του και η θερμοκρασία  $t$  του περιεχομένου σε °C.

Το ειδικό βάρος εδάφους ως προς νερό θερμοκρασίας  $t$  υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

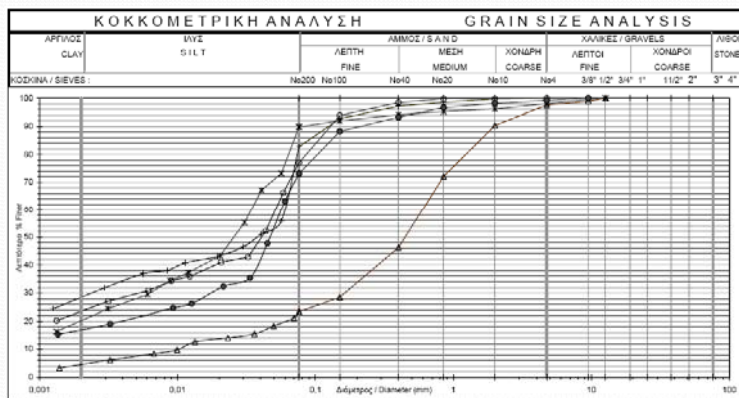
$$\gamma_{s(t^{\circ}C)} = \frac{W_o}{W_o + (W_a - W_b)}$$

Οι τιμές του ειδικού βάρους στην πράξη αναφέρονται ως προς νερό θερμοκρασίας 20 °C. Για την αναγωγή των αποτελεσμάτων στους 20 °C το ειδικό βάρος πολλαπλασιάζεται με σχετικό συντελεστή διόρθωσης.

$$\gamma_{s(20^{\circ}C)} = k \cdot \gamma_{s(t^{\circ}C)}$$

## Κοκκομετρική σύσταση εδαφών

Η κοκκομετρική σύσταση των εδαφών εκφράζεται με τη μορφή Αθροιστικών Κοκκομετρικών Καμπυλών. Οι καμπύλες αυτές παρουσιάζουν την ποσοστιαία αναλογία των επιμέρους διαμέτρων των κόκκων στη σύσταση των εδαφικών υλικών.



## Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

- Με τη διαδικασία του τετραμερισμού λαμβάνεται η απαραίτητη ποσότητα δείγματος.
- Το δείγμα θερμαίνεται στους 105° C και αφού ξηραθεί τρίβεται σε γουδί με απώτερο στόχο την αποκόλληση των κόκκων και όχι τη θραύση τους.
- Το εδαφικό δείγμα ζυγίζεται με ακρίβεια και αδειάζεται σε σειρά κατάλληλα επιλεγμένων κοσκίνων.
- Η στήλη με τα κόσκινα τοποθετείται σε αυτόματη συσκευή δόνησης για 15'.
- Το υλικό που έχει μείνει σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται με ακρίβεια. Στο τέλος ζυγίζεται και το περιεχόμενο του δίσκου που περιέχει τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άργιλος).

Η διαφορά βάρους ανάμεσα στο αρχικό ζύγισμα και στο σύνολο των συγκρατούμενων υλικών των διαφορετικών κοσκίνων δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1% του αρχικού βάρους.

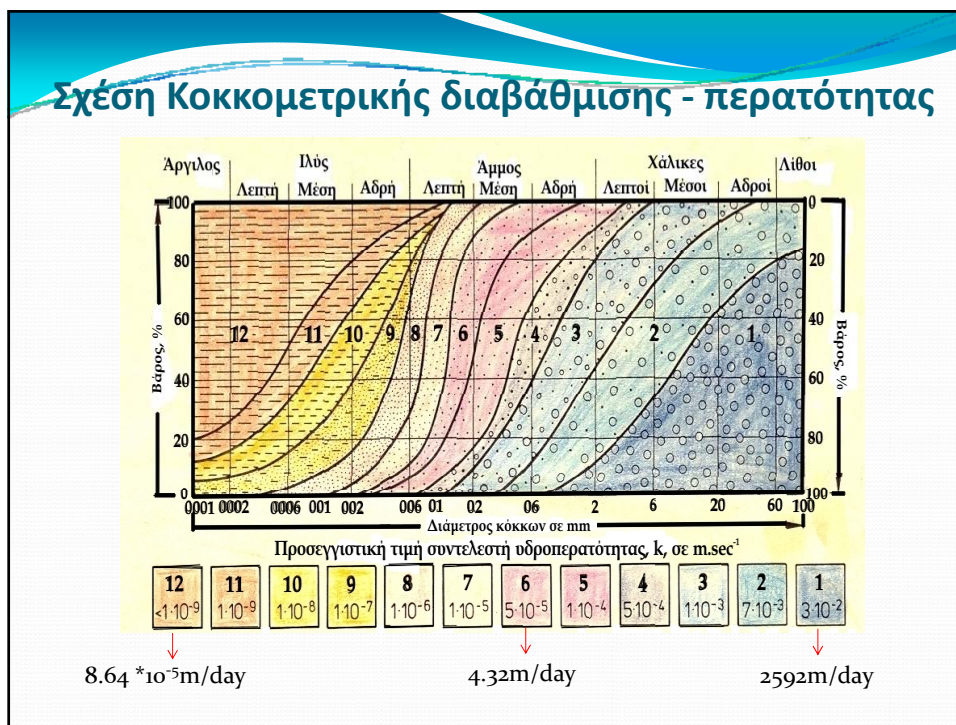




## Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο – ανάλυση ιλύος

- Δείγμα 50 - 100 gr από το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No. 10 (2 mm, όριο χονδρής - μέσης άμμου) τοποθετείται σε ποτήρι των 250 ml και καλύπτεται με διάλυμα παράγοντα διασποράς. Αφήνεται να διαβραχεί για 12 τουλάχιστον ώρες για την αποσυσσωμάτωση των κόκκων.
- Το περιεχόμενο του ποτηριού αναδεύεται με μηχανική συσκευή ανακίνησης (mixer) για 1min για να επιτευχθεί η διασπορά.
- Το ομογενές αιώρημα μεταφέρεται σε γυάλινο ογκομετρικό κύλινδρο όπου προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρι την ογκομετρική χαραγή των 1000 ml και αναταράσσεται με τα χέρια επί 1 min.
- Με το τέλος της αναταράξεως τίθεται σε λειτουργία το χρονόμετρο και διαβάζονται οι ενδείξεις του αραιομέτρου με προσέγγιση 0,5 gr/lit των 1, 2, 5, 30, 60, 250 και 1440 min. Μετά από κάθε ανάγνωση του αραιομέτρου μετράται η θερμοκρασία του εδαφικού αιωρήματος.
- Μετά την τελική ανάγνωση, το αιώρημα πλένεται επάνω σε κόσκινο No. 200. Το κλάσμα που συγκρατείται ξηραίνεται και εκτελείται κοκκομετρική ανάλυση με τα κόσκινα : No. 40, No. 100 και No. 200.

Η πυκνότητα του αιωρήματος ανάγεται, μέσω του νόμου του Stokes, σε ποσοστό εν αιωρήσει κόκκων μέγιστης διαμέτρου αιώρησης, επί του αρχικού δείγματος.

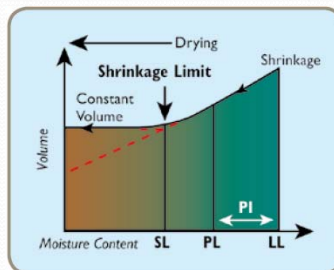


## Όρια Atterberg

Ως όρια Atterberg ορίζονται τα όρια των τιμών της υγρασίας των συνεκτικών εδαφών που ορίζουν τις περιοχές της ημιστερεής και της πλαστικής συμπεριφοράς τους.

Τα όρια Atterberg είναι:

- Το **όριο συρρίκνωσης, SL**, όριο μεταξύ στερεής και ημιστερεής κατάστασης
- Το **όριο Πλαστικότητας, PL**, όριο μεταξύ ημιστερεής και πλαστικής κατάστασης, και
- Το **όριο Υδαρότητας, LL**, όριο μεταξύ της πλαστικής και της υδαρής κατάστασης.



Phase	Solid State	Semi-Solid State	Plastic State	Liquid State	Suspension
Water		Water Content Decreasing			
Limits		Shrinkage Limit SL	Plastic Limit PL	Liquid Limit LL	
Shrinkage	Volume Constant	Volume Decreasing			
Condition	Hard to Stiff	Workable	Sticky	Slurry	Water-Hold Suspension
Shear Strength (kN/m <sup>2</sup> )		Shear Strength Increasing 170			Negligible to Nil
Moisture Content		SL	PL ← PI → LL		

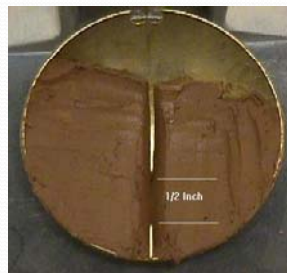
## Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας (LL)

Το όριο υδαρότητας προσδιορίζεται με τη συσκευή CASAGRANDE.

