ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

1.1 Φυσικές ἰδιότητες τῶν ἐδαφῶν

Οἱ φυσικές ἰδιότητες τῶν ἐδαφῶν ἀναφέρονται σέ μεγέθη πού εἶναι ἀπαραίτητα γιά τήν ἀναγνώριση καί τήν ταξινόμησή τους.

Ὁ ἀριθμός τῶν φυσικῶν ἰδιοτήτων πού εἶναι ἀπαραίτητος γιά τόν πλήρη χαρακτηρισμό τοῦ ἐδάφους εἶναι ἀρκετά μεγαλύτερος ἀπό τόν ἀντίστοιχο ἀριθμό γιά τά ἄλλα ὑλικά (σκυρόδεμα, χάλυβας, κλπ.), πού χρησιμοποιοῦνται στίς ἐφαρμογές ἔργων πολιτικοῦ μηχανικοῦ, γιατί τό ἔδαφος εἶναι ἕνα ὑλικό πού ἀποτελεῖται ἀπό τρεῖς φάσεις (στερεή, ὑγρή καί ἀέρια), μέ ἀποτέλεσμα νά παρουσιάζει σημαντική ἀνομοιογένεια καί ἀνισοτροπία, ἐνῶ συγχρόνως οἱ ἰδιότητές του ἐπηρεάζονται καί ἀπό τήν προϊστορία του.

Οἱ μηχανικές ἰδιότητες τῶν ἐδαφῶν δέν συνδέονται ἄμεσα μέ τίς φυσικές ἰδιότητές τους, ἀλλά ὑπάρχουν ἐμπειρικές σχέσεις καί νομογραφήματα πού ἐπιτρέπουν τόν προσεγγιστικό προσδιορισμό τῶν μηχανικῶν ἰδιοτήτων τους ἀπό τίς φυσικές ἰδιότητες.

Ὁ ποσοτικός προσδιορισμός τῶν φυσικῶν ἰδιοτήτων γίνεται στό ἐργαστήριο ἤ ἐπί τόπου. Ὑπολογίζονται στό ἐργαστήριο ὁρισμένα φυσικά μεγέθη καί τά ὑπόλοιπα ἀπό μαθηματικές σχέσεις πού συνδέουν τά φυσικά μεγέθη μεταξύ τους, ὅπως φαίνεται στούς πίνακες I καί II.

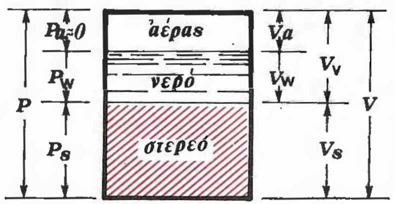
Ἡ γνώση τῶν φυσικῶν ἰδιοτήτων εἶναι ἐπίσης ἀπαραίτητη ὅταν τό ἔδαφος χρησιμοποιεῖται σάν δομικό ὑλικό (φράγματα, ἐπιχώματα ὁδοποιΐας, ὁπλισμένο ἔδαφος).

1.2 Ὁρισμοί

Στόν πίνακα I δίνονται οἱ ὁρισμοί τῶν μεγεθῶν πού ἐκφράζουν τίς φυσικές ἰδιότητες τοῦ ἐδάφους.

Στόν πίνακα II δίνονται οἱ σχέσεις πού συνδέουν τά παραπάνω μεγέθη μεταξύ τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Μεγέθη	Γενικές συνθῆκες	Συνθῆκες κορεσμοῦ
Ὄγκος ὁλικός	$V = V_s + V_w + V_a$	$V = V_s + V_w$
Ὄγκος κενῶν	$V_v = V_w + V_a = V - V_s = V_w / S_r$	$V_v = V_w$
Δείκτης πόρων	$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n} = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{\gamma_s(1+w)}{\gamma} - 1$	$e = \frac{V_w}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot w$
Πορῶδες	$n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1+e} = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$	$n = \frac{V_w}{V} = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \cdot w$
Βαθμός κορεσμοῦ	$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_s \cdot w}{\gamma_w \cdot e}$	$S_r = 1$
Βάρος ὁλικό	$P = P_s + P_w \quad (P_a \cong 0)$	(P_s = βάρος στερεῶν συστατικῶν)
Περιεκτικότητα σέ νερό	$w = \frac{P_w}{P_s} = S_r \, e \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$	$w = e \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Φαινόμενο βάρος	$\gamma = \frac{P}{V} = \gamma_d (1+w) = \frac{S_r \gamma_w \gamma_s (1+w)}{S_r \gamma_w + \gamma_s w}$	$\gamma = \gamma_{sat} = \frac{w+1}{w + 1/\gamma_s}$
Φαινόμενο βάρος στερεῶν συστατικῶν	$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \div 2{,}70 \ gr/cm^3$	(γιά $\gamma_w \cong 1{,}00 \ gr/cm^3$)
Ξηρό φαινόμενο βάρος	$\gamma_d = \frac{P_s}{V} = (1-n)\gamma_s = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{\gamma}{1+w}$	$(\gamma_d < \gamma < \gamma_{sat})$
Φαινόμενο βάρος κορεσμένου ἐδάφους	 	$\gamma_{sat} = \gamma_d + n \gamma_w = \gamma = \frac{\gamma_s + \gamma_w \cdot e}{1+e}$
Φαινόμενο βάρος κορεσμένου ἐδάφους (μέ ἄνωση)		$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \gamma_d - (1-n)\gamma_w = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1+e} = \gamma_d\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right) \cong 0{,}60 \ \gamma_d$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. Τυπολόγιο φυσικών εδαφικών μεγεθών.

Μεγέθη	Συμβολισμοί	Ορισμοί	Διαστάσεις	Κορεσμένο έδαφος w_s	Μη κορεσμένο έδαφος w	n	e	γ	γ_d
Περιεκτικότητα σε νερό	w	$\frac{P_w}{P_s}=\frac{V_w\gamma_w}{P_s}$	1*	—	—	$w=\frac{(n-n_a)\gamma_w}{(1-n)\gamma_s}$	$w=\frac{e-n_a(1+e)}{\gamma_s};\gamma_w$	$w=\frac{\gamma-\gamma_d}{\gamma_d}$	—
Περιεκτικότητα σε νερό κορ. εδάφους	w_s	$\frac{(V_w+V_a)\gamma_w}{P_s}$	1	—	—	$w_s=\frac{n\gamma_w}{(1-n)\gamma_s}$	$w_s=\frac{e\gamma_w}{\gamma_s}$	$w_s=\frac{(1+w)\gamma_w}{\gamma}-\frac{\gamma_w}{\gamma_s}$	$w_s=\frac{\gamma_w}{\gamma_d}-\frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Πορώδες	n	$\frac{V_v}{V}$	1	$n=\frac{w_s\gamma_s}{w_s\gamma_s+\gamma_w}$	$n=\frac{w\gamma_s+n_a\gamma_w}{w\gamma_s+\gamma_w}$	$n=n_w+n_a$	$n=\frac{e}{1+e}$	$n=1-\frac{\gamma}{(1+w)\gamma_s}$	$n=\frac{\gamma_s-\gamma_d}{\gamma_s}$
Δείκτης πόρων	e	$\frac{V_v}{V_s}$	1	$e=\frac{w_s\gamma_s}{\gamma_w}$	$e=\frac{w\gamma_s+n_a\cdot\gamma_w}{(1-n_a)\gamma_w}$	$e=\frac{n}{(1-n)}$	—	$e=\frac{\gamma_s(1+w)}{\gamma}-1$	$e=\frac{\gamma_s-\gamma_d}{\gamma_d}$
Φαινόμενο βάρος εδάφους	γ	$\frac{P}{V}=\frac{P_s+P_w}{V_s+V_w+V_a}$	t/m^3	$\gamma=\frac{(1+w_s)\gamma_s}{w_s\gamma_s+\gamma_w}\gamma_w$	$\gamma=\frac{(1-n_a)(1+w)\gamma_s}{w\gamma_s+\gamma_w}\gamma_w$	$\gamma=(1-n)\gamma_s+n_w\gamma_w$ $=(1-n)(1+w)\gamma_s$	—	—	$\gamma=\gamma_d(1+w)$
Φαιν. βάρος ξηρ. εδάφους	γ_d	$\frac{P_s}{V_s+V_w+V_a}$	t/m^3	$\gamma_d=\frac{\gamma_s\gamma_w}{w_s\gamma_s+\gamma_w}$	$\gamma_d=\frac{(1-n_a)\gamma_s}{n\gamma_s+\gamma_w}\gamma_w$	$\gamma_d=(1-n)\gamma_s$	$\gamma_d=\frac{\gamma_s}{1+e}$	$\gamma_d=\frac{\gamma}{1+w}$	—
Πορώδες αέρα	n_a	$\frac{V_a}{V}$	1	$n_a=0$	—	—	—	$n_a=1-\frac{(w\gamma_s+\gamma_w)\gamma}{(1+w)\gamma_w\gamma_s}$	$n_a=1-\frac{w\gamma_d}{\gamma_w}-\frac{\gamma_d}{\gamma_s}$
Πορώδες νερού	n	$\frac{V_w}{V}$	1	$n_w=n$	$n_w=w\frac{\gamma_d}{\gamma_w}$	—	$n_w=\frac{w\gamma_s}{(1+e)\gamma_w}$	$n_w=\frac{\gamma w}{(1+w)\gamma_w}$	$n_w=\frac{w\gamma_d}{\gamma_w}$
Βαθμός κορεσμού	S_r	$\frac{w}{w_s}$	1	$S_r=1$	$S_r=\frac{w\gamma_s(1-n)}{n\gamma_w}$	$S_r=\frac{n_w}{n}$	—	—	—

* 1 : αδιάστατα μεγέθη.

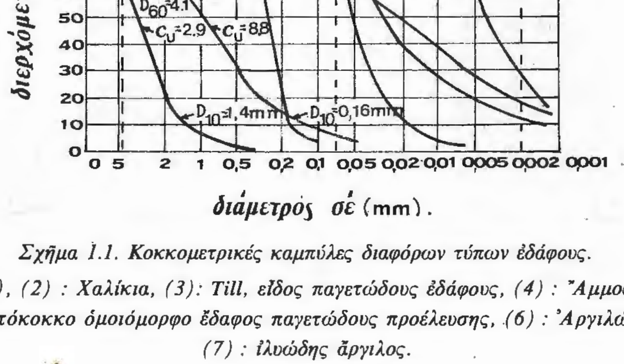
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ. Φαινόμενο βάρος γ τῶν κυριωτέρων ἐδαφῶν

Ἄμμος	1,8	t/m^3	ἤ	gr/cm^3
Ἰλύς	1,8	»		»
Ἄργιλος	1,7÷1,9	»		»
Μάργα	2,2	»		»
Τύρφη	1,5	»		»

1.3 Κοκκομετρική σύνθεση - Ὅρια Atterberg

Οἱ ἰδιότητες (ἀντοχή σέ διάτμηση, διαπερατότητα κλπ.) τῶν χονδρόκοκκων ἐδαφῶν ἐξαρτῶνται ἀπό τήν ποσοστιαία ἀναλογία τῶν στερεῶν κόκκων σέ σχέση μέ τίς διαστάσεις τους.

Ἡ κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται μέ τήν κοκκομετρική καμπύλη πού παρουσιάζεται σέ ἡμιλογαριθμική μορφή, ὅπως στό σχῆμα 1.1. Στόν ἄξονα τῶν τετμημένων δίνονται οἱ λογάριθμοι τῶν διαστάσεων τῶν κόκκων d καί στόν ἄξονα τῶν τεταγμένων τά ποσοστά σέ βάρος τῶν κόκκων πού ἔχουν διαστάσεις μικρότερες ἀπό d.



Σχῆμα 1.1. Κοκκομετρικές καμπύλες διαφόρων τύπων ἐδάφους.

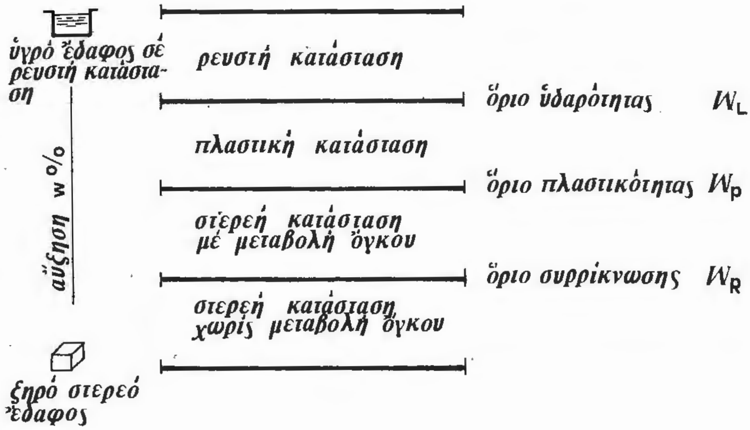
(1), (2) : Χαλίκια, (3): Till, εἶδος παγετώδους ἐδάφους, (4) : Ἄμμος, (5) : Λεπτόκοκκο ὁμοιόμορφο ἔδαφος παγετώδους προέλευσης, (6) : Ἀργιλώδης ἰλύς, (7) : ἰλυώδης ἄργιλος.

