

## Κεφάλαιο 2. Κοκκομετρική σύνθεση, πλαστικότητα, πυκνότητα

### 2.1. Κοκκομετρική σύνθεση

Όπως είδαμε στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο, το έδαφος προέρχεται από την αποσάρθρωση και φυσικό τεμαχισμό των πετρωμάτων- βράχων. Χονδρικά μπορούμε να ξεχωρίσουμε το έδαφος από τον βράχο εάν σκάβεται με το χέρι, με η χωρίς εργαλείο. Ο βράχος δεν μπορεί να σκαφτεί με το χέρι. Το έδαφος σαν προϊόν τεμαχισμού αποτελείται από διάφορα τεμάχια που λέγονται κόκκοι. Τα τεμάχια αυτά είναι κομμάτια βράχου, μεγάλοι λίθοι, κροκάλες, χαλίκια, άμμος, ιλύς, και άργιλος. Για απλούστευση της περιγραφής, θεωρούμε ότι έχουν κυκλικό σχήμα.

Τα τεμάχια του εδάφους, με συγκεκριμένες διαστάσεις, λέγονται κλάσματα. Οι διαστάσεις όπως ορίζονται, ποικίλουν σε διάφορα βιβλία και συστήματα κατάταξης εδαφών. Για τους σκοπούς αυτού του μαθήματος (από το βιβλίο του ΕΠΑΛ) χρησιμοποιούνται τα εξής κλάσματα με διαστάσεις:

1. βράχος
2. μεγάλοι λίθοι με διάμετρο  $d > 25 \text{ cm}$
3. κροκάλες, με διάμετρο  $d$  μεταξύ:  $6\sim 7,62 \text{ cm}$   $< d < 20\sim 25 \text{ cm}$
4. χαλίκια, με διάμετρο  $d$  μεταξύ:  $2 \text{ mm}$   $< d < 7,62 \text{ cm}$
5. άμμος, με διάμετρο  $d$  μεταξύ:  $0,05\sim 0,074 \text{ mm}$   $< d < 2 \text{ mm}$
6. ιλύς, με διάμετρο  $d$  μεταξύ:  $0,002\sim 0,005 \text{ mm}$   $< d < 0,05\sim 0,074 \text{ mm}$
7. άργιλος, με διάμετρο  $d < 0,002 \text{ mm}$

Ένα εδαφικό δείγμα αποτελείται από τα κλάσματα αυτά, που έχουν συγκεκριμένα μεγέθη κόκκων, σε διάφορες αναλογίες. Το μέγεθος των κόκκων διαφοροποιεί την συμπεριφορά και τις ιδιότητες του εδάφους. Η κοκκομετρική σύνθεση είναι η αναλογία των κλασμάτων αυτών στο εδαφικό δείγμα. Η κοκκομετρική ανάλυση, είναι η διαδικασία με την οποία βρίσκουμε την % κοκκομετρική σύνθεση του εδαφικού δείγματος στους κόκκους των διάφορων μεγεθών, όπου γίνεται η καταγραφή των διαμέτρων που έχουν οι κόκκοι που συνθέτουν το εδαφικό δείγμα-σχηματισμό και η γραφική τους παρουσίαση σε διάγραμμα. Η κοκκομετρική ανάλυση ή διαβάθμιση αποτελεί μία από τις βασικές μεθόδους & εργαστηριακές δοκιμές για την ταξινόμηση των εδαφών.

*Πως διαφοροποιείται η συμπεριφορά και οι ιδιότητες των εδαφών, ανάλογα με τα διάφορα κλάσματα, δηλαδή τα φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών, όπως και για την ταξινόμηση των εδαφών, θα δούμε στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο.*

Από την κοκκομετρική ανάλυση, παίρνουμε πληροφορίες για να προβλέψουμε την συμπεριφορά των εδαφών, ως προς την αντοχή και την παραμόρφωση, και την δυνατότητα κίνησης (διήθηση) του υπόγειου νερού, μέσα από τα κενά των κόκκων, και εκτιμούμε την επιρροή του παγετού μέσα στο έδαφος.

Ο εξοπλισμός για την κοκκομετρική ανάλυση, είναι η συσκευή κοσκινίσματος, μια σειρά κόσκινων, ένα ταψί (κόσκινο χωρίς τρύπες) κάτω από την σειρά κόσκινων, ένα γουδί &

γυδοχέρι (για την ελαφριά θραύση του εδάφους), και μια ζυγαριά ακρίβειας 2 δεκαδικών ψηφίων. Η προδιαγραφή για την κοκκομετρία είναι 7<sup>η</sup> προδιαγραφή «Πρότυπη μέθοδος δοκιμής κοκκομετρικής ανάλυσης λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών υλικών, ξηρή μέθοδος» και βρίσκεται στο ΦΕΚ 955/Β'31-12-1986 με τίτλο «Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής (Ε 105-86)».