- **100 gr δείγματος** διερχόμενα από το κόσκινο No.40 (<0.4 mm, όριο λεπτής - μέσης άμμου) **ζυμώνονται με τόσο νερό (περίπου 15-20 cm<sup>3</sup>)**, ώστε να σχηματιστεί **μία μαλακή - πλαστική μάζα**.
- Μέρος της ομοιόμορφης πλαστικής μάζας **τοποθετείται και επιπεδώνεται στο κέντρο του κυπέλλου** της συσκευής CASAGRANDE. Το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1 cm.
- Το έδαφος **διαίρεται με μια σταθερή διαδρομή** του οργάνου χαραξέως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου.
- Με την **περιστροφή του στρόφαλου της συσκευής** η λεκάνη πέφτει ρυθμικά πάνω στο βάθος του οργάνου μέχρις ότου η **χαραγή κλείσει σε μήκος 12.7 mm** περίπου.
- Μετά το πέρας της δοκιμής καταγράφεται ο **αριθμός των κτύπων** που χρειάστηκαν για να κλείσει η χαραγή καθώς και η **υγρασία του δείγματος**.

Για κάθε δείγμα διεξάγονται τουλάχιστον **τρεις δοκιμές** για διαφορετικές περιεκτικότητες νερού και για 10 έως 40 κτυπήματα. **Το όριο υδαρότητας LL είναι η περιεκτικότητα σε νερό που αναλογεί στους 25 κτύπους** (Γραφική παράσταση  $W - \log(\text{κτύπων})$ ).

## Εξοπλισμός – εκτέλεση δοκιμών προσδιορισμού ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας



## Προσδιορισμός ορίου πλαστικότητας (PL)

- Περίπου 20 gr υλικού από το διερχόμενο από το κόσκινο No. 40, αναμιγνύονται με αποσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική και να μπορεί να μορφωθεί σε βώλο.
- Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και σφυριδωμένης γυάλινης πλάκας με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο - "μακαρόνι" ομοιόμορφης διαμέτρου σε όλο το μήκος του.
- Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3 mm, ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξι ή οκτώ τεμάχια. Συμπιέζονται τα τεμάχια μεταξύ τους προς ομοιόμορφη μάζα και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση.
- Η εναλλαγή συνεχίζεται μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματισθεί με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο.
- Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν την περιεχόμενη υγρασία που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3 mm και προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών δοκιμών.

## Προσδιορισμός ορίου συρρίκνωσης (SL)

- Λαμβάνονται περίπου 100 gr υλικού από το διερχόμενο από το κόσκινο Νο. 40.
- Το δείγμα αναμιγνύεται με αποσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί υδαρή ( $W_c$ ) και στη συνέχεια με αυτό πληρώνεται κάψα συρρίκνωσης, γνωστού όγκου,  $V_l$ .
- Η πληρωμένη κάψα ζυγίζεται και στη συνέχεια εισάγεται στο φούρνο μέχρι την ξήρανση του δείγματος.
- Μετά την ξήρανση του δείγματος προσδιορίζεται το βάρος του ξηρού δείγματος,  $W_d$ , με ζύγιση, καθώς και ο όγκος του μέσω της βύθισης του δείγματος σε υδράργυρο,  $V_d$ .

$$W_s = \left[ W_c - \frac{(V_l - V_d) \gamma_w}{W_d} \right] 100$$



## Δείκτες ορίων Atterberg

**Δείκτης Πλαστικότητας ( $I_p$ ).** Ο συγκεκριμένος δείκτης ορίζει το εύρος της πλαστικής περιοχής. Το μεγάλο εύρος υποδηλώνει ότι ο σχηματισμός είναι υψηλής πλαστικότητας.

$$I_p = LL - PL$$

**Δείκτης Υδαρότητας ( $I_L$ ).** Καθορίζει τη σχέση μεταξύ των ορίων και της φυσικής υγρασίας, W.

$$I_L = \frac{W - PL}{I_p}$$

**Δείκτης Αντίστασης ή Συνεκτικότητας ( $I_c$ ).** Καθορίζει τη σχέση μεταξύ των ορίων και της φυσικής υγρασίας, W. Η αύξηση των τιμών του δείκτη αντιστοιχεί και σε αύξηση της αντοχής σε διάτμηση.

$$I_c = \frac{LL - W}{I_p}$$

## Σκοπιμότητα των συστημάτων κατάταξης

Τα συστήματα κατάταξης ή ταξινόμησης εξυπηρετούν τους εξής σκοπούς:

- Την **κατάταξη** των εδαφικών σχηματισμών σε κατηγορίες διαφορετικής μηχανικής συμπεριφοράς.
- Τη διαμόρφωση **βάσεων δεδομένων** για τη συσχέτιση φυσικών - μηχανικών παραμέτρων με τη συμπεριφορά και τη χρήση των εδαφικών υλικών.
- Τη **λήψη ποσοτικών φυσικομηχανικών παραμέτρων** για τη σχεδίαση έργων.
- Την καθιέρωση ενός **κώδικα περιγραφής** των εδαφικών σχηματισμών.
- Το **συσχετισμό εμπειρικών δεδομένων** με δεδομένα από το εκάστοτε μελετώμενο σχηματισμό.
- Την **παροχή συστάσεων και οδηγιών** για τη συμπεριφορά των εδαφικών υλικών στα τεχνικά έργα.

## Συστήματα κατάταξης

Έχουν προταθεί πολυάριθμα συστήματα κατάταξης ορισμένα από τα οποία είναι:

- Ταξινόμηση εδαφών κατά Casagrande.
- Ταξινόμηση εδαφών με βάση το μέγεθος των κόκκων.
- **Ενιαίο σύστημα ταξινόμησης εδαφών (Unified Soil Classification System, USC).**
- Ταξινόμηση κατά AASHO (American Association of State Highway Officials).
- Γαλλική ταξινόμηση FOCS-64.
- Σύστημα ταξινόμησης εδαφών της ASEE (American Society for Engineering Education) ή σύστημα ταξινόμησης Burmister.
- Ταξινόμηση εδαφών κατά FAA (Federal Aviation Agency).

## Ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών


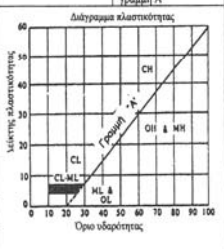
Designation: D 2487 - 00  
 Standard Practice for  
 Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified  
 Soil Classification System)<sup>1</sup>  


TABLE 1 Soil Classification Chart

				Soil Classification	
Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>1</sup>				Group Symbol	Group Name <sup>2</sup>
<b>COARSE-GRAINED SOILS</b>					
More than 50 % retained on No. 200 sieve	Gravels	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^2$	GW	Well-graded gravel <sup>3</sup>
	More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Less than 5 % fines <sup>2</sup>	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^2$	GP	Poorly graded gravel <sup>3</sup>
	Gravels with Fines	Fines classify as ML or MH		GM	Silty gravel <sup>3,4,5</sup>
<b>FINE-GRAINED SOILS</b>					
Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>1</sup>				Group Symbol	Group Name <sup>2</sup>
More than 12 % fines <sup>2</sup>				Fines classify as CL or CH	Clayey gravel <sup>3,4,5</sup>
50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Sands	Clean Sands	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^2$	SW	Well-graded sand <sup>4</sup>
	50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Less than 5 % fines <sup>2</sup>	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^2$	SP	Poorly graded sand <sup>4</sup>
	Sands with Fines	Fines classify as ML or MH		SM	Silty sand <sup>4,5,6</sup>
More than 12 % fines <sup>2</sup>				Fines classify as CL or CH	Clayey sand <sup>4,5,6</sup>
<b>FINE-GRAINED SOILS</b>					
50 % or more passes the No. 200 sieve	Silts and Clays	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line <sup>7</sup>	CL	Lean clay <sup>7,8,9</sup>
	Liquid limit less than 50	organic	$PI < 4$ or plots below "A" line <sup>7</sup>	ML	Silt <sup>7,8,9</sup>
	Liquid limit - oven dried $< 0.75$		Liquid limit - oven dried $< 0.75$	OL	Organic clay <sup>7,8,9,10</sup>
Liquid limit 50 or more	Silts and Clays	inorganic	Liquid limit - not dried $PI$ plots on or above "A" line <sup>7</sup>	CL	Organic silt <sup>7,8,9,10</sup>
		organic	$PI$ plots on or above "A" line	CH	Fat clay <sup>7,8,9</sup>
	Liquid limit 50 or more	organic	$PI$ plots below "A" line	MH	Elastic silt <sup>7,8,9</sup>
Liquid limit - oven dried $< 0.75$				OH	Organic clay <sup>7,8,9,10</sup>
Liquid limit - not dried				PT	Organic silt <sup>7,8,9,10</sup>
<b>HIGHLY ORGANIC SOILS</b>					
Primarily organic matter, dark in color, and organic odor				PT	Peat

