



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων και Μεταφορών

# Εργαστηριακά Θέματα Οδοποιίας - Οδοστρωμάτων

## Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του εδάφους [α]



# Η δημιουργία των εδαφών

Το έδαφος αποτελεί το θεμελιακό υλικό των οδοστρωμάτων και των περισσότερων δομικών έργων που κατασκευάζονται από τον άνθρωπο.

## Έδαφος

Τα υλικά (ανόργανα & οργανικά) που περιβάλλουν τον πετρώδη φλοιό της γης υπό μορφή χαλαρών ή μαλακών εναποθέσεων.

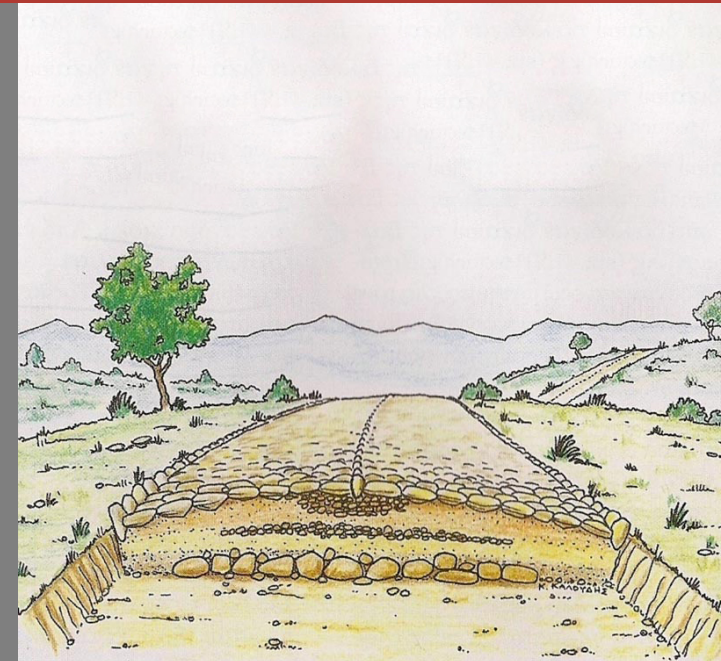
### Προέλευση εδαφών:

Αποσάθρωση πετρωμάτων + Αποσύνθεση βλάστησης

Αιτίες  $\Rightarrow$  Άνεμος - Νερό - Θερμοκρασίες - Χημικές αντιδράσεις

Χαρακτηρισμός εδαφών βάση του τρόπου δημιουργίας τους:

Υπολειμματικά – Ιζηματογενή – Αιολικά – Παγετώδη



Θεμελίωση οδοστρώματος στο έδαφος



## Η δημιουργία των εδαφών

### **Υπολειμματικά εδάφη**

Δημιουργήθηκαν από πετρώματα που βρίσκονταν ακριβώς κάτω από αυτά. Αποσάθρωση λόγω θερμοκρασιών και βροχόπτωσης. Λεπτόκοκκα στις ανώτερες στρώσεις και περισσότερο χονδρόκοκκα στις κατώτερες στρώσεις. Κατάλληλα για την θεμελίωση οδοστρωμάτων αν δεν έχει επέλθει δραστική αποσάθρωση.



### **Ιζηματογενή εδάφη**

Δημιουργήθηκαν από την καθίζηση στερεών σωματιδίων που αιωρούνταν σε υδάτινο περιβάλλον (λίμνες, ποτάμια κ.α.) Κατάλληλα για την κατασκευή επ' αυτών οδοστρωμάτων – Πηγή παροχής υλικών οδοστρωσίας.