Γιά τά λεπτόκοκκα ἐδάφη τά χαρακτηριστότερα φυσικά μεγέθη εἶναι τά ὅρια τοῦ *Atterberg* πού εἶναι τά ἑξῆς:

— ὅριο ὑδαρότητας W_L

— ὅριο πλαστικότητας W_P

— ὅριο συρρίκνωσης W_R



Σχῆμα 1.2

Ὁρισμοί

Δείκτης πλαστικότητας PI ἤ $IP = W_L - W_P$

Δείκτης ὑδαρότητας LI ἤ $IL = \dfrac{W_L - W_P}{IP}$ $\dfrac{W_L - W}{IP}$

Δείκτης ἀντίστασης $I_C = 1 - IL$

Ἐνεργότητα ἐδάφους $= \dfrac{IP}{\text{ποσοστό ἀργίλου τοῦ ἐδάφους } \%}$

ΠΙΝΑΚΑΣ IV : Χαρακτηρισμός τῆς πλαστικότητας τοῦ ἐδάφους

Τιμή δείκτη πλαστικότητας *IP*	0 ÷ 5	5 ÷ 15	15 ÷ 40	> 40
Βαθμός πλαστικότητας	Ἔδαφος ὄχι πλαστικό	Ἔδαφος λίγο πλαστικό	Ἔδαφος πλαστικό	Ἔδαφος πολύ πλαστικό

ΠΙΝΑΚΑΣ V : Χαρακτηρισμός τοῦ βαθμοῦ ἐνεργότητας τοῦ ἐδάφους

Ἐνεργότητα	0,75	0,75 ÷ 1,25	1,25
Χαρακτηρισμός τοῦ ἐδάφους	Μή ἐνεργό	Κανονικό	Ἐνεργό

ΠΙΝΑΚΑΣ VI : Χαρακτηριστικές τιμές ὁρίων Atterberg.

Ἔδαφος	w_L	w_P	IP
Ἄμμος	—	—	0
Ἄμμος κάπως συνεκτική	10 ÷ 20	5 ÷ 20	0 ÷ 5
Loess	23 ÷ 28	20 ÷ 23	2 ÷ 8
Ἰλύς	15 ÷ 35	10 ÷ 25	5 ÷ 15
Ἄργιλος ἀμμώδης	25 ÷ 40	15 ÷ 20	5 ÷ 20
Ἄργιλος	40 ÷ 150	20 ÷ 50	15 ÷ 95
Ὀργανικά ἐδάφη	> 200	> 100	~ 100

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1.1. Ἕνα δεῖγμα μαλακῆς ἀργίλου κορεσμένης, ἔχει περιεκτικότητα σέ νερό w = 42% καί φαινόμενο βάρος στερεῶν συστατικῶν γ_s =2,70 gr/cm³. Νά ὑπολογιστοῦν: α) ὁ δείκτης πόρων e, β) τό πορῶδες n, γ) τό φαινόμενο βάρος γ. Τό γ_w λαμβάνεται 1,00 gr/cm³.

ΛΥΣΗ

α) Ἀπό τόν πίνακα I ἔχουμε γιά τήν περίπτωση κορεσμένου ἐδάφους:

$$w = e\,\frac{\gamma_w}{\gamma_s} \quad \Rightarrow \quad e = w\cdot\frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 0{,}42\cdot\frac{2{,}70}{1{,}00} = 1{,}13.$$

β) Ἀπό τόν πίνακα II : $n = \dfrac{e}{1+e} \Rightarrow n = \dfrac{1{,}13}{1+1{,}13} = 0{,}53.$

γ) Ἀπό τόν πίνακα I γιά κορεσμένο ἔδαφος:

$$\gamma = \frac{w+1}{w+\dfrac{1}{\gamma_s}} = \frac{0{,}42+1}{0{,}42+\dfrac{1}{2{,}70}} = \frac{1{,}42}{0{,}79} = 1{,}80\ gr/cm^3.$$

1.2 Ὁ ὄγκος ἀργιλικοῦ δείγματος μετρήθηκε μέ ἐμβάπτιση σέ ὑδράργυρο καί βρέθηκε $V = 12{,}28\ cm^3$. Τό βάρος του σέ κατάσταση φυσικῆς ὑγρασίας ἦταν $P=23{,}60\ gr$ καί μετά τήν ξήρανση $P_s = 20{,}20\ gr$. Νά ὑπολογισθοῦν: α) ὁ δείκτης πόρων e, β) ὁ βαθμός κορεσμοῦ S_r.
Δίνεται τό φαινόμενο βάρος στερεῶν συστατικῶν $\gamma_s = 2{,}70\ gr/cm^3$.

ΛΥΣΗ

α) Ἀπό τόν πίνακα Ι ἔχουμε

$$e = \frac{V_v}{V_s},$$

ὁ ὄγκος

$$V_v = V - V_s = V - \frac{P_s}{\gamma_s} = 12{,}28 - \frac{20{,}20}{2{,}70} = 4{,}80\ cm^3$$

7,48

ἄρα

$$e = \frac{4{,}80}{7{,}48} = 0{,}64.$$

β) Ἐπίσης ἀπό τόν ἴδιο πίνακα ἔχουμε :

$$S_r = \frac{\gamma_s \cdot w}{\gamma_w\ e}.$$

Ἡ περιεκτικότητα σέ νερό

$$w = \frac{P_w}{P_s} = \frac{P-P_s}{P_s} = \frac{23{,}60-20{,}20}{20{,}20} = \frac{3{,}40}{20{,}20} = 0{,}168$$

ἄρα

$$S_r = \frac{2{,}70 \cdot 0{,}168}{1{,}00 \cdot 0{,}64} = 0{,}708.$$

1.3 Ὅταν εἶναι γνωστά τά μεγέθη γ, w, γ_s, γ_w, νά ἀποδειχθοῦν :

α) ὅτι $e = \dfrac{\gamma_s(1+w)}{\gamma} - 1$ *β)* $\gamma_{sat} = \dfrac{\gamma_s + \gamma_w \cdot e}{1+e}$

ΛΥΣΗ

Ἀπό τόν πίνακα Ι:

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s} \qquad \gamma_d = \frac{P_s}{V}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\dfrac{V_v}{P}}{\dfrac{V_s}{P}} = \frac{\dfrac{V-V_s}{P}}{\dfrac{V_s}{P_s+P_w}} = \frac{\dfrac{V}{P} - \dfrac{V_s}{P}}{\dfrac{1}{\dfrac{P_s}{V_s} + \dfrac{P_w}{V_s}}} = \frac{\dfrac{1}{\gamma} - \dfrac{V_s}{P_s+P_w}}{\dfrac{1}{\dfrac{P_s}{V_s} + \dfrac{P_w}{\dfrac{P_s}{\gamma_s}}}} =$$

$$= \frac{\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\frac{P_s}{V_s} + \frac{P_w}{V_s}}}{\frac{1}{\gamma_s + \gamma_s \cdot \frac{P_w}{P_s}}} = \frac{\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\gamma_s + \gamma_s w}}{\frac{1}{\gamma_s + \gamma_s \cdot w}} = \frac{\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\gamma_s (1+w)}}{\frac{1}{\gamma_s (1+w)}} = \frac{\frac{\gamma_s (1+w) - \gamma}{\gamma \cdot \gamma_s (1+w)}}{\frac{1}{\gamma_s (1+w)}} =$$

$$= \frac{\gamma_s (1+w) - \gamma}{\gamma} = \frac{\gamma_s (1+w)}{\gamma} - 1.$$

β) 'Από τόν πίνακα I, γιά κορεσμένα ἐδάφη, ἔχουμε:

$$\gamma_{sat} = \gamma = \frac{P}{V} = \frac{P_s + P_w}{V_s + V_w} = \frac{\frac{P_s P_w}{V_s}}{\frac{V_s + V_w}{V_s}} = \frac{\frac{P_s}{V_s} + \frac{P_w}{V_s}}{1 + \frac{V_w}{V_s}} = \frac{\gamma_s + \gamma_s \cdot w}{1 + e}$$

1.4 Τό φυσικό ἔδαφος ἑνός λατομείου ἔχει τίς παρακάτω ἰδιότητες: περιεκτικότητα σέ νερό $w = 12\%$, δείκτης πόρων $e = 0{,}54$, φαινόμενο βάρος στερεῶν συστατικῶν $\gamma_s = 2{,}65\ gr/cm^3$. Τό ἔδαφος αὐτό χρησιμοποιεῖται γιά τήν κατασκευή ἀναχώματος πού μετά τήν συμπύκνωση θά ἔχει ὄγκο $V = 40.000\ m^3$. Τό ἔδαφος μετά τήν τοποθέτησή του στό ἔργο καί τήν συμπύκνωση ἔχει φαινόμενο βάρος ξηροῦ ἐδάφους $\gamma_d = 1{,}83\ gr/cm^3$. Τό ἔδαφος μεταφέρεται ἐπί τόπου μέ φορτηγά. Κάθε φορτηγό μεταφέρει βάρος ἐδάφους $B = 6{,}20\ t$. Νά ὑπολογισθοῦν:

α) Ὁ βαθμός κορεσμοῦ, τά φαινόμενα βάρη γ_d καί γ τοῦ ἐδάφους στό λατομεῖο.

β) Πόσα φορτηγά εἶναι ἀπαραίτητα γιά τή μεταφορά τοῦ ἐδάφους ἀπό τό λατομεῖο στό χῶρο κατασκευῆς τοῦ ἀναχώματος.

γ) Ὁ ὄγκος τοῦ σκάματος μετά τήν ἀπομάκρυνση τοῦ ἐδαφικοῦ ὑλικοῦ.

ΛΥΣΗ

α) 'Από τόν πίνακα I :

$$S_r = \frac{\gamma_s \cdot w}{\gamma_w \cdot e} = \frac{2{,}65 \cdot 0{,}12}{1{,}00 \cdot 0{,}54} = 0{,}56\ ,$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e} = \frac{2{,}65}{1 + 0{,}54} = 1{,}72\ gr/cm^3\ ,$$

$$\gamma = \gamma_d\,(1+w) = 1{,}72 \cdot (1+0{,}12) = 1{,}93\ gr/cm^3.$$

β) Δίνεται ὅτι μετά τό τέλος τῶν ἐργασιῶν τό ἀνάχωμα θά ἔχει ὄγκο $V = 40.000\ m^3$ (ὁ ὄγκος αὐτός μετρήθηκε μετά τή συμπύκνωση τοῦ ἀναχώματος). Ἀπό τόν πίνακα Ι ἔχουμε:

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V} \Rightarrow P_s = \gamma_s \cdot V = 1{,}83 \cdot 40.000 = 73.200\ t.$$

Τό P_s εἶναι τό βάρος τῶν στερεῶν συστατικῶν τοῦ ἐδάφους. Ἐπίσης ἀπό τόν πίνακα Ι ἔχουμε:

$$w = \frac{P_w}{P_s} \qquad P_w = \text{τό βάρος τοῦ νεροῦ}$$

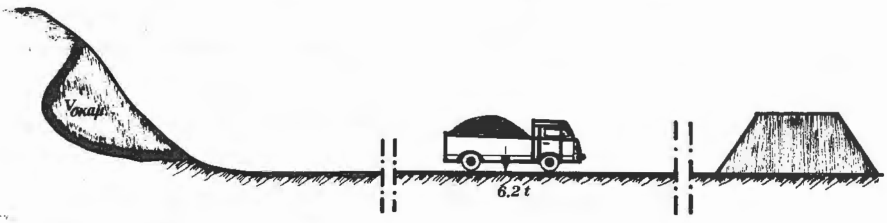
$$P_w = w \cdot P_s = 0{,}12 \cdot 73.200 = 8.784\ t.$$

Ἄρα τό ὁλικό βάρος τοῦ ἐδάφους πρίν ἀπό τή συμπύκνωση εἶναι:

$$P = P_s + P_w = 73.200 + 8784 = 81.984\ t.$$

Ἐφόσον τό κάθε φορτηγό μεταφέρει ἔδαφος βάρους 6,20 t, ἔχουμε :

$$\nu\ (\text{ἀριθμός φορτηγῶν}) = \frac{81.984}{6{,}20} = 13.223.$$



Σχῆμα 1.3

γ) Γιά νά βροῦμε τόν ὄγκο τοῦ σκάματος στό λατομεῖο ἔχουμε:

$$\gamma = 1{,}93\ gr/cm^3.$$

Ἐπίσης ἔχει βρεθεῖ ὅτι τό συνολικό βάρος τοῦ ἐδάφους εἶναι $P = 81.984\ t$ (πού εἶναι φανερό ὅτι εἶναι τό ἴδιο στήν ἀρχική του θέση στό λατομεῖο καί στήν τελική του στό ἀνάχωμα), ἄρα

$$V_{\text{σκάματος}} = \frac{P}{\gamma} = \frac{81.984}{1{,}93} = 42.478\ m^3.$$

1.5 Νά ὑπολογισθεῖ τό φαινόμενο βάρος ἑνός ἐδάφους ἐπί τόπου μέ τή μέθοδο τοῦ ἰσοδύναμου ἄμμου. Δίνονται :

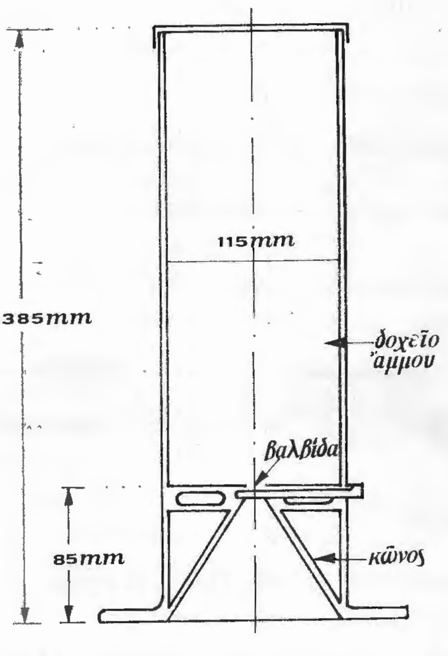
βάρος τοῦ ἐδάφους πού ἐξάγεται ἀπό τήν ὀπή *4,00 kg*

περιεκτικότητα σέ νερό	*18 %*
βάρος ξηροῦ ἐδάφους πού γεμίζει τήν ὀπή	*3,10 kg*
» τῆς ξηρῆς ἄμμου πού γεμίζει τό δοχεῖο ὄγκου 4,2 lit	*5,80 kg*
Φαινόμενο βάρος στερεῶν συστατικῶν	$\gamma_s = 2{,}68\ gr/cm^3$

Νά ὑπολογισθεῖ ἐπίσης ὁ βαθμός κορεσμοῦ S_r *τοῦ ἐδάφους.*

ΛΥΣΗ

Τό φαινόμενο βάρος ἑνός ἐδάφους ἐπί τόπου πού ἀντιστοιχεῖ στή φυσική ἀδιατάρακτη κατάστασή του ὑπολογίζεται μέ τή μέθοδο τοῦ ἰσοδύναμου ἄμμου, μέ τόν ἀκόλουθο τρόπο.