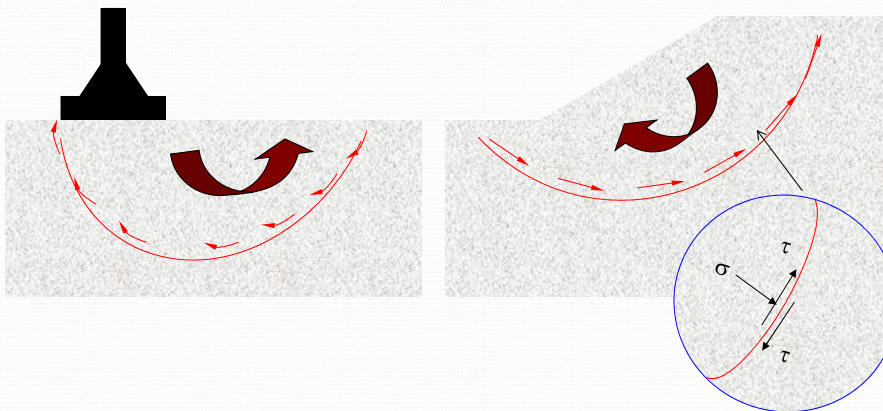
Βασικός Διαχωρισμός	Σύμβολα	Περιγραφή	Κριτήρια Κατάταξης		
Χονδρόκοκκα εδάφη Περισσότερο από 50% παραμένει στο κόσκινο No 200	Χάλικες 50% ή περισσότερα παραμένουν επί του κόσκινου No 4	GW	Καλά διαβηθισμένοι χάλικες ή αμμοβόλκλα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Κατάταξη με βάση το λεπτόκοκκο κλάσμα  Διαρχ. από το κόσκινο No 200 < 5% GW, GP, SW, SP  Διαρχ. από το κόσκινο No 200 > 12% GM, GC SM, SC  Διαρχ. από το κόσκινο No 200 μεταξύ 5% και 12% οριακή περίπτωση χρήση διακελού συμβολισμού	
		GP	Ομοιογενείς χάλικες ή αμμοβόλκλα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα		
	Χάλικες με λεπτόκοκκα	GM	Βιώδεις χάλικες. Μίγματα χάλικων - άμμου - υλούς		
		GC	Αργιλόδεις χάλικες. Μίγματα χάλικων - άμμου - αργίλου		
	Άμμοι 50% ή περισσότερα διαφρονται από το κόσκινο No 4	Άμμοι	SW		Καλά διαβηθισμένοι άμμοι ή αμμοβόλκλα με λίγα λεπτόκοκκα
			SP		Ομοιογενή άμμοι ή αμμοβόλκλα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα
Άμμοι με λεπτόκοκκα		SM	Βιώδεις άμμοι. Μίγματα άμμου - υλούς		
	SC	Αργιλόδεις άμμοι. Μίγματα άμμου - αργίλου			
Λεπτόκοκκα εδάφη Λιγότερο από 50% παραμένει στο κόσκινο No 200	Βιές και άργιλοι WL < 50%	ML	Ανόργανες βιές, πολύ λεπτές άμμοι, βιώδεις και αργιλόδεις άμμοι		
		CL	Ανόργανες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας (ενίοτε χάλικώδεις, αμμοβόδες ή βιώδεις)		
		OL	Οργανικές βιές ή βιώδεις άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας		
	Βιές και άργιλοι WL > 50%	MH	Ανόργανες, μαρμαρογενικές βιές υψηλής πλαστικότητας		
		CH	Ανόργανες, άργιλοι υψηλής πλαστικότητας		
OH	Οργανικές άργιλοι μέσης έως υψηλής πλαστικότητας				
Πολύ οργανικά εδάφη	Pt	Βιογενή και τυροβή εδάφη	Βιώδη οργανικά γεωλογικά προϊόντα απανθράκωσης		

## Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής

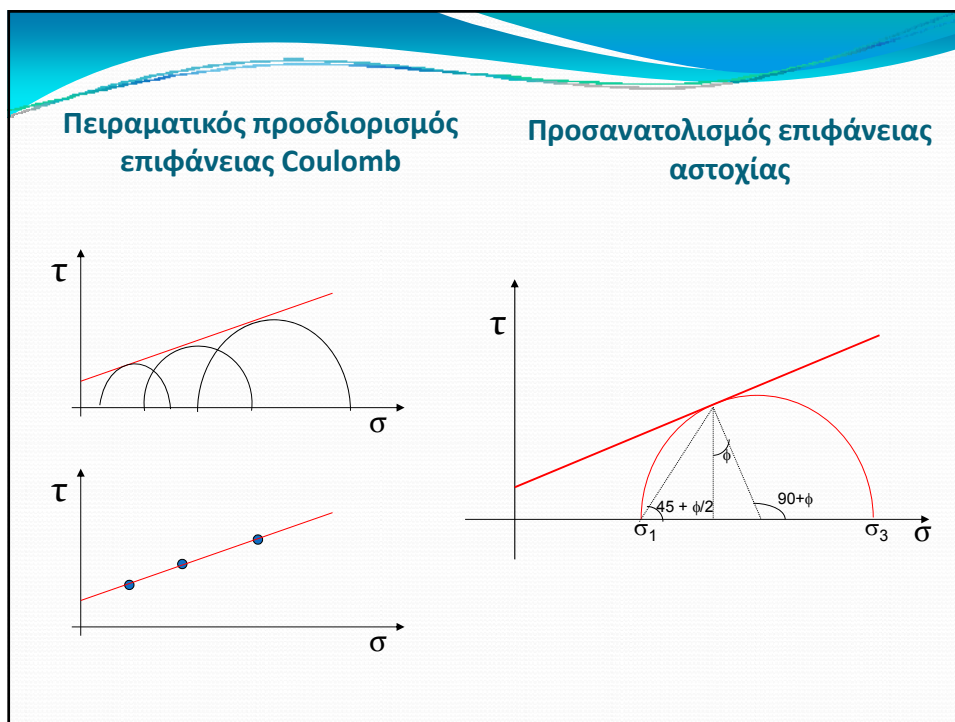
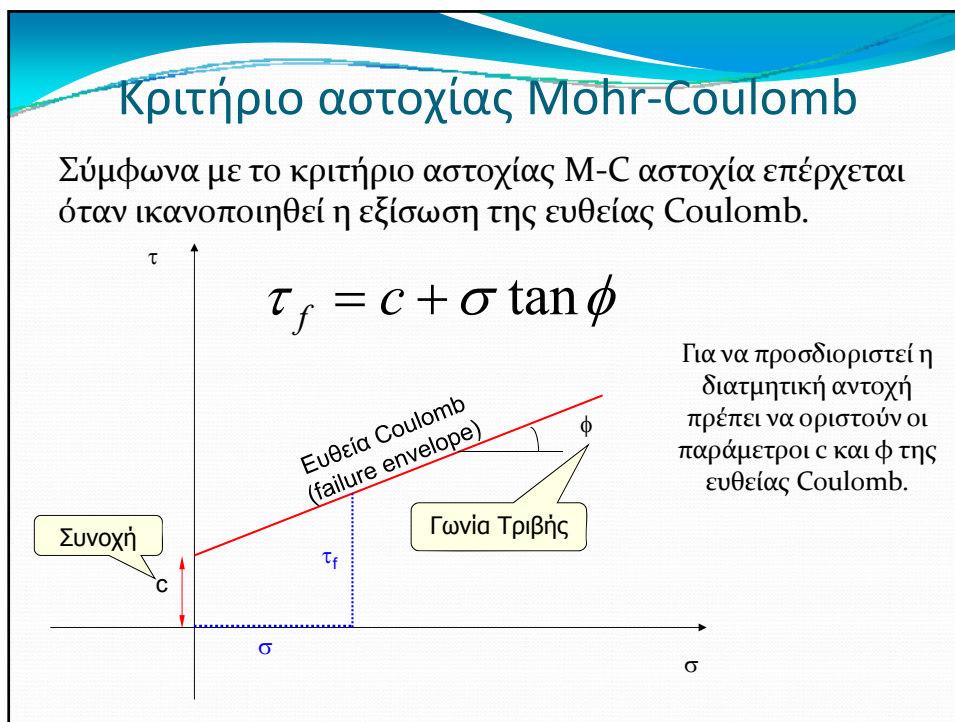
-  
Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

### Διατμητική αντοχή του Εδάφους

Η διατμητική αντοχή του εδάφους καθορίζει την ευστάθεια των πρανών, τις ωθήσεις γαιών, την αντοχή θεμελίωσης σε θραύση και γενικότερα τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους.







## Δοκιμή Ανεμπόδιστης Θλίψης

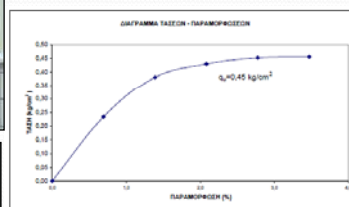
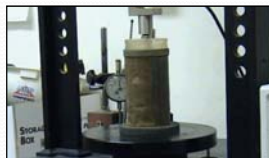
Η Δοκιμή Μονοαξονικής Θλίψης συνίσταται στη βαθμιαία αξονική φόρτιση ενός κυλινδρικού αδιατάραχτου ή αναζυμωμένου εδαφικού δοκιμίου, χωρίς την επιβολή πλευρικής πίεσης, μέχρι τη θραύση του ή την πλαστική διαρροή του.

**Διαστάσεις κυλινδρικού δοκιμίου:** Διάμετρος δοκιμίου ( $\phi$ ) 33 - 71 mm, ύψος δοκιμίου 2 - 3  $\phi$ . Οι μέγιστες διαστάσεις των κόκκων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1/10 έως 1/6  $\phi$ , αντίστοιχα.

**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Η κοπή του αδιατάραχτου δείγματος ή η μορφοποίηση του αναζυμωμένου δείγματος πρέπει να πραγματοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια υγρασίας. Το τελικό δοκίμιο θα πρέπει να μην παρουσιάζει ανωμαλίες ή κενά και θα πρέπει να έχει παράλληλες και επίπεδες έδρες.