# Η δημιουργία των εδαφών

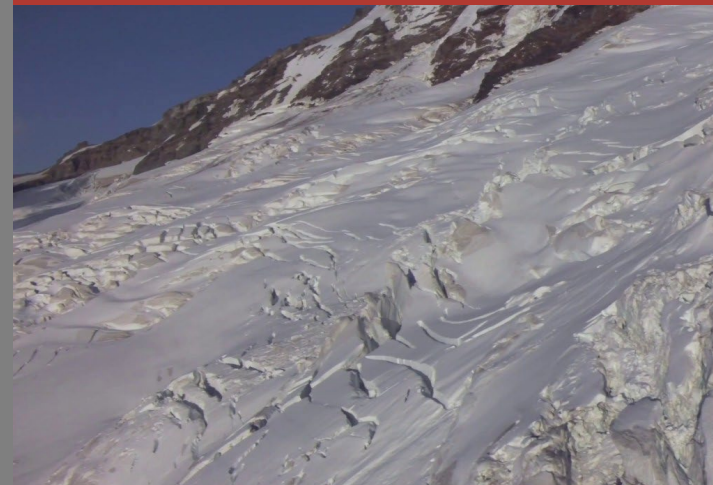
## **Αιολικά εδάφη**

Δημιουργήθηκαν από μεταφορά και εναπόθεση λεπτόκοκκων υλικών με τη βοήθεια του ανέμου (αμμόλοφοι, ασβεστική ιλύς). Πλήρης κάλυψη οδοστρωμάτων – προβλήματα κατά τη διέλευση οχημάτων.



## **Παγετώδη εδάφη**

Δημιουργήθηκαν την εποχή των παγετώνων. Εκτείνονται σε βάθος πολλών χιλιομέτρων και αποτελούνται από: ογκόλιθους, κροκάλες, χαλίκια, άμμο, ιλύ και άργιλο. Συναντώνται ευρέως στο βόρειο ημισφαίριο.





## Η δημιουργία των εδαφών

Τα εδάφη μπορούν να χαρακτηριστούν σύμφωνα με την περιεκτικότητά τους σε οργανικά υλικά:

- Ανόργανα εδάφη
- Οργανικά εδάφη – σκούρο χρώμα και χαρακτηριστική οσμή

Τα εδάφη χαρακτηρίζονται από έλλειψη ομοιογένειας τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα:

- Χαλαρά ή συμπυκνωμένα
- Συνεκτικά ή μη
- Συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση ή μη

Το υφιστάμενο έδαφος πρέπει να αντιμετωπίζεται ως έχει στα έργα οδοποιίας.



**Προετοιμασία εδάφους για  
την κατασκευή οδού**



## Γενικές ομάδες εδαφών

Τα φυσικά εδάφη παρά την ανομοιομορφία τους μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες συναρτήσει του μεγέθους των κόκκων που τα απαρτίζουν.

### **Μέγεθος κόκκου**

Διάμετρος κόκκου που εμπεριέχεται στο έδαφος.

Ταξινόμηση σύμφωνα με το μέγεθος του κόκκου καθορίζει τις ιδιότητες μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών.

Βασικές ομάδες εδαφών με φθίνουσα σειρά:  
Λίθοι – Κροκάλες – Χαλίκια – Άμμος – Ιλύς – Άργιλος





## Γενικές ομάδες εδαφών

### **Κροκάλες – Χαλίκια – Άμμος**

Κοκκώδη εδάφη οι κόκκοι των οποίων δεν έχουν καθόλου ή σχεδόν καθόλου συνοχή μεταξύ τους.

Αναγνωρίζονται οπτικά και διακρίνονται για την μεγάλη διαπερατότητα τους.

Καλή σταθερότητα κάτω από την επίδραση αξονικών φορτίων.

Φυσικά χαλίκια  $\Leftrightarrow$  σφαιρικό σχήμα

Θραυστά χαλίκια  $\Leftrightarrow$  θραύση φυσικών λίθων με μια τουλάχιστον πλευρά θραυσμένη

Παρόμοια αντιστοιχία των όρων άμμος και θραυστή άμμος.





## Γενικές ομάδες εδαφών

Διαχωρισμός σε  
κοκκώδη ή λεπτόκοκκα

### AASHTO

65% της μάζας  
συγκρατείται στο  
κόσκινο 0.075mm

### ASTM

50% της μάζας  
συγκρατείται στο  
κόσκινο 0.075mm

Γενικές Ομάδες / Υπο-Ομάδες	Κατά AASHTO	Κατά ASTM
	Διαστάσεις κόκκων σε mm	
Κροκάλες (Λίθοι)	> 75.00	> 75
Χαλίκια	75.0 - 2.00	75.0 - 4.75
- Χονδρόκοκα	75.0 - 25.0	75.0 - 19.0
- Μεσαία	25.0 - 9.5	-
- Λεπτόκοκα	9.5 - 2.00	19.0 - 4.75
Άμμος	2.00 - 0.075	4.75 - 0.075
- Χονδρόκοκα	2.00 - 0.425	4.75 - 2.00
- Μεσαία	0.425 - 0.075	2.00 - 0.425
- Λεπτόκοκα	-	0.425 - 0,075
Ιλύς	0.075 - 0.002	< 0.075
Άργιλος	< 0.002	-
Κολλοειδές	< 0.001	-





## Γενικές ομάδες εδαφών

### Ιλύς

Έδαφος με λεπτούς κόκκους οι οποίοι έχουν μεταξύ τους κάποια συνοχή.

