



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ**

**ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ  
« ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ I - Τμήμα 2 »  
4<sup>ο</sup> ΕΞ. ΠΟΛ.-ΜΗΧ. ΕΜΠ**

**ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ  
Μέρος Β**

# Φύση & Φυσικά Χαρακτηριστικά Εδάφους

- Προέλευση εδαφών
- Περιγραφή με βάση χαρακτηριστικά των σωματιδίων
  - έδαφος: σωματιδιακό υλικό
- Σχέσεις μεταξύ φάσεων (+ ασκήσεις, 2<sup>η</sup> σειρά)
  - έδαφος: πολυφασικό υλικό
- Χαρακτηριστικά εδαφών → Ταξινόμηση εδαφών (+ ασκήσεις, 2<sup>η</sup> σειρά)

# Διαφορές στον χαρακτηρισμό χονδρόκοκκων - λεπτόκοκκων

- Κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά χονδρόκοκκων
  - Σχετική πυκνότητα
  - Κοκκομετρική διαβάθμιση
- Κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά λεπτόκοκκων
  - Υγρασία (ή, ισοδύναμα, ποσοστό υγρασίας)
  - Εύρος τιμών υγρασίας (όρια Atterberg)

# Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων προσδιορίζεται με κόσκινα



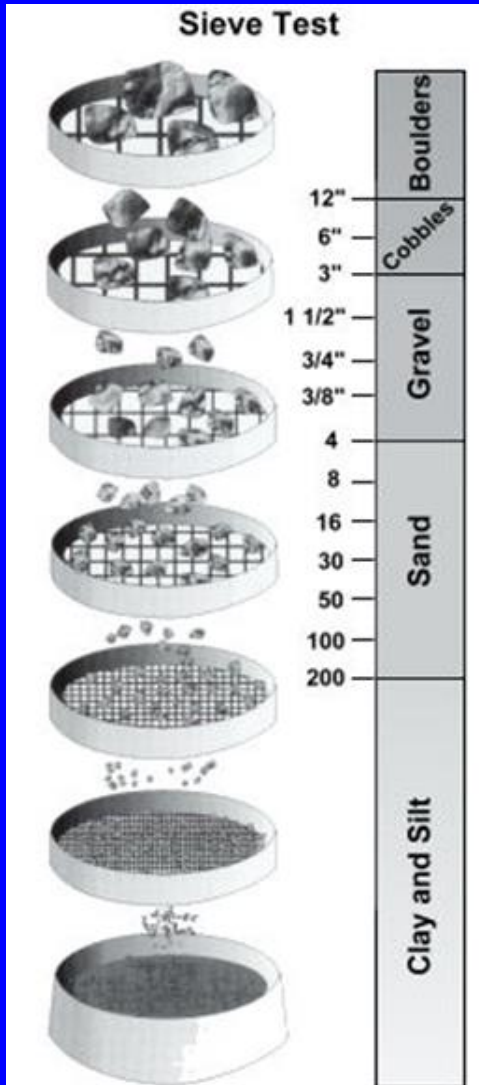
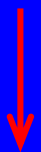
Φωτογραφίες:  
Burns lab (2023)

# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ

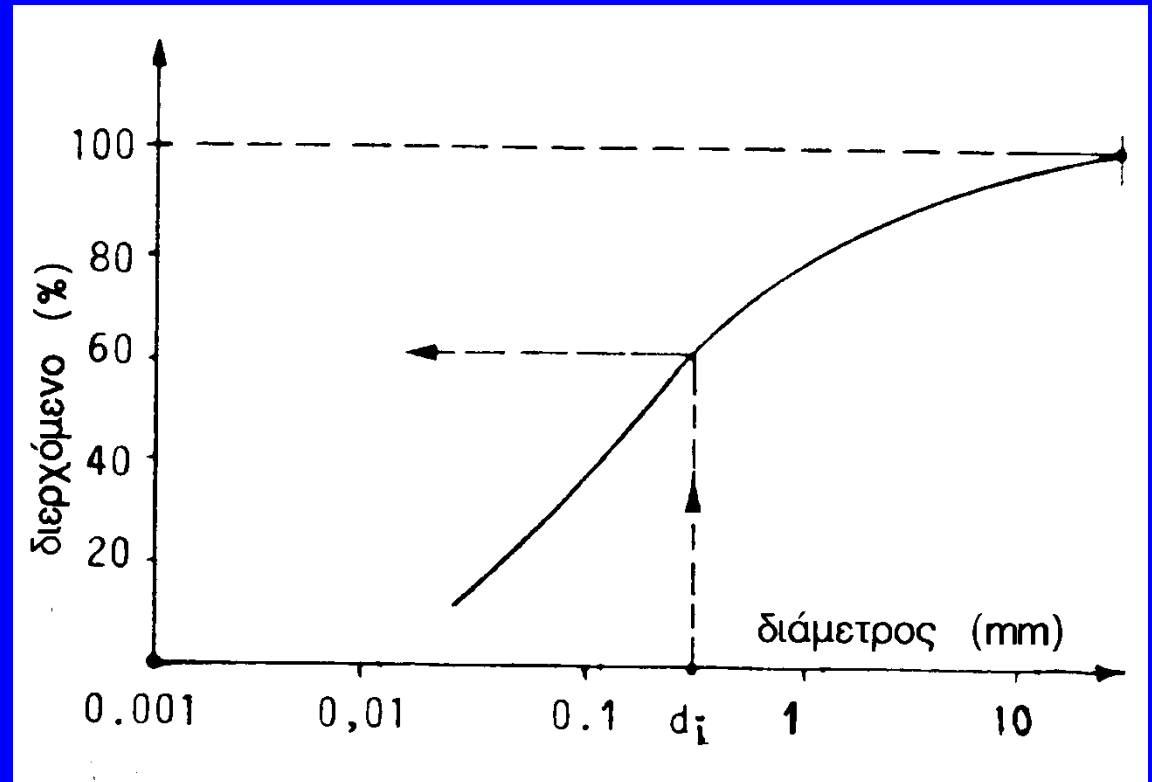
Τα εδαφικά υλικά συνήθως περιέχουν μεγάλη ποικιλία μεγέθους κόκκων:

- χάλικες / άργιλος = 20 mm / 0.002 mm = 10000
- 10-όροφη πολυκατοικία / κόκκος φακής = 30 m / 3 mm = 10000

μειούμενη διάμετρος στις



Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων προσδιορίζεται με κόσκινα