**Πορεία δοκιμής:** Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο το οποίο επιβάλλει παραμόρφωση με ρυθμό της τάξης των 0,5 έως 2% ανά λεπτό (διάρκεια δοκιμής  $\leq 10$  min). Η επιβολή του φορτίου συνεχίζεται μέχρι τη θραύση του δοκιμίου (μείωση του φορτίου με αυξανόμενες παραμορφώσεις) ή μέχρι η παραμόρφωση ( $\epsilon=dL/L_0$ ) να φθάσει στο 20%.

**Προκείμενες μηχανικές παράμετροι:** α) Αστράγγιστη αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη,  $q_u$ , β) Αστράγγιστη συνοχή,  $c_u$ . γ) Από τις διαστάσεις και το βάρος του δοκιμίου προσδιορίζονται φυσικές παράμετροι του δείγματος, όπως: Υγρασία,  $w$ , Φαινόμενο βάρος,  $\gamma$ , Ξηρό φαινόμενο βάρος,  $\gamma_d$ , κ.λ.π.



## Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης

Η Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης αναφέρεται στη βαθμιαία επιβολή διατμητικών μετακινήσεων σε εδαφικό δοκίμιο, προσαρμοσμένο εντός υποδοχέα διάτμησης, μέχρι τη θραύση του κατά μήκος προδιαγεγραμμένης επιφάνειας.

**Διαστάσεις δοκιμίου:** Ελάχιστη επιθυμητή διάμετρος κυκλικού δοκιμίου ή πλάτος ορθογωνικής διατομής τετραγωνικού δοκιμίου 50 mm. Ελάχιστο πάχος δοκιμίου 25 mm. Ελάχιστος λόγος διαμέτρου προς πάχος 2:1. Οι μέγιστες διαστάσεις των κόκκων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1/6 του πάχους.

**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Η κοπή του αδιατάραχτου δείγματος ή η μορφοποίηση του αναλυμένου δείγματος πρέπει να πραγματοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια υγρασίας. Το τελικό δοκίμιο θα πρέπει να μη φέρει ανωμαλίες ή κενά και θα πρέπει να έχει παράλληλες και επίπεδες έδρες.



**Πορεία δοκιμής:** Συναρμολόγηση συσκευής → Προσεκτική τοποθέτηση δοκιμίου → Σύνδεση μηχανισμών φόρτισης, τοποθέτηση μηχανοσιόμετρων.

Ανάλογα με τον τύπο της δοκιμής ακολουθείται διαφορετικός τρόπος φόρτισης και θραύσης του δοκιμίου:

### **1. Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου**

Επιβολή ορθής τάσης → θραύση δοκιμίου (ταχύτητα παραμόρφωσης: 0.5 - 2% της διαμέτρου / min, Διάρκεια δοκιμής 15 - 20 min)

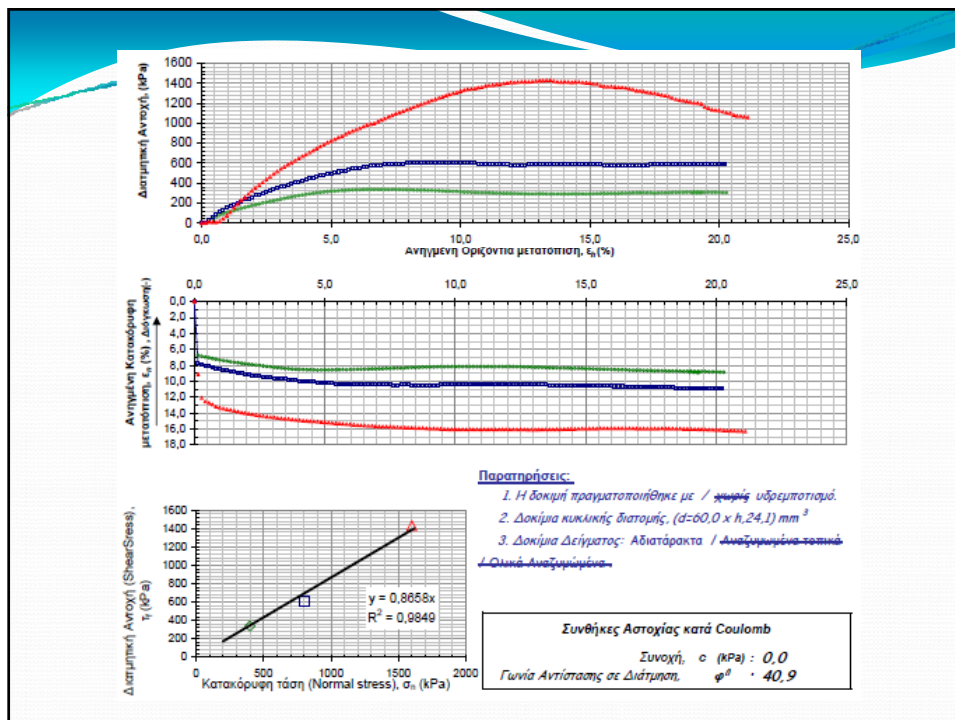
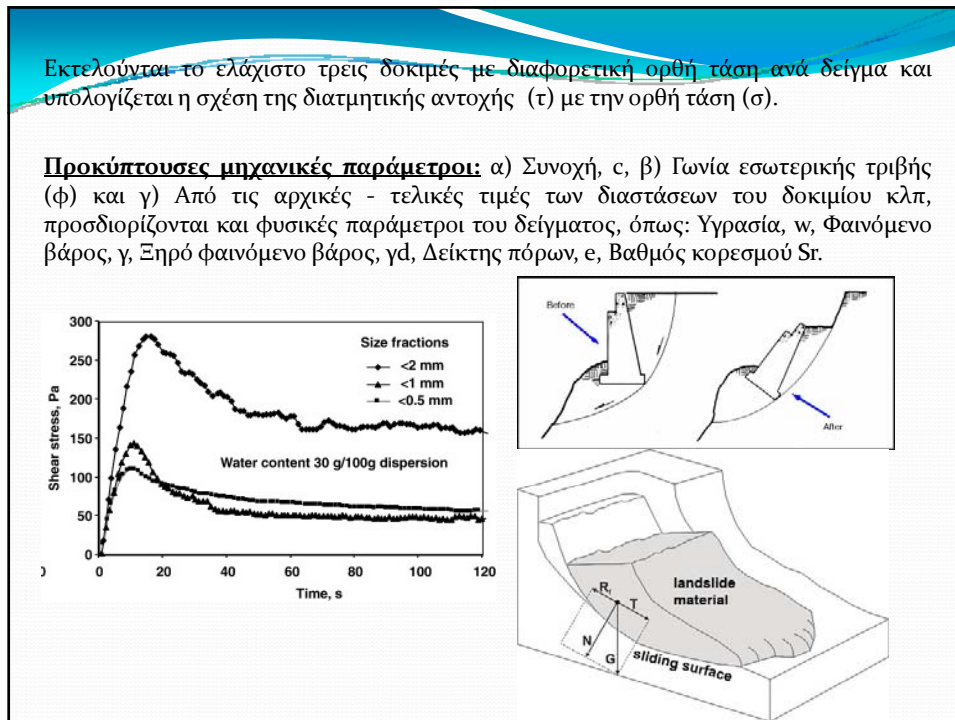
### **2. Ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου**

Στερεοποίηση του δοκιμίου μέχρι τη λήξη της πρωτεύουσας στερεοποίησης υπό πίεση ίση με την ορθή τάση που θα εφαρμόζεται κατά τη διάτμηση → θραύση δοκιμίου (ταχύτητα παραμόρφωσης: 0.5 - 2% της διαμέτρου / min, Διάρκεια δοκιμής 15 - 20 min).

### **3. Βραδεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου (Αποστραγγιζόμενες συνθήκες)**

Στερεοποίηση του δοκιμίου μέχρι τη λήξη της πρωτεύουσας στερεοποίησης υπό πίεση ίση με την ορθή τάση που εφαρμόζεται κατά τη διάτμηση → θραύση δοκιμίου.

Ταχύτητα παραμόρφωσης: χρόνος θραύσης ( $T=50 \cdot t_{50}$ ) / εκτιμώμενη διατμητική παραμόρφωση). Η επιβολή του φορτίου συνεχίζεται μέχρι τη θραύση του δοκιμίου (μείωση του φορτίου με αυξανόμενες παραμορφώσεις) ή μέχρι η παραμόρφωση να φθάσει στο 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου.