Σχῆμα 1.4. Συσκευή ἰσοδύναμου ἄμμου.

Στήν ἀρχή διανοίγεται μιά ὀπή στό ἔδαφος καί ὅλο τό ἔδαφος, πού ἀφαιρεῖται, συγκεντρώνεται καί ὑπολογίζεται τό βάρος του καί ἡ φυσική του ὑγρασία. Ὁ ὄγκος τῆς ὀπῆς ὑπολογίζεται μέ τή βοήθεια ἑνός κυλίνδρου (σχῆμα 1.4).

Τό βάρος τοῦ κυλίνδρου, ὅταν εἶναι γεμάτος μέ ἄμμο γνωστοῦ φαινόμενου βάρους, μπορεῖ νά μετρηθεῖ. Ὁ κύλινδρος τοποθετεῖται πάνω ἀπό τήν ὀπή καί μέ τό ἄνοιγμα τῆς βαλβίδας, ἡ ἄμμος χύνεται καί γεμίζει τήν ὀπή καί τόν κῶνο τοῦ δοχείου. Ζυγίζοντας τό βάρος τοῦ δοχείου στή συνέχεια μποροῦμε νά ὑπολογίσουμε τό βάρος τῆς ἄμμου, καί κατόπιν ἔχουμε:

$$\text{φαινόμενο βάρος ἄμμου} = \frac{P}{V} = \frac{5{,}80}{4{,}20\times 10^{-3}} = 1380\ kg/m^3$$

$$\text{ὄγκος ὀπῆς} = \frac{P_{\text{ἄμμου}}}{\gamma_{\text{ἄμμου}}} = \frac{3{,}10}{1380} = 2{,}25\times 10^{-3}\ m^3$$

$$\text{φαινόμενο βάρος ἐδάφους} = \frac{P_{\text{ἐδ.}}}{V_{\text{ὀπῆς}}} = \frac{4{,}00}{2{,}25\cdot 10^{-3}} = 1780\ kg/m^3\ .$$

Ὁ βαθμός κορεσμοῦ S_r δίνεται (πίνακας Ι):

$$S_r = \frac{\gamma_s w}{\gamma_w w} \quad \text{ὅπου} \quad e = \frac{\gamma_s (1+w)}{\gamma} - 1$$

ἄρα

$$e = \frac{2{,}68\,(1+0{,}18)}{1{,}78} - 1 = 0{,}775$$

καί

$$S_r = \frac{2{,}68 \cdot 0{,}18}{1{,}00 \cdot 0{,}775} = \frac{0{,}48}{0{,}775} = 0{,}62.$$

1.6 Τά ἀποτελέσματα μιᾶς κοκκομετρικῆς ἀνάλυσης μέ κόσκινα δίνονται στόν παρακάτω πίνακα:

Διάμετρος ὀπῆς κόσκινου mm	*Βάρος πού παραμένει στό κόσκινο (gr)*	
	Ἔδαφος A	*Ἔδαφος B*
37,50	*0,0*	
19,00	*26,0*	
9,50	*31,0*	
4,75	*11,0*	*0,0*
2,36	*18,0*	*8,0*
1,18	*24,0*	*7,0*
0,60	*21,0*	*11,0*
0,30	*41,0*	*21,0*
0,21	*32,0*	*63,0*
0,15	*16,0*	*48,0*
0,075	*15,0*	*14,0*

Ἡ κοκκομετρική ἀνάλυση συνεχίσθηκε γιά τό ὑλικό πού πέρασε ἀπό τό κόσκινο N^o 200 μέ τή βοήθεια ἀραιόμετρου, πού ἔδωσε τά παρακάτω ἀποτελέσματα :

Μέγεθος κόκκων	*Βάρος (gr)*	
mm	*A*	*B*
0,06 — 0,02	*8*	*2*
0,02 — 0,006	*4*	*1*
0,006 — 0,002	*2*	*0*
< 0,002	*1*	*0*

α) Νά σχεδιασθοῦν οἱ κοκκομετρικές καμπύλες τῶν δύο ἐδαφῶν, καί
β) νά βρεθεῖ ὁ συντελεστής ὁμοιομορφίας τους Cu.

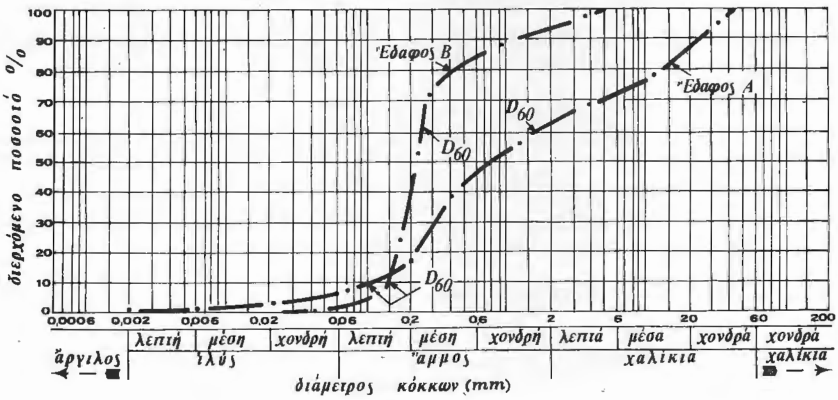
ΛΥΣΗ

α) Ὑπολογίζεται τό ἀρχικό βάρος τοῦ δοκίμιου καί βρίσκονται τά ποσοστά τῶν κόκκων % πού παραμένουν καί διέρχονται ἀπό κάθε κόσκινο, ὅπως φαίνεται στόν παρακάτω πίνακα: → 100 − 10,4 − 12,4 = 77,2%

26/250 = 10,4%

Διάμετρος ὀπῆς κόσκινου *mm*	Ἔδαφος Α			Ἔδαφος Β		
	βάρος *(gr)*	ποσοστό % πού παραμένει	ποσοστό % πού διέρχεται	βάρος *(gr)*	ποσοστό % πού παραμένει	ποσοστό % πού διέρχεται
37,50	0	0	100,0			
19,00	26	10,4	89,6			
9,50	31	12,4	77,2			
4,75	11	4,4	72,8	0	0	100,0
2,36	18	7,2	65,6	8	4,6	95,4
1,18	24	9,6	56,0	7	4,0	91,4
0,60	21	8,4	47,6	11	6,3	85,1
0,30	41	16,4	31,2	21	12,0	73,1
0,21	32	12,8	18,4	63	36,0	37,1
0,15	16	6,4	12,0	48	27,4	9,7
0,075	15	6,0	6,0	14	8,0	1,7
0,02	8	3,2	2,8	2	1,1	0,6
0,006	4	1,6	1,2	1	0,6	—
0,002	2	0,8	0,4			
<0,002	1	0,4	—			
Σύνολο	250	100,00		175	100,0	

Τά ἀποτελέσματα αὐτά φαίνονται στό σχῆμα 1.5.



Σχῆμα 1.5

β) Ὁ βαθμός ὁμοιομορφίας ἑνός ἐδάφους μπορεῖ νά χαρακτηρισθεῖ μέ τό συντελεστή ὁμοιομορφίας του (συντελεστής *Hazen*), πού ὁρίζεται ἀπό τή σχέση :

$$\text{συντελεστής ὁμοιομορφίας} \qquad Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

ὅπου: $D_{60} = max$ διάμετρος κόκκων σέ ποσοστό $<$ τοῦ 60%,
$D_{10} = max$ διάμετρος κόκκων σέ ποσοστό $<$ τοῦ 10%.

— Γιά τό ἔδαφος Α:

$$D_{10} = 0{,}10\ mm\ , \qquad D_{60} = 1{,}60\ mm \rightarrow Cu = 16.$$

— Γιά τό ἔδαφος Β:

$$D_{10} = 0{,}15\ mm\ , \qquad D_{60} = 0{,}25\ mm \rightarrow Cu = 1{,}67.$$

Ἑπομένως τό ἔδαφος Α ἔχει καλά διαβαθμισμένη κοκκομετρική καμπύλη ἐνῶ τό ἔδαφος Β εἶναι ὁμοιόμορφο ὡς πρός τό μέγεθος τῶν κόκκων.

1.7 Ἕνα ἀργιλῶδες ἔδαφος ἔχει ὅριο ὑδαρότητας $W_L = 58{,}60$, ὅριο πλαστικότητας $W_P = 23{,}10$ καί δείκτη ἀντίστασης $I_C = 0{,}44$. Νά ὑπολογιστοῦν:
α) Ὁ δείκτης πλαστικότητας IP.
β) Ὁ δείκτης ὑδαρότητας IL.
γ) Ἡ περιεκτικότητα σέ νερό w.

ΛΥΣΗ

α) Ὁ δείκτης πλαστικότητας $IP = W_L - W_P$ ἄρα

$$IP = 58{,}60 - 23{,}10 = 35{,}50.$$

Ἀπό τόν πίνακα *IV* φαίνεται ὅτι τό ἔδαφος μπορεῖ νά χαρακτηρισθεῖ σάν πλαστικό, γιατί:

$$15 < IP = 35{,}5 < 40.$$

β) Ὁ δείκτης ὑδαρότητας προκύπτει ἀπό τή σχέση πού δίνει τό δείκτη ἀντίστασης:

$$I_C = 1{,}0 - IL \quad \Rightarrow \quad IL = 1{,}0 - I_C = 1{,}0 - 0{,}44 = 0{,}56.$$

γ) Ἡ περιεκτικότητα σέ νερό προκύπτει ἀπό τόν τύπο πού δίνει τό δείκτη ὑδαρότητας

$$IL = \frac{W_L - w}{IP}$$

ἄρα $\quad w = W_L - IL \cdot IP = 58{,}60 - 0{,}56 \cdot 35{,}50 = 38{,}72\ \%$.

1.8 Δύο ἐδάφη ἔχουν τίς παρακάτω ἰδιότητες:

	A	*B*
Ὅριο ὑδαρότητας	*0,62*	*0,34*
Ὅριο πλαστικότητας	*0,26*	*0,19*
Περιεκτικότητα σέ νερό	*38 %*	*25 %*
Φαιν. βάρος στερεῶν συστατικῶν	*2,72 gr/cm³*	*2,67 gr/cm³*
Βαθμός κορεσμοῦ	*1*	*1*

Ποιό ἀπό τά δύο ἐδάφη: α) περιέχει περισσότερα ἀργιλικά συστατικά, β) ἔχει μεγαλύτερο φαινόμενο βάρος γ, γ) ἔχει μεγαλύτερο ξηρό φαινόμενο βάρος γ_d καί δ) ἔχει μεγαλύτερο δείκτη πόρων e.

ΛΥΣΗ

α) Ἡ ποσότητα τῶν ἀργιλικῶν συστατικῶν ἑνός ἐδάφους εἶναι σέ γενικές γραμμές ἀνάλογη μέ τήν τιμή τοῦ δείκτη πλαστικότητας IP, ἄρα

— ἔδαφος Α: $IP = W_L - W_P = 0{,}62 - 0{,}26 = 0{,}36$

— ἔδαφος Β: $IP = W_L - W_P = 0{,}34 - 0{,}19 = 0{,}15$

Ἄρα τό ἔδαφος Α περιέχει περισσότερα ἀργιλικά συστατικά.

β) Ἀπό τόν πίνακα Ι γιά κορεσμένα ἐδάφη ἔχουμε:

$$\gamma = \frac{w + 1}{w + \dfrac{1}{\gamma_s}}$$

—Ἔδαφος Α: $$\gamma = \frac{0{,}38 + 1}{0{,}38 + \dfrac{1}{2{,}72}} = \frac{1{,}38}{0{,}75} = 1{,}85\ gr/cm^3$$

—Ἔδαφος Β: $$\gamma = \frac{0{,}25 + 1}{0{,}25 + \dfrac{1}{2{,}67}} = \frac{1{,}25}{0{,}62} = 2{,}02\ gr/cm^3.$$

Ἄρα τό ἔδαφος Β ἔχει τό μεγαλύτερο φαινόμενο βάρος.

γ) Ἀπό τόν πίνακα Ι:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

—Ἔδαφος Α: $$\gamma_d = \frac{1{,}85}{1 + 0{,}38} = 1{,}34\ gr/cm^3$$

—Ἔδαφος Β: $\gamma_d = \dfrac{2{,}02}{1+0{,}25} = 1{,}62\ gr/cm^3$.

Ἄρα τό ἔδαφος Β ἔχει ἐπίσης καί τό μεγαλύτερο ξηρό φαινόμενο βάρος.

δ) Ἀπό τόν πίνακα Ι (γιά κορεσμένα ἐδάφη)

$$e = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \cdot w .$$

—Ἔδαφος Α: $e = \dfrac{2{,}72}{1{,}00} \cdot 0{,}38 = 1{,}03$

—Ἔδαφος Β: $e = \dfrac{2{,}67}{1{,}00} \cdot 0{,}25 = 0{,}67$

Ἄρα τό ἔδαφος Α ἔχει τό μεγαλύτερο δείκτη πόρων e.

1.3 Συστήματα ταξινόμησης

Ἡ ἀνάγκη ταξινόμησης τῶν ἐδαφῶν ὑπαγορεύεται ἀπό τούς παρακάτω λόγους:

— Γιά ὁρισμένα μεγάλα τεχνικά ἔργα, ὅπως ἔργα ὁδοποιΐας, κατασκευή ἀεροδρομίων κλπ., τά ἐδαφοτεχνικά στοιχεῖα δέν εἶναι ἀπαραίτητο νά λαμβάνονται ἀπό πλήρη ἐδαφοτεχνική ἔρευνα, πού εἶναι πολυδάπανη καί ἴσως περιττή, γιατί ἐνδεχόμενες ζημιές μποροῦν νά διορθωθοῦν μέ τρόπο σχετικά ἁπλό.

