

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των χαλαρών (συνεκτικών και μη συνεκτικών) πετρωμάτων και βράχων, προσδιορίζονται με εκτέλεση δοκιμών εργαστηρίου και επιτόπου δοκιμών υπαίθρου. Οι δοκιμές που διεξάγονται στο εργαστήριο έχουν σα στόχο να προσδιορίσουν τον τύπο του χαλαρού πετρώματος και την κατάστασή του, όπως ακόμη τη συμπιεστότητά του τη δυνατότητα της συμπύκνωσής του και την αντοχή του. Για την εκτέλεσή τους είναι απαραίτητος ο εξοπλισμός του εργαστηρίου με τις απαραίτητες συσκευές και το προσωπικό.

α. Δοκιμές προσδιορισμού του τύπου και της κατάστασης των εδαφών

ι. Δοκιμή προσδιορισμού της φυσικής υγρασίας (w_c)

Το νερό που εμπεριέχεται στα εδάφη διακρίνεται ως γνωστό στις κατηγορίες: α. υγροσκοπικό υγρό, β. υμενώδες νερό, γ. τριχοειδές νερό και δ. βαρυτιτικό νερό. Η περιεχόμενη υγρασία στο έδαφος επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του. Ποικίλει από 0% (ξηρό έδαφος) μέχρι μιας μέγιστης τιμής, όταν το έδαφος είναι κορεσμένο σε νερό. Ως φυσική υγρασία (w_c) ορίζεται ο λόγος του βάρους του νερού μιας εδαφικής μάζας (W_w) προς το βάρος του ξηρού εδάφους (W_d) που απομένει μετά την ξήρανσή του σε φούρνο στους 105° C και εκφράζεται %.

$$W_c = \frac{W_w}{W_d} \cdot 100 \%$$

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται:

- Κάψες πορσελάνης
- Ηλεκτρικός ζυγός με ακρίβεια 0,01 gr
- Ηλεκτρικός φούρνος
- Λαβίδα

ii. Δοκιμή προσδιορισμού φαινόμενου βάρους (γ)

Ως φαινόμενο βάρος εδάφους (γ) ορίζεται το πηλίκο του βάρους (W) του εδάφους μαζί με τους πόρους του προς τον όγκο V που καταλαμβάνει.

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ gr/cm}^3 \quad (288)$$

παίρνει την ελάχιστη τιμή γ_d όταν τα κενά είναι γεμάτα με αέρα και τη μέγιστή του τιμή γ_{sat} σε κατάσταση κορεσμού.

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται αδιατάραχτα δείγματα και:

- Δακτύλιοι κοφτερών άκρων διαφόρων μεγεθών
- Σπάτουλα-μαχαιράκι
- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Μορφωτής δειγμάτων
- Κάψες πορσελάνης
- Ηλεκτρικός φούρνος

Για χονδρόκοκκα δείγματα χρησιμοποιείται δακτύλιος της δοκιμής οιδήμετρου με διαστάσεις $d=2,5''$ ή $6,33$ cm και $h = 1,0''$ ή $2,54$ cm, ενώ για καθαρές αργίλους δακτύλιος με $d=2,54$ cm και $h = 1,0$ cm. Ο όγκος V προσδιορίζεται από τις διαστάσεις του δακτυλίου, ενώ το βάρος W από δύο διαδοχικές ζυγίσεις δακτυλίου-δείγματος, υπολογίζοντας ταυτόχρονα και την υγρασία του w_c . Στην περίπτωση αυτή έχουμε και:

$$\gamma_d = \frac{Y}{1 + w_c} \text{ gr/cm}^3 \quad (289)$$

Στον πίνακα 63 δίνονται τα φαινόμενα βάρη τυπικών εδαφών.

