



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

# Εργαστηριακά Θέματα Οδοποιίας - Οδοστρωμάτων

## Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του εδάφους [β]



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Σχέση υγρασίας – πυκνότητας εδάφους

### Οδοστρώματα:

- Κατασκευή πάνω σε επιχώματα μεταφερθέντων εδαφικών υλικών.
- Κατασκευή πάνω σε όρυγμα αφού απομακρυνθεί η φυτική γη – Διατάραξη συμπύκνωσης και ποιότητας εδάφους έδρασης.

Συμπύκνωση εδαφικού υλικού = Περιορισμός καθιζήσεων

Συμπύκνωση εδαφικού υλικού εξαρτάται από το ποσοστό υγρασίας (περιεκτικότητα σε νερό).

Επίτευξη μέγιστης πυκνότητας εδαφικού υλικού όταν η περιεκτικότητα σε νερό είναι η βέλτιστη.



**Συμπύκνωση εδάφους για  
την κατασκευή οδοστρώματος**



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Υγρασία εδάφους

Η καλύτερη συμπύκνωση εξαρτάται από δύο παράγοντες :

- Την προσφερόμενη ενέργεια
- Την περιεχόμενη υγρασία

Η υγρασία βοηθάει στη συμπύκνωση γιατί το νερό δρα σαν λιπαντικό ανάμεσα στους κόκκους.

Δεν πρέπει να είναι σε πολύ μεγάλη ποσότητα γιατί οι κόκκοι απομακρύνονται.

Υπάρχει μία υγρασία η οποία είναι η βέλτιστη για τη συμπύκνωση ενός εδάφους.

Η υγρασία που αντιστοιχεί στη μέγιστη ξηρή πυκνότητα ( $\gamma_{d_{max}}$ ) που μπορεί να επιτευχθεί, λέγεται βέλτιστη υγρασία ( $W_{\beta}$ ).





# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Δοκιμή Proctor

Προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ πυκνότητας και της περιεχόμενης υγρασίας του εδαφικού υλικού και από τη βέλτιστη υγρασία τη μέγιστη πυκνότητα.

- Ανάμειξη ποσότητας εδάφους με νερό.
- Τοποθέτηση σε μεταλλική μήτρα.
- Κανονική δοκιμή = Συμπύκνωση με κόπανο 2,5 kg.
- Τροποποιημένη δοκιμή = Συμπύκνωση με κόπανο 4,54 kg που πέφτει από ύψος 457,2 mm.

Η χρήση οδοστρωτήρων μεγάλου φορτίου οδηγεί σε μεγαλύτερη συμπύκνωση από του εργαστηρίου, σε εδαφικά υλικά με μικρότερη περιεκτικότητα υγρασίας.

Το φαινόμενο παρουσιάζεται σε συνεκτικά εδάφη.



Πρότυπος μεταλλικός κύλινδρος  
Μήτρα Proctor



## Βασικοί έλεγχοι εδαφών

Είδος εδαφικού υλικού	Τροποποιημένη μέθοδος Proctor		Πρότυπη μέθοδος κατά Proctor	
	Μέγισ. ξηρή πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Βέλτιστη υγρασία (%)	Μέγισ. ξηρή πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Βέλτιστη υγρασία (%)
Αργιλικό	1875	18	1555	28
Ιλυώδης άργιλος	1945	12	1670	21
Αμμώδης άργιλος	2055	11	1840	14
Άμμος	2085	9	1940	11
Μίγμα χαλικιών-άμμου και αργίλου	2200	8	2070	9

Τυπικές τιμές βέλτιστης υγρασίας με την πρότυπη και τροποποιημένη μέθοδο συμπύκνωσης Proctor



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Δοκιμή Proctor

Μήτρες συμπύκνωσης έχουν το ίδιο ύψος 116,4 mm αλλά διαφορετικές διαμέτρους 101,6 mm και 152,4 mm.

Χρήση μήτρας ανάλογα με τα υλικά που συγκρατούνται στο κόσκινο 4,75 mm.

Αν συγκρατηθεί περισσότερο από 7% του εδαφικού υλικού χρήση μεγάλης μήτρας.

Η χρήση μεγάλης μήτρας δεν αλλοιώνει το αποτέλεσμα όσο λεπτόκοκκο κι αν είναι το εδαφικό υλικό.



**Μήτρες Proctor**  
διαφορετικής διαμέτρου



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Δοκιμή Proctor

Απομάκρυνση μείγματος που συγκρατείται στο κόσκινο 19 mm.

Όταν 10 – 30 % συγκρατείται στο κόσκινο 19 mm:  
Αντικατάσταση με μείγμα που διέρχεται από το κόσκινο 19 mm και συγκρατείται στο κόσκινο 4,75 mm.

Όταν ποσοστό > 30 % συγκρατείται στο κόσκινο 19 mm:  
Η ρύθμιση δεν δίνει αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Στις χώρες του εξωτερικού χρησιμοποιείται δονητική σφύρα έναντι του πίπτοντος κόπανου – Καλύτερη προσομοίωση όταν στο έργο χρησιμοποιούνται δονητικοί οδοστρωτήρες.