## Αμερικανική σειρά κοσκίνων κατά ASTM

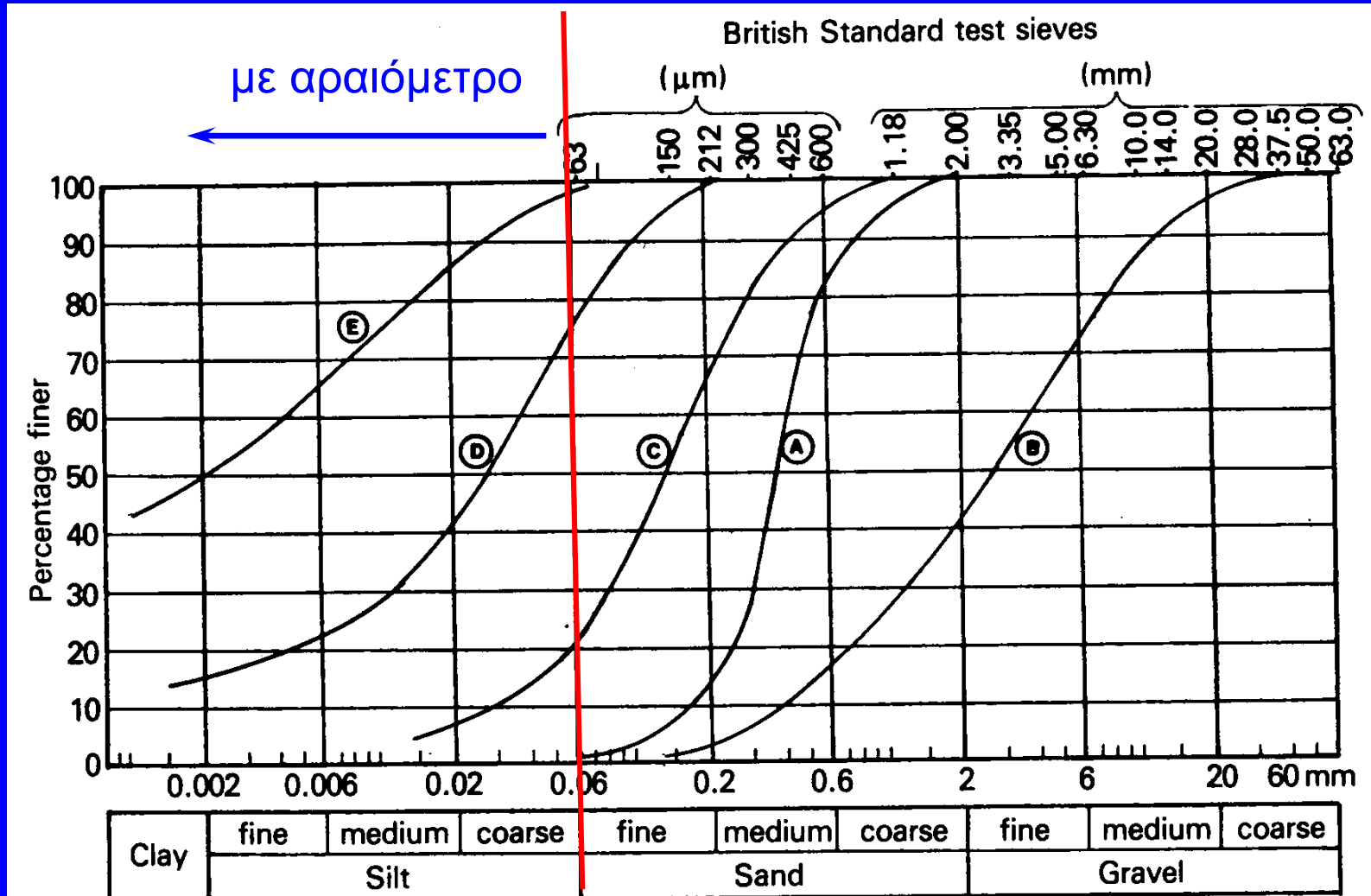
## Βρετανική σειρά κοσκίνων κατά BSI

Κόσκινο	Μέγεθος οπής (mm)		Κόσκινο	Μέγεθος οπής (mm)
2"	50.8			50.0
1+1/2'	38.1			37.5
1"	25.4			28.0
3/4"	19.0			20.0
1/2"	12.7	χάλικες		14.0
1/4"	6.35			10.0
No 4	4.75			6.3
No 10	2.00			5.0
No 20	0.85			3.35
No 40	0.425			2.00
No 60	0.25	άμμοι		1.18
No 100	0.15			0.60
No 140	0.106			0.425
No 200	0.075			0.30
		ιλύες & άργιλοι		0.212
				0.150
				0.063

Κόκκοι μικρότερου μεγέθους διαχωρίζονται με τη μέθοδο του αραιομέτρου

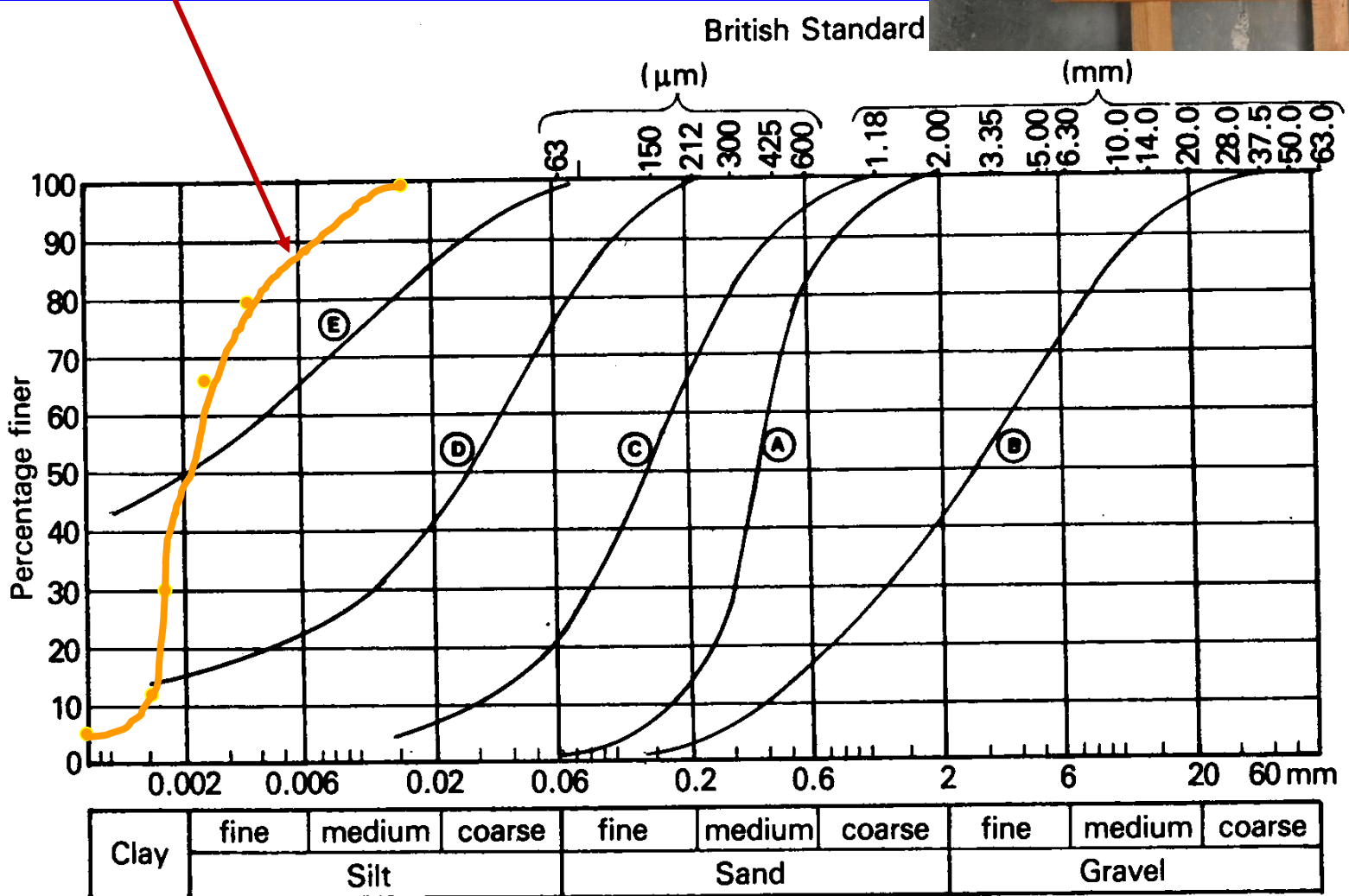
# Τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες εδαφικών υλικών

Η μέθοδος του αραιόμετρου βασίζεται στην διαφορετική ταχύτητα καθίζησης στο νερό κόκκων ποικίλων μεγεθών