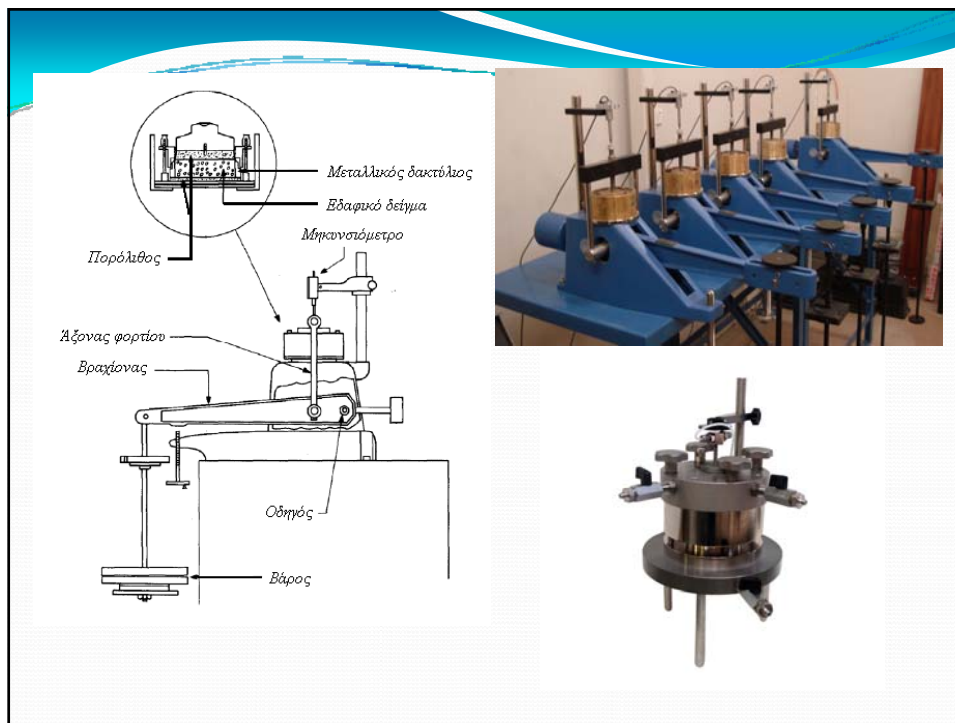


## Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης

Η Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης αφορά στη μελέτη της μονοδιάστατης παραμόρφωσης και στερεοποίησης ενός αδιατάραχτου ή αναζυμωμένου εδαφικού δοκιμίου, υπό την επίδραση κατακόρυφου φορτίου και με περιορισμένη πλευρική παραμόρφωση.

**Διαστάσεις δοκιμίου:** Ελάχιστη διάμετρος δοκιμίου ( $\phi$ ) 50,8 mm, ελάχιστο ύψος δοκιμίου 12,5 mm. Ελάχιστος λόγος διαμέτρου προς ύψος 2,5.

**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Η κοπή του αδιατάραχτου ή του αναζυμωμένου δείγματος πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση ενός δακτυλίου με κοφτερή αιχμή. Το τελικό δοκίμιο θα πρέπει να μην παρουσιάζει ανωμαλίες ή κενά και θα πρέπει να έχει παράλληλες και επίπεδες έδρες.

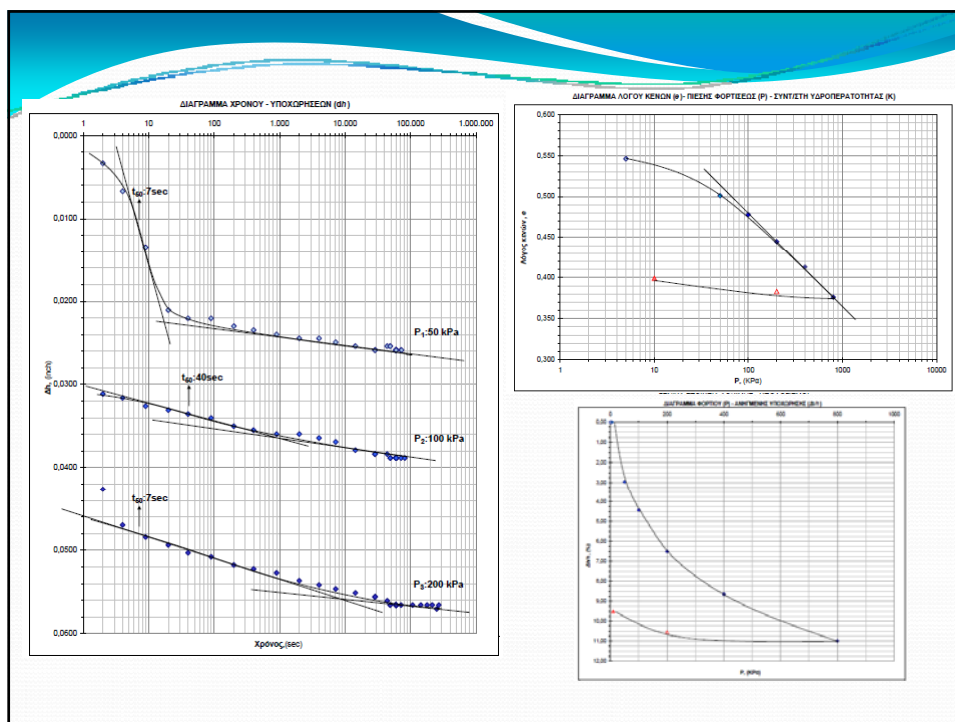


#### Πορεία δοκιμής:

- Το δοκίμιο ζυγίζεται και τοποθετείται εντός της συσκευής στερεοποίησης (Κατά την πορεία της δοκιμής το δοκίμιο βρίσκεται μέσα σε άκαμπτο μεταλλικό δακτύλιο ο οποίος αποτρέπει την πλευρική παραμόρφωσή του. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμόζονται υγρανθέντες πορόλιθοι οι οποίοι επιτρέπουν τον συνεχή κορεσμό και αποστράγγισή του).
- Μέσω της διάταξης φόρτισης εφαρμόζεται μια μικρή αρχική τάση (0,02 - 0,05 kgf/cm<sup>2</sup> ανάλογα της φύσης του εδάφους), το δείγμα διαβρέχεται και μετά από 5 min ξεκινάει η καταγραφή των παραμορφώσεων με το μηκυσιόμετρο. Αν καταγραφεί διόγκωση, το αρχικό φορτίο πολλαπλασιάζεται μέχρι την παύση της. Μετά την παύση της διόγκωσης ξεκινά εκ νέου η διαδικασία καταγραφής των μετακινήσεων.
- Η φόρτιση του δοκιμίου πραγματοποιείται σε βαθμίδες 0,125 - 0,25 - 0,50 - 1,0 - 2,0 - 4,0 - 6,0 - 8,0 ... kgf/cm<sup>2</sup>. Σε κάθε βαθμίδα φόρτισης η τάση παραμένει σταθερή μέχρι το πέρας της πρωτογενούς στερεοποίησης. Πρακτικά, η τελική τάση στερεοποίησης πρέπει να είναι τετραπλάσια της τάσης προστεροποίησης και διπλάσια των αρχικών τάσεων, στο βάθος λήψης του δείγματος.

➤ Μετά το πέρας της φόρτισης του δοκιμίου, μπορεί να ακολουθήσει αποφόρτιση σε μία ή περισσότερες βαθμίδες.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: α) Συντελεστής στερεοποίησης,  $C_v$ , β) Δείκτης συμπίεστότητας,  $C_c$ , γ) Τάση προστεροποίησης,  $P_c$ , δ) Συντελεστής συμπίεστότητας,  $a_v$ , ε) Συντελεστής συμπίεστότητας σε όγκο,  $m_v$ . Επιπλέον, από τις διαστάσεις και το βάρος του δοκιμίου προσδιορίζονται φυσικές παράμετροι του δείγματος, όπως: Υγρασία,  $w$ , Φαινόμενο βάρος,  $\gamma$ , Ξηρό φαινόμενο βάρος,  $\gamma_d$ , αρχικός λόγος κενών (αρχικός δείκτης πόρων),  $e_o$ , κ.λ.π.



## Δοκιμή Τριαξονικής Φόρτισης

Η τριαξονική δοκιμή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμών, αδιατάρακτων ή αναζυμωμένων, συνεκτικών εδαφών. Κατά τη δοκιμή ελέγχεται η αντοχή και γενικότερα η σχέση τάσης - παραμόρφωσης ενώ δείγματος εδάφους σε οποιοδήποτε συνθήκες φόρτισης και αποστράγγισης. Ανάλογα με τις συνθήκες αποστράγγισης υπάρχουν τρεις (3) τύποι τριαξονικών δοκιμών:

**Δοκιμή UU:** Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση.

**Δοκιμή CU ή CUPP:** Δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση, με ή χωρίς μέτρηση της πίεσης πόρων.

**Δοκιμή CD:** Αργή δοκιμή με στερεοποίηση και αποστράγγιση.

**Διαστάσεις δοκιμίου:** Η σχέση διαμέτρου προς ύψος πρέπει να είναι 1:2 έως 1:3 με ελάχιστη διάμετρο 33mm. Τα επικρατέστερα δοκίμια είναι αυτά με ύψος 72mm και διάμετρο 35mm και ύψος 165mm και διάμετρο 71mm.