**Μήτρες Proctor**  
διαφορετικής διαμέτρου



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Δοκιμή Proctor

Συμπύκνωση δοκιμίων σε 3 ή 5 στρώσεις.

Στη μεγάλη μήτρα κάθε ισοπαχή στρώση πάχους 127 mm δέχεται 56 ομοιόμορφα χτυπήματα σε κάθε στρώση.

Στη μικρή μήτρα κάθε ισοπαχή στρώση πάχους 127 mm δέχεται 25 ομοιόμορφα χτυπήματα σε κάθε στρώση.

Μετά τη συμπύκνωση η επιφάνεια ισοπεδώνεται με μαχαίρι.

Ζύγιση εδαφικού υλικού μαζί με τη μήτρα.

Λήψη δείγματος για τον καθορισμό της περιεχόμενης υγρασίας.

$$w = [(A - B) / (B - \Gamma)] \times 100$$

$$\gamma_d = [\gamma / (w + 100)] \times 100$$

όπου:

w = ποσοστό υγρασίας δοκιμίου

A = βάρος υποδοχέα και υγρού εδάφους gr

B = βάρος υποδοχέα και ξηρού εδάφους gr

\Gamma = βάρος υποδοχέα gr

\gamma\_d = ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος  
συμπυκνωμένου εδάφους kg/m<sup>3</sup>

\gamma = υγρό φαινόμενο ειδικό βάρος  
συμπυκνωμένου εδάφους kg/m<sup>3</sup>

$$\gamma = E / V$$

όπου:

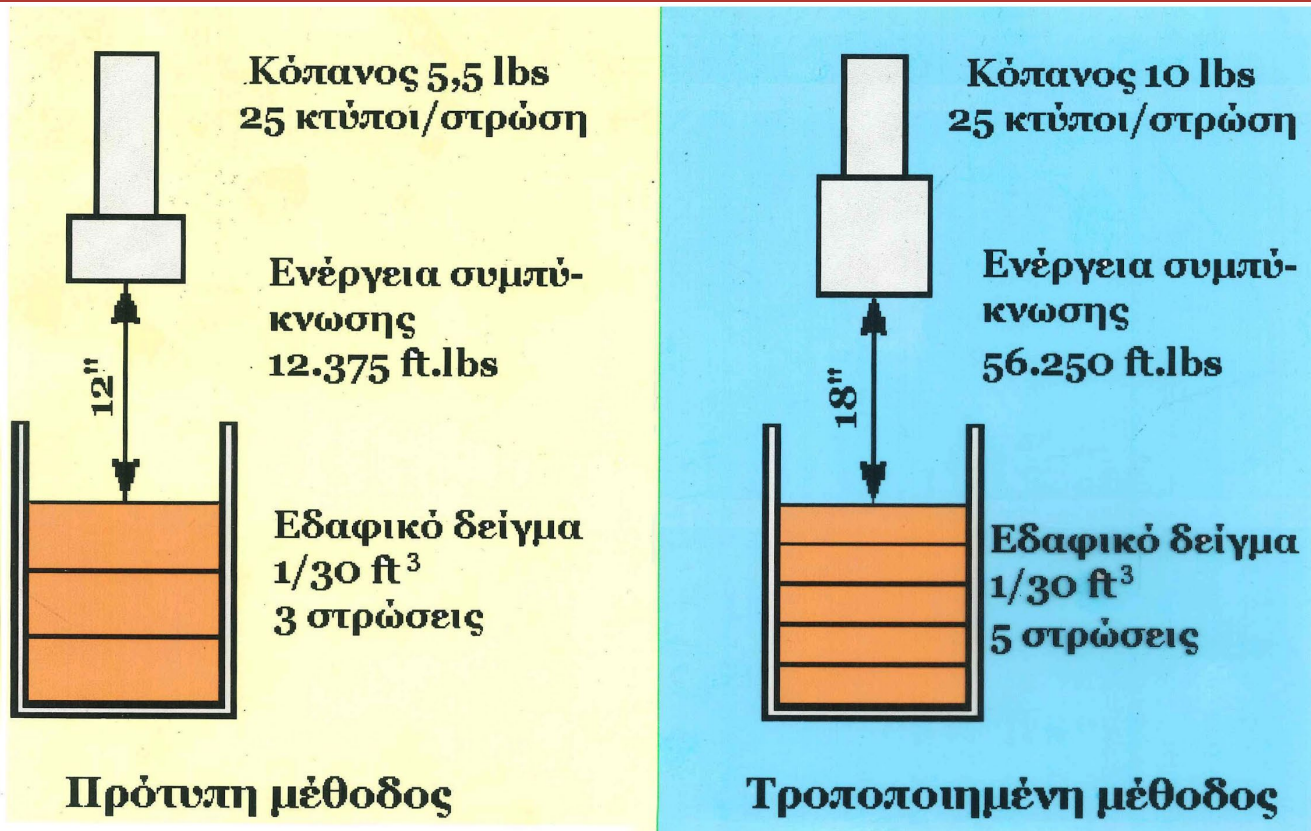
E = βάρος υγρού εδάφους μέσα σε μήτρα kg