— Σέ ὅσες περιπτώσεις εἶναι ἀπαραίτητη μιά ὁλοκληρωμένη ἐδαφοτεχνική ἔρευνα, ἡ ταξινόμηση ἐπιτρέπει τό γενικό χαρακτηρισμό τοῦ ἐδάφους καί καθορίζει ποιές δοκιμές θά γίνουν στή συνέχεια.

Ὑπάρχουν πολλά συστήματα ταξινόμησης τῶν ἐδαφῶν πού βασίζονται στήν κοκκομετρική ἀνάλυση καί τά ὅρια τοῦ *Atterberg*.

Ταξινόμηση ἐδαφῶν κατά Casagrande

Στό σύστημα ταξινόμησης τοῦ *Casagrande* τό ἔδαφος πού μελετᾶται, χαρακτηρίζεται μέ δύο γράμματα: τό πρῶτο δίνεται μέ βάση τό ἐδαφικό κλάσμα πού κυριαρχεῖ ἐνῶ τό δεύτερο μέ βάση τίς μηχανικές ἰδιότητες. Οἱ συμβολισμοί τοῦ *Casagrande* δίνονται στόν παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ VII

ΕΔΑΦΟΣ

ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΟ

- Χαλίκια *(G)*
- Ἄμμος *(S)*

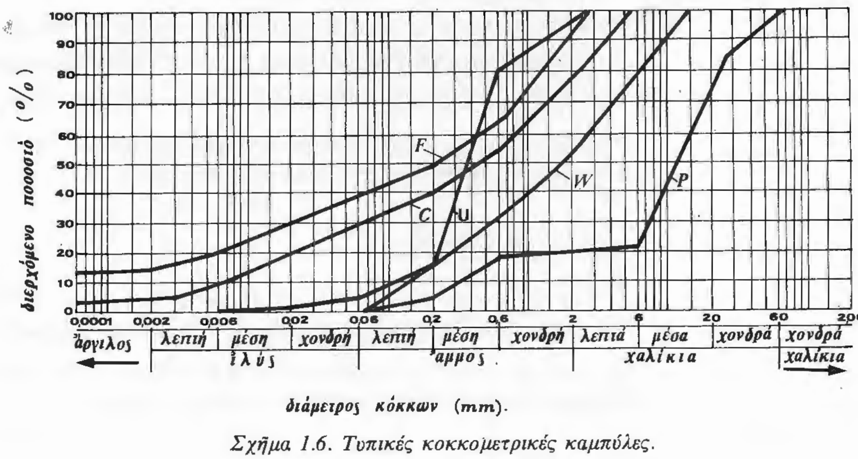
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ

- Ἰλύς *(M)*
- Ἀνόργανη Ἄργιλος *(C)*
- Ὀργανική Ἰλύς ἤ Ἄργιλος *(O)*

W = ὑλικό καλῆς κοκκομετρικῆς διαβάθμισης
P = ὑλικό κακῆς » »
U = ὁμοιόμορφο ὑλικό
C = ὑλικό καλῆς κοκκομετρικῆς διαβάθμισης μέ λίγη ἄργιλο
F = ὑλικό καλῆς κοκκομετρικῆς διαβάθμισης μέ λεπτόκοκκα στοιχεῖα.

L = χαμηλή πλαστικότητα ($W_L < 35$)
I = μέση πλαστικότητα ($35 < W_L < 50$)
H = ὑψηλή πλαστικότητα ($W_L > 50$)

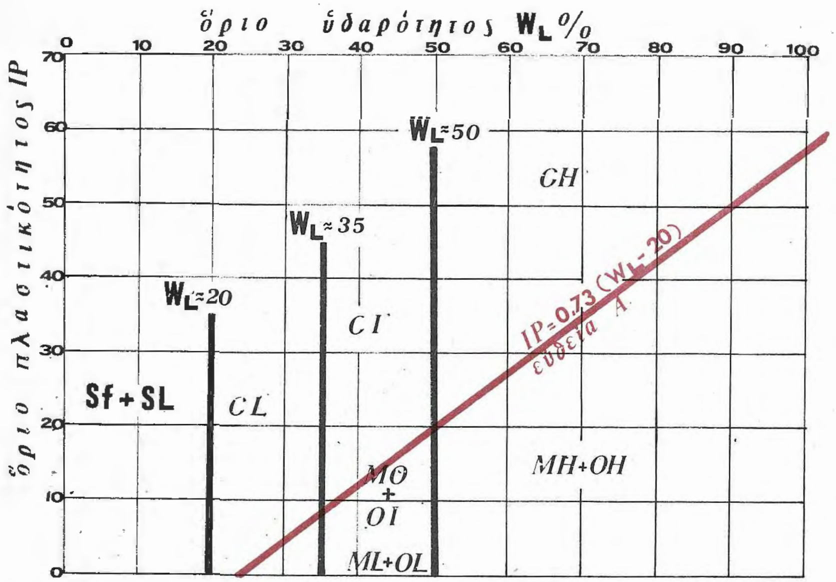
Γιά νά χαρακτηρίσουμε τό ἔδαφος κατά *Casagrande* δίνουμε τό πρῶτο γράμμα ἀνάλογα μέ τόν τύπο τοῦ ἐδάφους, π.χ. ἄμμος, ἄργιλος κλπ. Τό πρῶτο γράμμα ἑπομένως εἶναι ἕνα ἀπό τά *G, S, M, C, O*, ὅπως ὁρίζονται καί στόν πίνακα *VII*. Κατόπιν τό δεύτερο γράμμα εἶναι ἕνα ἀπό τά *W, P, U, C, F, L, I, H*. Αὐτό γιά ἕνα χονδρόκοκκο ἔδαφος γίνεται μέ σύγκριση τῆς κοκκομετρικῆς του καμπύλης μέ τίς πρότυπες κοκκομετρικές καμπύλες, ὅπως π.χ. στό σχῆμα 1.6.



διάμετρος κόκκων (mm).

Σχῆμα 1.6. Τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες.

Ἀντίθετα γιά νά χαρακτηρίσουμε ἕνα λεπτόκοκκο ἔδαφος, χρησιμοιοῦμε τό διάγραμμα πλαστικότητας τοῦ *Casagrande* (σχῆμα 1.7).



Σχῆμα 1.7. Διάγραμμα πλαστικότητας κατά Casagrande.

Ἡ εὐθεία Α ὀνομάζεται εὐθεία τοῦ *Casagrande* καί ἔχει ἐξίσωση $IP = 0{,}73\ (W_L - 20)$. Μέ τή βοήθεια τῆς εὐθείας αὐτῆς καί τῶν εὐθειῶν $W_L = 20$, $W_L = 35$ καί $W_L = 50$, τοποθετοῦνται στό διάγραμμα πλαστικότητας *Casagrande* οἱ διάφοροι τύποι ἐδαφῶν, ἀνάλογα μέ τίς ἰδιότητές τους.

Παράδειγμα : Γιά $W_L > 50$ καί *IP* πάνω ἀπό τήν εὐθεία Α ἕνα ἔδαφος χαρακτηρίζεται μέ τό *CH* (σχῆμα 1.7), δηλ. πρόκειται γιά ἀργιλικό ἔδαφος *(C)*, ὑψηλῆς πλαστικότητας *(H)*.

ΑΣΚΗΣΗ

1.9 Γιά νά διαπιστώσουμε τή φύση τοῦ ἐδάφους γιά τήν κατασκευή ἑνός κτιρίου, κάνουμε γεώτρηση βάθους μέχρι 25 m. Ἀπό τή γεώτρηση διαπιστώθηκε ὅτι τό ὑπέδαφος ἀποτελεῖται ἀπό ἕνα ἐπιφανειακό γαιῶδες στρῶμα πάχους 0,80 m καί ἀπό τέσσερα ἐδαφικά στρώματα πού τά χαρακτηριστικά τους δίνονται στήν παρακάτω γεωλογική τομή. Ζητεῖται νά γίνει ἡ κατάταξη τῶν ἐδαφικῶν στρωμάτων κατά Casagrande.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

1 ΒΑΘΟΣ (m) DEPTH (m)	2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ TECHNICAL LOG, KIND OF SAMPLING	3 ΥΔΡΟΦ ΟΡΙΖΩΝ WATER TABLE	4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ GEOLOGICAL LONG	5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ CHARACTERISTICS OF SOIL according USCS System — ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ DESCRIPTION	USCS ΚΑΤΑΤΑΞΗ USCS CLASSIFIC	6 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ GRAIN SIZE ANALYSIS — ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΜΕΡ. ΚΟΣΚΙΝΑ US SIEVES 5.0 <D	5.0 >D> 2.0	2.0 >D> 1.0	1.0 >D> 0.5	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΙΣ mm DIAMETER IN mm 0.5 >D> 0.25	0.25 >D> 0.074	0.074 >D> 0.02	ΥΔΡΟΜΕΤΡΟ HYDROMETER 0.02 >D> 0.005	0.005 >D> 0.002	0.002 >D	7 ΒΑΘΟΣ (m) DEPTH (m)	8 ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ – ΟΡΙΑ ATTERBERG NATURAL MOISTURE CONT. ATTERBERG LIMITS W_P W_N W_L (0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 m o i s t u r e %)	9 ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ SATURATION Sr%	10 ΦΑΙΝΟΜ. ΒΑΡΗ APPAR. WEIGHT — αρχικόν φαινόμ. βάρος initial unit weight γ	αρχικόν φαινόμεν. βάρος ξηρού initial drey unit weight γd	φαινόμεν. βάρος στερεού unit weight of solid γs
				ΑΡΓΙΛΟΣ ΛΙΓΟ ΠΛΑΣΤΙΚΗ CL					2.0	4.0	25.0	19.0	14.0	7.0	29%						2.78
				ΑΡΓΙΛΟΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ CH					3.0	4.0	16.0	5.0	5.0	2.0	65%						2.76
				ΑΜΜΟΣ ΜΕ ΑΡΓΙΛΟ SC		8.0	6.0	10.0	18.0	15.0	23%	20%									2.79
				ΙΛΥΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗ MH				3.0	7.0	11.0	20.0	5.0	4.0	1.0	49%						2.76

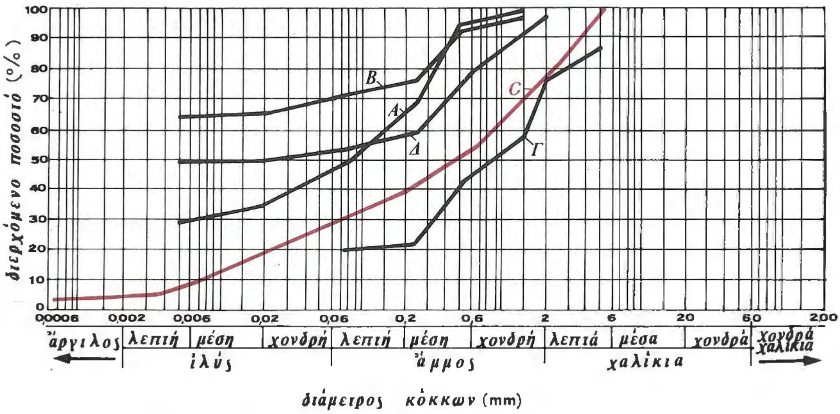
ΛΥΣΗ

Μέ βάση τά ἀποτελέσματα τῆς γεωτεχνικῆς ἔρευνας γεώτρησης, μποροῦμε νά χαράξουμε τίς κακκομετρικές καμπύλες τῶν ἐδαφῶν.

Ὅπως φαίνεται ἀπό τό σχῆμα 1.8, τό ἔδαφος Α εἶναι λεπτόκοκκο (τό ποσοστό κόκκων $< 0{,}2$ *mm* εἶναι 69%). Γιά τήν κατάταξή του ἑπομένως χρησιμοποιοῦμε τό διάγραμμα τοῦ *Casagrande* (σχῆμα 1.7).

Ὅριο ὑδαρότητας $W_L = 34\%$
Δείκτης πλαστικότητας $IP = 34-13 = 21$

Ἄρα τό ἔδαφος εἶναι ἄργιλος λίγο πλαστική *(CL)*.



Σχῆμα 1.8

Τό ἔδαφος Β εἶναι ἐπίσης λεπτόκοκκο, μέ $W_L = 61\%$ καί $IP = 61-25 = 36$, ἄρα εἶναι ἄργιλος ὑψηλῆς πλαστικότητας *(CH)*.

Τό ἔδαφος Γ εἶναι χονδρόκοκκο ὑλικό (τό ποσοστό κόκκων $< 0{,}2$ *mm* εἶναι 20% καί $W_L = 0$, $IP = 0$). Ἡ κοκκομετρική του καμπύλη συγκρινόμενη μέ τίς τυπικές κοκκομετρικές καμπύλες (σχ. 1.6), μοιάζει μέ τήν καμπύλη *C* πού ἀντιστοιχεῖ σέ ἄμμο μέ ἄργιλο *(SC)*.

Τέλος τό ἔδαφος Δ εἶναι ἐπίσης λεπτόκοκκο μέ $W_L = 60\%$ καί $IP = 60-50 = 10$, ἄρα εἶναι ἐλαστική ἰλύς *(MH)*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

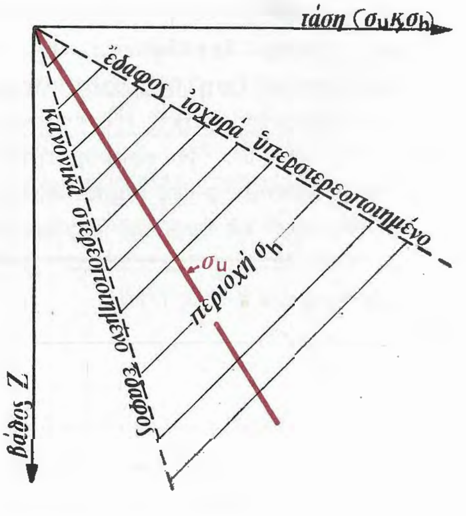
ΕΝΕΡΓΟΣ ΚΑΙ ΟΥΔΕΤΕΡΗ ΤΑΣΗ - ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Ἡ ἐντατική κατάσταση στό ἔδαφος δημιουργεῖται ἀπό τό ἴδιο βάρος του καί ἀπό ἐξωτερικά φορτία πού ἐφαρμόζονται στήν ἐλεύθερη ἐπιφάνειά του (π.χ. ἐπιφανειακές θεμελιώσεις) ἤ καί μέσα σ' αὐτό (π.χ. σήραγγες). Στό κεφάλαιο αὐτό θά ἀσχοληθοῦμε μέ τίς τάσεις τοῦ ἐδάφους λόγω ἴδιου βάρους πού ὀνομάζονται ἐπίσης καί *γεωστατικές τάσεις ἤ τάσεις σέ ἠρεμία.*

2.1 Κατακόρυφες γεωστατικές τάσεις (τάσεις σέ ἠρεμία)

Οἱ κατακόρυφες γεωστατικές τάσεις σέ κάθε βάθος ὑπολογίζονται ἀπό τό βάρος τοῦ ὑπερκείμενου ἐδάφους, ἐπειδή δέν ἀναπτύσσονται, στήν περίπτωση αὐτή, διατμητικές τάσεις μεταξύ ὀριζόντιων καί κατακόρυφων ἐπιπέδων.

