

2

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 Γενικά

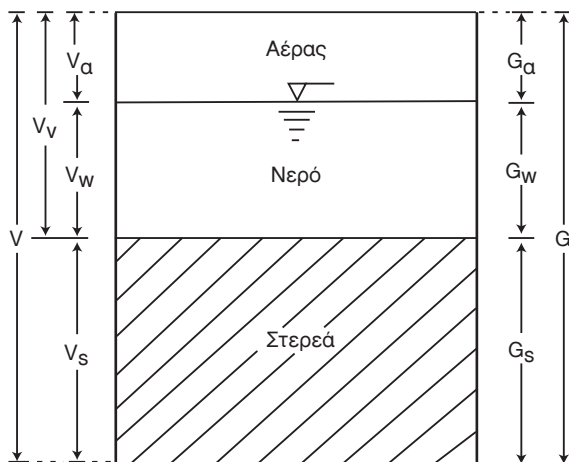
Εάν εξετάσουμε με γυμνό μάτι μία χούφτα θαλάσσιας άμμου, θα παρατηρήσουμε ότι αποτελείται από διακεκριμένους κόκκους. Το ίδιο θα μπορούσε να λεχθεί για όλα τα είδη των εδαφών, παρά το γεγονός ότι πολλά εδαφικά στοιχεία είναι τόσο μικρού μεγέθους, ώστε να απαιτούνται ειδικά μικροσκόπια και τεχνικές για να γίνουν ορατά.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο του εδάφους είναι ότι οι δεσμοί, μεταξύ των διακεκριμένων συστατικών του, δεν είναι τόσο ισχυροί όπως στα συμπαγή στερεά, με συνέπεια να μπορούν να μετακινηθούν μεταξύ τους σχετικά ελεύθερα. Όχι όμως τόσο ελεύθερα, όπως τα στοιχεία ενός υγρού. Έτσι, τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως κοκκώδη υλικά. Αυτό ακριβώς είναι το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί την εδαφομηχανική από τη μηχανική των στερεών και τη μηχανική των υγρών, και ασφαλώς δεν είναι το μόνο.

2.2 Φάσεις του εδάφους

Μεταξύ των στερεών συστατικών του εδάφους παραμένουν ελεύθεροι χώροι, οι οποίοι καλούνται πόροι ή κενά, τα οποία γεμίζουν με αέρα ή/και νερό. Έτσι, το έδαφος είναι ένα σύστημα τριών φάσεων, αποτελούμενο από τη στερεά φάση, την υγρή φάση και την αέρια φάση. Οι αναλογίες των τριών φάσεων επηρεάζουν αποφασιστικά τη μηχανική συμπεριφορά, ιδιαίτερα των λεπτόκοκκων (συνεκτικών) εδαφών. Οι αναλογίες αυτές εκφράζονται ως ποσοστά είτε όγκου είτε βάρους, ενώ ο αέρας θεωρείται αβαρής.

Έστω εδαφικό δείγμα όγκου V και βάρους G , σχηματική παράσταση του οποίου φαίνεται στο Σχ. 2.1:



Σχήμα 2.1. Οι φάσεις του εδάφους

όπου : V_a, G_a = όγκος και βάρος του αέρα
 V_w, G_w = όγκος και βάρος του νερού
 V_s, G_s = όγκος και βάρος των στερεών
 $V_v = V_a + V_w$ = όγκος των κενών

Με βάση τα παραπάνω, προσδιορίζονται οι ακόλουθες βασικές ιδιότητες των εδαφών:

2.3 Φυσικές ιδιότητες

2.3.1 Πορώδες

Η πορώδης σύσταση του εδάφους χαρακτηρίζεται από το πορώδες n , η τιμή του οποίου είναι ίση με τον όγκο των κενών V_v προς τον ολικό όγκο V :