V = όγκος μήτρας





## Βασικοί έλεγχοι εδαφών



Σύγκριση εργαστηριακών μεθόδων συμπίκνωσης



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Μέθοδος δοκιμής Proctor 1/2

- Το εδαφικό υλικό ξεραίνεται στον αέρα.
- Κοσκινίζεται με το κόσκινο.
- Παίρνουμε ποσότητα δείγματος από το κοσκινισμένο έδαφος.
- Το δείγμα ανακατεύεται καλά με λίγο νερό.
- Το μείγμα τοποθετείται στον τύπο (μήτρα) σε τρεις στρώσεις.
- Κάθε στρώση δέχεται 25 ομοιόμορφα χτυπήματα με τον κόπανο κυκλικά, με τέτοιο τρόπο ώστε, ο ένας κτύπος να περιέχει τον προηγούμενο.

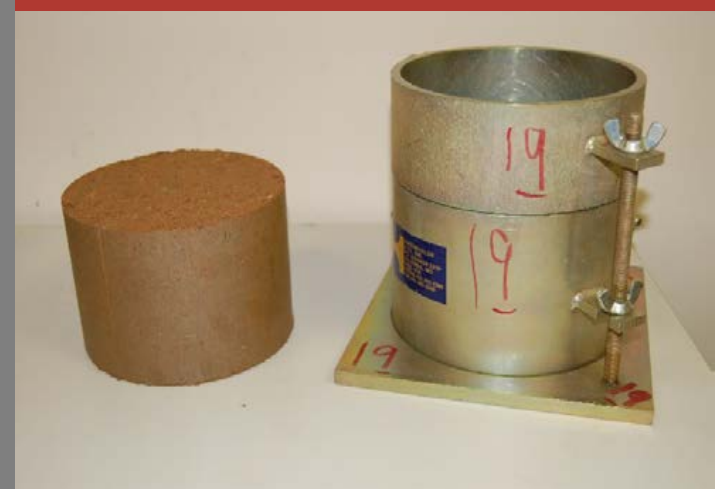




# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

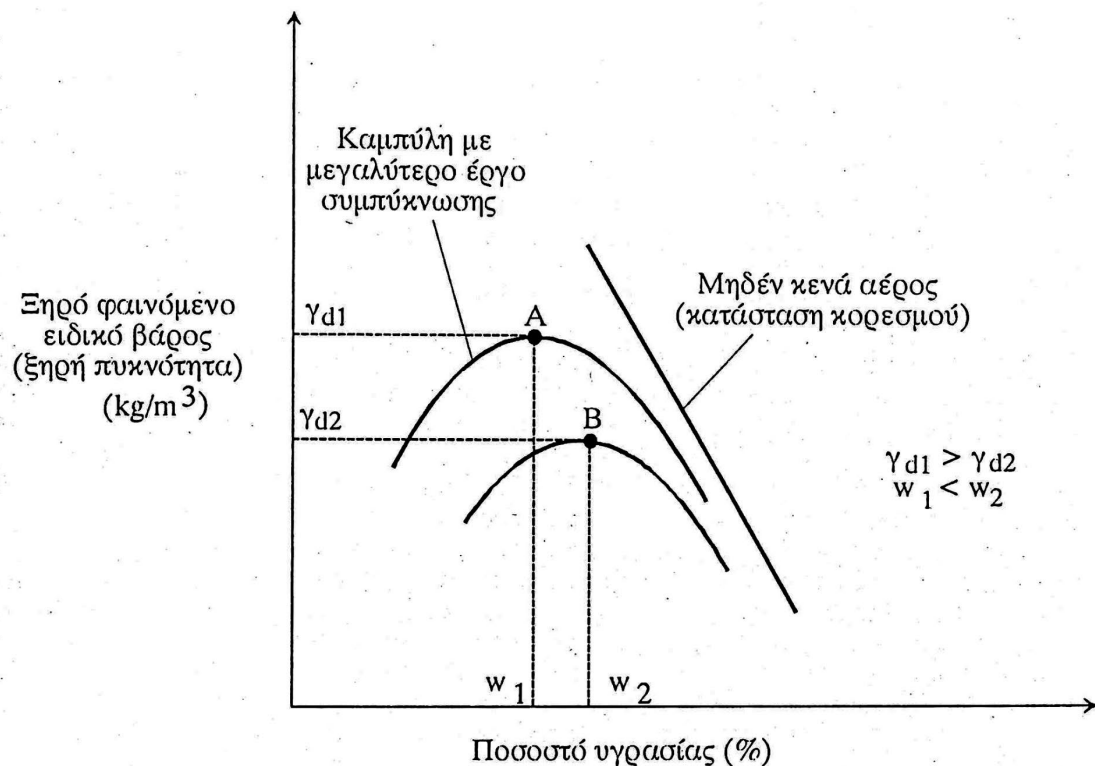
## Μέθοδος δοκιμής Proctor 2/2

- Το συμπυκνωμένο δείγμα αφαιρείται με τον εξολκέα.
- Λαμβάνεται δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.
- Η ξηρή πυκνότητα  $\gamma_d$  υπολογίζεται από τον όγκο της μήτρας, το υγρό βάρος του δείγματος και την υγρασία.