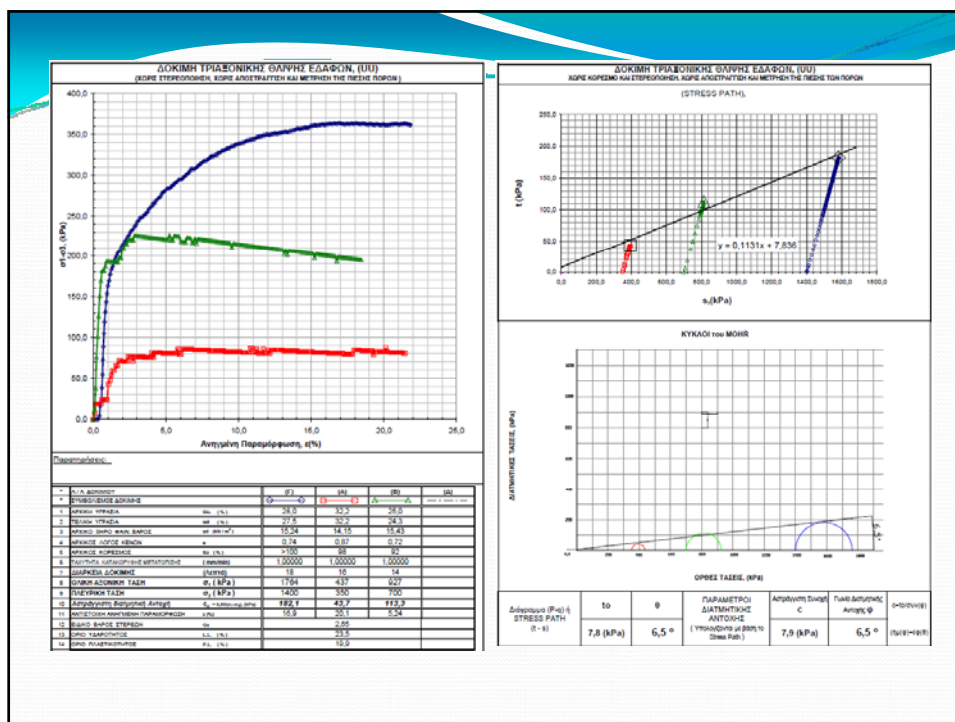
**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Η κοπή του αδιατάραχτου δείγματος ή η μορφοποίηση του αναζυμωμένου δείγματος πρέπει να πραγματοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια υγρασίας. Το δοκίμιο κατά τη διάρκεια της δοκιμής περιβάλλεται από ελαστική μεμβράνη που το απομονώνει από το νερό της κυψέλης.



### Δοκιμή χωρίς στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση - UU

- Εκτελείται συνήθως σε κορεσμένα δείγματα.
- Η ισότροπη πίεση της κυψέλης πρέπει να ισούται με τις οριζόντιες γεωστατικές τάσεις στο βάθος δειγματοληψίας.
- Ο ρυθμός της επιβαλλόμενης αξονικής παραμόρφωσης είναι 0,5 - 1%/min. Η δοκιμή διαρκεί 15 - 20min. Όταν επιλέγεται να μετρηθούν οι πιέσεις του νερού των πόρων UU<sub>PP</sub> η παραμόρφωση είναι 0,05%/min και η δοκιμή διαρκεί 4-6hr.
- Κατά τη διάρκεια της δοκιμής λαμβάνονται συνεχείς μετρήσεις τάσης παραμόρφωσης. Η πίεση της κυψέλης πρέπει να διατηρείται σταθερή.
- Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι η θλιπτική δύναμη να σταθεροποιηθεί ή μέχρι το δοκίμιο να παραμορφωθεί περίπου 20%.
- Με τη δοκιμή αυτή υπολογίζονται οι ολικές παράμετροι διατμητικής αντοχής  $c$  και  $\phi$ .





### Δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση - CUPP

- Εκτελείται σε προστερεοποιημένο κυλινδρικό δοκίμιο χωρίς την αποστράγγιση του νερού των πόρων. Για τον υπολογισμό των ενεργών τάσεων κατά τη διάρκεια της δοκιμής μετριέται η πίεση του νερού των πόρων.
- Αν το δοκίμιο δεν είναι κορεσμένο εφαρμόζεται η διαδικασία της αντίστροφης πίεσης των πόρων (back pressure) μέχρι τον πλήρη κορεσμό του.
- Μετά τον κορεσμό του το δοκίμιο αφήνεται να στερεοποιηθεί με την ισότροπη πίεση της κυψέλης,  $\sigma_3'$ , ανοίγοντας τις βαλβίδες αποστράγγισης. Μετά την στερεοποίηση το δοκίμιο οδηγείται σε θραύση.
- Ο ρυθμός της επιβαλλόμενης αξονικής παραμόρφωσης είναι 0,05%/min και η δοκιμή διαρκεί 4-6hr.
- Κατά τη διάρκεια της δοκιμής λαμβάνονται συνεχείς μετρήσεις τάσης παραμόρφωσης και πίεσης του νερού των πόρων. Η πίεση της κυψέλης πρέπει να διατηρείται σταθερή.
- Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι η θλιπτική δύναμη να σταθεροποιηθεί ή μέχρι το δοκίμιο να παραμορφωθεί περίπου 20%.
- Με τη δοκιμή αυτή υπολογίζονται οι ενεργές παράμετροι διατμητικής αντοχής  $c'$  και  $\phi'$ .

### Δοκιμή με στερεοποίηση, με αποστράγγιση - CD

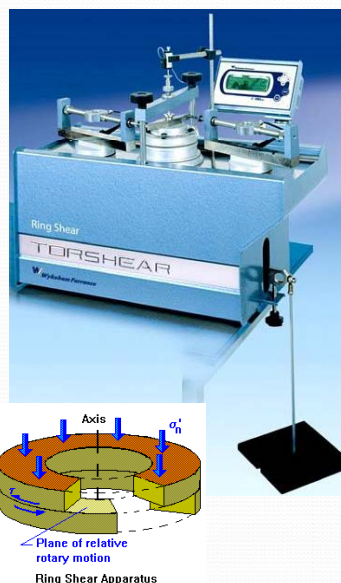
- Εκτελείται σε προστερεοποιημένο κυλινδρικό δοκίμιο με την αποστράγγιση του νερού των πόρων.
- Αν το δοκίμιο δεν είναι κορεσμένο εφαρμόζεται η διαδικασία της αντίστροφης πίεσης των πόρων (back pressure) μέχρι τον πλήρη κορεσμό του.
- Μετά τον κορεσμό του το δοκίμιο αφήνεται να στερεοποιηθεί με την ισότροπη πίεση της κυψέλης,  $\sigma_3'$ , ανοίγοντας τις βαλβίδες αποστράγγισης. Μετά την στερεοποίηση το δοκίμιο οδηγείται σε θραύση.
- Ο ρυθμός της επιβαλλόμενης αξονικής παραμόρφωσης είναι 0,2%/hr και η δοκιμή διαρκεί 4-6days.
- Κατά τη διάρκεια της δοκιμής λαμβάνονται συνεχείς μετρήσεις τάσης παραμόρφωσης. Η πίεση της κυψέλης πρέπει να διατηρείται σταθερή.
- Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρι η θλιπτική δύναμη να σταθεροποιηθεί ή μέχρι το δοκίμιο να παραμορφωθεί περίπου 20%.
- Με τη δοκιμή αυτή υπολογίζονται οι ενεργές παράμετροι διατμητικής αντοχής  $c'$  και  $\phi'$ .
- Λόγω της μεγάλης της διάρκειας συνήθως επιλέγεται η εκτέλεση της δοκιμής CUPP.

### Δοκιμή Δακτυλιοειδούς διάτμησης συνεκτικών εδαφών

Η Δοκιμή Δακτυλιοειδούς Διάτμησης συνίσταται στην επιβολή διατμητικών μετακινήσεων σε δακτυλιοειδές εδαφικό δοκίμιο, μέσω περιστροφής, με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό της παραμένουσας διατμητικής αντοχής του υλικού.

**Διαστάσεις δακτυλιοειδούς δοκιμίου:** Εσωτερική - εξωτερική διάμετρος δοκιμίου 70 και 100mm, αντίστοιχα και πάχος 5 mm.

**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Λεπτομερές κλάσμα ξηρού εδαφικού υλικού (περίπου 100gr), συνήθως διερχόμενου από το κόσκινο Νο 200, διαβρέχεται μέχρι να καταστεί πλαστικό. Το υλικό διαστρώνεται εντός της δακτυλιοειδούς μήτρας και επιπεδώνεται με τη χρήση σπάτουλας.



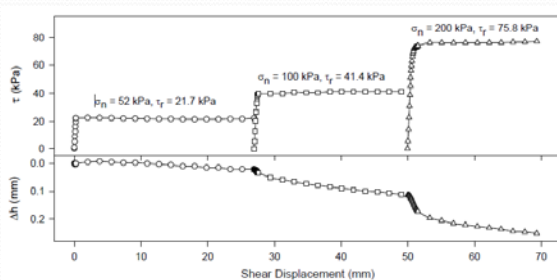
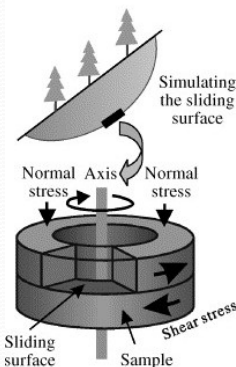
**Πορεία δοκιμής:**

**Στερεοποίηση:** Στερεοποίηση του δοκιμίου μέχρι τη λήξη της πρωτεύουσας στερεοποίησης υπό πίεση ίση με την ορθή τάση που θα εφαρμόζεται κατά τη διάτμηση. Λόγω των μικρών διαστάσεων του δείγματος τα αρχικά φορτία πρέπει να είναι μικρά, ενώ ο χρόνος που διαρκεί η στερεοποίηση είναι της τάξης των λίγων ωρών. **Μετά την στερεοποίηση του δείγματος περιστρέφοντας τη βάση της δακτυλιοειδούς μήτρας** το δείγμα διατμείται διαμορφώνοντας μια επιφάνεια ολίσθησης και επαναστερεοποιείται προκειμένου να εκτονωθούν οι πιέσεις του νερού των πόρων.