Οἱ κατακόρυφες γεωστατικές τάσεις μεταβάλλονται γραμμικά μέ τό βάθος.



Σχῆμα 2.1

2.2 Ὁριζόντιες γεωστατικές τάσεις (τάσεις σέ ἠρεμία)

Οἱ ὁριζόντιες γεωστατικές τάσεις ὑπολογίζονται ἀπό τίς κατακόρυφες μέ τόν τύπο

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot k_0 \,, \tag{2.1}$$

ὅπου

σ_h = οἱ ὁριζόντιες γεωστατικές τάσεις,
σ_v = οἱ κατακόρυφες γεωστατικές τάσεις,
k_0 = συντελεστής πλευρικῶν ὠθήσεων σέ ἠρεμία, πού ἡ τιμή του ἐξαρτᾶται ἀπό τή φύση τοῦ ἐδάφους καί δέν μπορεῖ νά ὑπολογιστεῖ μέ ἀκρίβεια. Συνήθως k_0 = 0,50. Μποροῦν ἐπίσης νά χρησιμοποιηθοῦν οἱ παρακάτω τύποι:

$k_0 = 1 - \sin \varphi'$ *JAKY (1944)*

$k_0 = \dfrac{v}{1-v}$ *TERZAGHI (1943)*

$k_0 = 0{,}19 + 0{,}233 \log IP$ *KENNEY (1959)*

ὅπου φ' = ἡ γωνία ἐσωτερικῆς τριβῆς τοῦ ἐδάφους,
v = ὁ συντελεστής *Poisson* τοῦ ἐδάφους,
IP = δείκτης πλαστικότητας τοῦ ἐδάφους.

2.3 Ἐνεργός καί οὐδέτερη τάση

Οἱ δυνάμεις πού ἐνεργοῦν σέ μία κορεσμένη ἐδαφική μάζα, χωρίζονται:

— σέ ἐκεῖνες πού μεταδίδονται ἀπευθείας ἀπό κόκκο σέ κόκκο, καί
— σέ κεῖνες πού δροῦν μέσω τοῦ ρευστοῦ πού γεμίζει τά κενά τῶν κόκκων.

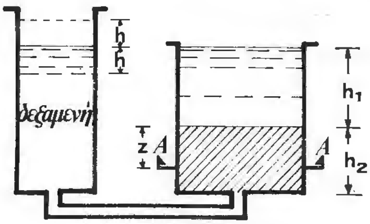
Οἱ πρῶτες ὀνομάζονται *ἐνεργοί τάσεις* (τάσεις μεταξύ τῶν κόκκων) καί οἱ δεύτερες *τάσεις τοῦ νεροῦ τῶν πόρων ἤ οὐδέτερες τάσεις*. Ἡ διάκριση αὐτή εἶναι σημαντική γιατί μόνο ἀπό τίς ἐνεργούς τάσεις ἐξαρτᾶται ἡ διατμητική ἀντοχή καί οἱ παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους.

Γενικά οἱ δύο τύποι τῶν τάσεων μποροῦν νά ἀποδοθοῦν σχηματικά ὅπως φαίνεται ἀπό τά σχήματα 2.2 καί 2.3 :

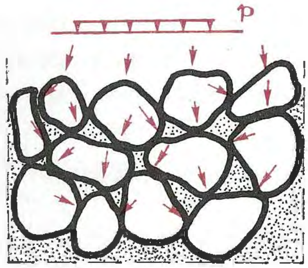
Θεωροῦμε ὅτι ἔχουμε ἕνα δοχεῖο γεμάτο μέχρι τό ὕψος h_2 μέ ἕνα κοκκῶδες ὑλικό καί μέχρι τό ὕψος $h_2 + h_1$ μέ νερό. Στόν πυθμένα τοῦ δοχείου τοποθετεῖται ἕνας σωλήνας πού συνδέεται μέ μιά δεξαμενή, ὅπου τό νερό βρίσκεται στήν ἴδια στάθμη μέ τό νερό τοῦ δοχείου πού περιέχει τό κοκκῶδες ὑλικό. Δέν ὑπάρχει ἑπομένως καμμία ροή τοῦ νεροῦ. Στήν τομή Α—Α, στό βάθος $h_1 + z$ ἡ κατακόρυφη τάση δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$\sigma = h_1 \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_{sat} ,$$

ὅπου γ_w = τό φαινόμενο βάρος τοῦ νεροῦ καί
γ_{sat} = τό φαινόμενο βάρος τοῦ κορεσμένου ἐδάφους.



Σχῆμα 2.2



Σχῆμα 2.3
Ἀπεικόνιση μετάδοσης τῶν ἐνεργῶν ὠθήσεων σ΄.

Ἐπειδή ἡ τάση σ ἐξαρτᾶται ἀπό τό βάρος ὁλόκληρου τοῦ ὑπερκείμενου ὑλικοῦ, ὀνομάζεται *ὁλική τάση*. Ὁ *Terzaghi* ἀπέδειξε πειραματικά ὅτι ἡ ὁλική τάση σ συνδέεται μέ τήν ἐνεργό τάση σ' καί μέ τήν οὐδέτερη τάση u μέ τήν παρακάτω σχέση:

$$\sigma = \sigma' + u \tag{2.2}$$

Ἡ τάση τοῦ νεροῦ τῶν πόρων στήν τομή Α—Α εἶναι:

$$u = h_1 \gamma_w + z \gamma_w = (h_1 + z) \gamma_w$$

Ἡ ἐνεργός τάση προκύπτει

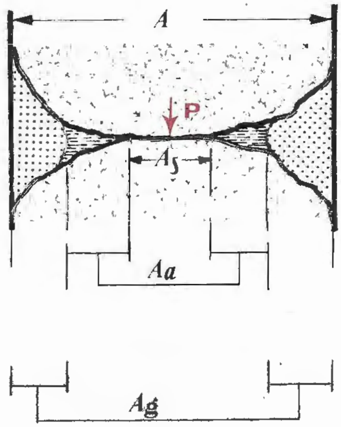
$$\sigma' = \sigma - u = (h_1 \gamma_w + z \gamma_{sat}) - (h_1 \gamma_w + z \gamma_w) =$$
$$= z (\gamma_{sat} - \gamma_w) .$$

Ὁ ὅρος $(\gamma_{sat} - \gamma_w)$ ὀνομάζεται φαινόμενο βάρος βυθισμένου ἐδάφους καί συμβολίζεται μέ γ'. Ἄρα

$$\sigma' = z \gamma' .$$

Μιά φυσική ἀπεικόνιση τῆς ἐνεργοῦ πίεσης ἔδωσε ὁ *Skempton*, πού παριστάνεται σχηματικά στό σχῆμα 2.4:

Θεωροῦμε δύο κόκκους ἄμμου σέ ἐπαφή. Ἔστω A τό ὁλικό ἐμβαδό τοῦ ἐδάφους. Ἡ ἐπιφάνεια ἐπαφῆς τῶν ἐδαφικῶν κόκκων εἶναι A_s καί οἱ ἐπιφάνειες ἐπαφῆς ἐδάφους - νεροῦ καί ἐδάφους - ἀέρα εἶναι ἀντίστοιχα A_a καί A_g. Ἔστω ἐπίσης ὅτι οἱ τάσεις πού παρουσιάζονται λόγω φορτίου P εἶναι σ_s, σ_a καί σ_g γιά τό ἔδαφος, τό νερό καί τόν ἀέρα ἀντίστοιχα.



Σχῆμα 2.4

Ἡ ἰσορροπία τῶν κατακόρυφων δυνάμεων στήν ἐπιφάνεια A δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$P = \sigma_s A_s + \sigma_a A_a + \sigma_g A_g \quad (2.3)$$

Διαιρώντας τή σχέση (2.3) μέ A ἔχουμε:

$$\frac{P}{A} = \sigma = a\,\sigma_s + x\,\sigma_a + (1-x-a)\,\sigma_g \quad (2.4)$$

ὅπου σ = ἡ ὁλική τάση καί a, x, $(1-a-x)$ οἱ λόγοι τῶν ἐμβαδῶν τοῦ ἐδάφους, τοῦ νεροῦ καί τοῦ ἀέρα πρός τό ὁλικό ἐμβαδό. Δηλ. εἶναι

$$a = \frac{a_s}{A}, \quad x = \frac{A_a}{A}, \quad 1-x-a = \frac{A_g}{A}$$

Ἡ σχέση (2.4) μπορεῖ νά γραφεῖ:

$$\begin{aligned} \sigma &= a\,\sigma_s + \sigma_a - a\,\sigma_a - \sigma_a + x\,\sigma_a + (1-x-a)\,\sigma_g = \\ &= a\,\sigma_s + (1-a)\,\sigma_a - (1-a-x)\,\sigma_a + (1-a-x)\,\sigma_g = \\ &= a\,\sigma_s + (1-a)\,\sigma_a + (1-a-x)(\sigma_g - \sigma_a) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Ὅταν τό ἔδαφος εἶναι κορεσμένο ἔχουμε

$$\frac{A_g}{A} = 0,$$

δηλ. $1-a-x = 0$, ὁπότε:

$$\sigma = a\,\sigma_s + (1-a)\,\sigma_a\,. \qquad (2.6)$$

Στά ἐδάφη, γιά τίς συνθῆκες πού μᾶς ἐνδιαφέρουν στά προβλήματά μας, ὁ λόγος $a = \frac{A_s}{A}$ εἶναι πολύ μικρός, ὁπότε στή σχέση (2.6) ὁ ὅρος $(1-a)$ εἶναι πρακτικά ἴσος μέ τή μονάδα.

Ἡ τάση σ_s, δηλ. ἡ τάση μεταξύ τῶν στερεῶν κόκκων εἶναι πολύ μεγάλη καί σχεδόν ἴση μέ τό φορτίο θραύσης τοῦ ἐδαφικοῦ ὑλικοῦ, ὁπότε ὁ ὅρος $a\,\sigma_s$ δέν μηδενίζεται ἀλλά ἀντιπροσωπεύει τήν ἐνεργό τάση σ' καί ἔχουμε $1-a \cong 1$, ἄρα

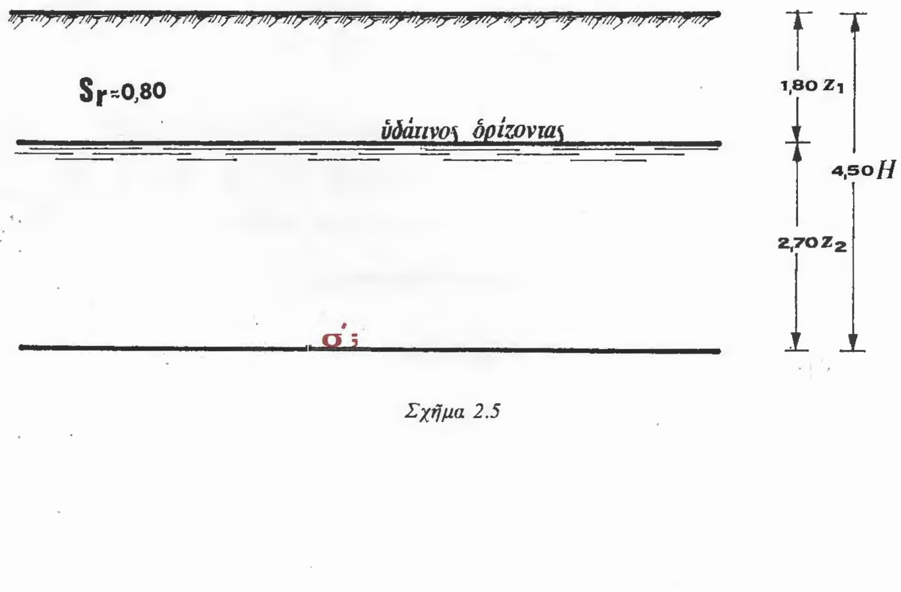
$$\sigma = \sigma' + (1-a)\,\sigma_a = \sigma' + u\,, \qquad (2.7)$$

δηλ. τήν πειραματική σχέση (2.2) τοῦ *Terzaghi*.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

2.1 Σέ ἀμμῶδες στρῶμα μεγάλου πάχους μέ δείκτη πόρων $e = 0{,}65$ καί φαινόμενο βάρος στερεῶν συστατικῶν $\gamma_s = 2{,}60\ gr/cm^3$, ἡ στάθμη τοῦ ὑπόγειου νεροῦ βρίσκεται σέ βάθος 1,80 m ἀπό τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους. Μέχρι τό βάθος αὐτό ἡ ἄμμος εἶναι διαβρεγμένη, μέ βαθμό κορεσμοῦ $S_r = 0{,}80$. Νά ὑπολογιστεῖ ἡ ἐνεργός τάση σέ βάθος $H = 4{,}5$ m ἀπό τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους.