- Η δοκιμή επαναλαμβάνεται αυξάνοντας την υγρασία κάθε φορά κατά 2% περίπου.
- Από τα αποτελέσματα προκύπτει το διάγραμμα Proctor.
- Η μέγιστη ξηρή πυκνότητα  $\gamma_{dmax}$  αντιστοιχεί στη βέλτιστη υγρασία.





## Βασικοί έλεγχοι εδαφών



Γραφική απεικόνιση σχέσης πυκνότητας – υγρασίας

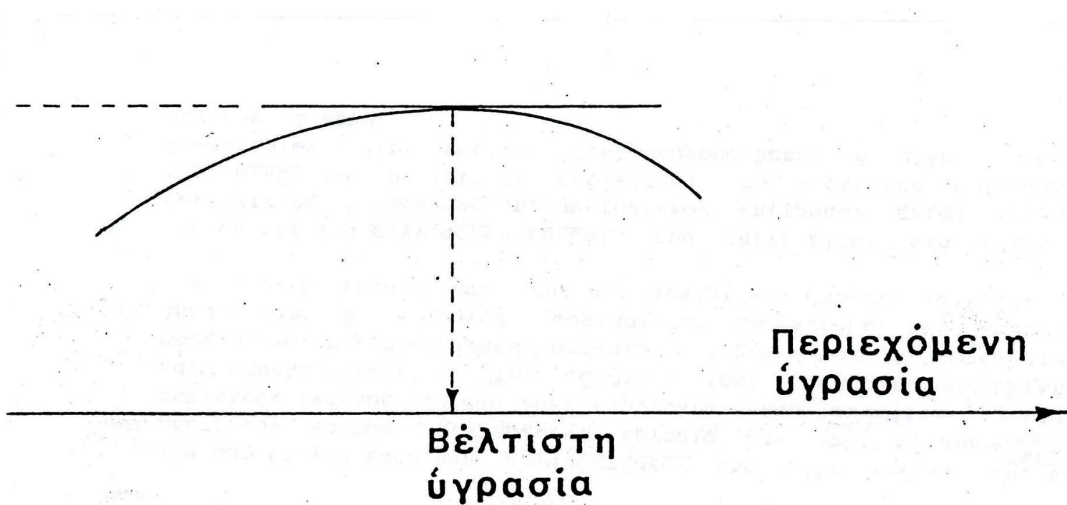
### Βέλτιστη υγρασία:

Η περιεχόμενη υγρασία στο ανώτερο σημείο της καμπύλης ορίζεται ως βέλτιστη υγρασία για μέγιστη συμπίκνωση.

Το μέγιστο ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος είναι τιμή που πρέπει να επιδιώκεται να επιτευχθεί στο έργο.

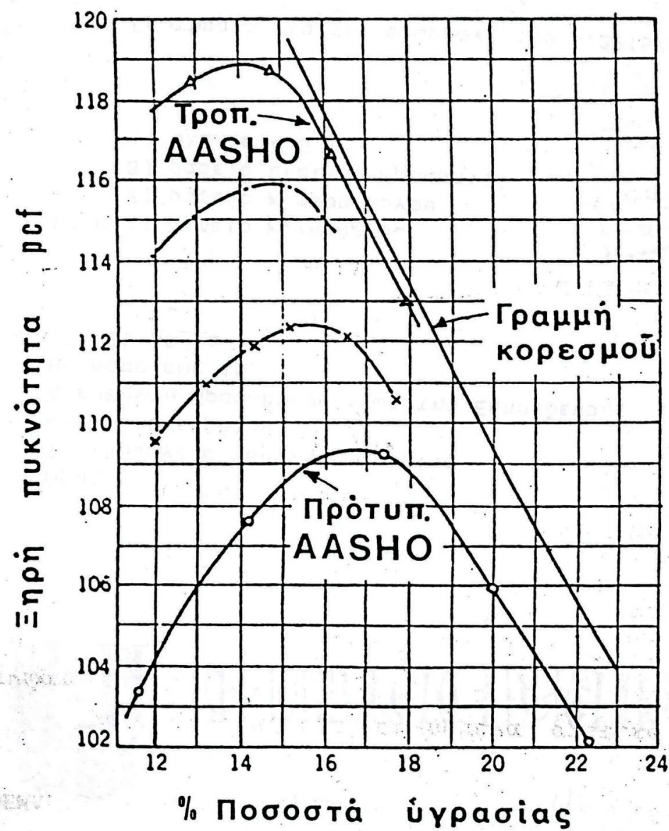


# Βασικοί έλεγχοι εδαφών



Γραφική απεικόνιση σχέσης πικνότητας – υγρασίας

Άπλο διάγραμμα PROCTOR





## Κατάταξη εδαφών

Το αρχικό σύστημα κατάταξης εδαφών από τον Casagrande αξιοποιήθηκε για κατάταξη εδαφών σε αεροδρόμια.