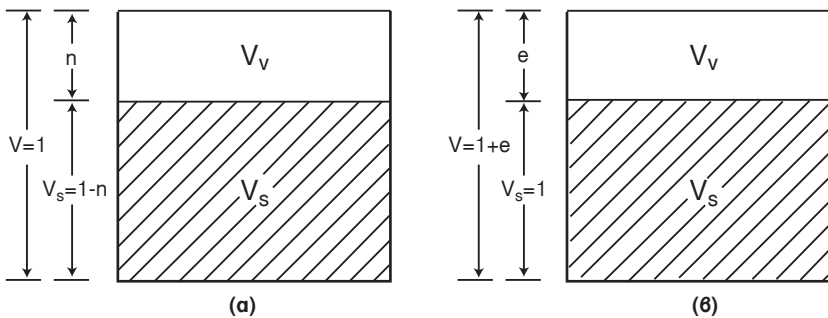
$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.1)$$

Αντί του πορώδους, χρησιμοποιείται συνηθέστερα ο δείκτης πόρων e , η τιμή του οποίου είναι ίση με τον όγκο των κενών V_v προς τον όγκο των στερεών V_s :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.2)$$

Από τους παραπάνω δύο συντελεστές επικράτησε να χρησιμοποιείται ο δείκτης πόρων e και αυτό γιατί, με την επιβολή φορτίων, ο ολικός όγκος $V = V_v + V_s$ (παρονομαστής του πορώδους, n) μεταβάλλεται, επειδή μεταβάλλεται ο όγκος των κενών V_v , ενώ ο όγκος των στερεών V_s παραμένει αμετάβλητος.

Από τη σύγκριση των τύπων (2.1) και (2.2), και με τη βοήθεια του Σχ. 2.2, προκύπτει ότι το πορώδες n και ο δείκτης πόρων e συνδέονται με τη σχέση:



Σχήμα 2.2. Αντιστοιχία πορώδους n και δείκτη πόρων e

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{V_v/V_s}{V_s/V_s + V_v/V_s}$$

$$\text{ή} \quad n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.3)$$

Λύνοντας την (2.3) ως προς e , προκύπτει:

$$n + ne = e$$

$$\text{ή} \quad e - ne = n$$

$$\text{ή} \quad e(1 - n) = n$$

$$\text{και} \quad e = \frac{n}{1 - n} \quad (2.4)$$

Η ίδια σχέση προκύπτει από τον τύπο (2.2) του δείκτη πόρων:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{V_v/V}{V/V - V_s/V}$$

και $e = \frac{n}{1 - n}$

Οι τύποι (2.3) και (2.4) προκύπτουν πιο εύκολα από το Σχ. 2.2.

Έτσι:

- από το Σχ. 2.2 (β):

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1 + e}$$

- από το Σχ. 2.2 (α):

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

Το πορώδες (και ο δείκτης πόρων) εξαρτάται από το είδος του εδάφους. Αλλά για ένα και το αυτό έδαφος, τα n και e κυμαίνονται μεταξύ ακραίων ορίων e_{\max} - e_{\min} (n_{\max} - n_{\min}), δηλαδή μεταξύ της “πυκνής” και “χαλαρής” κατάστασης, που εξαρτώνται από το βαθμό συμπίκνωσης του εδάφους.

Όσο μικρότερη είναι η ποικιλία μεγεθών των κόκκων του εδάφους, όσο μικρότεροι οι κόκκοι και γωνιώδεις, τόσο πιο χαλαρό είναι το έδαφος. Από την άλλη μεριά, όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλία μεγεθών των κόκκων τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη πυκνότητα, γιατί τα κενά μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων γεμίζουν με τους μικρότερους. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι ακραίες τιμές του πορώδους και του δείκτη πόρων χαρακτηριστικών εδαφών.

Πίνακας 2.1. Μέγιστες και ελάχιστες πυκνότητες κοκκωδών εδαφών

Είδος εδάφους	Πορώδες		Δείκτης πόρων	
	n_{max}	n_{min}	e_{max}	e_{min}
Ομοιόμορφες σφαίρες	0,476	0,26	0,92	0,35
Ομοιόμορφη άμμος	0,50	0,29	1,00	0,40
Ομοιόμορφη ιλύς	0,52	0,29	1,10	0,40
Ιλυώδης άμμος	0,47	0,23	0,90	0,30
Ανομοιόμορφη άμμος	0,49	0,17	0,95	0,20
Ιλυώδης άμμος και χάλικες	0,46	0,12	0,85	0,14