ΛΥΣΗ



Σχῆμα 2.5

Τό ἔδαφος πάνω ἀπό τόν ὑδάτινο ὁρίζοντα (λόγω τριχοειδῶν ἀνυψώσεων) βρίσκεται σέ κατάσταση μερικοῦ κορεσμοῦ. Ἑπομένως:

$$\sigma' = \sigma_1 = \gamma\, z_1$$

Τό φαινόμενο βάρος γ δίνεται ἀπό τόν πίνακα I, κεφ. 1:

$$\gamma = \frac{S_r\, \gamma_w\, \gamma_s\, (1+w)}{S_r\, \gamma_w + \gamma_s\, w}\,.$$

Ἡ περιεκτικότητα σέ νερό

$$w = S_r\, e \frac{\gamma_w}{\gamma_s} = 0{,}80 \cdot 0{,}65 \cdot \frac{1{,}00}{2{,}60} = 0{,}20$$

ἄρα

$$\gamma = \frac{0{,}80 \cdot 1{,}00 \cdot 2{,}60\,(1+0{,}20)}{0{,}80 \cdot 1{,}00 + 2{,}60 \cdot 0{,}20} = \frac{2{,}496}{1{,}32} = 1{,}89\ t/m^3\,,$$

ὁπότε ἡ ἐνεργός τάση:

$$\sigma_1' = 1{,}89 \cdot 1{,}80 = 3{,}402\ t/m^2 = 0{,}34\ kg/cm^2.$$

Κάτω ἀπό τόν ὑδάτινο ὁρίζοντα τό ἔδαφος βρίσκεται σέ κατάσταση κορεσμοῦ, ἄρα $S_r = 1$.

Τό φαινόμενο βάρος γ, ἀπό τόν πίνακα I κεφ. 1, γιά κορεσμένα ἐδάφη εἶναι:

$$\gamma = \gamma_{sat} = \frac{w+1}{w + \dfrac{1}{\gamma_s}}\,.$$

Ἡ περιεκτικότητα σέ νερό εἶναι:

$$w = e \frac{\gamma_w}{\gamma_s} = 0{,}65 \cdot \frac{1{,}00}{2{,}60} = 0{,}25$$

ἄρα

$$\gamma = \gamma_{sat} = \frac{0{,}25 + 1}{0{,}25 + \dfrac{1}{2{,}60}} = \frac{1{,}25}{0{,}63} = 1{,}98\ t/m^3\,.$$

Ἡ ἐνεργός τάση $\sigma_2' = \sigma - u = \gamma' z_2$, στό βάθος $H = 4{,}50\ m$ ἀπό τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους, δηλ. στό βάθος $z_2 = H - z_1 = 4{,}50 - 1{,}80 = 2{,}70\ m$, ἄρα:

$\sigma_2 = \gamma_{sat} \cdot z = 1,98 \times 2,70$ $\quad$ $\sigma_2' = \sigma_2 - u = 1,98 \times 2,70 - 1,00 \times 2,70 =$

$(1,98 - 1,00) \cdot 2,70$

$$\sigma_2' = \gamma' z_2 = (\gamma_{sat} - \gamma_w)\, z_2 = (1{,}98-1{,}00)\cdot 2{,}70 =$$
$$= 2{,}65\ t/m^2 = 0{,}265\ kg/cm^2$$

Ὁπότε ἡ ὁλική ἐνεργός τάση στό βάθος $H = 4{,}50\ m$ εἶναι

$$\sigma_{o\lambda}' = \sigma_1' + \sigma_2' = 0{,}340 + 0{,}265 = 0{,}605\ kg/cm^2.$$

2.2 Τό γεωλογικό προφίλ τοῦ σχήματος 2.6 δίνει τή στρωματογραφία ἑνός φυσικοῦ ἐδάφους πού εἶναι ἡ ἑξῆς: ἀπό τή στάθμη 0,00 ὡς τή στάθμη −8,00 m λεπτή ἄμμος μέ $\gamma_{sat,\ \text{ἄμμου}} = 1{,}95\ t/m^3$ καί φαινόμενο βάρος ξηροῦ ἐδάφους $\gamma_d = 1{,}75\ t/m^3$. Ἀπό τή στάθμη −8,00 m ὡς −14,00 m ἀμμώδης ἰλύς μέ $\gamma_{sat,\ \text{ἰλύος}} = 1{,}85\ t/m^3$. Ἀπό τή στάθμη −14,00 ὡς τή στάθμη −18,00 m ἄργιλος μέ $\gamma_{sat,\ \text{ἀργίλου}} = 1{,}75\ t/m^3$. Νά ὑπολογιστεῖ ἡ ἐνεργός τάση σ' στό μέσο τοῦ στρώματος τῆς ἀργίλου στίς παρακάτω δύο περιπτώσεις:

α) ὅταν ὁ ὑδάτινος ὁρίζοντας συμπίπτει μέ τή στάθμη 0,00,

β) ὅταν ὁ ὑδάτινος ὁρίζοντας εἶναι στή στάθμη −4,00 καί τό ἔδαφος πάνω ἀπό αὐτόν ἔχει βαθμό κορεσμοῦ $S_r = 25\%$.

ΛΥΣΗ

α) 1η λύση

Ἡ ὁλική τάση στή στάθμη −16,00 (στό μέσο τοῦ ἀργιλικοῦ στρώματος) εἶναι:

$$\sigma = \sum \gamma_i z_i ,$$

ὅπου γ_i τό φαινόμενο βάρος κάθε στρώσης καί z_i τό ἀντίστοιχο ὕψος.

Εἶναι δηλ.

$$\sigma = h_1 \gamma_{sat,\ \text{ἄμμου}} + h_2 \gamma_{sat,\ \text{ἰλύος}} + \frac{h_3}{2} \gamma_{sat,\ \text{ἀργ.}}$$

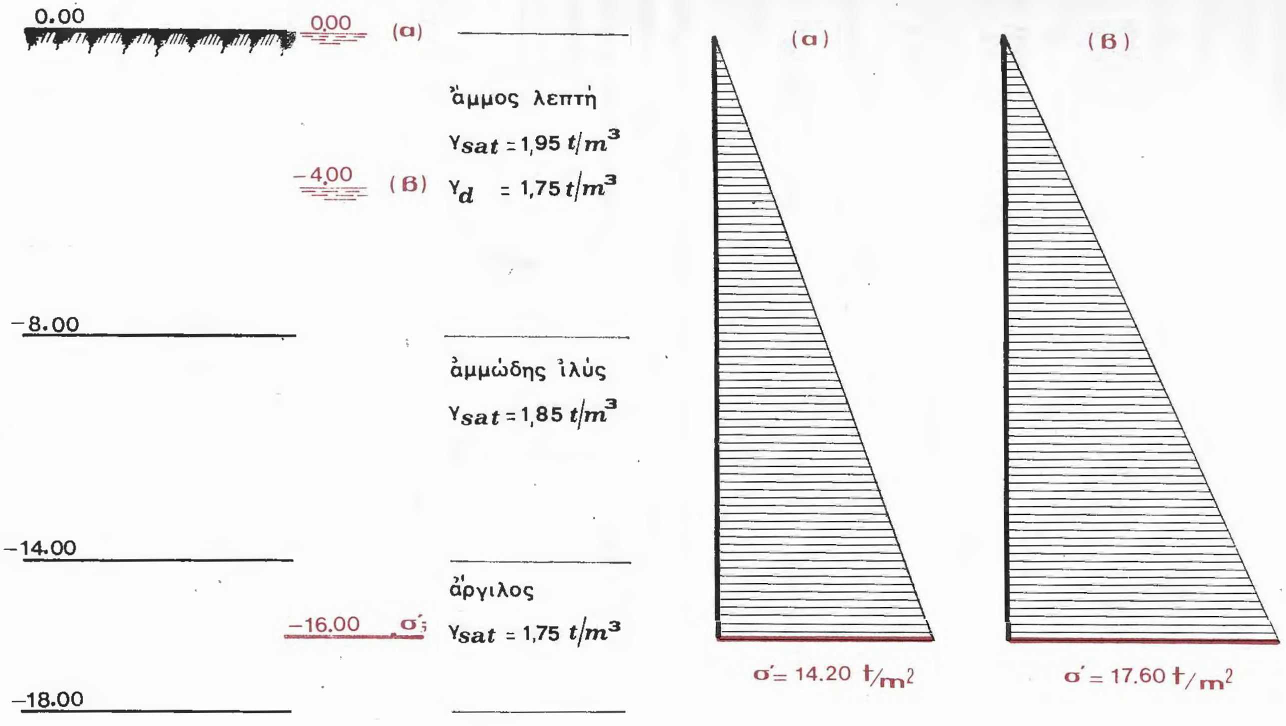
$$\sigma = 8{,}00\cdot 1{,}95 + 6{,}00\cdot 1{,}85 + 2{,}00\cdot 1{,}75 = 30{,}20\ t/m^2 .$$

Ἐπίσης ἡ πίεση τοῦ νεροῦ τῶν πόρων στό μέσο τοῦ ἀργιλικοῦ στρώματος εἶναι:

$$u = 16{,}00\cdot\gamma_w = 16{,}00\cdot 1{,}00 = 16{,}00\ t/m^2.$$

Ἀπό τή σχέση (2.2) $\sigma = \sigma' + u$ ἄρα

$$\sigma' = \sigma - u = 30{,}20 - 16{,}00 = 14{,}20\ t/m^2 .$$


0.00
0,00
(α)
ἄμμος λεπτή
γsat = 1,95 t/m³
-4,00
(β)
γd = 1,75 t/m³
-8.00
ἀμμώδης ἰλύς
γsat = 1,85 t/m³
-14.00
ἄργιλος
-16.00
σ'
γsat = 1,75 t/m³
-18.00
(α)
(β)
σ'= 14.20 t/m²
σ' = 17.60 t/m²

Σχῆμα 2.6

2η λύση

Εἶναι δυνατό νά ὑπολογιστεῖ ἡ ἐνεργός τάση ἀπό τή σχέση:

$$\sigma' = \sum \gamma_i' z_i$$

ὅπου $\gamma_i' = \gamma_{i\,sat} - \gamma_w$, δηλ.

$$\sigma' = \gamma_1' z_1 + \gamma_2' z_2 + \gamma_3' z_3 =$$

$$= 0{,}95\cdot 8{,}00 + 0{,}85\cdot 6{,}00 + 0{,}75\cdot 2{,}00 = 14{,}20\ t/m^2.$$

β) Πάνω ἀπό τόν ὑδάτινο ὁρίζοντα τό φαινόμενο βάρος δίνεται ἀπό τόν τύπο

$$\gamma = \gamma_d + S_r\,(\gamma_{sat} - \gamma_d)\ *$$

δηλ.

$$\gamma = 1{,}75 + 0{,}25\,(1{,}95 - 1{,}75) = 1{,}75 + 0{,}05 = 1{,}80\ t/m^3$$

ἐπομένως

$$\sigma' = 1{,}80\cdot 4{,}00 + 0{,}95\cdot 4{,}00 + 0{,}85\cdot 6{,}00 + 0{,}75\cdot 2{,}00 = 17{,}60\ t/m^2.$$

2.3 Ἡ γεωλογική τομή ἐδαφικοῦ στρώματος ἀποτελεῖται ἀπό ἀμμοχάλικο πάχους 3,00 m πού βρίσκεται πάνω ἀπό ἀργιλική στρώση πάχους 12,00 m. Κάτω ἀπό τήν ἄργιλο ὑπάρχει ψαμμίτης μέ σχετικά μεγάλη διαπερατότητα. Ἡ στάθμη τοῦ ὑπόγειου ὁρίζοντα εἶναι 0,60 m κάτω ἀπό τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους. Τό νερό μέσα στόν ψαμμίτη βρίσκεται ὑπό ἀρτεσιανή

---

* Ἀπόδειξη τῆς σχέσης

$$\gamma = \gamma_d + S_r\,(\gamma_{sat} - \gamma_d).$$

Ἀπό τόν πίνακα II κεφ. 1 εἶναι:

$$\gamma = (1 - n)\,\gamma_s + S_r\, n\, \gamma_w$$

ἀπό τόν πίνακα I κεφ. 1

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$$

ἄρα

$$\gamma = \left[1 - \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right)\right]\gamma_s + S_r\,\gamma_w\left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) =$$

$$= \gamma_d + S_r\left(\gamma_w - \frac{\gamma_w\,\gamma_d}{\gamma_s}\right) = \gamma_d + S_r\left[\frac{\gamma_w\,(\gamma_s - \gamma_d)}{\gamma_s}\right] =$$

$$= \gamma_d + S_r(\gamma_w\, n).$$

Προσθέτοντας καί ἀφαιρώντας τό γ_d, ἔχουμε

$$\gamma = \gamma_d + S_r\,(\gamma_d + n\,\gamma_w - \gamma_d) = \gamma_d + S_r\,(\gamma_{sat} - \gamma_d).$$

1,65

πίεση πού ἀντιστοιχεῖ σέ στάθμη 6,00 m πάνω ἀπό τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους. Τά φαινόμενα βάρη εἶναι: ἀμμοχάλικο πάνω ἀπό τή στάθμη τοῦ ὑπόγειου ὁρίζοντα $\gamma_{\alpha\mu} = 1{,}60\ t/m^3$, ἀμμοχάλικο κάτω ἀπό τή στάθμη τοῦ ὑπόγειου ὁρίζοντα $\gamma_{sat,\ \text{ἄμμου}} = 2{,}00\ t/m^3$ καί ἄργιλος $\gamma_{\text{ἀργ.}} = 2{,}20\ t/m^3$.

1,35 2,10

α) Νά σχεδιαστοῦν: τό διάγραμμα τῶν ὁλικῶν τάσεων τῆς πίεσης τοῦ νεροῦ πόρων καί τῶν ἐνεργῶν τάσεων μέ τό βάθος στίς παρακάτω περιπτώσεις:

1. Μέ τίς ἀρχικές συνθῆκες.

2. Ὑποθέτοντας ὅτι ἡ στάθμη τοῦ ὑπόγειου ὁρίζοντα κατεβαίνει 2,00 m, ἀλλά ἡ πίεση στόν ψαμμίτη παραμένει ἀμετάβλητη.