**USCS** (Ενιαίο Σύστημα Κατάταξης Εδαφών) ή  
**ASTM** (Ινστιτούτο Αμερικανικών Προδιαγραφών)

- Το σύστημα βασίζεται στην κοκκομετρική διαβάθμιση και στο δείκτη πλαστικότητας.

**AASHTO** (Αμερικανικός Σύνδεσμος Υπηρεσιών Κρατικών Αυτοκινητοδρόμων)

- Το σύστημα βασίζεται σε αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων, ορίου υδαρότητας και στο δείκτη πλαστικότητας.
- ❖ Βασική διαφορά μεταξύ των δυο συστημάτων είναι ο ορισμός των χονδροκόκκων και λεπτόκοκκων εδαφών.
- ❖ Το σύστημα AASHTO δίνει σαφείς οδηγίες για την καταλληλότητά των εδαφών ανά κατηγορία για έργα οδοποιίας.





# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Κατάταξη εδαφών κατά AASHTO

Διαχωρισμός εδαφών σε δυο κατηγορίες:

- Κοκκώδη (χονδρόκοκκα) : συγκρατούμενο ποσοστό υλικού σε κόσκινο 0,075 mm μεγαλύτερο από 65%
- Λεπτόκοκκα (ιλυώδη και αργιλικά) : συγκρατούμενο ποσοστό υλικού σε κόσκινο 0,075 mm μικρότερο από 35%

Χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά χωρίζονται σε 3 κύριες κατηγορίες και σε 7 υποκατηγορίες.

Λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά χωρίζονται σε 4 κύριες κατηγορίες εκ των οποίων η μια σε 2 υποκατηγορίες.

Διαχωρισμός ανάλογα του ποσοστού που συγκρατείται σε κόσκινα, του ορίου υδαρότητας και του δείκτη πλαστικότητας.





# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

Γενική Κατάταξη	Κοκκώδη ή χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά διερχόμενο % από κόσκινο 0,075 mm : < 35							Λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (ιλυο-αργιλώδη) διερχόμενο % από κόσκινο 0,075 mm : > 35				
Ομάδα Κατάταξης	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Υπό-Ομάδες	A-1-α	A-1-β		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Διερχ. % από κόσκινο: 2,00 mm 0,425 mm 0,075 mm	50 max 30 max 15 max	- 50 max 25 max	51 min 10 max	- - 35 max	- - 35 max (< 35)	- - 35 max	- - 35 max	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min (> 35)	- - 36 min	- - 36 min
Χαρακτηριστικά (διερχ. του 0,425 mm) Όριο υδαρότητας Δείκτης πλαστικ/τας	-		-	40 max 10 max	41 min (> 40) 10 max (< 10)	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	41 max (< 40) 11 min (> 10)	41 min 11 min <sup>A</sup>	41 min 11 min <sup>B</sup>
Συνήθεις τύποι εδαφικών υλικών	Χαλίκια, άμμος και αμμοχάλικο		Λεπτή άμμος	Ιλυώδη ή αργιλώδη αμμοχάλικα				Ιλυώδη εδάφη	Αργιλώδη εδάφη			
Καταλληλότητα ως υπέδαφος	Εξαιρετικά έως καλά							Μέτρια έως ακατάλληλα				

<sup>A</sup>. Ο δείκτης πλαστικότητας των υλικών της κατηγορίας A-7-5 είναι μικρότερος ή ίσος του (LL – 30)

<sup>B</sup>. Ο δείκτης πλαστικότητας των υλικών της κατηγορίας A-7-6 είναι μεγαλύτερος του (LL – 30), όριο υδαρότητας