Ένας εύχρηστος τρόπος για να χαρακτηριστεί η πυκνότητα ενός φυσικού εδάφους είναι η σχετική πυκνότητα (relative density) D_r , η οποία ορίζεται από τον τύπο:

$$D_r(\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 \quad (2.5)$$

όπου: e = δείκτης πόρων του εδάφους στην κατάσταση που βρίσκεται (in place)

Η κατάταξη των εδαφών ανάλογα με το βαθμό συμπίκνωσης, με βάση την σχετική πυκνότητα, φαίνεται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Κατάταξη εδαφών ως προς το βαθμό συμπίκνωσης

Σχετική πυκνότητα (%)	Κατάσταση εδάφους
0-15	πολύ χαλαρό
15-35	χαλαρό
35-65	μέσο
65-85	συμπυκνωμένο
85-100	πολύ συμπυκνωμένο

2.3.2 Ειδικό βάρος του εδάφους

Το ειδικό βάρος γ ενός υλικού ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του G προς τον όγκο V . Προκειμένου περί των εδαφών, διακρίνονται τα ακόλουθα ειδικά βάρη:

α) Φαινόμενο ειδικό βάρος (*total unit weight*)

Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους γ είναι ο λόγος του βάρους G προς τον όγκο V , ήτοι:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (2.6)$$

όπου: γ = φαινόμενο ειδικό βάρος ($\text{g/cm}^3 = \text{t/m}^3$)

G = βάρος (g ή t)

V = όγκος (cm^3 ή m^3)

β) Φαινόμενο ειδικό βάρος ξηρού εδάφους ή ξηρό ειδικό βάρος (*dry unit weight*)

Δίνεται από τον τύπο:

$$\gamma_d = \frac{G_s}{V} \quad (2.7)$$

όπου: γ_d = ξηρό ειδικό βάρος

G_s = βάρος της στερεάς φάσης

V = όγκος

γ) Ειδικό βάρος της συμπαγούς ύλης (των κόκκων) του εδάφους (*unit weight of solids*)

Δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s} \quad (2.8)$$

όπου: γ_s = ειδικό βάρος των κόκκων

G_s = βάρος της στερεάς φάσης

V_s = όγκος της στερεάς φάσης

δ) Ειδικό βάρος βυθισμένου εδάφους (*submerged unit weight*)

Το έδαφος, όπως και κάθε σώμα βυθισμένο στο νερό, υφίσταται άνωση. Κατά συνέπεια, το ειδικό βάρος δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (2.9)$$

όπου: γ' = ειδικό βάρος εδάφους μέσα στο νερό

γ_{sat} = ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους

γ_w = ειδικό βάρος νερού (για πρακτικές εφαρμογές $\gamma_w = 1$)

ε) *Σχετικό ειδικό βάρος*

Στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος σχετικό ειδικό βάρος (Specific Gravity), παριστάνεται με G και ορίζεται ως ο λόγος του βάρους της στερεάς φάσης του εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου νερού, ήτοι:

$$G = \frac{G_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{V_s \cdot \gamma_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.10)$$

Επειδή ο όγκος του νερού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, η τιμή του G δεν είναι σταθερή. Η μεταβολή όμως αυτή είναι πρακτικώς αμελητέα. Στους 4°C , έχουμε $\gamma_w = 1$, οπότε:

$$G = \gamma_s$$

Το σχετικό ειδικό βάρος, όπως προκύπτει από τον ορισμό του, είναι αδιάστατος αριθμός. Τιμές του σχετικού ειδικού βάρους ορισμένων ορυκτών δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 2.3 (Lambe and Whitman, 1979).