Πίνακας 63.
Φαινόμενα βάρη τυπικών εδαφών (Παπαχαρήσης κ. άλ. 1999)

Εδάφη	Ξηρά	Κορεσμένα	Υπό άνωση
Χαλαρή άμμος	1,3	1,82	0,82
Πυκνό αμμοχάλικο	2,0	2,24	1,24
Πηλός	2,1	2,30	1,30
Πλαστική άργιλος	1,6	2,00	1,00
Σκληρή άργιλος	2,2	-	-
Ιλύς με φυσική υγρασία		0,8-1,80	-

iii. Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους στερεών ή ειδικού βάρους (γ_s)

Ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους W_d μόνο της στερεάς ύλης προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4° C.

$$\gamma_s = \frac{W_d}{V_d \gamma_w} \text{ gr/cm}^3$$

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτούνται:

- Μικρές φιάλες των 50 ή 100 ml με διάτρητο πώμα ή μεγάλες φιάλες των 250 ή 500 ml με πλάγιο στόμιο για την εφαρμογή της αντλίας κενού.
- Κόσκινο Νο 4 (4,76 mm) για τις μικρές φιάλες
- Πυκνόμετρο κωνικού ορειχάλκινου πώματος
- Ζυγοί ακριβείας 0,001 gr για τις μικρές φιάλες, 0,001 gr για τις μεγάλες φιάλες και 0,1 gr για το πυκνόμετρο.
- Γυάλινη ράβδος
- Φούρνος ξήρανσης
- Αντλία κενού
- Κάψες πορσελάνης
- Απεσταγμένο νερό
- Θερμόμετρο ακριβείας 0,1° C.

iv. Δοκιμή προσδιορισμού του πορώδους (n) και του δείκτη πόρων (e)

Το πορώδες (n) ορίζεται ως το πηλίκο του όγκου V_n των κενών δια του ολικού όγκου V του εδάφους

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V - V_s}{V} (\%) \quad (12)$$

V_s = ο όγκος της στερεάς ύλης

Ενώ ο δείκτης πόρων (**e**) ως το πηλίκο του όγκου των κενών V_v προς τον όγκο της στερεάς ύλης V_s

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} \quad (13)$$

ανάμεσα στα n και e υπάρχει η σχέση:

$$n = \frac{e}{1+e} = 1 - \frac{Y_d}{Y_s} \quad (14)$$

$$e = \frac{n}{1-n} = \frac{Y_s}{Y_d} - 1$$

v. Δοκιμές προσδιορισμού του μεγέθους και της κατανομής των κόκκων. Κοκκομετρική ανάλυση

Το μέγεθος και η κατανομή των κόκκων ενός χαλαρού πετρώματος αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στη διάκρισή τους, που μαζί με το σχήμα τους παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς τους.

Τα μεγέθη αυτών κατανέμονται σε ομάδες που διαχωρίζονται με την κοκκομετρική ανάλυση. Η κοκκομετρική ανάλυση χωρίζεται σε δύο επιμέρους αναλύσεις. Σ' αυτήν που χρησιμοποιεί κόσκινα για το διαχωρισμό των επιμέρους μεγεθών κόκκων του εδάφους που συγκρατείται από το κόσκινο No 10 και σ' αυτήν της ιλύος που διαχωρίζει τα λεπτόκοκκα μερίδια του εδάφους με διάμετρο που βρίσκονται κάτω από τα 0,063 mm συγκρατείται από το κόσκινο No 200 σε αναλογία βάρους >30% του συνολικού δείγματος.

Για να διαπιστώσουμε το ποσοστό ύπαρξης λεπτόκοκκου υλικού (ιλύς, άργιλος) σε αδρανή υλικά χρησιμοποιούμε μια σύντομη και απλή μέθοδο. Τη μέθοδο Ισοδύναμου Άμμου.

α. Μέθοδος Ισοδύναμου Άμμου

Υπολογίζεται η σχέση όγκου μεταξύ των λεπτόκοκκων υλικών και της άμμου που υπάρχει σε υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 4. Η δοκιμή εκτελείται σε ειδική συσκευή ανατάραξης με διαφανή ογκομετρικό κύλινδρο 1000 ml που περιέχει ειδικό διάλυμα. Στη συνέχεια το διάλυμα ηρεμεί για 20 min, όπου και σημειώνονται οι όγκοι των λεπτόκοκκων συστατικών και της άμμου που έχουν καθιζάνει στον πυθμένα του κυλίνδρου.

Η δοκιμή διαρκεί περίπου 40 min και απαιτεί απλά όργανα.

Το ισοδύναμο της άμμου (S.E.) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S.E. = \frac{h}{H} \cdot 100 (\%) \quad (290)$$

Όπου:

h = η υποδιαίρεση του ύψους της άμμου

H = η υποδιαίρεση του ύψους της σε αιώρηση αργίλου και χρησιμοποιείται για αδρανή υλικά.