## Κατάταξη εδαφών κατά AASHTO



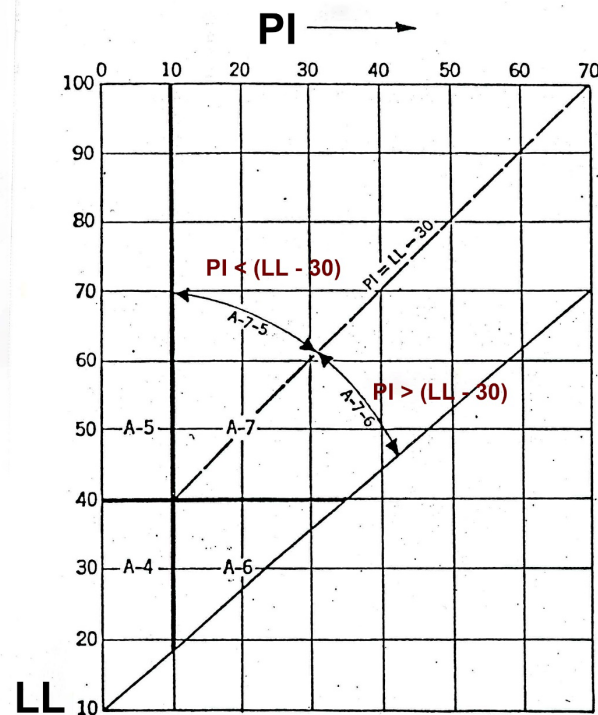


## Βασικοί έλεγχοι εδαφών

### Κατάταξη εδαφών κατά AASHTO

Ο δείκτης πλαστικότητας των υλικών της κατηγορίας A-7-5 είναι μικρότερος ή ίσος του  $(LL - 30)$

Ο δείκτης πλαστικότητας των υλικών της κατηγορίας A-7-6 είναι μεγαλύτερος του  $(LL - 30)$ , όριο υδαρότητας



Σχέση δείκτη πλαστικότητας  
με όριο υδαρότητας



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Μηχανική σύσταση εδάφους

Τα εδάφη ταξινομούνται σε κατηγορίες κόκκων, ανάλογα με το ποσοστό άμμου, αργίλου, ιλύς που περιέχουν.

Τα ανόργανα συστατικά του εδάφους ανάλογα με το μέγεθος του κόκκου ταξινομούνται σε:

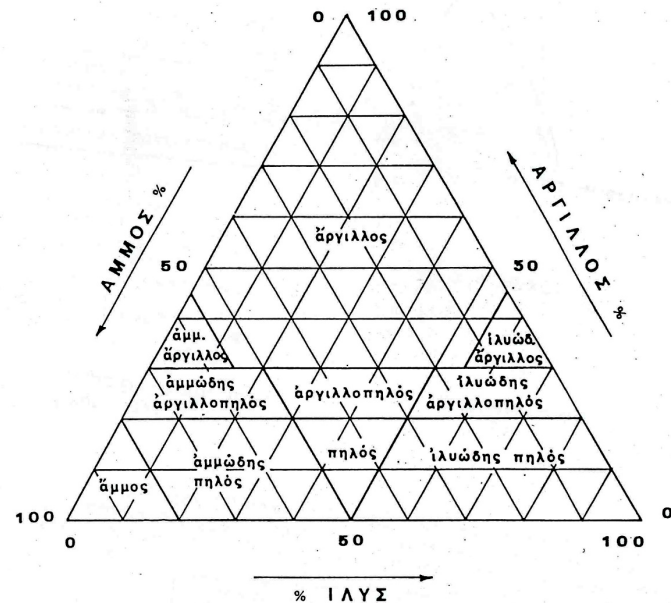
Χαλίκια (> 2 mm)

Άμμος (2-0,02 mm)

Ιλύς (0,02-0,002 mm)

Άργιλος (<0,002 mm)

Τα εδαφικά υλικά καταλαμβάνουν μια συγκεκριμένη θέση σε ένα ισοσκελές τρίγωνο που ονομάζεται τρίγωνο της μηχανικής σύστασης του εδάφους.



Τά ποσοστά άμμου, ιλύος και αργύλλου εκφράζονται επί τοις % του όλικου βάρους του εδάφους.

**Τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδάφους**



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Δείκτης ομάδας εδαφών GI

Το άθροισμα των αναγνώσεων στις κατακόρυφες κλίμακες των μονογραφήματων.

Εκφράζει έμμεσα τη φέρουσα ικανότητα του εδαφικού υλικού.

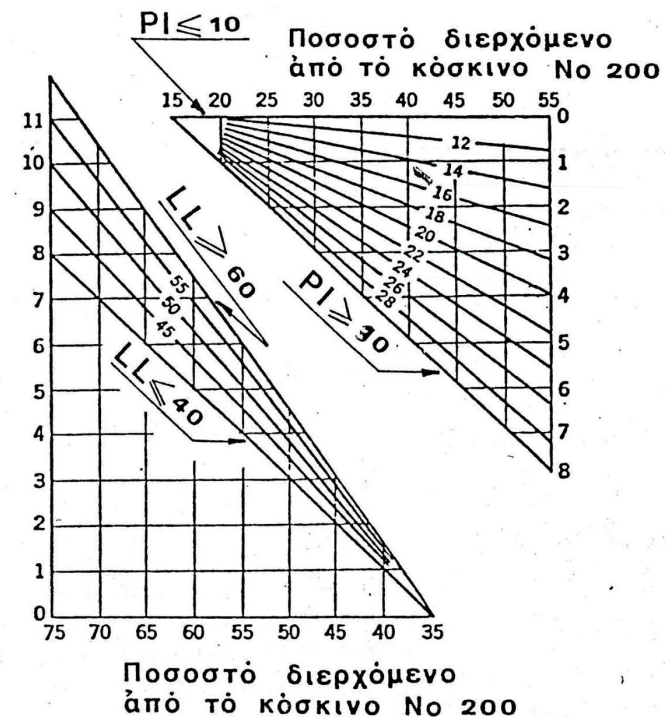
Τιμές δείκτη ομάδας εδαφών:

Χαμηλές τιμές (0 – 4) = καλή φέρουσα ικανότητα υλικού

Μεγάλες τιμές (8 – 20) = χαμηλή έως κακή φέρουσα ικανότητα

Οι τιμές του δείκτη ομάδας εδαφών δεν απαλλάσσουν το μηχανικό από τους ελέγχους για τη φέρουσα ικανότητα του εδαφικού υλικού.