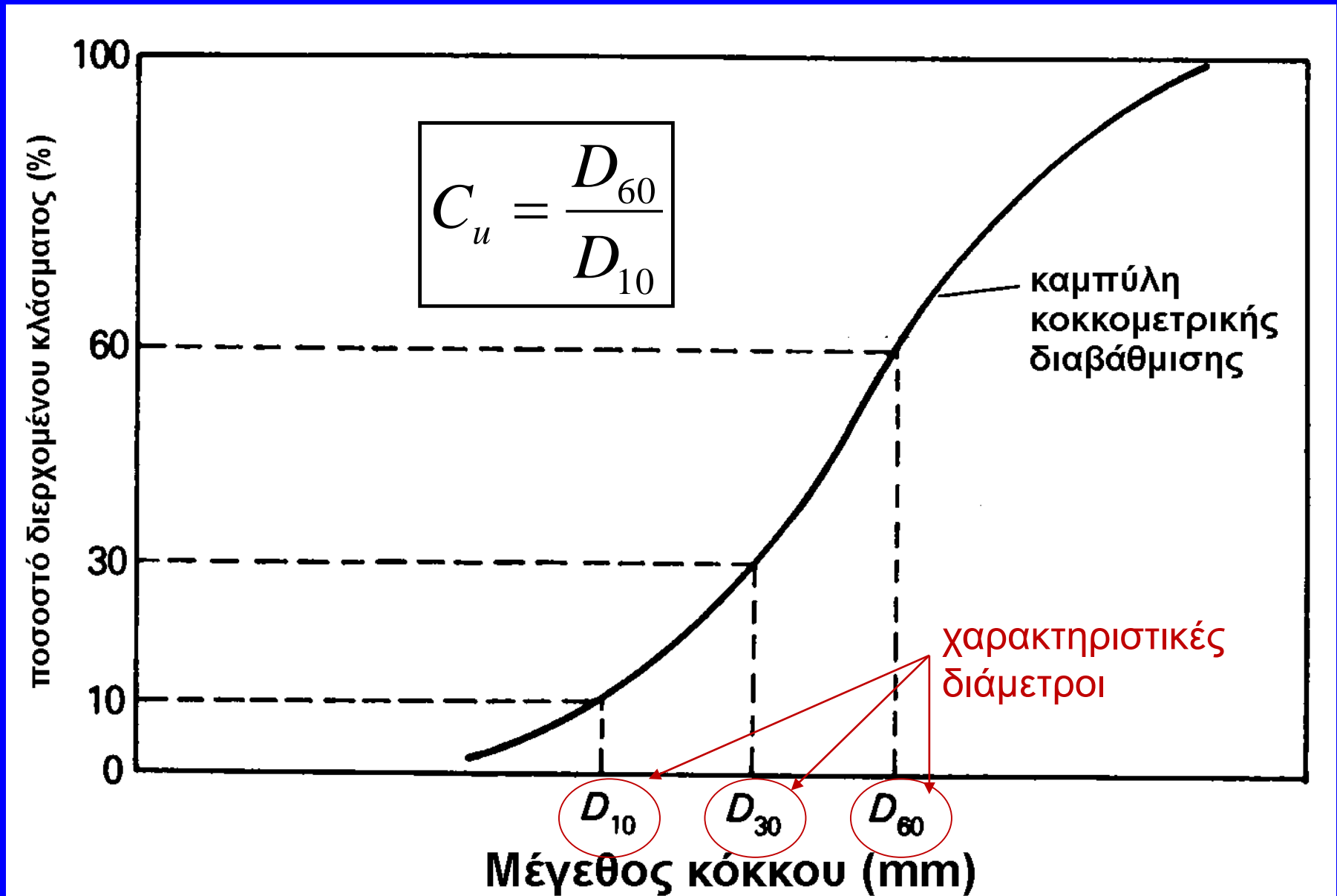
# Κοκκομετρικές καμπύλες εδαφικών υλικών

«Πηλός» αιγινήτικου κανατιού

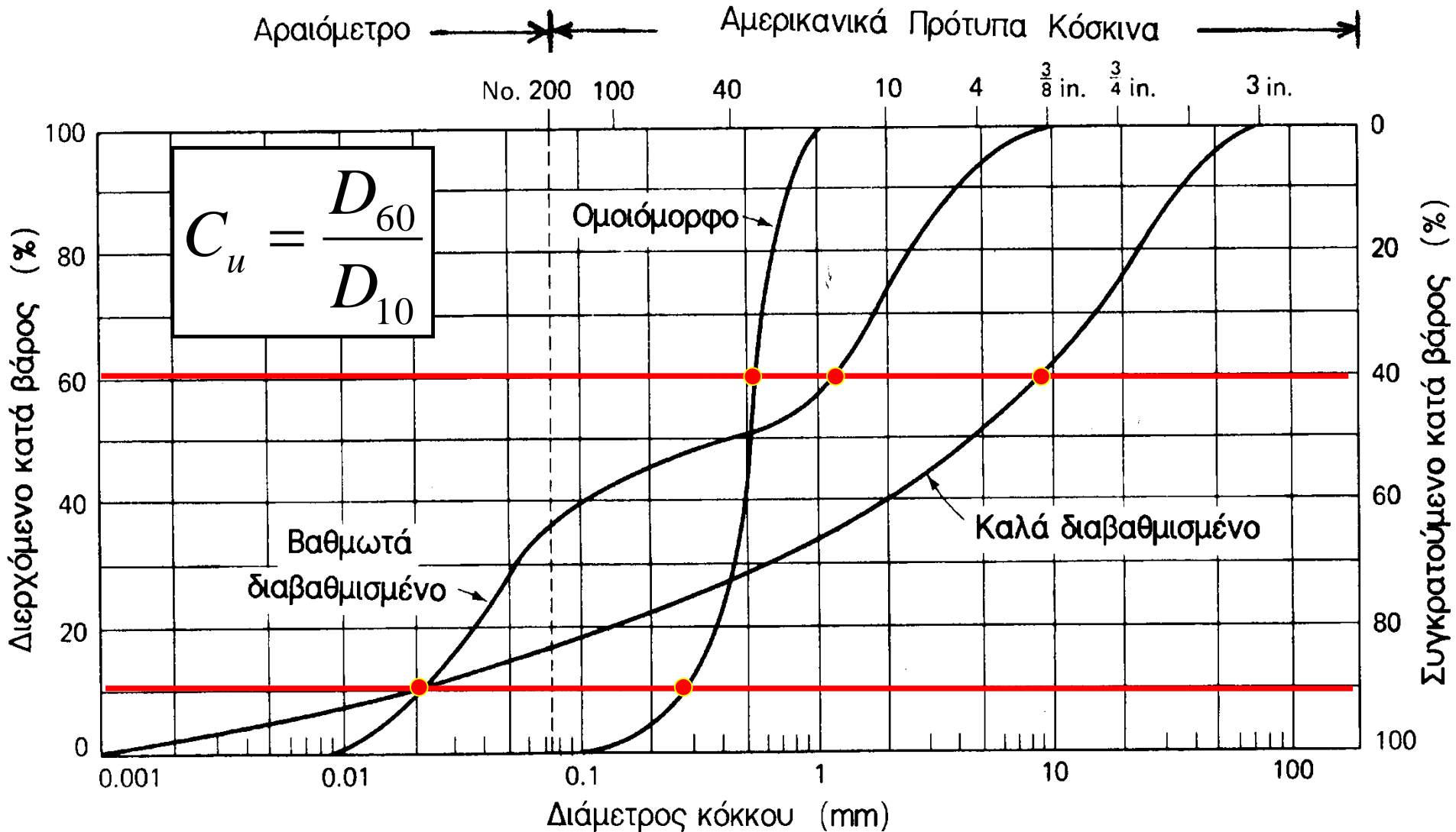




# Συντελεστής (αν)ομοιομορφίας εδαφικών υλικών



# Συντελεστής (αν)ομοιομορφίας εδαφικών υλικών



Διαφορετική πυκνότητα → διαφορετική συμπεριφορά:  
Προσδιορισμός & ορισμός της σχετικής πυκνότητας ( $D_r$ )