β. Μέθοδος με κόσκινα

Χρησιμοποιείται στην κοκκομετρική ανάλυση χονδροκόκκων δειγμάτων εδαφών. Στην ανάλυση χρησιμοποιείται μια σειρά κοσκίων (πίνακας 64) και διάφορες περιεκτικότητες δειγμάτων. Έτσι για λεπτή έως μέση άμμο απαιτούνται 100 έως 200 gr, για χονδρή άμμο μέχρι λεπτά χαλίκια 500 gr και για χοντρά χαλίκια 5000 gr.

Πίνακας 64.
Πάχος συρμάτων κόσκινων (από Παπαχαρήση κ.ά., 1999)

κόσκινο N°	άνοιγμα mm	άνοιγμα in	πάχος σύρματος mm
---------------	---------------	---------------	----------------------

4	4.76	0.187	1.14 ÷ 1.68
5	4.00	0.157	1.00 ÷ 1.47
6	3.36	0.132	0.87 ÷ 1.32
7	2.83	0.111	0.80 ÷ 1.20
8	2.38	0.0937	0.74 ÷ 1.10
10	2.00	0.0787	0.68 ÷ 1.00
12	1.68	0.0661	0.62 ÷ 0.90
14	1.41	0.0555	0.56 ÷ 0.80
16	1.19	0.0469	0.50 ÷ 0.70
18	1.00	0.0394	0.43 ÷ 0.62
20	0.84	0.0331	0.38 ÷ 0.55
25	0.71	0.0280	0.33 ÷ 0.48
30	0.59	0.0232	0.29 ÷ 0.42
35	0.50	0.0197	0.26 ÷ 0.37
40	0.42	0.0165	0.23 ÷ 0.33
45	0.35	0.0138	0.20 ÷ 0.29
50	0.297	0.0117	0.170 ÷ 0.253
60	0.250	0.0098	0.149 ÷ 0.220
70	0.210	0.0083	0.130 ÷ 0.187
80	0.177	0.0070	0.117 ÷ 0.154
100	0.149	0.0059	0.096 ÷ 0.125
120	0.125	0.0049	0.079 ÷ 0.123
140	0.105	0.0041	0.063 ÷ 0.087
170	0.088	0.0035	0.054 ÷ 0.073
200	0.074	0.0029	0.045 ÷ 0.061

Το δείγμα ξηραίνεται στους 105° C και αφού ξηραθεί ζυγίζεται με ακρίβεια 0,5%. Τοποθετείται στο αρχικό άνω κόσκινο και κοσκινίζεται με ηλεκτρικό δονητή. Το υλικό περνάει τα κατώτερα κόσκινα και συγκεντρώνεται σε κάθε ένα από αυτά ανάλογα με τη διάμετρο των κόκκων

του. Το υλικό που έχει μείνει σε κάθε κόσκινο ζυγίζεται και μετατρέπεται σε % του συνολικού βάρους του δείγματος. Τα αποτελέσματα μεταφέρονται στο έντυπο του πίνακα 65 και κατασκευάζεται η αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη.

Πίνακας 65.

Έντυπο που χρησιμοποιείται στην ανάλυση με κόσκινα.

Ανάλυση		Κοκκομετρικής κατανομής με τα κόσκινα									
Σκοπός:											
Θέση δειγματοληψίας :											
Εκτέλεση από τον:						την:					
Χαρακτηρισμός του δείγματος :											
Τύπος εδάφους :											
Ζύγιση G_t :		g		100		g		100			
				Υπόλειμμα R		άθροισμα %		Υπόλειμμα R		άθροισμα %	
Διάμετρος κόσκινων (mm)		R	g	Gt	%		R	g	Gt	%	
60											
	40										
	20										
	10										
	6										
No 5	4										

	2						
	1						
	0,59						
	0,42						
	0,20						
	0,105						
	0,074						
	0,074						
	Άθροισμα ΣR						
	Απώλεια						

γ. Μέθοδος Ιλύος (Μέθοδος Υδρομέτρου – Μέθοδος Stokes)

Η ανάλυση αυτή γίνεται σε υλικά με κόκκους που διέρχονται το κόσκινο No 200 ($\varnothing < 0,06$ mm). Για την ανάλυση απαιτούνται:

- Αραιόμετρο (υδρομέτρο) Casagrande
- Ογκομετρικός σωλήνας 1000 ml $\varnothing < 60$ mm

- Θερμόμετρο
- Αναδευτήρας (Μixer)
- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Ηλεκτρικός φούρνος
- Χρονόμετρο
- Σπάτουλα
- Υλικό διασποράς (NaOH, NaCO₃, Μεταπυριτικό νάτριο, κλπ)
- Απεσταγμένο νερό

Απαιτούμενες ποσότητες υλικού:

- Για συνεκτικά εδάφη χωρίς άμμο 30 έως 50 gr
- Για συνεκτικά εδάφη με άμμο 75 gr
- Για καθαρή άργιλο από 10 έως 30 gr

Το ξηρό βάρος του δείγματος υπολογίζεται μετά την ανάλυση. Το δείγμα το επεξεργαζόμαστε σε λεκάνη πορσελάνης 100 cm³ με απεσταγμένο νερό και τοποθετείται στο mixer. Προστίθενται σ' αυτό 2-3 σταγόνες υλικού διασποράς και το υλικό ανακατεύεται για 20-30 min. Μεταφέρεται ξεπλένοντας το δοχείο στον ογκομετρικό σωλήνα και συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τη γραμμή των 1000 ml. Αφού αναποδογυρίσουμε το σωλήνα πολλές φορές τον τοποθετούμε στο τραπέζι τοποθετώντας ταυτόχρονα στο σωλήνα το αραιόμετρο και θέτουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο παίρνοντας ενδείξεις της στήλης του αραιομέτρου (R') ανά ½, 1 και 2 min. Χωρίς να βγάζουμε το αραιόμετρο. Υπολογίζουμε μια φορά το ύψος του μηνίσκου C_m και υπολογίζουμε το R ως

$$R' + C_m = R \quad (291)$$

Βγάζουμε στη συνέχεια το αραιόμετρο, το ξεπλένουμε και συνεχίζουμε τις μετρήσεις στα 5, 10, 15, 30 min και 1, 2, 4, 8, 24 ώρες, παίρνοντας ταυτόχρονα και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στο έντυπο του πίνακα 66.

Πίνακας 66.

Έντυπο που χρησιμοποιείται για την κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο της ιλύος, d = διάμετρος κόκκων σε mm, C_t = διόρθωση θερμοκρασίας, $R+C_t$ = διορθωμένη ένδειξη, G_t '= % του ολικού βάρους, $^{\circ}C$ = θερμοκρασία, t = χρόνος που διέρρευσε σε min, t' = χρόνος μέτρησης.