Πίνακας 2.3. Σχετικό ειδικό βάρος ορυκτών $G (= \gamma_s)$

Ορυκτά	Ειδικό βάρος $\gamma_s (\text{t/m}^3)$
Χαλαζίας	2,65
Ασβεσίτης	2,72
Δολομίτης	2,85
Μοσκοβίτης	2,7-3,1
Βιοτίτης	2,8-3,2
Χλωρίτης	2,6-2,9
Πυροφυλλίτης	2,84
Σερπεντίνης	2,2-2,7
Καολινίτης	2,61
Ιλλίτης	2,60-2,86
Μοντμοριλλονίτης	2,75-2,78

2.3.3 Περιεκτικότητα σε νερό

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού προς το βάρος των στερεών συστατικών, ήτοι:

$$w = \frac{G_w}{G_s} \quad (2.11)$$

όπου: w = η περιεκτικότητα σε νερό (συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό [%])

G_w = το βάρος του νερού (g)

G_s = το βάρος της στερεάς φάσης(g)

Κατά την εργαστηριακή δοκιμή προσδιορισμού της περιεχόμενης υγρασίας, το έδαφος ξηραίνεται στους 105° C μέχρι σταθεροποίησης του βάρους, οπότε θεωρείται ότι εξατμίζεται κάθε είδους νερού, πλην του χημικώς συνδεδεμένου. Προκειμένω για φυσικό έδαφος, η περιεχόμενη υγρασία ονομάζεται φυσική υγρασία.

2.3.4 Βαθμός κορεσμού

Ο βαθμός κορεσμού ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του νερού προς τον όγκο των κενών, ήτοι:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.12)$$

όπου: S = βαθμός κορεσμού

V_w = όγκος της υγρής φάσης

V_v = όγκος των κενών

Οι τιμές του S κυμαίνονται μεταξύ 0 (για $V_w = 0$) και 1 ή 100% (για $V_w = V_v$), οπότε το νερό καταλαμβάνει όλα τα κενά του εδάφους.

Με βάση το βαθμό κορεσμού, το έδαφος χαρακτηρίζεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4. Κατάταξη εδάφους με βάση το βαθμό κορεσμού

Κατάσταση εδάφους	Βαθμός κορεσμού (%)
Ξηρό	0
Ύφυγρο	1-25
Υγρό	26-50
Πολύ υγρό	51-75
Διαβρεγμένο	76-99
Κορεσμένο	100

2.3.5 Ειδικό βάρος και βαθμός κορεσμού

Η μεταβολή του φαινομένου ειδικού βάρους γ του εδάφους, συναρτήσει του βαθμού κορεσμού S , προκύπτει από τον γενικό τύπο (2.6):

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

Αλλά

$$G = G_a + G_s + G_w \approx G_s + G_w = \gamma_s V_s + \gamma_w V_w = \gamma_s (V - V_v) + \gamma_w \frac{V_w V_v}{V_v}$$

και με αντικατάσταση,

$$\gamma = \gamma_s \frac{V - V_v}{V} + \gamma_w \frac{V_v V_w}{V_v V} = \gamma_s (1 - n) + \gamma_w nS$$

και για $\gamma_w = 1$:

$$\gamma = \gamma_s (1 - n) + nS \quad (2.13)$$

Από τον τύπο (2.13) προκύπτει η μέγιστη τιμή του γ , δηλαδή του κορεσμένου εδάφους ($S = 1$):

$$\gamma_{\max} = \gamma_s (1 - n) + n \quad (2.14)$$

και η ελάχιστη τιμή του γ , δηλαδή του ξηρού εδάφους ($S = 0$):

$$\gamma_{\min} = \gamma_d = \gamma_s (1 - n) \quad (2.15)$$

2.3.6 Εφαρμογές

Παράδειγμα 1

Αδιατάρακτο δείγμα εδάφους, ειδικού βάρους στερεάς φάσης $\gamma_s = 2,67 \text{ t/m}^3$, έχει βάρος 50 g και όγκο 28 cm^3 . Μετά την ξήρανση, το βάρος του δοκιμίου είναι 40 g.

Ζητείται να υπολογιστούν:

- Το πορώδες και ο δείκτης πόρων.
- Ο βαθμός κορεσμού και η περιεκτικότητα σε νερό.
- Το φαινόμενο ειδικό βάρος γ , το ξηρό ειδικό βάρος γ_{\min} και το μέγιστο φαινόμενο ειδικό βάρος γ_{\max} .