Αναγνωρίζονται οπτικά (μορφή πούδρας) εάν ξηραθούν, αποσβωλιασθούν και κοσκινιστούν.

Χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως μέτρια πλαστικότητα, μικρή διαπερατότητα και υπόκεινται σε συρρίκνωση και διαστολή με τις εναλλαγές της υγρασίας.



### Άργιλος

Λεπτόκοκκο έδαφος κολλοειδούς μορφής – θολό υδατικό διάλυμα με στερεά σωματίδια που αιωρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Χαρακτηρίζεται από μέτρια έως μεγάλη πλαστικότητα, σχετικά μεγάλη αντοχή σε ξηρή κατάσταση, υπόκεινται σε αυξομείωση του όγκου σύμφωνα με τις εναλλαγές της υγρασίας.

Κρίνονται ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων – παρέμβαση άλλης εδαφικής στρώσης.





## Γενικές ομάδες εδαφών

### Αργιλικά εδάφη

- Τα περισσότερα προβληματικά περιέχουν μοντμοριλλονίτη. Εμφανίζουν έντονη διόγκωση / συρρίκνωση και μεγάλη πλαστικότητα.
- Τα λιγότερα προβληματικά περιέχουν καολινίτη. Σταθερή δομή - Εμφανίζουν μικρότερη διόγκωση / συρρίκνωση και μικρότερη πλαστικότητα.
- Σε μια ενδιάμεση κατάσταση όσα περιέχουν ιλλίτη ή χλωρίτη.

Τα περισσότερα εδάφη εμπίπτουν ταυτόχρονα σε παραπάνω από μια κατηγορίες αφού περιέχουν κόκκους ποικίλων διαστάσεων (πχ. ιλυώδης άμμος, αμμοχάλικο κτλ.)

Το μέγεθος των κόκκων δεν επαρκεί για να δώσει πλήρη εικόνα ιδιοτήτων του εδάφους σε συνθήκες φόρτισης.





# Βασικές φυσικές ιδιότητες εδαφών

## Φυσικό έδαφος

Πλήθος στερεών σωματιδίων με διασπαρμένα κενά ή πόρους από τα οποία μερικά, όλα ή κανένα περιέχουν νερό.