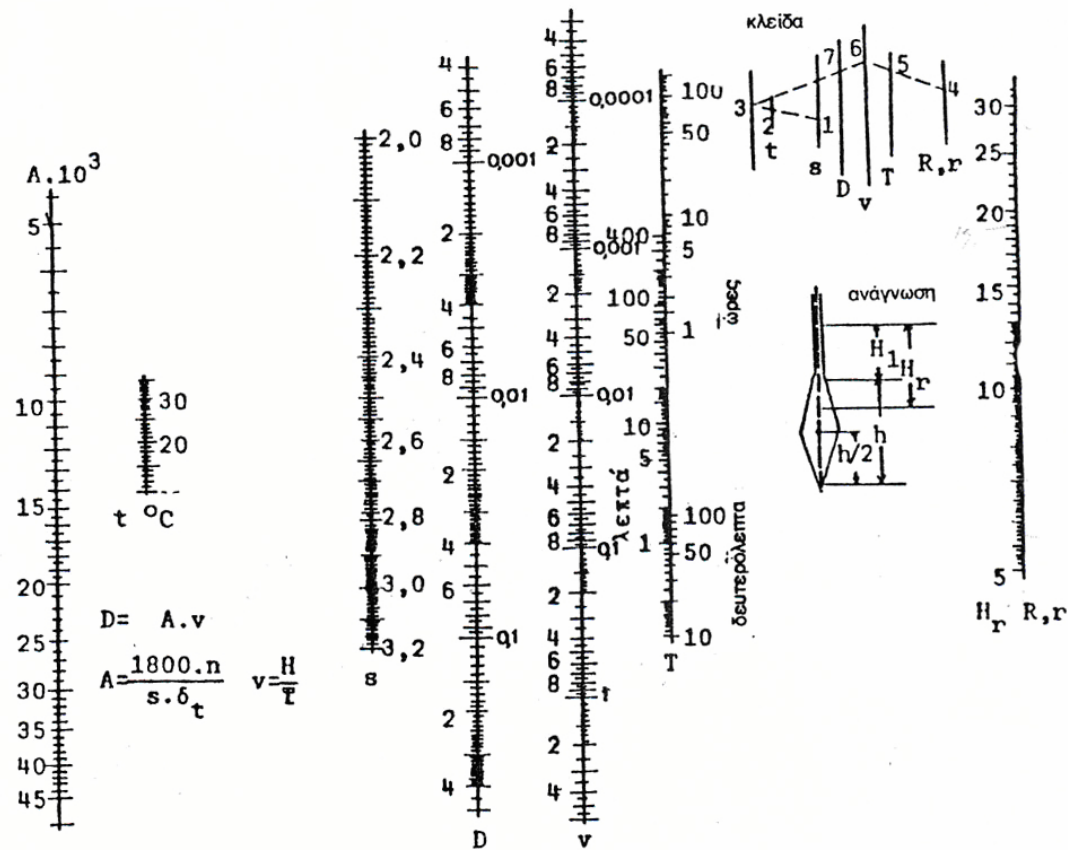
		Υπολογισμός της «κοκκομετρικής κατανομής» με την ανάλυση της ιλύος	
Σκοπός:			
Θέση δειγματοληψίας:			
Εκτέλεση από τον:		την:	
Τύπος εδάφους:		Μέσο διασποράς	
Ειδικό βάρος			
γ_s g/cm		μέσα στο νερό	
Υπολογισμός του βάρους G_t με ξήρανση			
ξηρό δείγμα + δοχείο:	g	Φιάλη + νερό	g
Δοχείο:	g	Φιάλη + νερό + δείγμα:	g
Ξηρό δείγμα G_t	g	Δείγμα + νερό	G_u g

$G_u = (\gamma_s - 1) G_t = 100\%$:		g		$G_t\% = \frac{1}{G_u} (R+C_t) = \dots (R+C_t)$					
$^{\circ}\text{C}$	t'	t	R	$\frac{R'+C_m}{R}$	d [mm]	C_t	$R=C_t$	G_t	Παρατηρήσεις

Η διάμετρος των κόκκων που καθιζάνουν στον πυθμένα του δοχείου και αντιστοιχεί στην αντίστοιχη μέτρηση του αραιομέτρου υπολογίζεται από το Νομόγραμμα του Stokes (Σχ. 192) υπολογίζοντας ως ένδειξη αραιομέτρου H_r .

$$H_r = H + \frac{1}{2} \left(h - \frac{\text{όγκος αραιομέτρου}}{\text{επιφάνεια διατομής κυλίνδρου}} \right) \quad (292)$$

Η χρήση του Νομογράμματος ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία: Ενώνουμε την ένδειξη H_r του αραιομέτρου με το χρόνο T από την αρχή της δοκιμής και προεκτείνουμε την ευθεία αυτή μέχρι όπου τμήσει τη στήλη ν. Επίσης ενώνουμε το ειδικό βάρος (γ_s) της στήλης s ($\gamma_s = 2,65 \text{ gr/cm}^3$), με τη θερμοκρασία $^{\circ}\text{C}$ κατά τη λήψη της μέτρησης του αραιομέτρου και συνεχίζουμε την ευθεία μέχρις όπου τμήσει τη στήλη A. Στη συνέχεια ενώνουμε το σημείο της στήλης A με το σημείο της στήλης ν και η ευθεία που προκύπτει τέμνει τη στήλη D σε ένα σημείο. Η ένδειξη αυτή της στήλης D δείχνει τη διάμετρο του αιωρήματος που έχει καθιζήσει στον πυθμένα κατά την ώρα της μέτρησης.