Λύση

Δίνονται

Ζητούνται

- | | |
|-----------------------------------|--|
| • $\gamma_s = 2,67 \text{ t/m}^3$ | α) n και e |
| • $G = 50 \text{ g}$ | β) S και w |
| • $G_s = 40 \text{ g}$ | γ) γ , $\gamma_d = \gamma_{\min}$ και γ_{\max} |
| • $V = 28 \text{ cm}^3$ | |

α) Υπολογίζεται ο όγκος της στερεάς φάσης (2.8):

$$V_s = \frac{G_s}{\gamma_s} = \frac{40}{2,67} = 15 \text{ cm}^3$$

και στη συνέχεια ο όγκος των κενών (βλ. Σχ. 2.1):

$$V_v = V - V_s = 28 - 15 = 13 \text{ cm}^3$$

Οπότε, από τον τύπο (2.1):

$$\bullet n = \frac{V_v}{V} = \frac{13}{28} = 0,46 \text{ cm}^3$$

και από τον τύπο (2.2):

$$\bullet e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{13}{15} = 0,87$$

β) Ο βαθμός κορεσμού δίνεται από τον τύπο (2.12):

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

Ο όγκος του νερού V_w σε cm^3 είναι ίσος με το βάρος του νερού G_w σε γραμμάρια:

$$G_w = G - G_s = 50 - 40 = 10 \text{ g}$$

Άρα, $V_w = 10 \text{ cm}^3$

οπότε: $S = \frac{10}{13} = 0,77$ ή $S = 77\%$

και (2.11): $w = \frac{G_w}{G_s} = \frac{10}{40} = 0,25$ ή $w = 25\%$

γ) Το φαινόμενο ειδικό βάρος γ δίνεται από τον τύπο (2.6):

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{50}{28} = 1,79 \text{ g/cm}^3 = 1,79 \text{ t/m}^3$$

ή (2.13):

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_s (1 - n) + nS \\ &= 2,67 (1 - 0,46) + 0,46 \times 0,77 = 1,44 + 0,35 = 1,79 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

Το ξηρό ειδικό βάρος $\gamma_d = \gamma_{\min}$ δίνεται από τον τύπο (2.7):

$$\gamma_d = \frac{G_s}{V} = \frac{40}{28} = 1,43 \text{ t/m}^3$$

ή (2.15): $\gamma_d = \gamma_{\min} = \gamma_s (1 - n) = 1,44 \text{ t/m}^3$

Το μέγιστο φαινόμενο ειδικό βάρος δίνεται από τον τύπο (2.14):

$$\gamma_{\max} = \gamma_s (1 - n) + n$$

και με αντικατάσταση:

$$\gamma_{\max} = 1,44 + 0,46 = 1,90 \text{ t/m}^3.$$

Παράδειγμα 2

Φορηγό αυτοκίνητο, ωφέλιμης χωρητικότητας 7 m^3 , μεταφέρει πλήρες φορτίο άμμου, ειδικού βάρους κόκκων $\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$, με δείκτη πόρων $e = 0,85$. Ύστερα από έντονη βροχόπτωση, η μεταφερόμενη άμμος έχει κορεσθεί. Ζητείται να υπολογιστεί το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου (Χατζής, 1983).

Λύση

Δίνονται

Ζητούνται

$$V = 7 \text{ m}^3$$

G (κορεσμένης άμμου)

$$\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$e = 0,85$$

Το ωφέλιμο φορτίο G δίνεται από τη σχέση:

$$G = V \cdot \gamma_{\max}$$

όπου: $\gamma_{\max} = \gamma_s (1 - n) + n$

$$n = \frac{e}{1 + e} = \frac{0,85}{1 + 0,85} = \frac{0,85}{1,85} = 0,46$$

και με αντικατάσταση,

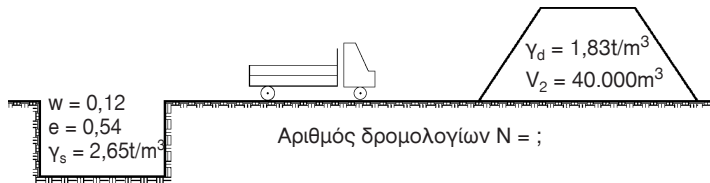
$$\begin{aligned} \gamma_{\max} &= 2,65 (1 - 0,46) + 0,46 \\ &= 2,65 \times 0,54 + 0,46 = 1,43 + 0,46 = 1,89 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

και $G = 7 \times 1,89 = 13,23 \text{ t}$.