## Περιεκτικότητα σε νερό – Φυσική υγρασία

$$w = (M_w / M_s) \times 100$$

## Δείκτης πόρων – Λόγος κενών

$$e = (V_a + V_w) / V_s$$

## Πορώδες

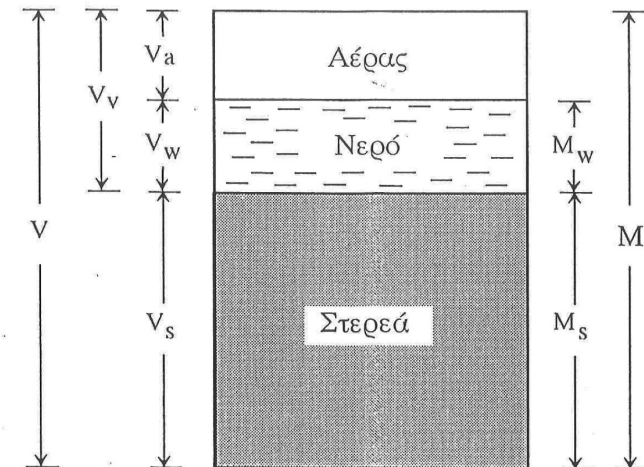
$$N = (V_v / V) \times 100$$

## Ποσοστό κενών αέρος

$$n_a = (V_a / V) \times 100$$

## Ποσοστό κενών με νερό

$$n_w = (V_w / V) \times 100$$



$V = \text{Όγκος}, M = \text{μάζα}$

Διαγραμματική επεξήγηση των τριών φάσεων του εδάφους



# Βασικές φυσικές ιδιότητες εδαφών

## Βαθμός κορεσμού

$$S = (V_w / V_v) \times 100$$

## Ξηρή πυκνότητα εδάφους

$$\rho_d = M_s / V$$

## Πυκνότητα

$$\rho = (M_s + M_w) / V$$

## Ποσοστό κενών αέρος

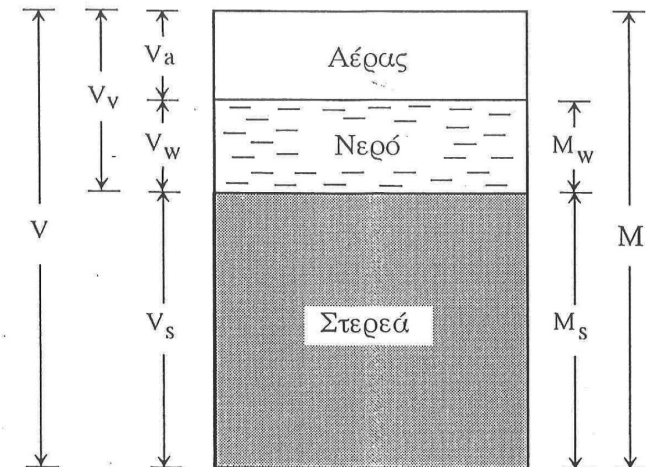
$$\rho_{sat} = (M_s + V_v \times \rho_w) / V$$

$$\rho_w = \text{πυκνότητα νερού}$$

## Ειδικό βάρος στερεών συστατικών εδάφους

$$\gamma = B_s / V_s$$

$$\rho_s = M_s / V_s$$



$V = \text{Όγκος}, M = \text{μάζα}$

Διαγραμματική επεξήγηση των τριών φάσεων του εδάφους



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Κοκκομετρική ανάλυση

Καθορισμός % της κατανομής μεγέθους των κόκκων που εμπεριέχονται στο έδαφος.

### Δύο αναλύσεις:

- α) Κόσκινο = κόκκοι που συγκρατούνται στο κόσκινο
- β) Υδρόμετρο = κόκκοι που διέρχονται από το κόσκινο

Αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος προς ανάλυση. Η ελάχιστη ποσότητα που απαιτείται είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου του εδαφικού υλικού.

Ονομαστική μέγιστη διάσταση κόκκου εδαφικού υλικού		Ελάχιστο βάρος δείγματος (kg)	
mm	in.		
19.5	$\frac{3}{4}$	0.5	
25	1	2	
50	2	4	
75	3	5	



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα

Το εδαφικό υλικό αφού ξηραθεί και αποσβωλιασθεί διαχωρίζεται σε δυο κλάσματα.

Σε αυτό που συγκρατείται και σε εαυτό που διέρχεται από το κόσκινο 2.00mm

Το πρώτο μέρος κοσκινίζεται χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα κόσκινα τετραγωνική οπής και καθορίζεται η κοκκομετρική του διαβάθμιση.

Το δεύτερο μέρος χρησιμοποιείται στην κοκκομετρική ανάλυση με υδρόμετρο.

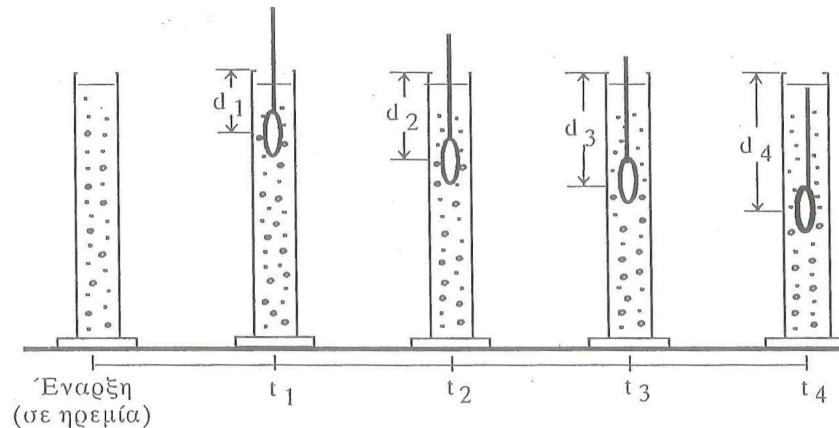




# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Κοκκομετρική ανάλυση με υδρόμετρο