Σχ. 192. Νομόγραμμα Stokes, η =ιξώδες του υγρού ($g \cdot sec \cdot cm^{-2}$), s =ειδικό βάρος κόκκων, δ_t =ειδικό βάρος υγρού, v =ταχύτητα καθίζησης (cm/sec). D =διάμετρος κόκκων (mm), t =θερμοκρασία ($^\circ C$), H =ύψος αραιομέτρου (cm), T =χρόνος ανάλυσης από την αρχή μέχρι το τέλος της (sec) (Bentz, 1969).

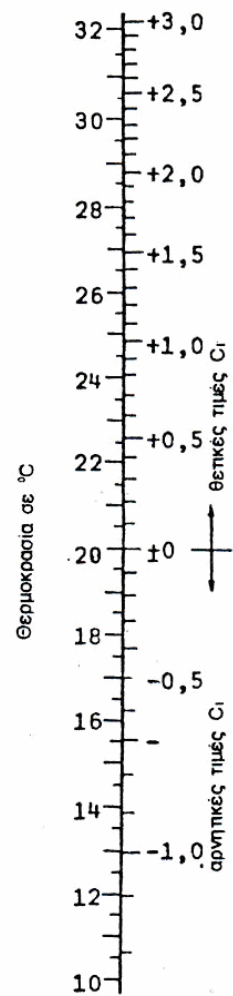
Η τιμή d μεταφέρεται στο έντυπο για να υπολογιστεί τελικά το ποσοστό βάρους G_t του δείγματος με τη διάμετρο d_i από τις σχέσεις:

$$[\Xi\eta\rho\acute{o} \beta\acute{\alpha}\rho\omicron\varsigma + \delta\omicron\chi\epsilon\iota\omicron] - \text{Β}\acute{\alpha}\rho\omicron\varsigma \delta\omicron\chi\epsilon\iota\omicron = G_t \quad (293)$$

$$\text{και } G_u = \frac{Y_s - 1}{Y_s} \cdot G_t \text{ και} \quad (294)$$

$$G = \frac{100}{G_t} \cdot \frac{Y_s}{Y_s - 1} (R + C_t) \quad (295)$$

Όπου $C_t = \eta$ διόρθωση θερμοκρασίας που παίρνουμε από το Σχ. 193.



Σχ. 193. Διόρθωση θερμοκρασίας αραιομέτρου

Τα αποτελέσματα μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα αθροιστικό βάρος $G=f(\log d)$ και παίρνουμε την αθροιστική λογαριθμική κοκκομετρική καμπύλη του λεπτόκοκκου υλικού.

vi. Δοκιμές προσδιορισμού ορίων Atterberg

Οι φυσικές ιδιότητες και η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων υλικών επηρεάζονται σημαντικά από την περιεκτικότητα υγρασίας σ' αυτά και από τις χρονικές της μεταβολές. Ένα έδαφος χαρακτηρίζεται πλαστικό, όταν τα λεπτόκοκκά του συστατικά βρίσκονται στην περιοχή της αργίλου και αποτελούνται από πλαστικά ορυκτά της αργίλου. Η κατάσταση και η συμπεριφορά αυτών των εδαφών στις κατασκευές προκύπτει με προσδιορισμό των ορίων Atterberg. Του ορίου υδαρότητας (LL) και του ορίου πλαστικότητας (PL).

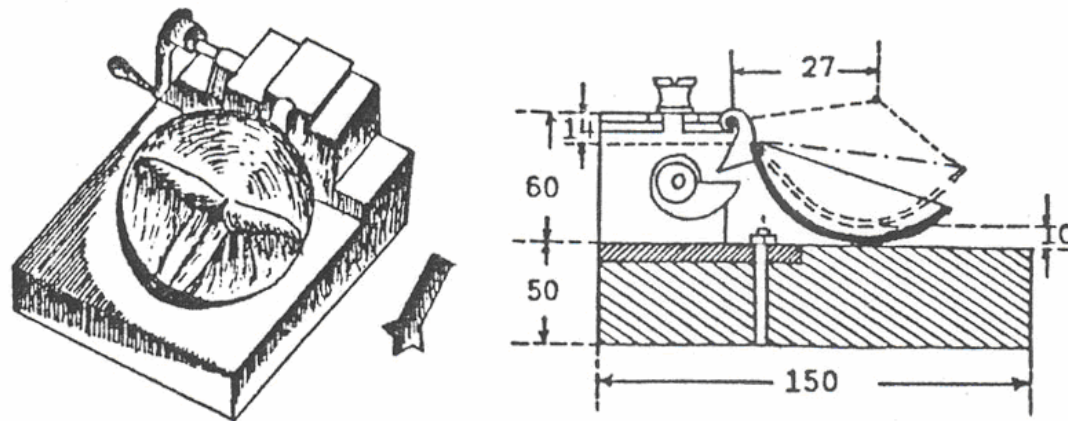
- **Προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας (LL)**