Παράδειγμα 3

Το έδαφος δανειοθαλάμου έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: υγρασία 12%, δείκτη πόρων $e = 0,54$, ειδικό βάρος κόκκων $\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή επιχώματος, με ξηρό ειδικό βάρος $\gamma_d = 1,83 \text{ t/m}^3$, συνολικού όγκου 40.000 m^3 . Η μεταφορά γίνεται με φορηγά ωφέλιμου φορτίου $6,2 \text{ t}$. Ζητείται να υπολογιστούν:

- α) Ο όγκος του σκάμματος στο λατομείο V.
- β) Τα φαινόμενα ειδικά βάρη γ_d και γ , και ο βαθμός κορεσμού του εδάφους στο λατομείο.
- γ) Ο αριθμός των διαδρομών των φορηγών, N.



Σχήμα 2.3. Δεδομένα του 3^{ου} προβλήματος

Λύση

Από τα στοιχεία του επιχώματος υπολογίζεται το βάρος της στερεάς φάσης G_s , που είναι το ίδιο και στο δανειοθάλαμο:

$$G_s = \gamma_d \cdot V_2 = 1,83 \times 40.000 = 73.200 \text{ t}$$

από το οποίο προκύπτουν:

$$G_w = wG_s = 0,12 \times 73.200 = 8.784 \text{ t}$$

$$G = G_s + G_w = 73.200 + 8.784 = 81.984 \text{ t}$$

$$V_s = \frac{G_s}{\gamma_s} = \frac{73.200}{2,65} = 27.623 \text{ m}^3$$

και $V_w = G_w = 1 \times 8.784 = 8.784 \text{ m}^3$

Είναι επίσης :

$$V_v = eV_s = 0,54 \times 27.623 = 14.916 \text{ m}^3$$

και $n = \frac{e}{1 + e} = \frac{0,54}{1 + 0,54} = 0,35$

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα ζητούμενα:

α) Όγκος του σκάμματος:

$$V = V_s + V_v = 27.623 + 14.916 = 42.539 \text{ m}^3$$

β) $\gamma_d = \frac{G_s}{V} = \frac{73.200}{42.539} = 1,72 \text{ t/m}^3$

ή $\gamma_d = \gamma_s (1 - n) = 2,65 (1 - 0,35) = 2,65 \times 0,65 = 1,72 \text{ t/m}^3$

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{81.984}{42.539} = 1,93 \text{ t/m}^3$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{8.784}{14.916} = 0,59$$

και $\gamma = \gamma_s(1 - n) + nS$

$$= \gamma_d + nS = 1,72 + 0,35 \times 0,59 =$$

$$= 1,72 + 0,21 = 1,93 \text{ t/m}^3$$

γ) Αριθμός διαδρομών:

$$N = \frac{G}{6,2} = \frac{81.984}{6,2} = 13.223,2$$

ήτοι: $N = 13.224$ δρομολόγια

2.4 Κοκκομετρική σύνθεση του εδάφους

Βασικό στοιχείο για το χαρακτηρισμό ενός εδάφους και τον καθορισμό των ιδιοτήτων του είναι το μέγεθος των κόκκων του και η αναλογία που υπάρχει μεταξύ των κόκκων διαφόρων μεγεθών, δηλαδή η κοκκομετρική σύνθεσή του. Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύνθεσης ενός εδάφους γίνεται με την κοκκομετρική ανάλυση, η οποία συνήθως πραγματοποιείται με την καλούμενη μηχανική ανάλυση.

Η μηχανική ανάλυση ενός εδάφους γίνεται με κρησάρισμα (κοσκίνισμα) για τα χονδρόκοκκα εδάφη, με καθίζηση για τα λεπτόκοκκα.

2.4.1 Μηχανική ανάλυση με κόσκινα

Πρόκειται για εργαστηριακή δοκιμή, κατά την οποία χρησιμοποιείται σειρά πρότυπων κοσκίνων που τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο, κατά αύξουσα τάξη ανοίγματος οπής (προς τα πάνω).