Αδρανή υλικά είναι τα κλάσματα όπως χαλίκια, άμμο κτλ που χρησιμοποιούνται για την σύνθεση του σκυροδέματος (κονιόδεμα με τσιμέντο) και του ασφαλτομίγματος ή ασφαλτοσκυροδέματος. Σε αυτά, η συνδετική ουσία (τσιμέντο ή άσφαλτος) ενώνεται με τα αδρανή υλικά. Αδρανή λέγονται γιατί δεν αντι-δρουν χημικά πχ με το τσιμέντο κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Τα σκύρα είναι ίδια με τα χαλίκια σε διάμετρο, μόνο που ενώ τα χαλίκια είναι φυσικής προέλευσης και πιο στρογγυλεμένα, τα σκύρα θραύονται σε λατομείο και είναι πιο γωνιώδη.

*Περισσότερες πληροφορίες για τα αδρανή υλικά, αναφέρονται στο μάθημα της Τεχνολογίας Δομικών Υλικών.*

Μια σειρά κόσκινων δίνεται στον παρακάτω πίνακα, και στις φωτογραφίες φαίνονται τα κόσκινα με διάσταση D=63 και 75 mm, όπως επίσης τα κόσκινα Νο.4 και Νο.200 καθώς και η συσκευή κοσκινίσματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι	
Αριθμός κόσκινου (No)	Διάμετρος D (mm)
	75
	6,3
4	4,75
10	2,0
20	0,85
40	0,425
100	0,150
200	0,075



Το κόσκινο No.4 διαχωρίζει τα χαλίκια από την άμμο, και το κόσκινο No.200 διαχωρίζει την άμμο από την ιλύ. Το κόσκινο No.4 είναι κόσκινο αμερικάνικο, και σημαίνει ότι σε 1 inch (2,54 cm) περιέχει 4 οπές η κάθε μία με διάσταση 4.75 mm, και το κόσκινο No.200 έχει σε 1 inch 200 οπές η κάθε μια με διάσταση 0,075 mm.

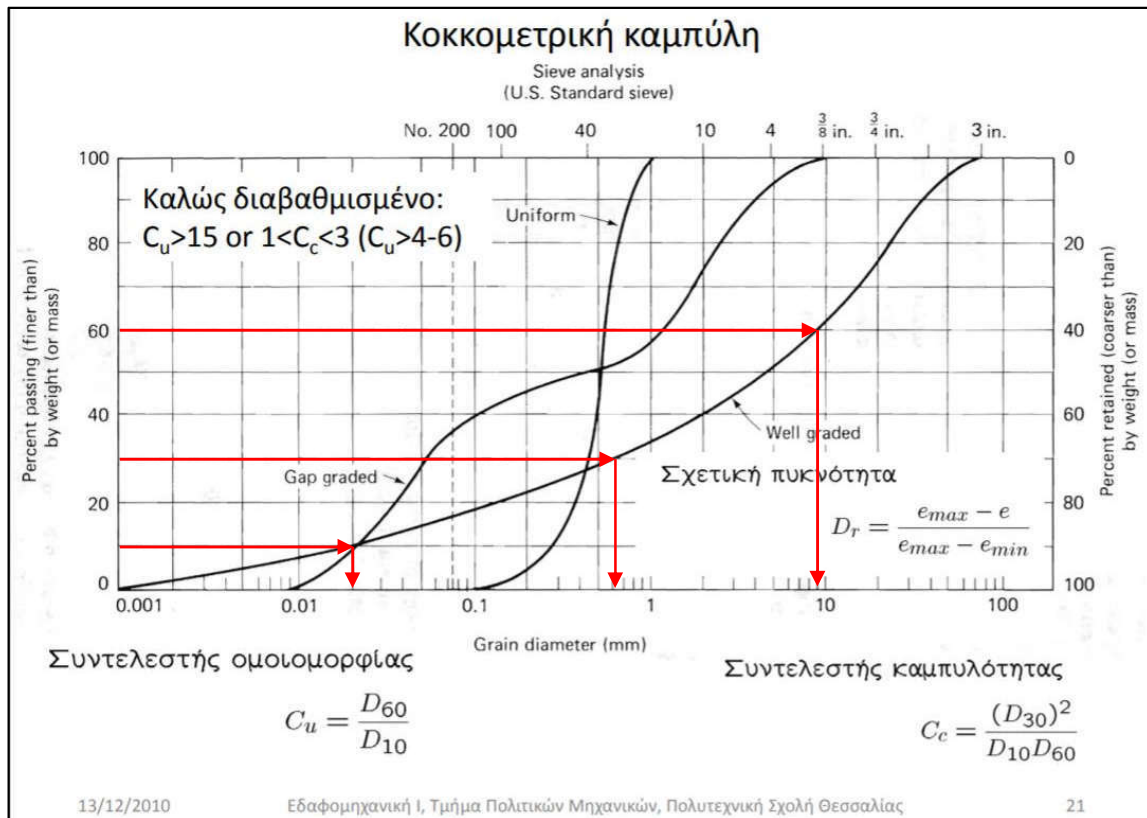
Για την ιλύ και την άργιλο, που διέρχονται από το κόσκινο No.200 υπάρχει μια άλλη διαδικασία κοκκομετρικής ανάλυσης που γίνεται με την μέθοδο του αραιομέτρου και βασίζεται στον Νόμο του Stokes.