1. Πολύ χαλαρή διάταξη με ήπια απόθεση του υλικού. Μετράται η ελάχιστη πυκνότητα:  $\rho_m = M_m / V_m$
2. Πολύ πυκνή διάταξη με έντονη δόνηση του υλικού. Μετράται η μέγιστη πυκνότητα:  $\rho_M = M_M / V_M$
3. Μετράται η επιτόπου πυκνότητα:  $\rho = M / V$

Σχετική πυκνότητα ( $D_r$ ):

$$D_r = \frac{\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{\rho_m} - \frac{1}{\rho_M}} = \frac{\rho_M}{\rho} \frac{(\rho - \rho_m)}{(\rho_M - \rho_m)}$$

Παράδειγμα:

$$\rho_m = 1.7 \text{ Mg/m}^3, \quad \rho_M = 2.1 \text{ Mg/m}^3, \quad \rho = 1.9 \text{ Mg/m}^3 \quad \text{Άρα: } D_r = 55.3\%$$

## Έκφραση της σχετικής πυκνότητας μέσω του δείκτη πόρων

Πυκνότητα του ξηρού εδάφους:  $\rho_d = \rho_s \left( \frac{1}{1+e} \right)$

Σχετική πυκνότητα ( $D_r$ ):  $D_r = \frac{\rho_M}{\rho} \frac{(\rho - \rho_m)}{(\rho_M - \rho_m)}$

Αλλά:

$$\rho_m = \rho_s \left( \frac{1}{1+e_{\max}} \right) \quad \rho_M = \rho_s \left( \frac{1}{1+e_{\min}} \right) \quad \rho = \rho_s \left( \frac{1}{1+e} \right)$$

Οπότε:

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

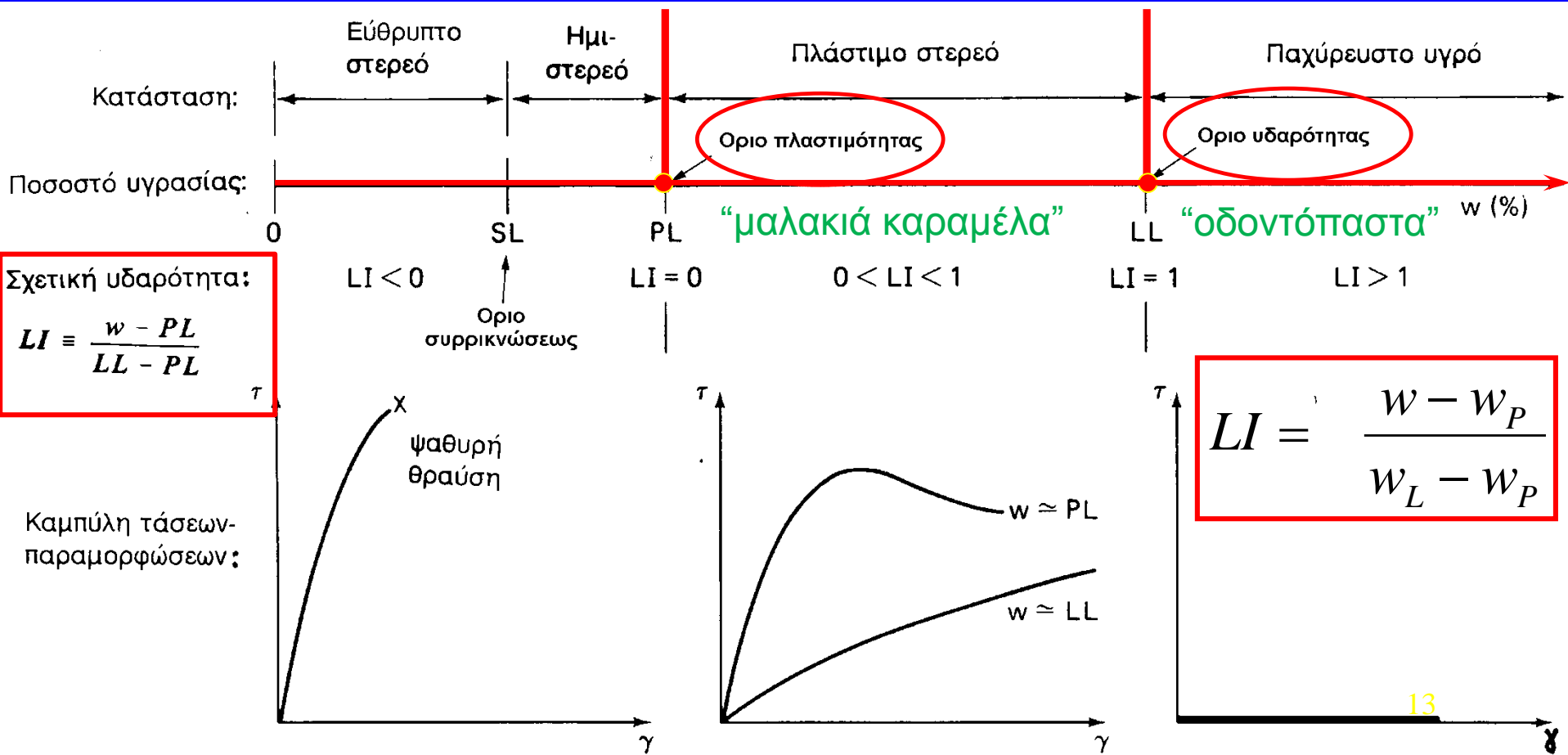
# Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των λεπτόκοκκων εδαφών εξαρτώνται από την υγρασία (w)

Όρια Atterberg: Όριο πλαστικότητας (PL ή  $w_p$ ), όριο υδαρότητας (LL ή  $w_L$ )

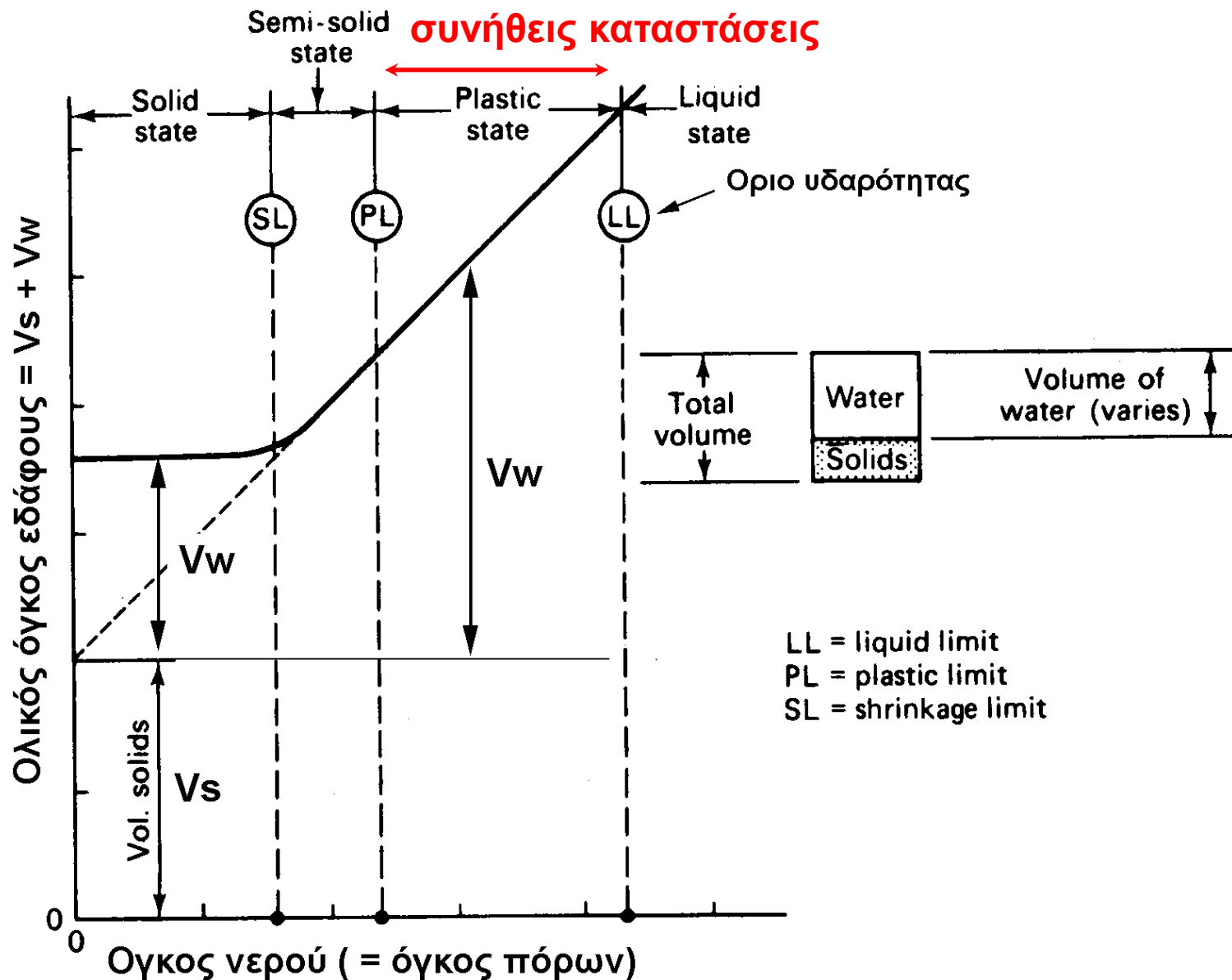
θα το βρείτε και:

Όριο πλασ(τ)ιμότητας

συνήθεις καταστάσεις



# Μείωση του όγκου με την ξήρανση στα λεπτόκοκκα εδάφη



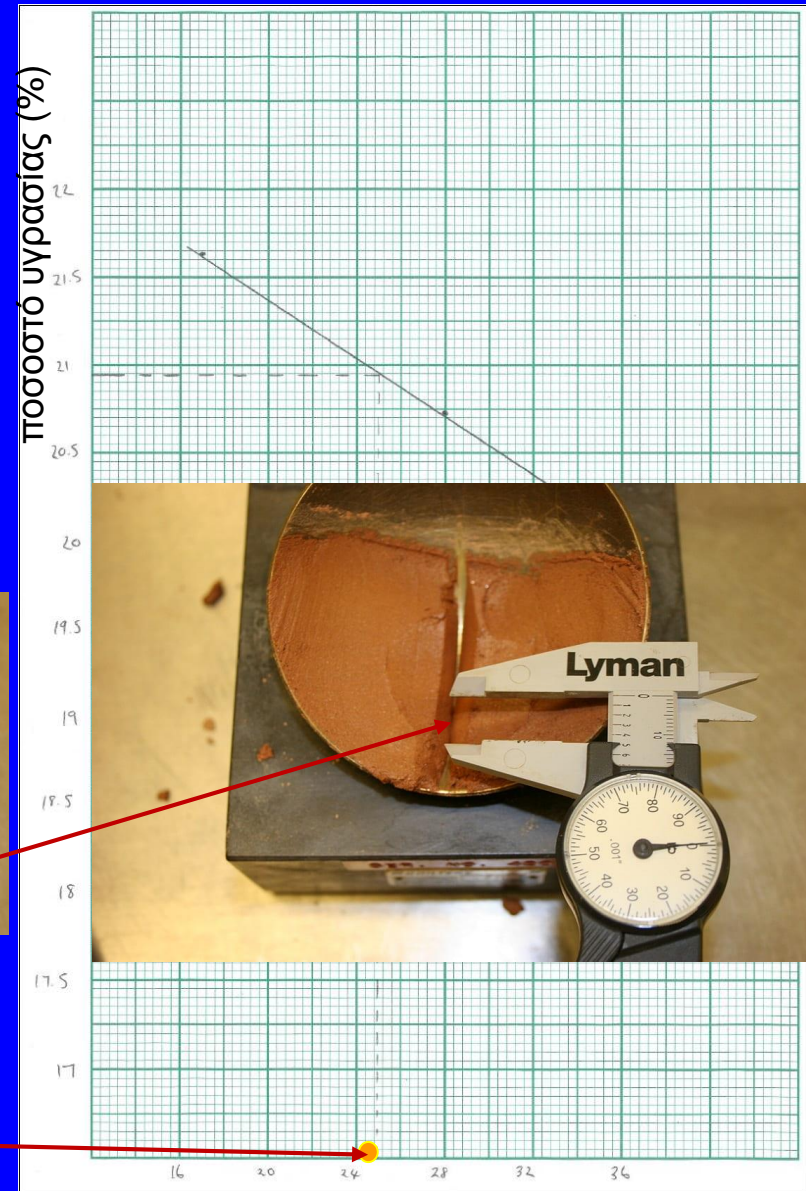
Άργιλος μετά την ξήρανση



# Προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας με τη συσκευή Casagrande



Burns lab (2023)

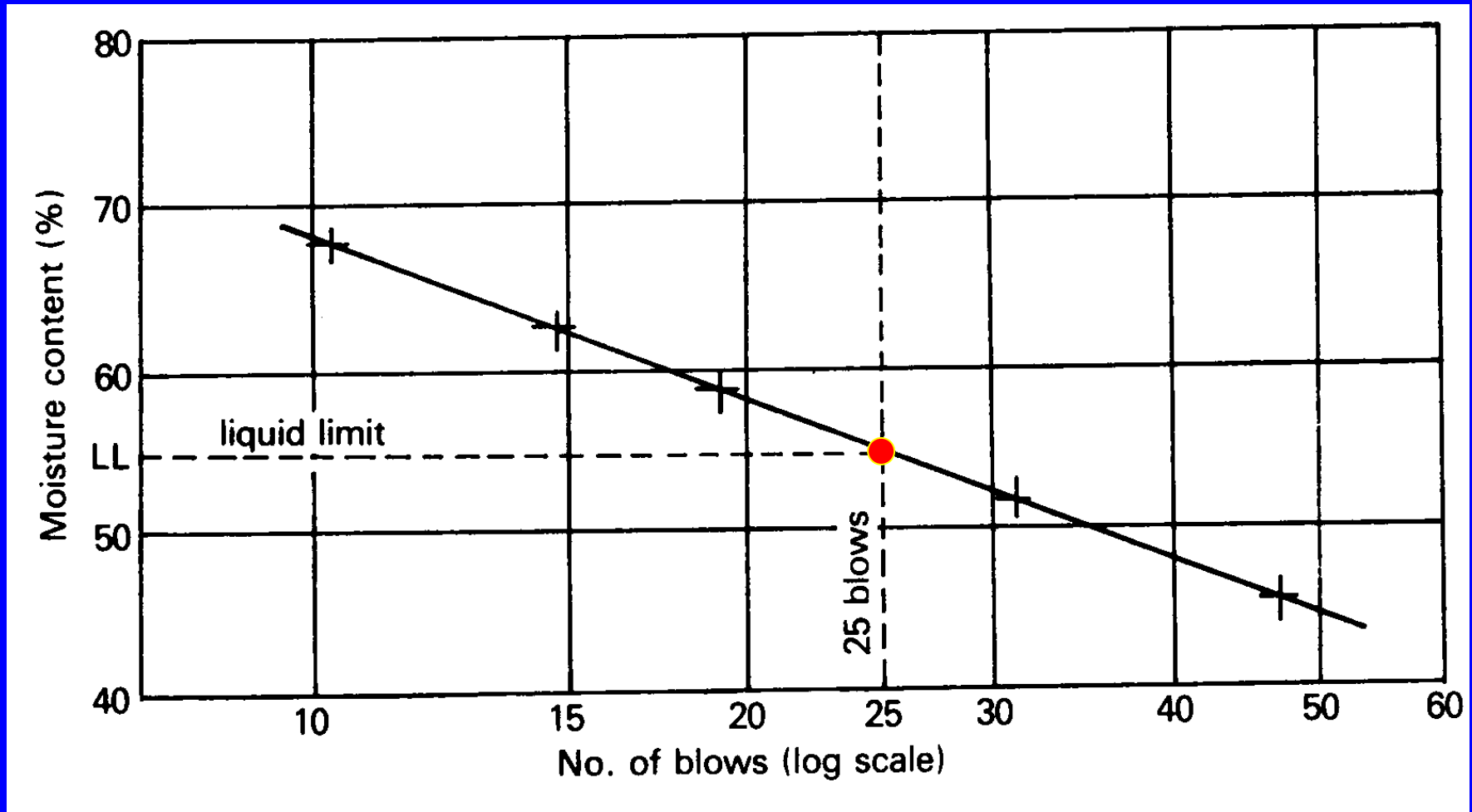


Το όριο υδαρότητας (LL) είναι το ποσοστό υγρασίας για το οποίο η χαρακιά κλείνει σε ένα μήκος 12.5mm μετά από 25 κτύπους. Το όριο υδαρότητας συνήθως βρίσκεται με γραμμική παρεμβολή.