- Το κλάσμα του εδαφικού υλικού (100gr) τοποθετείται σε γυάλινο δοχείο (250ml).
- Προσθήκη ειδικού υδατικού διαλύματος (125ml) (πολυφωσφορικό νατρίου) για το διαχωρισμό λεπτόκοκκων σωματιδίων. – Ανάδευση.
- Τοποθέτηση σε ογκομετρικό σωλήνα 1000ml. – Συμπλήρωση με υδατικό διάλυμα.
- Σφράγιση σωλήνα με τάπα. – Ανακίνηση ώστε το εδαφικό υλικό να είναι σε αιώρηση. – Πλήρη ηρεμία.
- Μέτρηση πυκνότητας υδατικού διαλύματος. – Μέτρηση του βάθους βύθισης πυκνόμετρου.
- Άδειασμα περιεχομένου σε κόσκινο. – Ξέπλυμα. – Κοσκίνισμα συγκρατούμενου υλικού.





## Βασικοί έλεγχοι εδαφών

### **Σημασία κοκκομετρικής διαβάθμισης**

Η θέση, μορφή και κλίση κοκκομετρικής καμπύλης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για το εδαφικό υλικό.

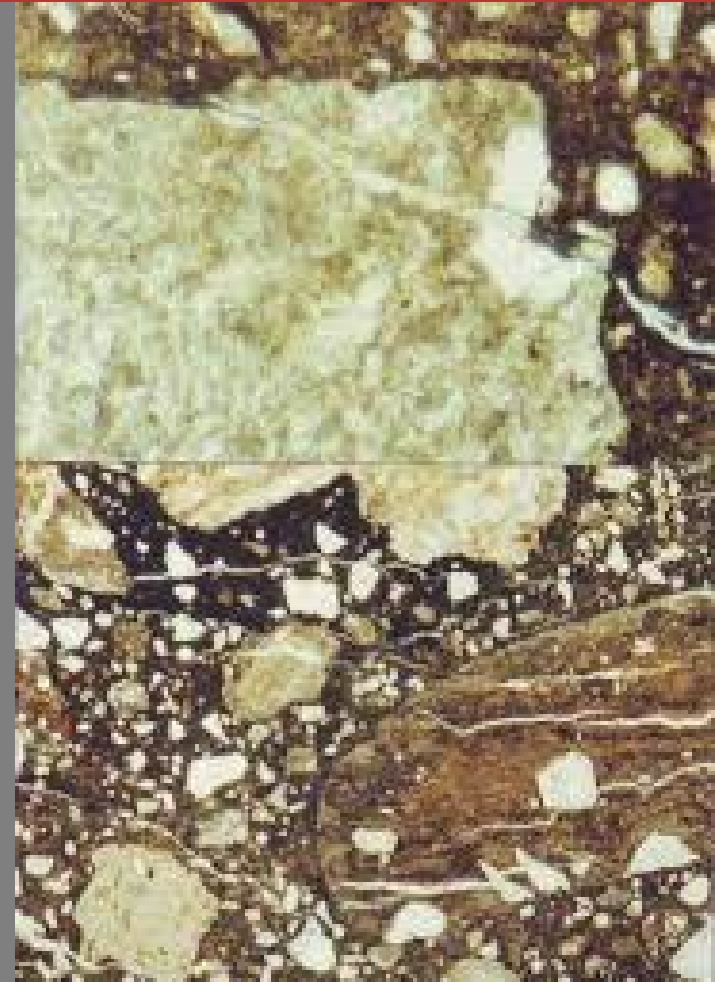
Το μέγεθος των κόκκων επηρεάζει την συμπεριφορά του εδάφους:

Μηχανική συμπεριφορά – αντοχή ή αντίσταση σε φορτία

Συγκράτηση ή απορρόφηση νερού – παγοπληξία και διόγκωση

Χονδρόκοκκα υλικά για υποβάσεις και έδραση οδοστρωμάτων.