Η διαδικασία της κοκκομετρικής ανάλυσης, σύμφωνα με το Ε 105-86 και το ASTM D422-1980, είναι:

1. τοποθετούνται τα κόσκινα με τις διαστάσεις οπής, να μικραίνει από πάνω προς τα κάτω
2. επιλέγουμε την ποσότητα του δείγματος ανάλογα με τον μεγαλύτερο κόκκο. Αν το δείγμα είναι κυρίως με άμμο, λαμβάνουμε ποσότητα 500 γρ. που έχουμε ξηράνει. Αν είναι κυρίως χαλίκια, επιλέγουμε ποσότητα από 1500 έως 5000 γρ. ανάλογα την διάμετρο.
3. Τοποθετούμε το δείγμα στο πιο πάνω κόσκινο με την μεγαλύτερη διάμετρο
4. Ενεργοποιούμε την μηχανή κοσκίνισης με την δόνηση για 5-10 λεπτά και κοσκινίζουμε το δείγμα
5. Αφαιρούμε τα κόσκινα και ζυγίζουμε το την ποσότητα που έχει συγκρατηθεί στο κάθε ένα από αυτά
6. υπολογίζουμε το ποσοστό % του συγκρατούμενου υλικού για το 1<sup>ο</sup> κόσκινο, διαιρώντας με το συνολικό βάρος του δείγματος
7. υπολογίζουμε το αθροιστικό συγκρατούμενο %, προσθέτοντας στο συγκρατούμενο του κάθε κόσκινου, το άθροισμα των συγκρατούμενων στα κόσκινα πάνω από αυτό, και διαιρώντας κάθε φορά με το συνολικό βάρος του δείγματος
8. υπολογίζουμε το διερχόμενο % σε κάθε κόσκινο, αφαιρώντας από το 100 % το αθροιστικό συγκρατούμενο % του κάθε κόσκινου
9. μετράμε το ποσοστό παιπάλης (το διερχόμενο από το μικρότερο κόσκινο) που έχει καθίσει στο ταψί
10. τοποθετούμε τα αποτελέσματα με τα αθροιστικά συγκρατούμενα % και με τα αθροιστικά διερχόμενα %, σε ημι-λογαριθμικό διάγραμμα και σχεδιάζουμε την καμπύλη που διέρχεται από αυτά τα σημεία, η οποία λέγεται κοκκομετρική καμπύλη

Παράδειγμα υπολογισμού σε κόσκινο: έστω δείγμα βάρους 500 gr. Στο κόσκινο No.4 ζυγίστηκε και βρέθηκε συγκρατούμενο 9,7 gr. Το ποσοστό του συγκρατούμενου είναι  $\Sigma \% = \Sigma / \text{ολικό βάρος} = 9,7 / 500 = 1,9 \%$ , και το ποσοστό του διερχόμενου είναι  $\Delta \% = 100 \% - \Sigma \% = 100 \% - 1,9 \% = 98,1 \%$ . Το ποσοστό του διερχόμενου υπολογίζεται και ως εξής:  $\Delta = \text{ολικό βάρος} - \Sigma = 500 - 9,7 = 490,3 \text{ gr}$ , οπότε διερχόμενο  $\Delta \% = \Delta / \text{ολικό βάρος} = 490,3 / 500 = 98,1 \%$

Παράδειγμα και κοκκομετρικής καμπύλης, δίνονται στην επόμενη σελίδα



Πηγή: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Θεσσαλίας  
Επεξεργασία από συγγραφέα παρόντος τεύχους

Στην σχεδιασμένη κοκκομετρική καμπύλη, πρέπει να βρούμε τα εξής χαρακτηριστικά μεγέθη:

- **Ενεργός διάμετρος  $D_{10}$**  είναι η (εικονική) διάμετρος από την οποία διέρχεται το 10 % του εδαφικού δείγματος. Είναι σημαντική γιατί συνδέεται με την δυνατότητα ροής του νερού μέσα από το έδαφος. Μικρή τιμή της δείχνει ότι το έδαφος έχει μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Οι ιδιότητες του εδάφους επηρεάζονται πολύ από το λεπτόκοκκο υλικό που περιέχεται σε αυτό. Στο σχήμα αυτό η  $D_{10}$  ισούται με 0,02 mm
- **$D_{30}$**  είναι η (εικονική) διάμετρος από την οποία διέρχεται το 30 % του δείγματος. Στο σχήμα αυτό η  $D_{30}$  ισούται με 0,6 mm.
- **$D_{60}$**  είναι η (εικονική) διάμετρος από την οποία διέρχεται το 60 % του δείγματος. Στο σχήμα αυτό η  $D_{60}$  ισούται με 9,5 mm.
- **Συντελεστής ομοιομορφίας  $C_u = D_{60} / D_{10}$** . Μεγάλη τιμή του συντελεστή ομοιομορφίας σημαίνει ότι τα κλάσματα των κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους προς τους μεγαλύτερους κόκκους. Τιμή του ίση με 1 σημαίνει ότι το έδαφος είναι ομοιόμορφο και αποτελείται από κόκκους ίδιας διαμέτρου. Εδάφη με  $C_u < 5$ , θεωρούνται σχετικά ομοιόμορφα, και εδάφη με  $C_u > 5$ , θεωρούνται καλά διαβαθμισμένα.
- **Συντελεστής καμπυλότητας  $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$** . Είναι και αυτός ένα μέτρο της καμπυλότητας της κοκκομετρικής καμπύλης

### Ερμηνεία της κοκκομετρικής καμπύλης

Η μορφή της κοκκομετρικής καμπύλης δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τις ιδιότητες του εδάφους. Στο ανωτέρω σχήμα φαίνονται 3 κοκκομετρικές καμπύλες.

Η καμπύλη στην οποία αναγράφεται *gap graded* έχει κενά στην διαβάθμιση και στερείται από κόκκους με διαμέτρους που καλύπτουν μεγάλο εύρος. Στα οριζόντια σχετικά τμήματα φαίνεται η έλλειψη των κλασμάτων (περίπου από 1mm έως 0,1 mm).

Η καμπύλη *uniformed* είναι ομοιόμορφο, δηλαδή έχει κόκκους όμοιας διαμέτρου, άρα δεν έχει καλή διαβάθμιση. Στα κατακόρυφα τμήματα φαίνεται η ομοιομορφία (έχει πολλά γύρω από το No.4 )

Η καμπύλη που γράφει *well graded* έχει καλή διαβάθμιση, γιατί έχει κόκκους με όλο το εύρος διαμέτρων. Όταν το έδαφος είναι καλά διαβαθμισμένο, οι λεπτοί κόκκοι εισχωρούν ανάμεσα στους μεγάλους κόκκους, με αποτέλεσμα το έδαφος να συμπυκνώνεται καλύτερα, να παρουσιάζει αντοχή στην διάβρωση και στις καταπονήσεις, καθώς και να έχει μικρές παραμορφώσεις

Ομοίως στα τεχνικά έργα δεν θέλουμε τα αδρανή σκυροδέματος ή ασφαλτικών, να είναι ομοιόμορφα αλλά καλής διαβάθμισης, διότι η ποικιλία κλασμάτων διαφόρων μεγεθών αυξάνει την αντοχή.

### Ευρωπαϊκά πρότυπα

Στην βιβλιογραφία βλέπουμε ότι οι δοκιμές εδαφομηχανικής επίσης μπορούν να γίνουν σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Για την κοκκομετρική ανάλυση είναι το ΕΛΟΤ EN 933-1 «Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέθοδος με κόσκινα» που χρησιμοποιεί τα ευρωπαϊκά (γερμανικά) τετραγωνικά κόσκινα.

## 2.1.1. Κοκκομετρική σύνθεση - παράδειγμα

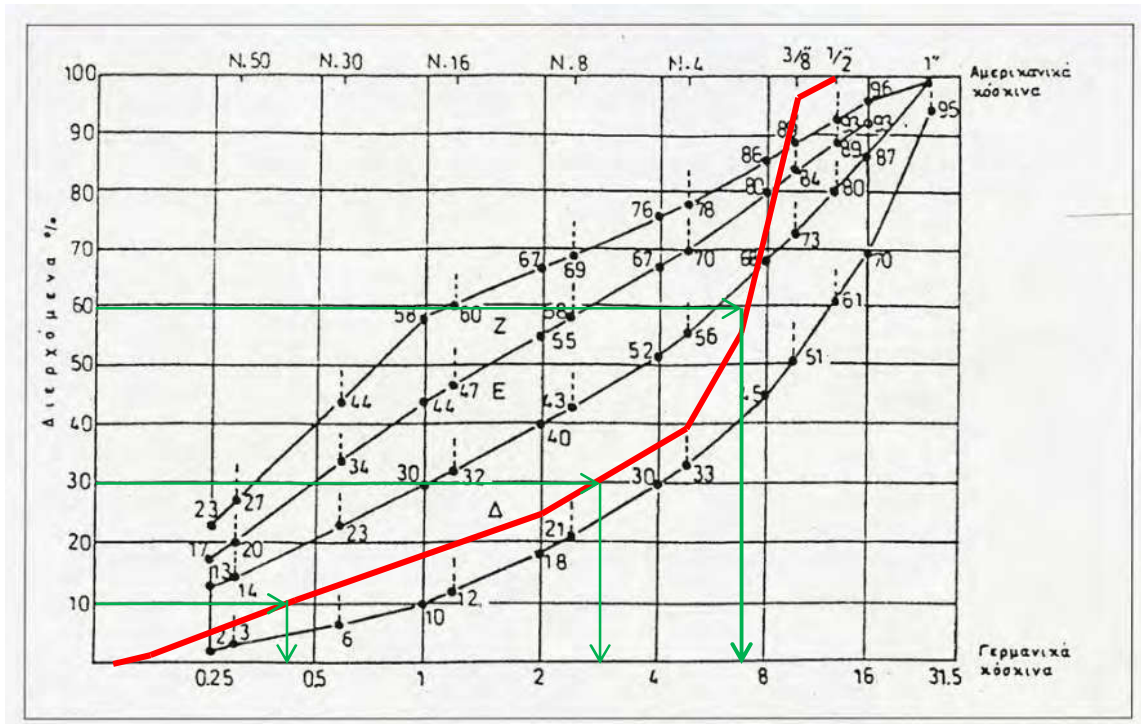
Αρχική ποσότητα εδαφικού δείγματος: 500 gr (κυρίως άμμος)