Αριθμός κτύπων (ΣΗΜ: καλύτερα να χρησιμοποιούμε λογαριθμική κλίμακα)



# Προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας με τη συσκευή Casagrande



Το όριο υδαρότητας είναι ποσοστό υγρασίας

Στο όριο υδαρότητας, το υλικό έχει μια πολύ μικρή αντοχή (~ 2 kPa)

## Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας

Όταν η υγρασία, μειούμενη βαθμιαία, φθάσει στο όριο πλαστικότητας, το υλικό αρχίζει να γίνεται εύθρυπτο

Στο όριο πλαστικότητας το υλικό τεμαχίζεται όταν μορφωθεί σε κυλίνδρους διαμέτρου 3mm και κάτω.



Το όριο πλαστικότητας είναι ποσοστό υγρασίας

Δείκτης πλαστικότητας [και πλασ(τ)ιμότητας]:

Το εύρος της ζώνης μεταξύ των ορίων υδαρότητας - πλαστικότητας

$$PI = w_L - w_P = LL - PL$$

$PL > w > LL$ : πλάθουμε με το χέρι το έδαφος κι αυτό δεν ρηγματώνεται

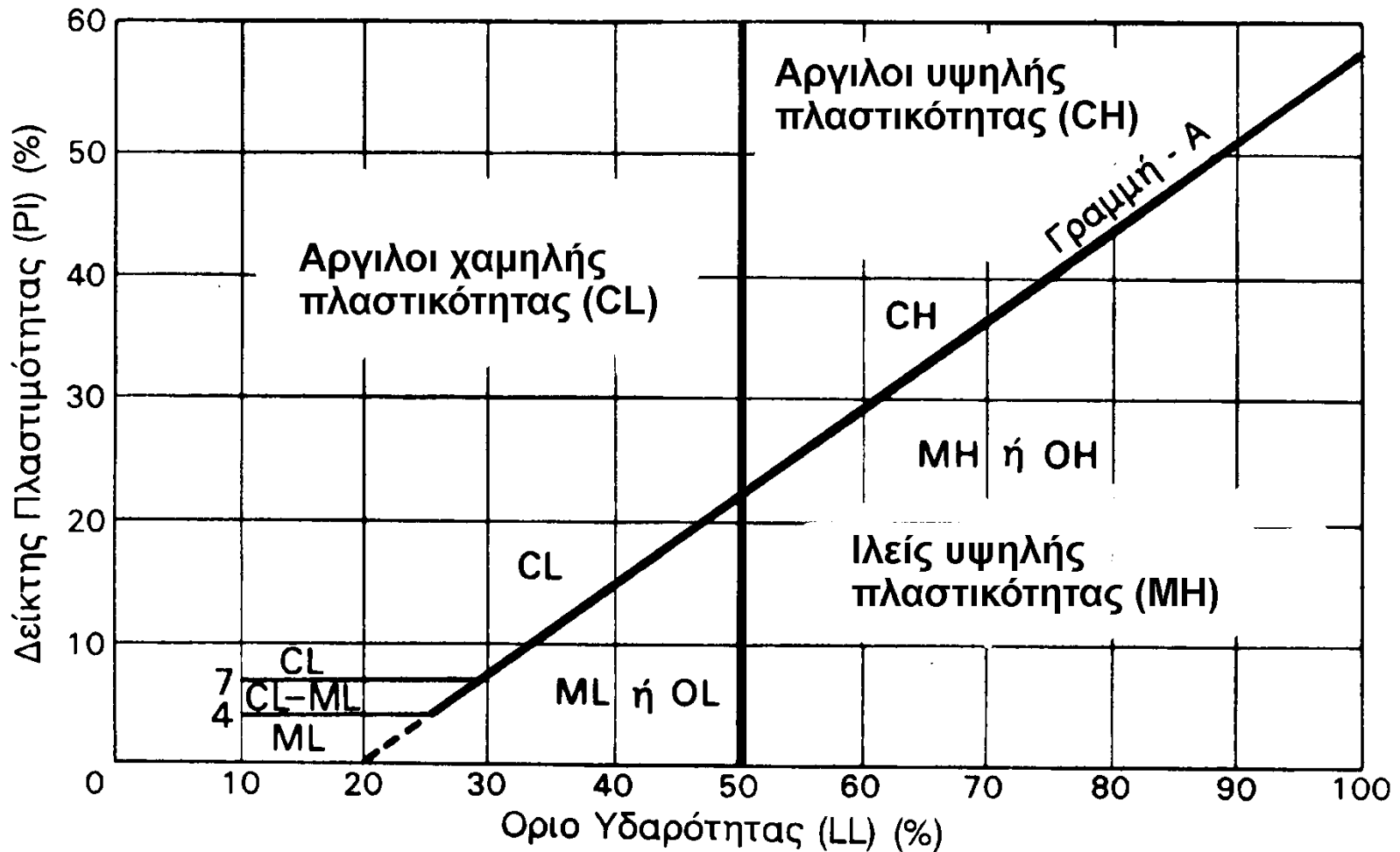
# Προσδιορισμός ορίου πλασιμότητας: Τα καταφέραμε;



Burns lab (2023)