**Διάτμηση:** Η διάτμηση πραγματοποιείται με χαμηλή ταχύτητα προκειμένου να μην αναπτυχθούν πιέσεις του νερού των πόρων (0,048°/min ή 0,036 mm/min). Η διάτμηση υπό το πρώτο ορθό φορτίο διαρκεί περίπου 24 ώρες.

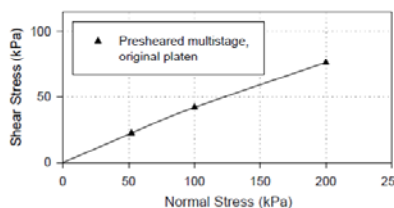
Μετά το πέρας του πρώτου κύκλου διάτμησης **το δοκίμιο στερεοποιείται με μεγαλύτερα ορθά φορτία και επαναδιατμείται**. Απαιτούνται 2 έως 3 νέοι κύκλοι διάτμησης για την ολοκλήρωση της δοκιμής. Οι επόμενοι κύκλοι διάτμησης μπορούν να εκτελεστούν με μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτή του πρώτου.

**Υπολογιζόμενες μηχανικές παράμετροι:** Παραμένουσα γωνία τριβής  $\phi_r$ .



Τυπικά αποτελέσματα πολυσταδιακής δοκιμής σε προδιατμημένο δείγμα.

Παραμένουσα διατμητική αντοχή από πολυσταδιακή δοκιμή σε προδιατμημένο δείγμα.



## Πρότυπη και τροποποιημένη δοκιμή προσδιορισμού της βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης ή δοκιμή Proctor

Οι δοκιμές Proctor (Πρότυπη και Τροποποιημένη) αποσκοπούν στον προσδιορισμό της σχέσεως μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας των εδαφών μέσω της συμπύκνωσης αυτών με κόπανο.

### Προπαρασκευη δείγματος:

- Επαρκής ποσότητα εδαφικού υλικού (περίπου 5kg) ξηραίνεται στους 60°C.
- Το ξηρό υλικό κοσκινίζεται με το κόσκινο Νο 4 (4,75 mm) ή με το κόσκινο 19 mm και το χονδρόκοκκο υλικό απορρίπτεται.

### Πορεία δοκιμής:

- Ποσότητα του λεπτομερούς υλικού (3-4 kg) διαβρέχεται με επαρκή ποσότητα νερού επιδιώκοντας να υγρανθεί κατά 4 περίπου ποσοστιαίες μονάδες κάτω από τη βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης.



Δοκιμή Συμπύκνωσης	Μέγεθος μήτρας σε in (ίν. διαμ.)	Βάρος σφύρας σε lb	Αριθμός στρώσεων	Ύψος πτώσεως σφύρας, in	Αριθ. Κτύπων ανά στρώση N°	Ενέργεια ft-lb/cu ft
Standard Proctor	4.6 in. x 4 in. diam.	5 1/2 2.5 kg	3	12 305 mm	25	12.400
Standard AASHO	5 ± in. x 6 in. diam	5 1/2 2.5 kg	3	12 305 mm	55	12.400
Modified Proctor	4.6 in. x 4 in. diam.	10 4.54 kg	5	18 457 mm	25	56.300
Modified AASHO	5 ± in. x 6 in. diam	10 4.54 kg	5	18 457 mm	55	56.000
15 - Blow Proctor	4.6 in. x 4 in. diam.	5 1/2 2.5 kg	3	12 305 mm	15	7.400
35 - Blow Proctor	5 ± in. x 6 in. diam	5 1/2 2.5 kg	3	12 305 mm	35	7.800

➤ Το υλικό **τοποθετείται και συμπυκνώνεται σε τρεις ή πέντε ίσες στρώσεις** εντός πρότυπου κυλινδρικού τύπου διαμέτρου 101,6mm και ύψους 116,4mm ή διαμέτρου 152,4mm και ύψους 116,4mm. **Η κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ή 56 ομοιόμορφα κατανομημένους κτύπους σφύρας**, βάρους 2,49kg, η οποία πέφτει ελεύθερα από ύψος 304,8mm ή βάρους 4,54kg, η οποία πέφτει ελεύθερα από ύψος 457mm. Στο στάδιο αυτό στον τύπο έχει προσαρμοστεί πρόσθετος δακτύλιος αύξησης του ύψους του, προκειμένου να καταστεί δυνατή η συμπύκνωση επαρκούς ποσότητας υλικού για την πλήρωση του τύπου. Οι διαφοροποιήσεις στον αριθμό των στρώσεων, στον αριθμό των κρούσεων, στη διάμετρο του τύπου και στο βάρος του κόπανου ουσιαστικά μεταβάλλουν την επιβαλλόμενη δυναμική ενέργεια συμπύκνωσης και καθορίζουν τη μέθοδο που εφαρμόζεται είτε στην πρότυπη ή είτε στην τροποποιημένη δοκιμή Proctor.

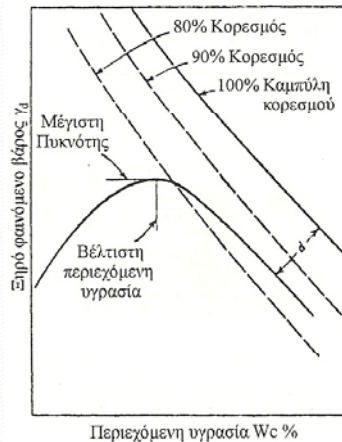
➤ Μετά το πέρας της διαδικασίας συμπύκνωσης αφαιρείται ο πρόσθετος δακτύλιος, **αποκόπτεται με κανόνα το υλικό που περισσεύει πάνω από το χείλος του τύπου**, και **ο τύπος μαζί με το συμπυκνωμένο εδαφικό υλικό ζυγίζεται**.

➤ Με ειδικό εξολκέα το υλικό αφαιρείται από τον τύπο, αποκόπτεται στη μέση και **αφαιρείται από το κέντρο του ποσότητα 100g για τον υπολογισμό της υγρασίας του,  $w$ .**

➤ Γνωρίζοντας το βάρος του συμπυκνωμένου υλικού, την υγρασία του καθώς και τις διαστάσεις - όγκο του κυλινδρικού τύπου καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός του ξηρού φαινομένου βάρους,  $\gamma_d$ , του συμπυκνωμένου υλικού.

➤ Το υλικό που περίσσεψε από την προαναφερόμενη διαδικασία **τρίβεται πάνω από κόσκινο, επαναδιαβρέχεται με επιπλέον ποσότητα νερού και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.** Συνολικά η διαδικασία επαναλαμβάνεται τόσες φορές ώστε να προκύψει μια καμπύλη  $\gamma_d - w$  από την οποία με σαφήνεια να μπορεί να υπολογιστεί η βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης του εδαφικού υλικού.

**Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι:** α) Γραφική παράσταση  $\gamma_d - w$ , β) βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης του εδαφικού υλικού.



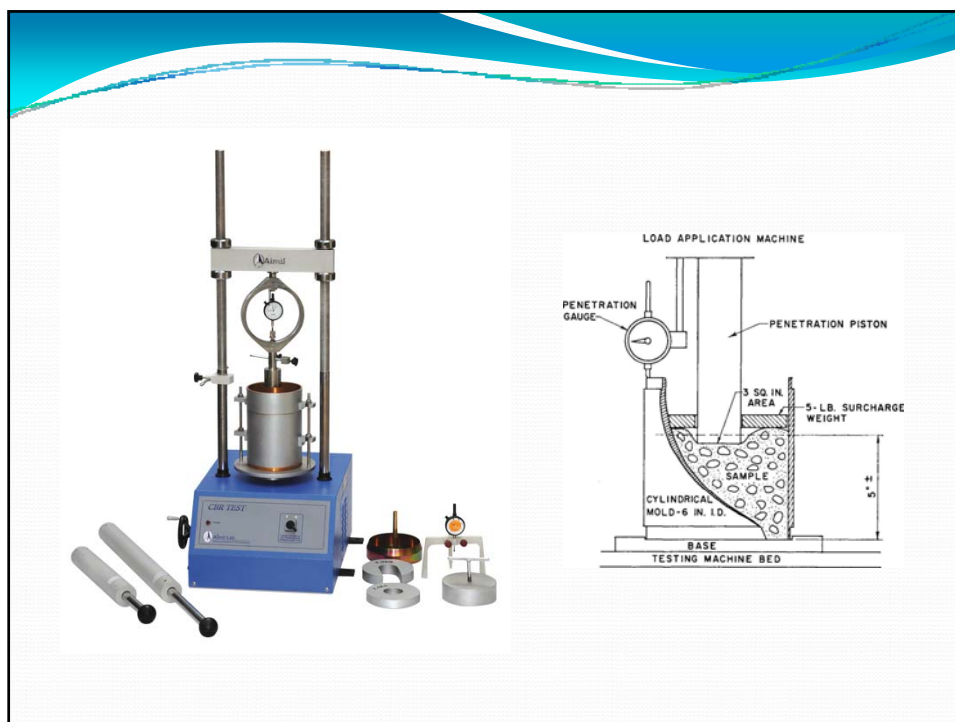
## Μέθοδος προσδιορισμού του CBR (Californian Bearing Rate)

Η μέθοδος προσδιορισμού του CBR αποσκοπεί στον προσδιορισμό της τιμής της φέρουσας ικανότητας εδαφών και μιγμάτων εδαφών - αδρανών όταν συμπυκνωθούν στο εργαστήριο στη βέλτιστη υγρασία.