κόσκινο	άνοιγμα κοσκίνου	μάζα συγκρατούμενου υλικού (Ri)	αθροιστικά συγκρατούμενη μάζα (ΣRi)	αθροιστικό συγκρατούμενο ΣRix100/M1	αθροιστικά διερχόμενο 100-(ΣRix100/M1)
	mm	g	g	%	%
3 "	76,2				100,00
2 "	50				100,00
1 "	25				100,00
3/4 "	19				100,00
1/2 "	12,5				100,00
3/8 "	9,5	27	27	$(27 / 500) * 100 \% = 5,40$	100 % - 5,4 % = 94,60
1/4 "	6,3	193	27 + 193 = 220	$(220 / 500) * 100 \% = 44,00$	100 % - 44 % = 56,00
No.4	4,75	87	220 + 87 = 307	$(307 / 500) * 100 \% = 61,40$	100 % - 61,4 % = 38,60
No.10	2	76	307 + 76 = 383	$(383 / 500) * 100 \% = 76,60$	100 % - 76,6 % = 23,40
No.40	0,425	62	383 + 62 = 445	$(445 / 500) * 100 \% = 89,00$	100 % - 89 % = 11,00
No.100	0,15	46	445 + 46 = 491	$(491 / 500) * 100 \% = 98,20$	100 % - 98,2 % = 1,80
No.200	0,075	6	491 + 6 = 497	$(497 / 500) * 100 \% = 99,40$	100 % - 99,4 % = 0,6
	παιπάλη στο ταψί	3			

Η κοκκομετρική σύνθεση του εδαφικού μείγματος, δηλαδή το αποτέλεσμα της κοκκομετρικής ανάλυσης του, παριστάνεται στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα, σχηματίζοντας την κοκκομετρική του καμπύλη.

*Το παραπάνω διάγραμμα (από το βιβλίο Τεχνολογίας Δομικών Υλικών) είναι πρότυπο διάγραμμα ορίων κοκκομετρικής διαβάθμισης μείγματος αδρανών υλικών για σκυρόδεμα. Αντίστοιχα υπάρχουν για ασφαλτικά. Επειδή ανήκει η θεωρία στο μάθημα της Τεχνολογίας Υλικών, αγνοήστε τις περιοχές (όπως Δ', Ε', Ζ') και τις πρότυπες κοκκομετρικές καμπύλες.*

Χρησιμοποιείται το παρόν διάγραμμα, επειδή έχει στο ίδιο σχήμα και τα ευρωπαϊκά (γερμανικά) τετραγωνικά κόσκινα σε mm, και τα αμερικάνικα τετραγωνικά κόσκινα σε inch και σε No. (οπές ανά ίντσα).



Με κόκκινη γραμμή σχεδιάστηκε η κοκκομετρική καμπύλη, και με πράσινα βέλη, υπολογίζονται οι  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  και  $D_{60}$ , που χρειάζονται για την κατάταξη των εδαφών, που θα εξεταστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Τα ημιλογαριθμικά διαγράμματα, έχουν την εξής ιδιότητα: το κάθε ίσο διάστημα έχει διπλάσια αξία από το προηγούμενο του. Με αποτέλεσμα να πίνουν πολύ μικρότερο μήκος. Εάν το διάγραμμα αυτό με ισοδιάσταση το 0,25 είχε αποτυπωθεί σε αναλογικό διάγραμμα, θα ήθελε 128 διαστήματα. Όμως με 8 διαστήματα ως ημι-λογαριθμικό φτάνει στο 32 mm

Άρα χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στο ήμισυ του διαστήματος μεταξύ 2 και 4, δεν είναι το 3, αλλά το  $1/3$  της διαφοράς  $4 - 2$ , άρα είναι περίπου το 2.7 οπότε η  $D_{10}$  περίπου ισούται με 0.4 mm, η  $D_{30}$  ισούται περίπου με 2.7 mm και  $D_{60}$  ισούται περίπου με 7 mm.