# Ταξινόμηση των εδαφών με βάση τα όρια Atterberg

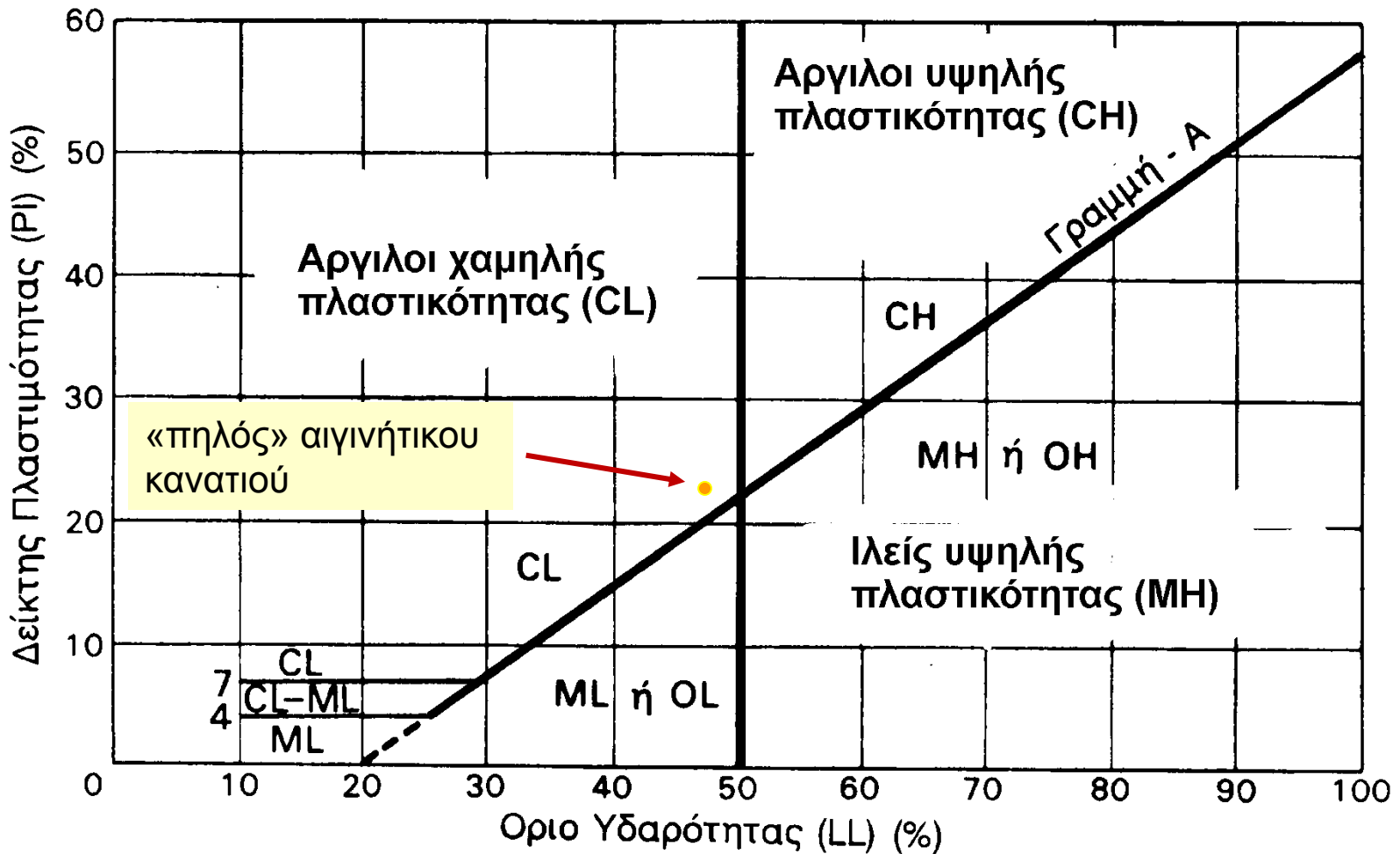
$$\text{Δείκτης πλαστικότητας : } PI = w_L - w_P = LL - PL$$



Χάρτης πλαστικότητας του Casagrande

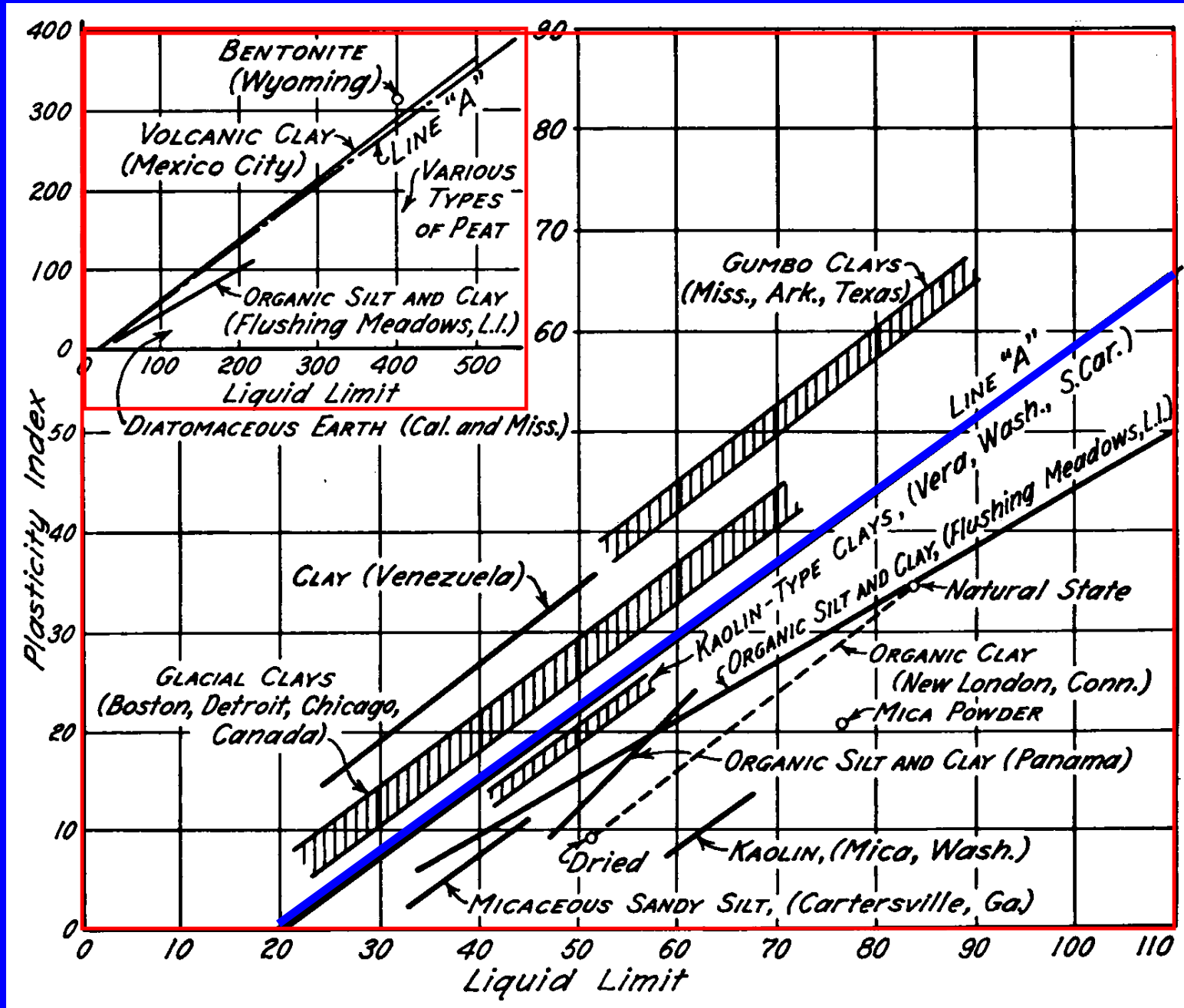
# Ταξινόμηση των εδαφών με βάση τα όρια Atterberg

$$\text{Δείκτης πλαστικότητας : } PI = w_L - w_P = LL - PL$$



Χάρτης πλαστικότητας του Casagrande

# Ταξινόμηση των εδαφών με βάση τα όρια Atterberg



## Διαφορές ιλύων και αργίλων

- Οι ιλύες είτε δεν έχουν πλαστικότητα είτε έχουν πολύ χαμηλή πλαστικότητα. Αντιθέτως, οι άργιλοι έχουν πλαστικότητα
- Όταν η ιλύς ξηραθεί γίνεται εύθρυπτη (τρίβεται), ενώ η άργιλος γίνεται σκληρή και δεν τρίβεται
- Οι ιλύες συμπυκνώνονται με δόνηση όπως οι άμμοι, ενώ οι άργιλοι δεν συμπυκνώνονται με δόνηση (μόνον με πίεση και ταυτόχρονη αποβολή νερού των πόρων αν είναι κορεσμένες)

Πρακτικός τρόπος διαχωρισμού ιλύων - αργίλων:

Δείγμα υγρού εδαφικού υλικού δονείται στην παλάμη του χεριού. Εάν είναι ιλύς, αποκτά γυαλιστερή επιφάνεια (με τη δόνηση συμπυκνώνεται και αποβάλλει νερό). Στη συνέχεια, το δείγμα της ιλύος πιέζεται ανάμεσα στα δάκτυλα και χάνει την γυαλιστερή μορφή του, επειδή διογκώνεται και απορροφά το νερό που είχε αποβάλει.