**Προπαρασκευή δείγματος:**

- Επαρκής ποσότητα εδαφικού υλικού (περίπου 30 - 35kg) ξηραίνεται στους 60°C.
- Το ξηρό υλικό κοσκινίζεται. Το μέρος του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο των 2'' (50mm) και συγκρατείται από το κόσκινο των 3/4'' (19mm) αντικαθίσταται από υλικό που διέρχεται από το κόσκινο των 3/4'' (19mm) και συγκρατείται από το κόσκινο Νο 4 (4,75 mm).

**Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι:** α) από τον υδρεμοτισμό προκύπτουν στοιχεία για τη δυνατότητα διόγκωσης του υλικού, β) από τη γραφική παράσταση του CBR σε συνάρτηση με το ξηρό φαινόμενο βάρος υπολογίζεται ο δείκτης CBR στο 95% του μέγιστου ξηρού φαινομένου βάρους εφαρμογής.



### Πορεία δοκιμής:

#### Συμπύκνωση:

- Υλικό (11-15kgf) διαβρέχεται με επαρκή ποσότητα νερού στη βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης.
- Το υλικό τοποθετείται και συμπυκνώνεται σε τρεις ίσες στρώσεις εντός πρότυπου κυλινδρικού τύπου διαμέτρου 152,4mm και ύψους 177,8mm, εντός του οποίου έχει τοποθετηθεί μεταλλικό παρέμβλημα για τη μείωση του ύψους του δοκιμίου (επιδικώμενο τελικό ύψος δοκιμίου (127mm)). Παρασκευάζονται τρία δοκίμια σε ισάριθμους τύπους. Ο αριθμός των κτύπων που εφαρμόζονται για τη συμπύκνωση των επιμέρους στρώσεων είναι 10, 30 και 65 κτύποι για τον 1<sup>ο</sup>, το 2<sup>ο</sup> και τον 3<sup>ο</sup> τύπο αντίστοιχα. Η κάθε στρώση συμπυκνώνεται με ομοιόμορφα κατανεμημένους κτύπους σφύρας, βάρους 2,49kgf, η οποία πέφτει ελεύθερα από ύψος 304,8mm. Στο στάδιο αυτό στον τύπο έχει προσαρμοστεί πρόσθετος δακτύλιος αύξησης του ύψους του προκειμένου να καταστεί δυνατή η συμπύκνωση επαρκούς ποσότητας υλικού για την πλήρωση του τύπου.
- Μετά το πέρας της διαδικασίας συμπύκνωσης αφαιρείται ο πρόσθετος δακτύλιος, αποκόπτεται με κανόνα το υλικό που περισσεύει πάνω από το χείλος του τύπου, αφαιρείται το μεταλλικό παρέμβυσμα, τοποθετούνται φύλλα διηθητικού χαρτιού στις δύο άκρες του δοκιμίου, το δοκίμιο αναστρέφεται και ο τύπος βιδώνεται ανεστραμμένος επάνω στη βάση του, η οποία για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης δοκιμής είναι διάτρητη.

#### Υδρεμοτισμός:

Επάνω στο δοκίμιο (στη θέση που καταλαμβάνονταν από το παρέμβυσμα) **τοποθετούνται δακτυλιοειδή βάρη** για την πραγματοποίηση φόρτισης αντίστοιχη με τα φορτία σχεδιασμού.

- Ο τύπος, αφού προσαρμοστεί σε αυτόν ειδική διάταξη μέτρησης της διόγκωσης, **ποντίζεται σε δεξαμενή με νερό** στάθμης 2,5cm υψηλότερα της κορυφής του δοκιμίου, όπου παραμένει για 4 ημέρες.
- Στην αρχή και στο τέλος της περιόδου αυτής λαμβάνονται μετρήσεις προκειμένου να διαπιστωθεί η δυνατότητα διόγκωσης του υλικού.
- Στη συνέχεια το δοκίμιο **απομακρύνεται από τη δεξαμενή και αφήνεται να στραγγίσει** για 15 min. Τα βάρη αφαιρούνται κατά την αποστράγγιση.

#### Δοκιμή Διείσδυσης:

- **Κατά τη διείσδυση το δοκίμιο είναι φορτισμένο με την ίδια διάταξη φορτίων που έφερε κατά τον υδρεμοτισμό.** Επισημαίνεται όμως, τα φορτία επιβάλλονται σταδιακά. Δηλαδή, μετά την τοποθέτηση του πρώτου φορτίου επικάθεται το έμβολο διείσδυσης επιβάλλοντας ένα μικρό αρχικό φορτίο. Στη συνέχεια προσθέτονται και τα υπόλοιπα φορτία ενώ το έμβολο αφήνεται να επικαθήσει με φορτίο ίσο με τα περιφερικώς επιβαλλόμενα φορτία.
- Στη συνέχεια τοποθετείται και μηδενίζεται το μηχανοσκόπετρο καταγραφής της διείσδυσης ενώ ταυτόχρονα μηδενίζεται και το μηχανοσκόπετρο του δυναμομετρικού δακτυλίου.
- Με την έναρξη της διείσδυσης καταγράφεται το φορτίο καθώς και η ένδειξη του μηχανοσκόπετρου διείσδυσης. Ο ρυθμός της διείσδυσης είναι 1,3 mm/min.
- Αντίστοιχη διαδικασία υδρεμοτισμού και διείσδυσης επαναλαμβάνεται και για τα άλλα δύο δοκίμια που συμπεκνώθηκαν με μεγαλύτερο αριθμό κρούσεων.

## Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής

-

Δοκιμές προσδιορισμού υδραυλικών παραμέτρων

## Δοκιμή υδροπερατότητας σταθερού φορτίου

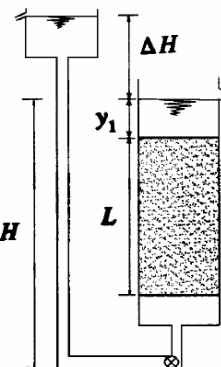
Η δοκιμή επιτρέπει τον προσδιορισμό του συντελεστή υδροπερατότητας σε αδρομερή κοκκώδη μέσα, υπό συνθήκες στρωτής ροής.

**Υλικό δοκιμίου:** Επιλέγεται υλικό με λεπτόκοκκα λιγότερα από 10%. Το υλικό κοσκινίζεται και χρησιμοποιείται το διερχόμενο από το κόσκινο  $\frac{3}{4}$ ' (19mm - όριο λεπτών -χονδρών χαλικιών).

**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Το υλικό τοποθετείται στη μήτρα και συμπυκνώνεται κατά στρώσεις. Στη συνέχεια απαερώνεται με αντλία κενού και πληρώνεται με νερό από κάτω προς τα πάνω.

**Πορεία δοκιμής:** Διοχετεύεται νερό από τη δεξαμενή σταθερού ύψους και καταγράφεται η παροχή  $Q$ , ο χρόνος  $t$ , η διαφορά δυναμικού  $\Delta h$ , και η θερμοκρασία.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για διαφορετικές θέσεις της δεξαμενής προκειμένου να προσδιοριστεί η περιοχή της στρωτής ροής όπου η ταχύτητα είναι ανάλογη της υδραυλικής κλίσης.



$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot \Delta h}$$

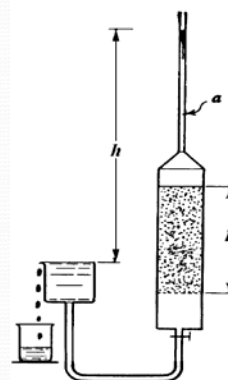
## Δοκιμή υδροπερατότητας μεταβλητού φορτίου

Η δοκιμή επιτρέπει τον προσδιορισμό του συντελεστή υδροπερατότητας σε λεπτόκοκκα, διαταραγμένα και αδιατάραχτα, υλικά.

**Προπαρασκευή δοκιμίου:** Για δοκιμή σε αδιατάραχτο δείγμα κόβεται δείγμα στις διαστάσεις της μήτρας. Για δοκιμή σε διαταραγμένο το υλικό συμπυκνώνεται με δοκιμή proctor.

**Πορεία δοκιμής:** Διοχετεύεται νερό από μανομετρικό σωλήνα και καταγράφεται ο χρόνος που απαιτείται για να πέσει η στάθμη κατά  $\Delta h$ .

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ξαναγεμίζοντας τον μανομετρικό σωλήνα.



$$k = \frac{\alpha \cdot L}{A \cdot \Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$



## Βιβλιογραφία

- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2002) Τεχνική Γεωλογία, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ.516.
- Μαραγκός Χ. (1999) Τεχνικά Έργα Υποδομής, Έκδοση Μαραγκός Χ. σελ. 568.
- Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι., (1999) Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Ρόζος Δ. (2007) Τεχνική Γεωλογία Ι, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- Τσότσος Στ. (1991), Εδαφομηχανική - Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές, Εκδόσεις Φ. Βερβερίδης & Π. Πολυχρονίδης α.ε., Θεσσαλονίκη.
- Χρηστάρας Β., Δημητρίου Α., Λεμονή Ε., Λουπασάκης Κ., (2006), Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, ΤΕΕ - Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σελ. 144.