## 2.2. Πλαστικότητα

Η πλαστικότητα είναι η ιδιότητα του εδάφους να πλάθεται χωρίς να θρυμματίζεται. Η πλαστικότητα είναι χαρακτηριστικό των συνεκτικών υλικών, όπως η ιλύς και η άργιλος. Εάν ένα εδαφικό δείγμα, το περιέχει μεγάλη ποσότητα σε ιλύ και άργιλο μπορεί να έχει πλαστικότητα, ακόμα και αν θεωρείται ότι ανήκει στα ασύνδετα εδάφη, λόγω κοκκομετρίας ως σχετικά χονδρόκοκκο.

Κάθε εδαφικό δείγμα έχει μια περιεχομένη φυσική υγρασία. Πολύ σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των συνεκτικών εδαφών και τις ιδιότητες τους, είναι η φυσική υγρασία και τα όρια Attenberg, που είναι το όριο συρρίκνωσης, το όριο πλαστικότητας, και το όριο υδαρότητας.

Εάν πάρουμε το φυσικό δείγμα και το ξηράνουμε σε έναν φούρνο, το δείγμα βρίσκεται τότε στην λεγόμενη ξηρή κατάσταση. Προσθέτοντας σταδιακά υγρασία, παραμένουμε στην ξηρή κατάσταση, με τον όγκο του εδαφικού δείγματος να παραμένει ίδιος, έως ότου φτάσουμε στο όριο συρρίκνωσης.

Το **όριο συρρίκνωσης ή SL ή Shrinkage Limit** ορίζεται ως η περιεχομένη υγρασία, που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ποσότητα νερού για την πλήρωση των πόρων, όταν το εδαφικό δείγμα έχει τον ελάχιστο όγκο του, μετά από ξήρανση. Για μικρότερη περιεκτικότητα νερού, το εδαφικό δείγμα παύει να είναι κορεσμένο. Τα **όριο συρρίκνωσης** είναι η τιμή της περιεκτικότητας υγρασίας, στην οποία παρατηρείται η μετάπτωση της κατάστασης του εδάφους, από την στερεή στην ημι-στερεή κατάσταση (προσθέτοντας σταδιακά υγρασία), ή από την ημι-στερεά στην στερεά κατάσταση (αφαιρώντας σταδιακά υγρασία).

*Με αυτήν την περιγραφή θα μπορούσε να ονομαστεί και όριο διόγκωσης, με την λογική του ότι από την ξηρή & στερεή κατάσταση, προσθέτοντας σταδιακά υγρασία, δεν αυξάνεται ο όγκος του, όμως με περισσότερη υγρασία από το όριο αυτό, αρχίζει το εδαφικό δείγμα και διογκώνεται.*

*Ο λόγος που ονομάστηκε όριο συρρίκνωσης, είναι γιατί το έδαφος στην φυσική του κατάσταση, έχει περιεχομένη υγρασία, και βρίσκεται στην ημι-στερεά κατάσταση. Αφαιρώντας σταδιακά υγρασία, το έδαφος σταδιακά συρρικνώνεται. Όταν φτάσει στο όριο συρρίκνωσης, το εδαφικό δείγμα, δεν συρρικνώνεται άλλο, καθώς έχει φτάσει πια στην στερεή κατάσταση, όση υγρασία και αν αφαιρέσουμε, ακόμα και αν το ξηράνουμε.*

Καθώς τώρα φτάσαμε στην ημι-στερεά κατάσταση (μεταξύ ορίου συρρίκνωσης και ορίου πλαστικότητας) συνεχίζουμε να προσθέτουμε σταδιακά υγρασία, με τον όγκο του εδαφικού δείγματος να αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό. Προσθέτοντας και άλλο, φτάνουμε στο όριο πλαστικότητας. Σημειώνεται ότι στην ημιστερεά κατάσταση, το εδαφικό δείγμα, θρυμματίζεται εάν πλάθεται σε λεπτές ίνες διαμέτρου 3 mm.

Το **όριο πλαστικότητας ή PL ή Plasticity Limit** ορίζεται η περιεχομένη υγρασία, στην οποία το έδαφος αρχίζει να θρυμματίζεται σε μικρά τεμάχια όταν πλάθεται σε λεπτές ίνες, μόλις φτάσει σε διάμετρο 3 mm. Το **όριο πλαστικότητας** είναι η τιμή της περιεκτικότητας υγρασίας, στην οποία παρατηρείται η μετάπτωση της κατάστασης του εδάφους, από την από την ημι-στερεά στην πλαστική κατάσταση (προσθέτοντας σταδιακά υγρασία), ή από την πλαστική στην ημι-στερεά κατάσταση (αφαιρώντας σταδιακά υγρασία).