Η άργιλος δεν αντιδρά στο πείραμα αυτό αφού παραμορφώνεται με σταθερό όγκο και δεν αποβάλλει ούτε απορροφά νερό.

# Αντιστοιχία μεταξύ χονδροκόκκων και λεπτοκόκκων υλικών



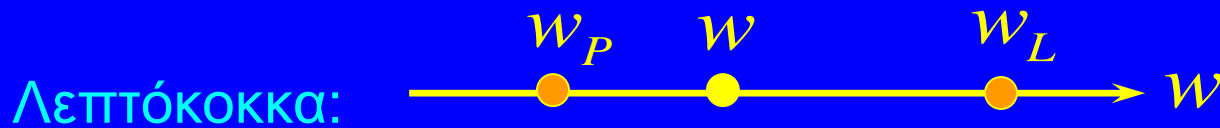
## 1. Κοκκομετρική διαβάθμιση

Εκφράζει το μέγεθος των κόκκων

## 2. Σχετική πυκνότητα

Εκφράζει την δομή του υλικού ως προς τα όρια : χαλαρή - πυκνή

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



## 1. Όρια Atterberg

Έμμεση έκφραση του μεγέθους των κόκκων μέσω της πλαστικότητας (οι μικροί κόκκοι έχουν μεγαλύτερη πλαστικότητα)

## 2. Σχετική υδαρότητα

Εκφράζει την υγρασία του υλικού ως προς τα όρια υδαρότητας - πλαστικότητας

$$LI = \frac{w - w_P}{w_L - w_P}$$



# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Ενιαίος τρόπος περιγραφής των εδαφών που έχουν όμοια χαρακτηριστικά και συνεπώς (κατά τεκμήριο) όμοιες μηχανικές ιδιότητες

ΕΝΙΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ (USCS)

<p>ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ εδάφη: &lt; 50% διέρχεται από το No. 200 <b>0.075mm</b></p>	<p>ΧΑΛΙΚΕΣ: &lt; 50% του χονδροκόκκου κλάσματος διέρχεται από το No. 4 <b>4.75mm</b></p>	<p>ΚΑΘΑΡΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ: &lt; 5% διέρχεται από το No. 200</p>	<p>ΚΑΛΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ: <math>C_u &gt; 4</math></p>	GW
			<p>ΚΑΚΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ: <math>C_u &lt; 4</math></p>	GP
		<p>ΧΑΛΙΚΕΣ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ υλικό: &gt; 12% διέρχεται από το No. 200</p>	<p>ΙΛΥΩΔΕΙΣ ΧΑΛΙΚΕΣ: κάτω από τη γραμμή A, ή <math>I_p &lt; 4</math></p>	GM
			<p>ΑΡΓΙΛΩΔΕΙΣ ΧΑΛΙΚΕΣ: πάνω από τη γραμμή A, ή <math>I_p &gt; 7</math></p>	GC
	<p>ΑΜΜΟΙ: &gt; 50% του χονδροκόκκου κλάσματος διέρχεται από το No. 4</p>	<p>ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΜΜΟΙ: &lt; 5% διέρχεται από το No. 200</p>	<p>ΚΑΛΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΕΣ ΑΜΜΟΙ: <math>C_u &gt; 6</math></p>	SW
			<p>ΚΑΚΩΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΕΣ ΑΜΜΟΙ: <math>C_u &lt; 6</math></p>	SP
		<p>ΑΜΜΟΙ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ υλικό: &gt; 12% διέρχεται από το No. 200</p>	<p>ΙΛΥΩΔΕΙΣ ΑΜΜΟΙ: κάτω από τη γραμμή A, ή <math>I_p &lt; 5</math></p>	SM
			<p>ΑΡΓΙΛΩΔΕΙΣ ΑΜΜΟΙ: πάνω από τη γραμμή A, ή <math>I_p &gt; 7</math></p>	SC
<p>ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ εδάφη: &gt; 50% διέρχεται από το No. 200</p>	<p>εδάφη ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: <math>w_L &lt; 50\%</math></p>	<p>ΑΡΓΙΛΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: πάνω από τη γραμμή A</p>	CL	
		<p>ΙΛΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: κάτω από τη γραμμή A</p>	ML	
		<p>ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΙΛΕΙΣ ή ΑΡΓΙΛΟΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ</p>	OL	
	<p>εδάφη ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: <math>w_L &gt; 50\%</math></p>	<p>ΑΡΓΙΛΟΙ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: πάνω από τη γραμμή A</p>	CH	
		<p>ΙΛΕΙΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: κάτω από τη γραμμή A</p>	MH	
		<p>ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΙΛΕΙΣ ή ΑΡΓΙΛΟΙ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ</p>	OH	
<p>Κυρίως ΟΡΓΑΝΙΚΑ υλικά</p>				Pt

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

## ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

### ΕΝΙΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ (USCS)

<b>ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ</b> εδάφη: < 50% διέρχεται από το Νο. 200	<b>ΧΑΛΙΚΕΣ:</b> < 50% του χονδροκόκκου κλάσματος διέρχεται από το Νο. 4	<b>ΚΑΘΑΡΟΙ ΧΑΛΙΚΕΣ:</b> < 5% διέρχεται από το Νο. 200	GW	
			GP	
		<b>ΧΑΛΙΚΕΣ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ υλικό:</b> > 12% διέρχεται από το Νο. 200		GM
				GC
		<b>ΑΜΜΟΙ:</b> > 50% του χονδροκόκκου κλάσματος διέρχεται από το Νο. 4	<b>ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΜΜΟΙ:</b> < 5% διέρχεται από το Νο. 200	SW
			<b>ΑΜΜΟΙ ΜΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ υλικό:</b> > 12% διέρχεται από το Νο. 200	SP
			SM	
			SC	

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

## ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

### ΕΝΙΑΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ (USCS)

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ εδάφη: > 50% διέρχεται από το No. 200	εδάφη ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: $w_L < 50\%$	CL
		ML
		OL
	εδάφη ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ: $w_L > 50\%$	CH
		MH
		OH
Κυρίως ΟΡΓΑΝΙΚΑ υλικά		Pt

# Να κρατήσουμε

- Κατάταξη εδαφών (πχ USCS) χρήσιμη κυρίως για έργα όπου το έδαφος χρησιμοποιείται ως κατασκευαστικό υλικό\* και, άρα, έχουμε έλεγχο υλικού\*\*
  - Υπενθύμιση από 1<sup>η</sup> διάλεξη: στο μάθημα θα ασχοληθούμε με εδάφη που συμπεριφέρονται κυρίως ως άργιλοι ή κυρίως ως άμμοι
- Για το ίδιο αμμώδες υλικό, η συμπεριφορά του εδάφους καθορίζεται από τη σχετική πυκνότητα
- Για το ίδιο αργιλικό υλικό, η συμπεριφορά του εδάφους καθορίζεται από την υγρασία

\* (φράγματα, επιχώματα, γεωτεχνικοί φραγμοί στεγανοποίησης, πχ σε ΧΥΤΑ)

\*\* (ελέγχουμε από ποιον δανειοθάλαμο παίρνουμε το υλικό, μπορούμε να αφαιρέσουμε κάποιο κλάσμα, πχ τεμάχια μεγάλου μεγέθους, και να προσθέσουμε υλικό, πχ μπεντονίτη σε στρώση στεγάνωσης ΧΥΤΑ)

# Πηγές

- Διαφάνειες Μ. Καββαδά με λίγα σχόλια ορολογίας
- Φωτογραφίες από την ιστοσελίδα της S. Burns (Georgia Tech): [Burns lab](#) (2023)

# Ευχαριστίες

- Η κοκκομετρική καμπύλη και τα όρια Atterberg του πηλού αγγειοπλαστικής από την Αίγινα (διαφάνειες 8 & 21) προσδιορίστηκαν από τον κ Στέλιο Τσεντίδη (Εργαστήριο Εδαφομηχανικής)