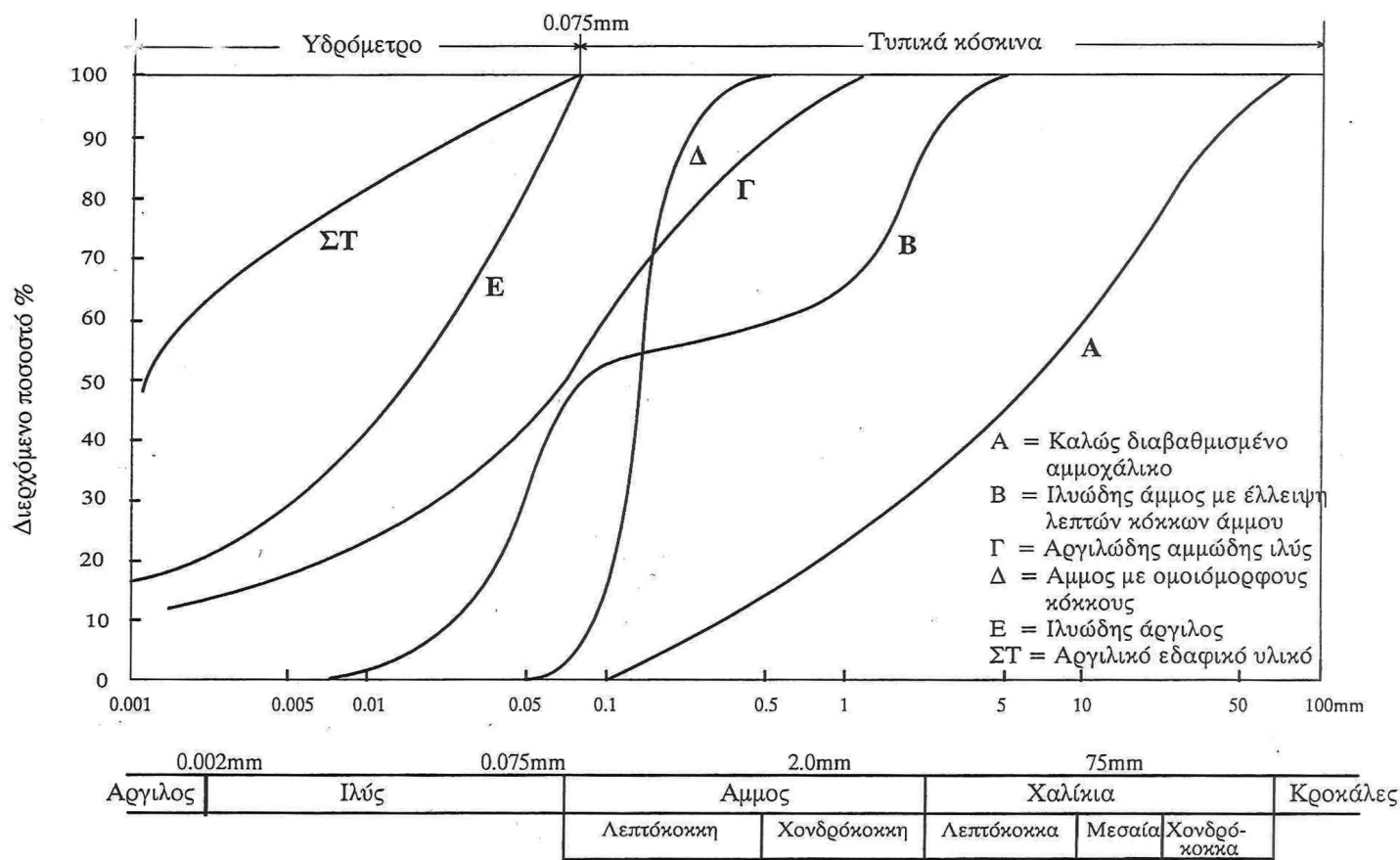
Η ομοιομορφία ή ανομοιομορφία των εδαφών επηρεάζει τη διατμητική αντοχή και τη διαπερατότητα τους.







# Βασικοί έλεγχοι εδαφών



Κοκκομετρικές καμπύλες τυπικών εδαφών



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

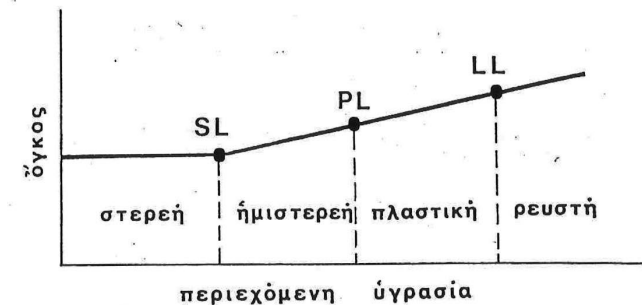
## Όριο υδαρότητας (LL ή WL)

Η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το εδαφικό υλικό βρίσκεται στο όριο μεταξύ ρευστής και πλαστικής κατάστασης.  
Το όριο καθορίστηκε από τον Atterberg.