β) Σέ ποιό βάθος μπορεῖ νά γίνει μιά ἐκσκαφή μεγάλου πλάτους μέσα στήν ἀργιλική στρώση χωρίς νά παρατηρηθεῖ θραύση στόν πυθμένα ἐκσκαφῆς (γιά τίς ἀρχικές συνθῆκες).

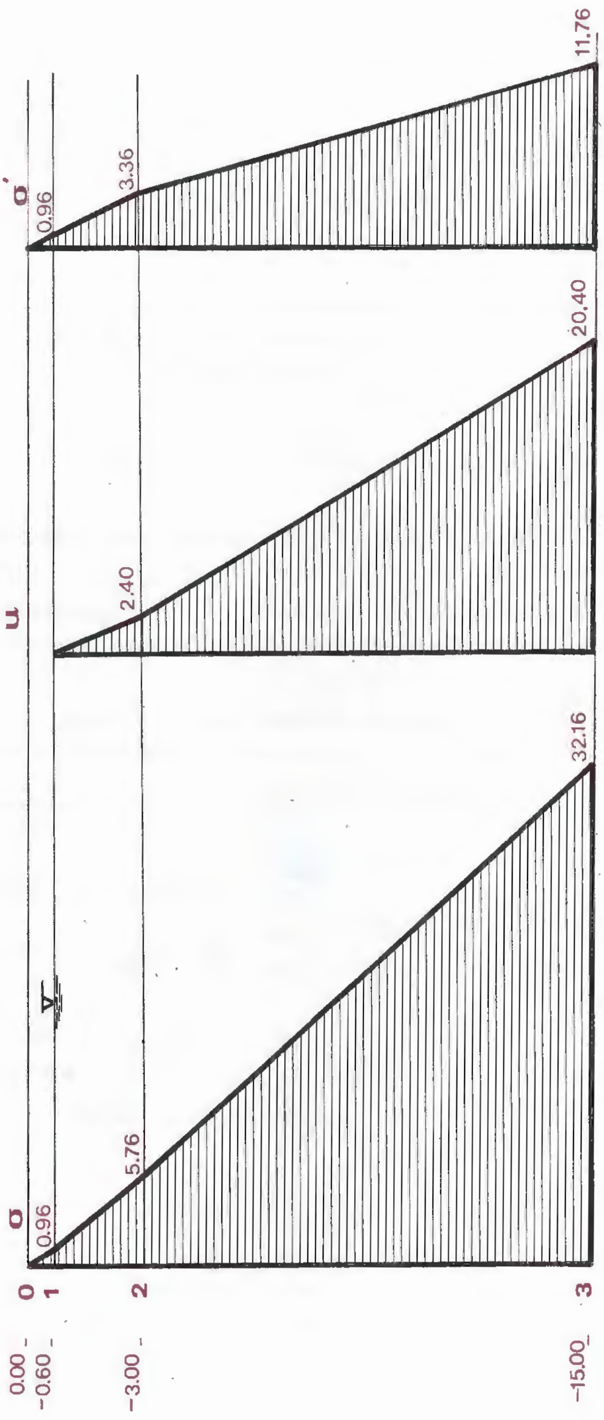
ΛΥΣΗ

α) 1. Γιά νά σχεδιαστοῦν τά διαγράμματα τῶν ὁλικῶν τάσεων, τῆς πίεσης τοῦ νεροῦ πόρων καί τῶν ἐνεργῶν τάσεων μέ τό βάθος, πρέπει νά ὑπολογιστοῦν οἱ τιμές τῶν μεγεθῶν αὐτῶν στά χαρακτηριστικά σημεῖα 1, 2, 3. Τά μεγέθη αὐτά μεταβάλλονται γραμμικά ἀνάμεσα στά σημεῖα αὐτά.

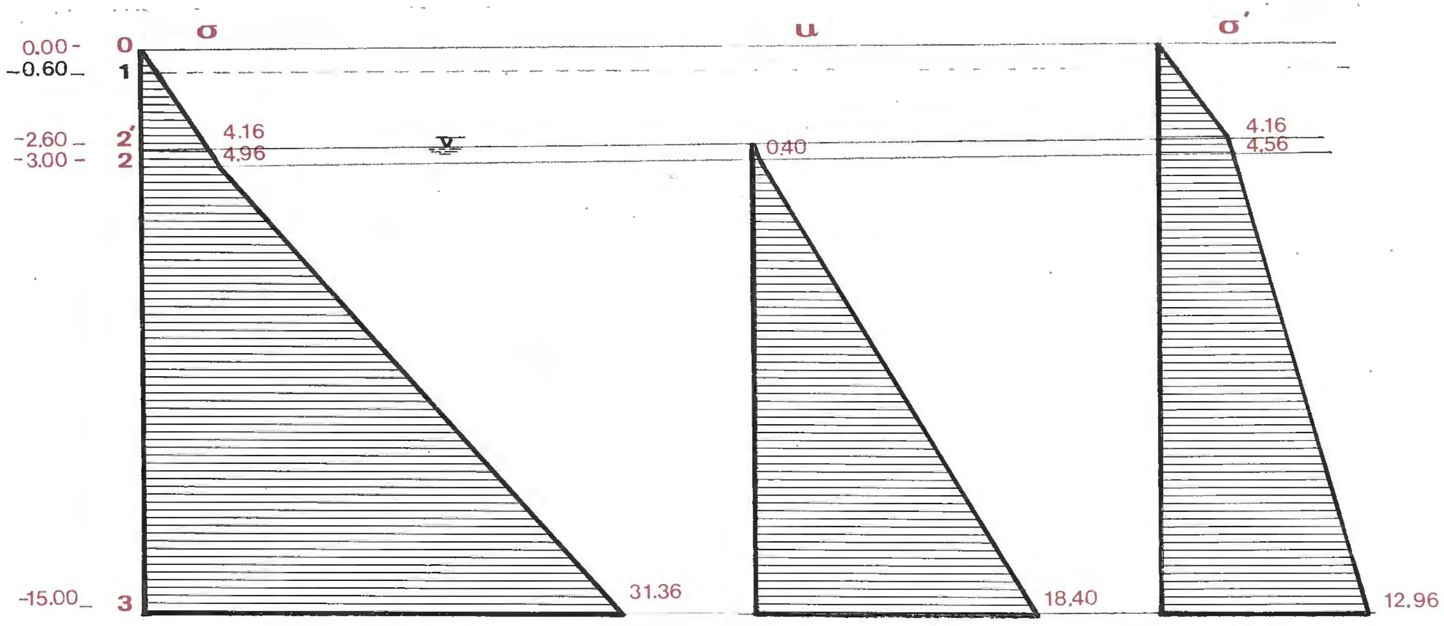
Σημεῖο 1:	ὁλική τάση	$\sigma_1 = \gamma z = 1{,}60 \cdot 0{,}60 = 0{,}96\ t/m^2$
	πίεση νεροῦ πόρων	$u_1 = 0$
	ἐνεργός τάση	$\sigma_1' = \sigma_1 - u_1 = 0{,}96 - 0 = 0{,}96\ t/m^2$
Σημεῖο 2:	ὁλική τάση	$\sigma_2 = 1{,}60 \cdot 0{,}60 + 2{,}00 \cdot 2{,}40 = 5{,}76\ t/m^2$
	πίεση νεροῦ πόρων	$u_2 = 1{,}00 \cdot 2{,}40 = 2{,}40\ t/m^2$
	ἐνεργός τάση	$\sigma_2' = 5{,}76 - 2{,}40 = 3{,}36\ t/m^2$
Σημεῖο 3:	ὁλική τάση	$\sigma_3 = 5{,}76 + 2{,}20 \cdot 12{,}00 = 32{,}16\ t/m^2$
	πίεση νεροῦ πόρων	$u_3 = 1{,}00 \cdot 14{,}40 + 6{,}00 = 20{,}40\ t/m^2$
	ἐνεργός τάση	$\sigma_3' = 32{,}16 - 20{,}40 = 11{,}76\ t/m^2$

2.

Σημεῖο 1:	ὁλική τάση	$\sigma_1 = 0{,}96\ t/m^2$
	πίεση νεροῦ πόρων	$u_1 = 0$
	ἐνεργός τάση	$\sigma_1' = 0{,}96\ t/m^2$



Σχῆμα 2.7


σ
u
σ΄
0.00
-0.60
-2.60
-3.00
-15.00
0
1
2΄
2
3
4.16
4.96
31.36
0.40
18.40
4.16
4.56
12.96

Σχῆμα 2.8

Σημεῖο 2': ὁλική τάση $\sigma_2 = 0{,}96+1{,}60\cdot 2{,}00 = 4{,}16\ t/m^2$

πίεση νεροῦ πόρων $u_2 = 0$

ἐνεργός τάση $\sigma_2 = 4{,}16 - 0 = 4{,}16\ t/m^2$

Σημεῖο 2: ὁλική τάση $\sigma_2 = 4{,}16+2{,}00\cdot 0{,}40 = 4{,}96\ t/m^2$

πίεση νεροῦ πόρων $u_2 = 1{,}00\cdot 0{,}40 = 0{,}40\ t/m^2$

ἐνεργός τάση $\sigma_2' = 4{,}96 - 0{,}40 = 4{,}56\ t/m^2$

Σημεῖο 3: ὁλική τάση $\sigma_3 = 4{,}96+2{,}20\cdot 12{,}00 = 31{,}36\ t/m^2$

πίεση ὕδατος πόρων $u_3 = 1{,}00\cdot 12{,}40+6{,}00 = 18{,}40\ t/m^2$

ἐνεργός τάση $\sigma_3' = 31{,}36 - 18{,}40 = 12{,}96\ t/m^2$

β) Ὑποθέτουμε ὅτι τό πλάτος τῆς ἐκσκαφῆς εἶναι ἀρεκτά μεγάλο ὥστε νά μήν ἀναπτύσσονται διατμητικές τάσεις. Γιά νά μήν ἔχουμε θραύση στό ἐπίπεδο ἐκσκαφῆς, θά πρέπει ἡ ἐνεργός τάση στό ἐπίπεδο τοῦ ψαμμίτη νά εἶναι ἴση μέ τήν πίεση τοῦ νεροῦ πόρων στή θέση αὐτή, δηλ. ἄν D εἶναι τό βάθος τῆς ἐκσκαφῆς ἀπό τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους, ἔχουμε:

$$(15{,}00 - D)\ 2{,}20 = 20{,}40$$

ἄρα

$$D = 15{,}00 - 9{,}27 = 5{,}73.$$

●

2.4 Διαπερατότητα

Τά προβλήματα τῆς ροῆς τοῦ νεροῦ στό ἔδαφος ἀποτελοῦν ἀντικείμενο τῆς ὑπόγειας ὑδραυλικῆς. Εἰδικά ἡ Ἐδαφομηχανική ἐνδιαφέρεται:

1. Γιά τόν προσδιορισμό τῶν ὑπόγειων παροχῶν, σχετικά μέ τή διαπερατότητα, τήν ἀποστράγγιση τοῦ ἐδάφους, τή στεγανότητα τῶν χωμάτινων κατασκευῶν κλπ.
2. Γιά τή μελέτη τῶν δυνάμεων ροῆς, δηλαδή τῶν δυνάμεων πού ἀσκεῖ τό νερό πού βρίσκεται σέ κίνηση, στούς κόκκους τοῦ ἐδάφους. (Τό πρόβλημα παρουσιάζεται στή μελέτη τῆς ἰσορροπίας τῶν πρανῶν, στό φαινόμενο διασωλήνωσης, κλπ.)

3. Στή μελέτη στερεοποίησης τῶν ἐδαφῶν, δηλαδή στή μελέτη τῆς ἐκροῆς τοῦ νεροῦ λόγω ἐπιφόρτισης τοῦ ἐδάφους, πού ἀναπτύσσεται εἰδικά τό κεφάλαιο 8.

Στή συνέχεια ἐξετάζονται μερικά πρακτικά παραδείγματα σχετικά μέ τίς παραπάνω περιπτώσεις.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

2.4 Νά ὑπολογιστεῖ ὁ συντελεστής διαπερατότητας k μιᾶς ἄμμου πού ἔχει τήν παρακάτω κοκκομετρική σύνθεση:

N° κόσκινου	*Διάμετρος ὀπῆς κόσκινου (mm)*	*Ποσοστό πού διέρχεται %*
20	*0,840*	*99,90*
40	*0,420*	*95,00*
60	*0,250*	*60,00*
80	*0,177*	*20,00*
200	*0,074*	*1,50*

ΛΥΣΗ

Γιά τόν ὑπολογισμό τῆς διαπερατότητας τῶν ὁμοιόρφων ἄμμων μέ συντελεστή ὁμοιομορφίας $C_u < 2$ ἔχει προταθεῖ ἀπό τόν *Hazen* ἡ παρακάτω ἐμπειρική σχέση:

$$k = c\,D_{10}^2 ,$$

ὅπου c = συντελεστής μέ μέση τιμή 100, καί

D_{10}=διάμετρος ἀπό ὅπου περνάει τό 10% τῶν κόκκων σέ *cm*.