Τα εργαστηριακά κόσκινα, που συνήθως χρησιμοποιούνται, είναι τα ακόλουθα:

- i) τα Αμερικανικά Πρότυπα (A.S.T.M.: E 11-61 ή A.A.S.H.O.: M 92-65),
- ii) τα Βρετανικά Πρότυπα (B.S. 410),
- iii) τα Γερμανικά Πρότυπα (DIN 4188),
- iv) τα Γαλλικά Πρότυπα (A.F.N.O.R : X 11-501).

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται τα αμερικάνικα κόσκινα, τα οποία είναι τετραγωνικής οπής και υποδιαιρούνται σε δύο σειρές, ήτοι:

- Σειρά χονδρών κοσκίνων (Πίνακας 2.5). Περιλαμβάνει τα κόσκινα από 4 in μέχρι 1/4 in. Τα κόσκινα χαρακτηρίζονται από το άνοιγμα της οπής τους σε in.
- Σειρά λεπτών κοσκίνων (Πίνακας 2.6). Περιλαμβάνει τα κόσκινα από Νο 3 ½ μέχρι Νο 400. Τα κόσκινα χαρακτηρίζονται από τον αριθμό των οπών ανά γραμμική ίντσα.

Πίνακας 2.5. Σειρά χονδρών κοσκίνων (A.S.T.M. E 11-39)

Αριθμός κοσκίνου	Άνοιγμα (mm)
4 -in	101,6
3 ½ -in	88,9
3 -in	76,2
2 ½ -in	63,5
2 -in	50,8
1 ¾ -in	44,4
1 ½ -in	38,1
1 ¼ -in	31,7
1 -in	25,4
7/8 -in	22,2
3/4 -in	19,1
5/8 -in	15,9
1/2 -in	12,7
7/16 -in	11,1
3/8 -in	9,52
5/16 -in	7,93
1/4 -in	6,35

Πίνακας 2.6. Σειρά λεπτών κοσκίνων (A.S.T.M. E 11-39)

Αριθμός κοσκίνων	Άνοιγμα (mm)
No. 3 ½	5,66
No. 4	4,75
No. 5	4,00
No. 6	3,35
No. 7	2,80
No. 8	2,36
No. 10	2,00
No. 12	1,70
No. 14	1,40
No. 16	1,18
No. 18	1,00
No. 20	0,84
No. 25	0,71
No. 30	0,59
No. 35	0,50
No. 40	0,425
No. 45	0,355
No. 50	0,297
No. 60	0,250
No. 70	0,212
No. 80	0,180
No. 100	0,150
No. 120	0,125
No. 140	0,106
No. 170	0,090
No. 200	0,075
No. 230	0,062
No. 270	0,053
No. 325	0,044
No. 400	0,037

Η μηχανική ανάλυση με κόσκινα εκτελείται ως εξής: Εδαφικό δείγμα ξηραίνεται σε εργαστηριακό φούρνο και στη συνέχεια θρυμματίζεται. Κατόπιν, το έδαφος κοσκινίζεται χρησιμοποιώντας μια σειρά από τα παραπάνω κόσκινα. Τα κόσκινα τοποθετούνται, το ένα πάνω στο άλλο, κατά αύξουσα τάξη ανοίγματος οπής. Το κόσκινο με το μικρότερο άνοιγμα που

πρέπει να χρησιμοποιείται για αυτόν τον τύπο δοκιμής είναι το Νο 200, κάτω από το οποίο τοποθετείται δίσκος χωρίς οπές ($d_0 = 0$). Μετά το κόσκινισμα, προσδιορίζεται το βάρος του εδάφους που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο. Σε περίπτωση συνεκτικού εδάφους, ο θρυμματισμός ενδέχεται να είναι δύσκολος. Στην περίπτωση αυτή, το έδαφος μπορεί να διαλυθεί σε νερό και κατόπιν να περάσει από τα κόσκινα. Το έδαφος που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο συλλέγεται χωριστά, ξηραίνεται σε φούρνο και ζυγίζεται.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων (Σχ. 2.4), όπου οι τετμημένες παριστάνουν τον λογάριθμο του μεγέθους των κόκκων (άνοιγμα κόσκινου, $\log d$), ενώ οι τεταγμένες δείχνουν το ποσοστό p , κατά βάρος, των κόκκων που έχουν μέγεθος μικρότερου του d . Το διάγραμμα που προκύπτει ονομάζεται κοκκομετρικό διάγραμμα, ενώ η καμπύλη του εδάφους καλείται κοκκομετρική καμπύλη.