Ειδικές συσκευές με δίσκο επιβολής χτυπημάτων.

Συσκευή Casagrande = Ως όριο υδαρότητας (LL ή WL) η περιεκτικότητα σε νερό κατά την οποία το εδαφικό υλικό ρέει έπειτα από 25 χτυπήματα κατά μικρή απόσταση (13mm).

Δοκιμές επαναλαμβάνονται ώστε να έχουμε τιμές πάνω και κάτω από το όριο υδαρότητας.





## Βασικοί έλεγχοι εδαφών

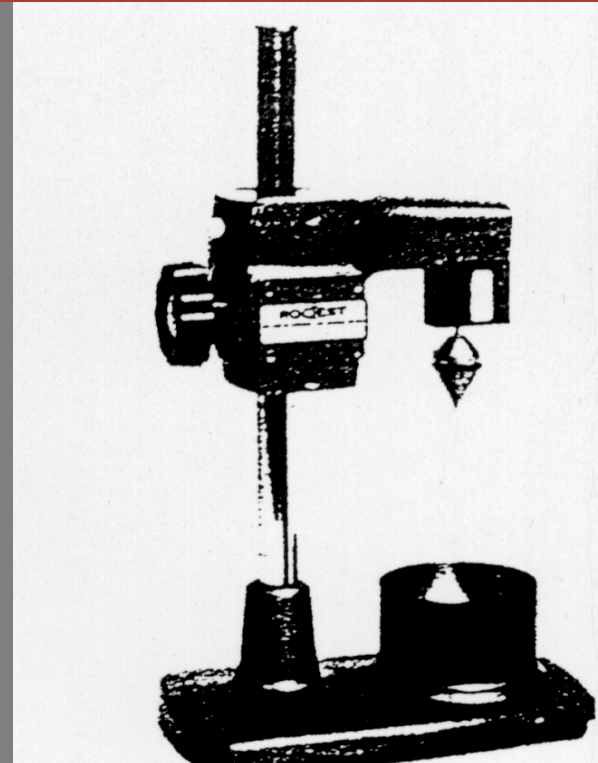
### Εναλλακτική μέθοδος – Πενετρόμετρο κώνου

Δοκιμή καθορισμού του ορίου υδαρότητας είναι ευκολότερη, λιγότερο εξαρτώμενη από το χειριστή και έχει καλύτερη επαναληπτικότητα αποτελεσμάτων.

Διείσδυση τυποποιημένου κώνου 80gr μέσα στο ύφυγρο εδαφικό υλικό.

Δοκιμές σε διαφορετικά ποσοστά υγρασίας. – Διάγραμμα.

Όριο υδαρότητας καθορίζεται από τα ζεύγη τιμών βάθος διείσδυσης και υγρασία.



Πενετρόμετρο  
πίπτοντος κώνου



## Βασικοί έλεγχοι εδαφών

### Όριο πλαστικότητας (PL ή WP)

Η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το εδαφικό υλικό βρίσκεται στο όριο μεταξύ πλαστικής και ημιστερεάς μορφής.

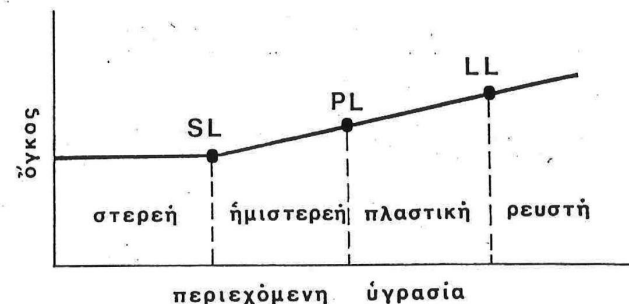
Το όριο καθορίστηκε από τον Atterberg ως:

Η υγρασία του εδαφικού υλικού στην οποία αρχίζει να τρίβεται με μικρό κύλινδρο (διαμέτρου 3mm) με τη βοήθεια της παλάμης ως πλάστη. Όταν η υγρασία είναι μικρότερη το υλικό ρηγματώνεται.