Στην δοκιμή πλαστικότητας, προσθέτουμε σταδιακά υγρασία και πλάθουμε το έδαφος σε λεπτές ίνες διαμέτρου 3 mm. Το όριο πλαστικότητας είναι εκείνη η υγρασία όπου το έδαφος αρχίζει να πλάθεται ή παύει να θρυμματίζεται.

*Με υγρασία λιγότερη από το όριο πλαστικότητας, το εδαφικό δείγμα αρχίζει να θρυμματίζεται. Με υγρασία περισσότερη από το όριο πλαστικότητας, το εδαφικό δείγμα, παύει να θρυμματίζεται και αρχίζει να πλάθεται.*



Καθώς φτάσαμε στην πλαστική κατάσταση (μεταξύ ορίου πλαστικότητας και ορίου υδαρότητας) συνεχίζουμε να προσθέτουμε σταδιακά υγρασία, με τον όγκο του εδαφικού δείγματος να αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό. Προσθέτοντας και άλλο, φτάνουμε στο όριο υδαρότητας.

Το **όριο υδαρότητας ή LL ή Liquidity Limit** ορίζεται η περιεχομένη υγρασία στην οποία, τα τοιχώματα μιας διαμορφωμένης εγκοπής ενός δείγματος εδάφους, τοποθετημένου στην συσκευή Casagrande, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, μετά από 25 κρούσεις. Το **όριο υδαρότητας** είναι η τιμή της περιεκτικότητας υγρασίας, στην οποία παρατηρείται η μετάπτωση της κατάστασης του εδάφους, από την από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση (προσθέτοντας σταδιακά υγρασία), ή από την υδαρή στην πλαστική κατάσταση (αφαιρώντας σταδιακά υγρασία).

*Η δοκιμή υδαρότητας γίνεται στην συσκευή Casagrande, όπου το έδαφος χαράσσεται με ένα ειδικό εργαλείο και ανοίγεται μια εγκοπή συγκεκριμένου πάχους και μήκους. Κάνοντας τις 25 κρούσεις στην συσκευή, μετράμε εάν έκλεισε τελείως η εγκοπή. Εάν η εγκοπή δεν έκλεισε τελείως, προσθέτουμε σταδιακά υγρασία. Εάν η εγκοπή έκλεισε τελείως με λιγότερους από 25 κτύπους αφαιρούμε υγρασία. Το όριο υδαρότητας είναι ακριβώς εκείνη η υγρασία στην οποία κλείνει η εγκοπή, ακριβώς στους 25 χτύπους.*

Μετά το όριο υδαρότητας, μπαίνουμε στην υδαρή κατάσταση, με το εδαφικό δείγμα να συνεχίζει να αυξάνεται ο όγκος του, καθώς προσθέτουμε νερό και αυξάνεται η περιεχομένη υγρασία.

*Οι δοκιμές προσδιορισμού του ορίου πλαστικότητας και προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας, περιγράφονται στο ΦΕΚ 955/Β'31-12-1986 με τίτλο «Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής (Ε 105-86)».*

**Δείκτης πλαστικότητας ή PI ή Plasticity index**, είναι η διαφορά μεταξύ των ορίων υδαρότητας και ορίων πλαστικότητας, δηλαδή  $PI = LL - PL$

Υπάρχουν ακόμα ο δείκτης υδαρότητας και ο δείκτης συνεκτικότητας.

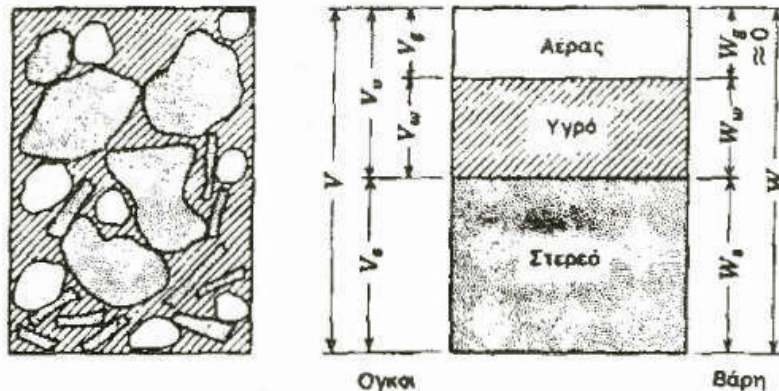
Ο δείκτης πλαστικότητας PI και το όριο υδαρότητας LL, είναι χρήσιμα στην κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφών με βάση το σύστημα και διάγραμμα του Casagrande.