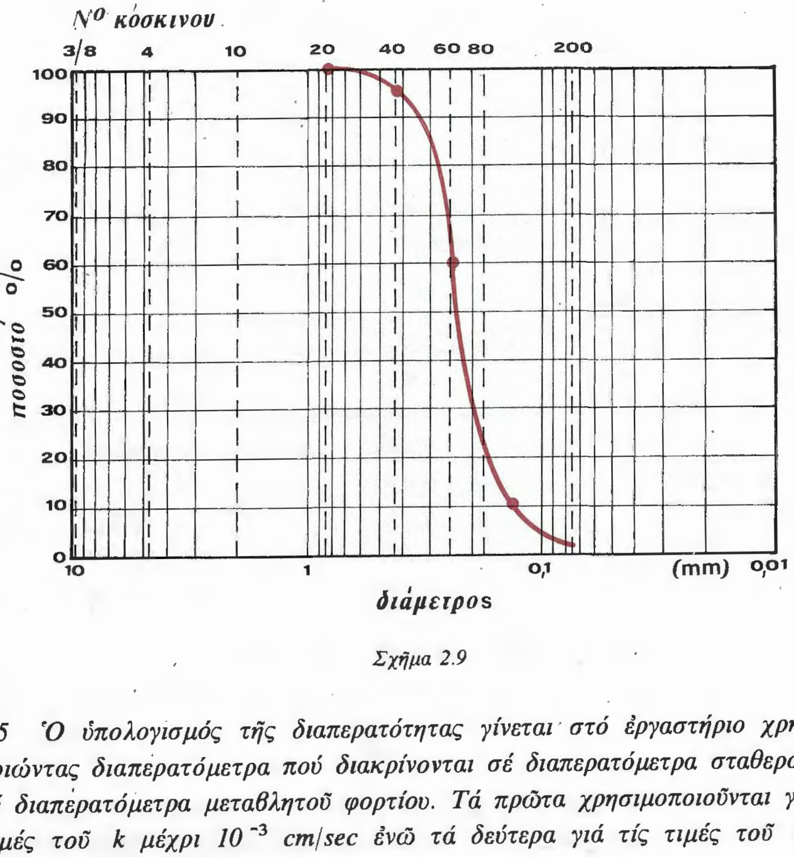
Σχεδιάζοντας τήν κοκκομετρική καμπύλη γιά τά δεδομένα τῆς ἄσκησης ἔχουμε τήν καμπύλη τοῦ σχήματος 2.9.

Ὁ συντελεστής ὁμοιομορφίας εἶναι:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,25}{0,14} = 1,8 < 2.$$

Ἄρα, μέ ἱκανοποιητική προσέγγιση:

$$k = 100 \cdot 0{,}014^2 = 1{,}96 \cdot 10^{-2}\ cm/sec.$$



Σχῆμα 2.9

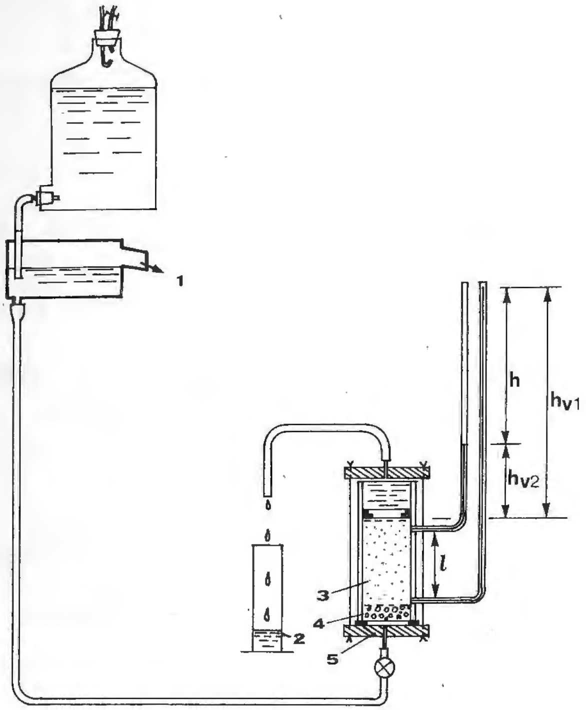
2.5 *Ὁ ὑπολογισμός τῆς διαπερατότητας γίνεται στό ἐργαστήριο χρησιμοποιώντας διαπερατόμετρα πού διακρίνονται σέ διαπερατόμετρα σταθεροῦ καί σέ διαπερατόμετρα μεταβλητοῦ φορτίου. Τά πρῶτα χρησιμοποιοῦνται γιά τίς τιμές τοῦ k μέχρι 10^{-3} cm/sec ἐνῶ τά δεύτερα γιά τίς τιμές τοῦ k ἀπό 10^{-3}—10^{-6} cm/sec.*

ΛΥΣΗ

Στό σχῆμα 2.10 φαίνεται ἕνα διαπερατόμετρο σταθεροῦ φορτίου. Στό διαπερατόμετρο σταθεροῦ φορτίου τό πιεζομετρικό ὕψος h καί ἡ ὑδραυλική βαθμίδα $i = \frac{h}{l}$ παραμένουν σταθερά καί μετροῦμε τήν παροχή Q γιά ἕνα δρισμένο χρονικό διάστημα t. Ἡ διαπερατότητα k δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$k = \frac{Q}{i\,A\,t}$$

ὅπου A=ἡ διατομή τοῦ δοκίμιου.



Σχῆμα 2.10. Διαπερόμετρο σταθεροῦ φορτίου.

1. Ὑπερχείλιση. 2. Κύλινδρος μέτρησης. 3. Δοκίμιο. 4. Πορώδης λίθος. 5. Βάση.

Γιά $h = 80{,}00\ cm$, $l = 6{,}00\ cm$, $A = 78{,}50\ cm^2$, $Q = 314\ cm^3$ καί $t = 60\ sec$, ἔχουμε:

$$k = \frac{314}{\frac{80{,}0}{6{,}00}78{,}50\cdot 60} = 5\cdot 10^{-3}\ cm/sec\ .$$

2.6 Νά προσδιοριστεῖ ὁ συντελεστής διαπερατότητας k μιᾶς λεπτῆς ἄμμου μέ τή μέθοδο τοῦ διαπερατόμετρου μεταβλητοῦ φορτίου, πού φαίνεται στό σχῆμα 2.11, ἄν $l = 4{,}00\ cm$, $A = 78{,}50\ cm^2$, $a = 0{,}95\ cm^2$ καί γιά

$$t_1 = 0 \qquad h_1 = 110{,}00\ cm$$

$$t_2 = 720\ sec \qquad h_2 = 65{,}00\ cm\ .$$

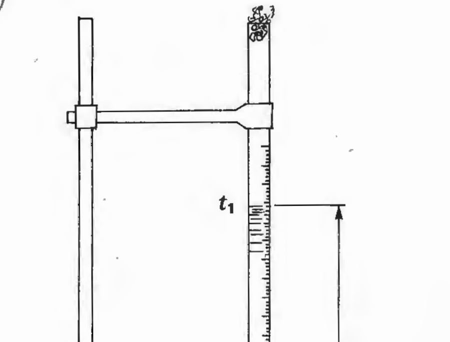
ΛΥΣΗ

Ἡ διαπερατότητα στό διαπερατόμετρο μεταβλητοῦ φορτίου δίνεται ἀπό τή σχέση

$$k = \frac{2{,}3\ a\ l}{A\ t}\ log\ \frac{h_1}{h_2}\ ,$$

δηλαδή

$$k = \frac{2{,}30\cdot 0{,}95\cdot 4{,}00}{78{,}50\cdot 720}\cdot log\ \frac{110{,}00}{65{,}00} = 3{,}50\cdot 10^{-5}\ cm/sec.$$



Σχῆμα 2.11. Διαπερατόμετρο μεταβλητοῦ φορτίου.
1. Δοκίμιο. 2. Βάση. 3. Ὑπερχείλιση. 4. Φίλτρο.

2.7 Ἕνα ἔδαφος ἀποτελεῖται ἀπό τρεῖς ὁριζόντιες ἰσοπαχεῖς στρώσεις ἄμμου μέ ἀντίστοιχες τιμές συντελεστῆ διαπερατότητας $k_1 = 2 \cdot 10^{-4}$ cm/sec, $k_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ cm/sec καί $k_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ cm/sec. Νά ὑπολογιστοῦν οἱ τιμές τῆς μέσης διαπερατότητας τοῦ ἐδάφους: α) κατά τήν κατακόρυφη, καί β) κατά τήν ὁριζόντια διεύθυνση.

ΛΥΣΗ

Τά στρωσιγενή ἐδάφη ἀποτελοῦνται ἀπό στρώματα μέ διαφορετική διαπερατότητα. Ὁ προσδιορισμός τοῦ μέσου συντελεστῆ διαπερατότητας τοῦ ἐδάφους ὑπολογίζεται ἀπό τό συντελεστή διαπερατότητας k_i κάθε στρώσης μέ τόν ἀκόλουθο τρόπο:

Ἄν k_1, k_2, ..., k_n οἱ συντελεστές διαπερατότητας τῶν στρωμάτων, H_1, H_2, ..., H_n τά πάχη τῶν διαφόρων στρωμάτων

$H = H_1 + H_2 + \ldots + H_n$ τό συνολικό πάχος,

k_H = ὁ μέσος συντελεστής διαπερατότητας παράλληλα πρός τίς στρώσεις

k_V = ὁ μέσος συντελεστής διαπερατότητας κάθετα πρός τίς στρώσεις,

τότε γιά τή ροή παράλληλα πρός τίς στρώσεις ἔχουμε:

μέση ταχύτητα διήθησης: $\upsilon = k_H \cdot i = \frac{1}{H}(\upsilon_1 H_1 + \upsilon_2 H_2 + \ldots + \upsilon_n H_n)$,

ὅπου i = ἡ ὑδραυλική κλίση πού πρέπει νά εἶναι ἴδια σέ κάθε στρώση.

Ἄρα ἔχουμε

$$k_H \cdot i = \frac{1}{H}(k_1\, i\, H_1 + k_2\, i\, H_2 + \ldots + k_n\, i\, H_n),$$

δηλαδή

$$k_H = \frac{1}{H}(k_1 H_1 + k_2 H_2 + \ldots + k_n H_n).$$

Γιά ροή κάθετα πρός τίς στρώσεις ἡ συνολική ὑδραυλική κλίση εἶναι:

$$i = \frac{h}{H}$$

ὅπου h = ἡ συνολική ἀπώλεια φορτίου

$$h = H_1 i_1 + H_2 i_2 + \ldots + H_n i_n .$$

Ἡ ταχύτητα διήθησης πρέπει νά εἶναι ἴδια σέ κάθε στρώση, δηλαδή

$$\upsilon = \frac{h}{H} \cdot k_V = k_1 i_1 = k_2 i_2 = \ldots = k_n i_n .$$

Ἄρα·

$$k_V = \frac{H}{\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} + \ldots + \frac{H_n}{k_n}}$$

Γιά τό συγκεκριμένο ἔδαφος ἔχουμε:

α) $k_H = \frac{1}{H}\left(2 \cdot 10^{-4} \frac{H}{3} + 2 \cdot 10^{-3} \frac{H}{3} + 3 \cdot 10^{-4} \frac{H}{3}\right) =$

$= \frac{1}{3} 25 \cdot 10^{-4} = 8{,}33 \cdot 10^{-4}\ cm/sec.$

β) $$k_V = \frac{H}{\dfrac{H}{3\cdot 2\cdot 10^{-4}} + \dfrac{H}{3\cdot 2\cdot 10^{-3}} + \dfrac{H}{3\cdot 3\cdot 10^{-4}}} = \frac{H}{\dfrac{H}{3\cdot 10^{-4}}\,(0{,}50+0{,}05+0{,}33)} =$$

$$= 3{,}41\cdot 10^{-4}\ cm/sec.$$

2.8 Νά ὑπολογιστεῖ τό ὕψος τῆς τριχοειδοῦς ἀνύψωσης πού παρατηρεῖται σέ μία ὁμοιόμορφη ἄμμο μέ $D_{10} = 0{,}20\ mm$.

ΛΥΣΗ

Τό ἔδαφος παρουσιάζει ὑγρασία καί πάνω ἀπό τή στάθμη τοῦ ὑπόγειου ὁρίζοντα, πού ὀφείλεται στό φαινόμενο τῆς τριχοειδοῦς ἀνύψωσης τοῦ νεροῦ τῶν πόρων μέσα στά κενά μικρῆς διαμέτρου μεταξύ τῶν κόκκων τοῦ ἐδάφους. Ἡ ἀνύψωση αὐτή προκαλεῖται ἀπό τίς μοριακές ἕλξεις μεταξύ τῶν στερεῶν καί ὑγρῶν στοιχείων στά κοινά σημεῖα ἐπαφῆς τῶν περιμετρικῶν ἐπιφανειῶν.

Τό ὕψος h_c τῆς τριχοειδοῦς ἀνύψωσης δίνεται ἀπό τή σχέση

$$h_c = \frac{4T\cos a}{\gamma_w\, d}$$

ὅπου : T = ἡ ἐπιφανειακή τάση τοῦ νεροῦ πού ἔχει τιμή 0,075 gr/cm σέ θερμοκρασία $20^0\ C$,

a = ἡ γωνία συνεπαφῆς τοῦ μηνίσκου μέ τά τοιχώματα τοῦ σωλήνα πού συνήθως εἶναι ἴση μέ 0,

γ_w = φαινόμενο βάρος τοῦ νεροῦ,

d = ἡ διάμετρος τοῦ σωλήνα πού συμβατικά ἔχει τήν τιμή $\frac{1}{5}D_{10}$

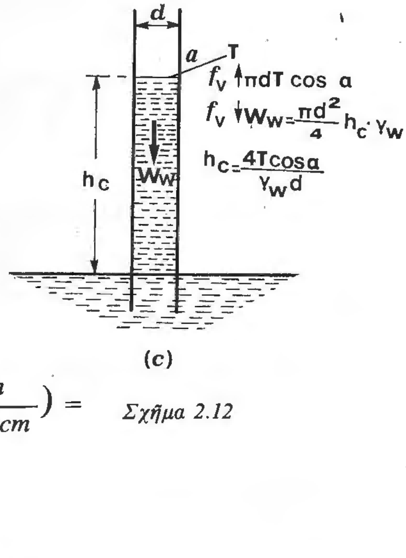
Γιά τά δεδομένα τῆς ἄσκησης:

$$h_c = \frac{4T}{\gamma_w\, d}$$

$$d = \frac{1}{5}D_{10} = \frac{1}{5}\,2\cdot 10^{-2}\ cm = 0{,}40\cdot 10^{-2}\ cm$$

$\gamma_w = 1{,}00\ gr/cm^3$

$T = 0{,}075\ gr/cm$



(c)

ἄρα: $$h_c = \frac{4\cdot 0{,}075\cdot 0{,}40}{1{,}00\cdot 0{,}400\cdot 10^{-2}}\left(\frac{gr/cm}{gr/cm^3\cdot cm}\right) =$$
$$= 75{,}00\ cm.$$

Σχῆμα 2.12