Όριο υδαρότητας και όριο πλαστικότητας = Όρια Atterberg

### Όριο συρρίκνωσης (WS ή SL)

Η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία περαιτέρω μείωση δεν επιφέρει μείωση του όγκου του εδαφικού υλικού.





## Βασικοί έλεγχοι εδαφών



Συσκευή Casagrande



Επιφάνεια απότριψης



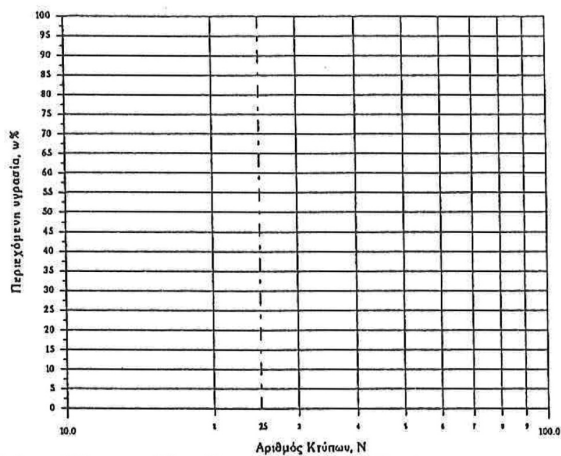
# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Προσδιορισμός Ορίων Atterberg

Αριθμός Δείγματος :  
Περιοχή Δειγματοληψίας :  
Περιγραφή του Εδάφους :

Πίνακας Α.1 Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας

Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	$w = \frac{\text{Βάρος νερού} \times 100}{\text{Βάρος ξηρού δείγματος}} (\%)$
Βάρος υγρού δείγματος + κάγας (g)					
Βάρος ξηρού δείγματος + κάγας (g)					
Βάρος κάγας (g)					
Βάρος ξηρού δείγματος (g)					
Βάρος νερού (g)					
Αριθμός κτύπων, N					
Περιεχόμενη υγρασία, w%					



Σχήμα Α.1 Προσδιορισμός ορίου υδαρότητας

Οριο Υδαρότητας, LL :  
Οριο Πλαστικότητας, PL :  
Δείκτης Πλαστικότητας, PI :



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

Πίνακας Α.2 Προσδιορισμός ορίου πλαστικότητας

Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	$PL = \frac{\sum PL_i}{v}$ $i = 1, 2, \dots, v$
Βάρος υγρού δείγματος + κάγας (g)					
Βάρος ξηρού δείγματος + κάγας (g)					
Βάρος κάγας (g)					
Βάρος ξηρού δείγματος (g)					
Βάρος νερού (g)					
Περιεχόμενη υγρασία, $w\% = PL_i$					

Πίνακας Α.3 Προσδιορισμός γραμμικής συρρίκνωσης

Βάρος κάγας (g)		$LS = \frac{\Delta L * 100}{L} (\%)$
Βάρος υγρού δείγματος + κάγας (g)		
Βάρος ξηρού δείγματος + κάγας (g)		
Περιεχόμενη υγρασία (%)		
Όριο Υδαρότητας, LL (%)		
Προστιθέμενη υγρασία (%)		
Μήκος μήτρας, L (cm)		
Τελικό μήκος δοκιμίου (cm)		
Διαφορά μήκους, $\Delta L$ (cm)		
Γραμμική Συρρίκνωση, LS (%)		



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Δείκτης πλαστικότητας (PI)

- Η αριθμητική διαφορά μεταξύ ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας ( $PI = LL - PL$ ).
- Εύρος υγρασίας πάνω από το όριο της πλαστικότητας - το έδαφος έχει πλαστική συμπεριφορά.
- Εδάφη με μεγάλο δείκτη πλαστικότητας είναι ακατάλληλα για έδραση οδοστρωμάτων (αργιλώδη, ιλυώδη, αμμο-ιλυώδη κ.α.)
- Ο δείκτης PI σε συνδυασμό με το όριο υδαρότητας LL καθορίζει μεταβολή βασικών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των εδαφών: συμπίεστικότητα, διαπερατότητα, μεταβολή όγκου και συνεκτικότητα σε ξηρή κατάσταση.

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





Ευχαριστώ για την προσοχή σας!