Ο δείκτης ομάδας εδαφικού υλικού είναι συνάρτηση του ορίου υδαρότητας, του δείκτη πλαστικότητας και του ποσοστού του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 0,075 mm.



**Μονογραφήματα για τον προσδιορισμό του δείκτη ομάδας**



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Σύστημα κατάταξης εδαφών κατά ASTM

Διαχωρισμός εδαφών σε δυο κατηγορίες:

- Κοκκώδη (χονδρόκοκκα) : συγκρατούμενο ποσοστό σε κόσκινο 0,075 mm μεγαλύτερο από 50%
  - Λεπτόκοκκα (ιλυώδη και αργιλικά) : συγκρατούμενο ποσοστό σε κόσκινο 0,075 mm μικρότερο από 50%
- 
- ❖ Χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά (χαλίκια και άμμοι) χωρίζονται σε 8 υποκατηγορίες.
  - ❖ Λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά χωρίζονται σε 6 υποκατηγορίες.
  - ❖ Οργανικά λεπτόκοκκα εδάφη ταξινομούνται σε μια κατηγορία.





# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

Κατηγορίες Εδαφών			Βασικά Χαρακτηριστικά					
			Κατάλληλα ως υπέδαφος	Κατάλληλα ως υπόβαση	Επίδραση παγετού	Συμπίεστικότητα & Διόγκωση	Δυνατότητα αποστράγγισης	Τυπικές τιμές CBR (k)*
Χαλικώδη εδάφη	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Εξαιρετική	Εξαιρετική	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	40 - 80 (80 - 135)
	GP	Ομοιόμορφα χαλίκια ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Καλή έως εξαιρετική	Καλή	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	30 - 60 (80 - 135)
	GM	Ιλυώδη χαλίκια, ιλυώδη αμμοχάλικα	Καλή έως εξαιρετική	Καλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Ελάχιστη	Μέτρια έως κακή	20 - 60 (55 - 135)
	GC	Αργιλώδη χαλίκια, αργιλώδη αμμοχάλικα	Καλή	Μέτρια	Ελάχ./μέτρια	Ελάχιστη	Κακή/αδιαπέραστο	20 - 40 (55 - 135)
Αμμώδη εδάφη	SW	Καλά διαβ/μένες άμμοι ή αμμοχάλικα με λίγα λεπτόκ/κα	Καλή	Μέτρια έως καλή	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	20 - 40 (55 - 110)
	SP	Ομοιόμορφες άμμοι, αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα	Μέτρια έως καλή	Μέτρια	Καθόλου έως ελάχιστη	Σχεδόν καμία	Εξαιρετική	10 - 40 (40 - 110)
	SM	Ιλυώδεις άμμοι, μίγμα άμμου και ιλύος	Μέτρια έως καλή	Κακή έως μέτρια	Ελάχιστη έως υψηλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Μέτρια έως κακή	10 - 40 (27 - 80)
	SC	Αργιλώδεις άμμοι, μίγμα άμμου και αργίλου	Κακή έως μέτρια	Κακή	Ελάχιστη έως υψηλή	Ελάχιστη έως μέτρια	Κακή/αδιαπέραστο	5 - 20 (27 - 80)
Ιλοαργιλώδη εδάφη LL < 50	ML	Ανόργανες ιλύες, πολύ λεπτές άμμοι, ιλο-αργιλώδεις άμμοι	Κακή έως μέτρια	Ακατάλληλη	Μέτρια έως πολύ μεγάλη	Ελάχιστη έως μέτρια	Μέτρια έως κακή	≤ 15 (27 - 55)
	CL	Ανόργανες άργιλοι μέσου-χαμηλού PI, χαλικιώδεις, αμμώδεις, ιλυώδεις άργιλοι	Κακή έως μέτρια	Ακατάλληλη	Μέτρια έως μεγάλη	Μέτρια	Κακή/αδιαπέραστο	≤ 15 (14 - 40)
	OL	Οργανικές ιλύες και οργανικές ιλυώδεις άμμοι χαμηλού PI	Κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια έως μεγάλη	Μέτρια έως υψηλή	Κακή	≤ 5 (14 - 40)
LL > 50	MH	Ανόργανες ιλύες υψηλού PI	Κακή	Ακατάλληλη	Μέτρια/μεγάλη	Υψηλή	Μέτρια έως κακή	≤ 10 (14 - 40)
	CH OH	Ανόργανες άργιλοι υψηλού PI Οργανικές άργιλοι μέσου έως υψηλού PI	Κακή/μέτρια Κακή έως πολύ κακή	Ακατάλληλη Ακατάλληλη	Μέτρια Μέτρια	Υψηλή Υψηλή	Σχεδ. αδιαπέραστο Σχεδ. αδιαπέραστο	≤ 15 (14 - 40) ≤ 5 (7 - 27)
Οργ.	Pt	Βουρκοώδη και τυρφοώδη εδάφη	Ακατάλληλη	Ακατάλληλη	Ελάχιστη	Πολύ υψηλή	Μέτρια έως κακή	-