*Περισσότερα για την κατάταξη των εδαφών, αναφέρονται στο κεφάλαιο 3.*

### 2.3. Πυκνότητα

Η πυκνότητα ως γνωστόν είναι το πηλίκο της μάζας δια τον όγκο ενός σώματος. Όμως σε ένα εδαφικό δείγμα, στην μάζα του εκτός από έδαφος υπάρχει και νερό. Και στον όγκο του, εκτός από έδαφος, υπάρχουν κενά γεμάτα με νερό και αέρα. Η δομή των εδαφών είναι κοκκώδης. Τα κενά μεταξύ των κόκκων μπορεί να περιέχουν νερό ή αέρα. Οπότε στο έδαφος διακρίνουμε τρεις φάσεις, την στερεή, την αέρια και την υγρή φάση. Στο παρακάτω σχήμα

φαίνεται το διάγραμμα των τριών φάσεων (στερεή, αέρια και υγρή) σε ένα εδαφικό δείγμα. Προέκυψε από την ιδεατή (εικονική) συγκέντρωση του συνόλου των κενών, που είναι κενά με αέρα και κενά με νερό, καθώς και την συγκέντρωση του όγκου των στερεών.



Για την μελέτη των φάσεων αυτών, υπάρχουν οι παρακάτω δείκτες του εδάφους

Λόγος κενών  $e$ , που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου κενών προς τον όγκο στερεών, δηλαδή  $e = V_v / V_s = (V_g + V_w) / V_s$

Όπου  $V$  = volume όγκος,  $v$  = void κενά,  $w$  = water νερό,  $g$  = gas αέρας

Πορώδες  $n$ , που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών προς τον λόγο του όγκου εδάφους (στερεών και κενών), δηλαδή  $n = V_v / V = (V_g + V_w) / (V_g + V_w + V_s)$

Βαθμός κορεσμού  $S$  που ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του περιεχομένου νερού προς τον όγκο κενών, δηλαδή  $S = W_w / V_v = V_w / V_v = V_w / (V_g + V_w)$ ,

όπου  $S$  = saturation, και το βάρος του νερού ισούται με τον όγκο του νερού

Περιεχομένη υγρασία  $w$ , που ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του περιεχομένου νερού προς το βάρος στερεών, δηλαδή  $w = W_w / W_s$

Εκτός από τους ανωτέρω δείκτες, ορίζονται και διάφορα ειδικά βάρη, τα οποία θα εξεταστούν σε επόμενα κεφάλαια όπως το 5 και το 6.

Το εδαφικό υλικό μπορεί να έχει λόγο κενών  $e$  σε διαφορετικές τιμές, ανάλογα με την δομή του, δηλαδή την διάταξη των κόκκων από τους οποίους αποτελείται. Η διάταξη των κόκκων εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και από την συμπίκνωση του.

Σε αποθέσεις άμμων που είναι χαλαρές, και έχουν αραιή διάταξη κόκκων, ο λόγος κενών (όγκος κενών / όγκο στερεών) είναι μεγάλος. Εάν η άμμος συμπτυκνωθεί με επίδραση έντονης δόνησης με κατάλληλα μηχανήματα, οι κόκκοι πλησιάζουν μεταξύ τους και αποκτούν πυκνή διάταξη, μικραίνοντας τα ανάμεσα τους κενά, και ο λόγος κενών γίνεται ελάχιστος. Οι ακραίες καταστάσεις διάταξης κόκκων μπορούν τα επιτευχθούν σε εργαστήριο.

Η σχετική πυκνότητα είναι το μέγεθος που συγκρίνει την πραγματική κατάσταση μιας άμμου ή ενός εδαφικού δείγματος, με τις ακραίες τιμές της πυκνότητας της. Η σχετική πυκνότητα ορίζεται ως  $D_r = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$ , όπου

$e_{max}$  = μέγιστος λόγος κενών σε ελάχιστη πυκνότητα, χαλαρού δείγματος και με μέγιστο πορώδες

$e$  = πραγματικός λόγος κενών

$e_{min}$  = ελάχιστος λόγος κενών σε μέγιστη πυκνότητα, πυκνού δείγματος και με ελάχιστο πορώδες

### **βιβλιογραφία κεφαλαίου**

Σακελαρίου Μ., Σερέφογλου Β. & Μαραέβας Χ., (2009). *Κατριακά έργα Ι*. Αθήνα: Ινστιτούτο εκπαιδευτικής πολιτικής

Λίτινας Χ. & Γιαννακόπουλος Φ., (2009). *Τεχνολογία Δομικών Υλικών*. Αθήνα: Ινστιτούτο εκπαιδευτικής πολιτικής

Γεωργόπουλος Ι. (2010). *Εδαφομηχανική Ι*. Βόλος: Πολυτεχνική Σχολή Θεσσαλίας. Ανακτήθηκε από [http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXC130/Soil\\_mechanics\\_courses-part1.pdf](http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXC130/Soil_mechanics_courses-part1.pdf)