Τα βήματα υπολογισμού των σημείων της κοκκομετρικής καμπύλης είναι τα εξής:

- i) Προσδιορίζεται το βάρος του εδάφους που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο, δηλαδή: $G_0, G_1, G_2, \dots, G_n$.
- ii) Υπολογίζεται το συνολικό βάρος του εδάφους Δ_i που διέρχεται από κάθε κόσκινο. Π.χ., για το κόσκινο i , υπολογίζεται το συνολικό βάρος $\Delta_i = G_0 + G_1 + G_2 + \dots + G_{i-1}$, δηλαδή το συνολικό βάρος του εδάφους που συγκρατείται στα κόσκινα που είναι κάτω από το θεωρούμενο κόσκινο (με διάμετρο οπής d_i).
- iii) Υπολογίζεται το ποσοστό του εδάφους (κατά βάρος) το διερχόμενο από κάθε κόσκινο, π.χ. για το κόσκινο i , με άνοιγμα d_i , το διερχόμενο ποσοστό p_i είναι:

$$p_i (\%) = \frac{\Delta_i}{G} \times 100 \quad (2.16)$$

Πίνακας 2.7. Υπολογισμός διερχόμενου ποσοστού, κατά βάρος

Διάμετρος κοσκίνου d_i (mm)	Σχηματική παράσταση κοσκίνων	Συγκρατούμενη ποσότητα κατά βάρος G_i (gr)	Διερχόμενη ποσότητα κατά βάρος Δ_i (gr)	Διερχόμενο ποσοστό (%) $\rho_i = (\Delta_i/G) 100$
d_n		G_n	$\Delta_n = G_0 + G_1 + \dots + G_{n-1}$	$\rho_n = (\Delta_n/G) 100$
d_{n-1}		G_{n-1}	$\Delta_{n-1} = G_0 + G_1 + \dots + G_{n-2}$	$\rho_{n-1} = (\Delta_{n-1}/G) 100$
d_{n-2}		G_{n-2}	$\Delta_{n-2} = G_0 + G_1 + \dots + G_{n-3}$	$\rho_{n-2} = (\Delta_{n-2}/G) 100$
d_2		G_2	$\Delta_2 = G_0 + G_1$	$\rho_2 = (\Delta_2/G) 100$
d_1		G_1	$\Delta_1 = G_0$	$\rho_1 = (\Delta_1/G) 100$
d_0		G_0	$\Delta_0 = 0$	
	Σύνολο	G		

Σημείωση: $d_n > d_{n-1} > d_{n-2} > \dots > d_2 > d_1$
 $d_0 = 0$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, δηλαδή τα ζεύγη τιμών d_i και ρ_i μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό χαρτί σχεδίασης, όπου ο άξονας των τεταγμένων (σε λογαριθμική κλίμακα) παριστάνει τα ανοίγματα των οπών των κοσκίνων, δηλαδή τη διάμετρο των κόκκων του εδάφους d_i , ενώ ο άξονας των τεταγμένων (σε αριθμητική κλίμακα) παριστάνει το αντίστοιχο διερχόμενο ποσοστό ρ_i του εδάφους. Η προκύπτουσα καμπύλη είναι γνωστή ως κοκκομετρική καμπύλη.

Η χρήση κοσκίνων στη μηχανική ανάλυση του εδάφους γίνεται δυσκολότερη όσο πλησιάζουμε προς τα λεπτότερα κόσκινα. Για πρακτικούς λόγους, το μικρότερο μέγεθος κοσκίνου είναι το No. 200 (0,074 mm). Κατασκευάζονται βέβαια λεπτότερα κόσκινα, τα οποία όμως συνήθως δεν χρησιμοποιούνται.

Η κοκκομετρική σύνθεση του υλικού, του διερχόμενου από το No. 200, προσδιορίζεται με τις μεθόδους της υγρής μηχανικής ανάλυσης, συνήθεστερη των οποίων είναι η μέθοδος του υδρομέτρου.