\* Το k σε N/cm<sup>2</sup>/cm (N/cm<sup>3</sup>)

Βασικά χαρακτηριστικά εδαφών για έργα οδοποιίας στο σύστημα κατάταξης εδαφών κατά ASTM



## Βασικοί έλεγχοι εδαφών

ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ	ΣΥΜΒΟΛΑ
Χαλίκι (GRAVEL) .....	G
Άμμος (SAND).....	S
Ίλύς (SILT)(άπό τό Σουηδικό Μο, γιά ύλύ).....	M
Αργίλλος (CLAY) .....	C
Τύρφη (PEAT) .....	PT
Οργανικό (ORGANIC).....	O
Καλή κοκκομετρική διαβάθμιση (WELL GRADED).....	W
Κακή κοκκομετρική διαβάθμιση (POORLY GRADED).....	P
Ομοιόμορφη κοκκομετρική διαβάθμιση (UNIFORMLY GRADED).....	U
Μικρό συμπιεστό (LOW COMPRESSIBILITY).....	L
Υψηλό συμπιεστό (HIGH COMPRESSIBILITY) .....	H

Συμβολισμός υποκατηγοριών στο σύστημα κατάταξης εδαφών κατά ASTM



# Βασικοί έλεγχοι εδαφών

## Σύστημα κατάταξης εδαφών κατά ASTM

Κατάταξη εδαφών σε υποκατηγορία απαιτείται η γνώση:

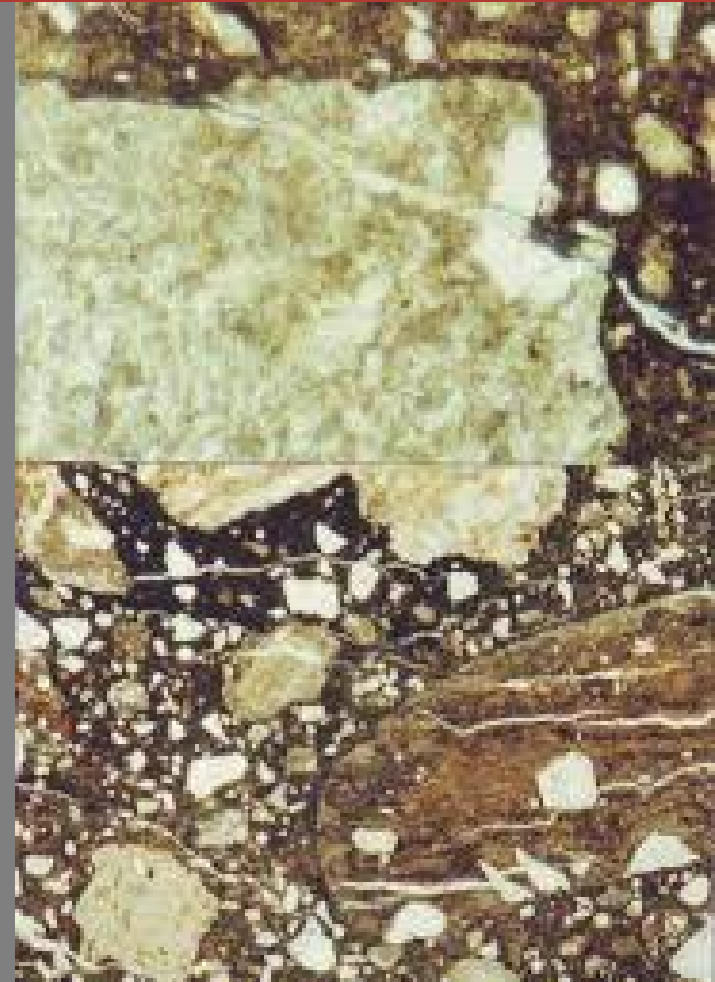
- Χαρακτηριστικών κοκκομετρικής διαβάθμισης – Διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο 0,075 mm
- Συντελεστής ομοιομορφίας  $C_u$
- Συντελεστής καμπυλότητας  $C_c$
- Δείκτης πλαστικότητας  $PI$

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

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

όπου:

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





Τέλος ενότητας  
Ευχαριστώ για την προσοχή σας!