Για τον προσδιορισμό απαιτούνται:

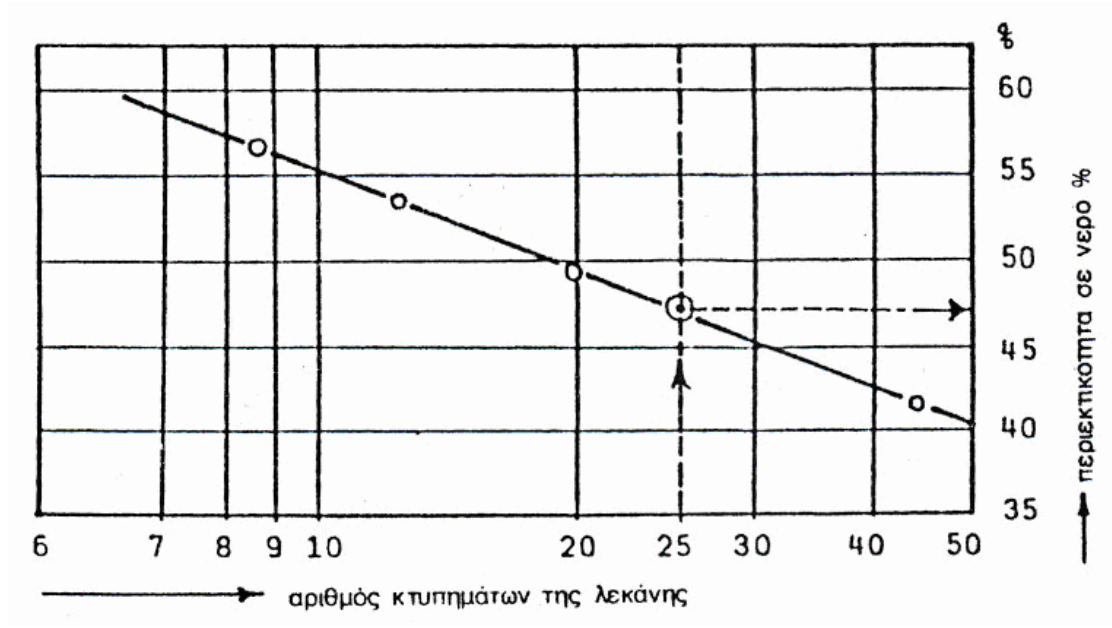
- Συσκευή ορίου υδαρότητας (Συσκευή Casagrande) (Σχ. 194)
- Σπάτουλα κατά Casagrande
- Κάψα πορσελάνης
- Ηλεκτρικός ζυγός με ακρίβεια 0,01 gr
- Φούρνος
- Κόσκινο No 40 (0,42 mm)
- Απεσταγμένο νερό

Παίρνουμε δείγμα βάρους 50-55 gr από το οποίο έχουν αφαιρεθεί τα τεμάχια με $\varnothing > 0,42$ mm και έχει ξηραθεί στους 60° C. Το δείγμα πλάθεται καλά με 20-35 cm³ απεσταγμένου νερού μέχρις ότου γίνει ομογενές. Το υλικό ζυμώνεται καλά και αν χρειαστεί κι άλλο νερό

προσθέτουμε κάθε φορά 1-2 σταγόνες και αφήνεται να ωριμάσει σε υγρατήριο για 1 ώρα. Στη συνέχεια παίρνουμε μέρος της πάστας και το τοποθετούμε στην πιατέλα της συσκευής, έτσι ώστε να έχει πάχος 1 cm. Με τη σπάτουλα κάνουμε στη μέση μια αυλακιά με βάθος 1 cm και πλάτος χαραγής 2 mm. Γυρίζουμε τώρα το στρόφαλο της συσκευής (δύο γύρους / sec = ένας κύτπος) η λεκάνη πέφτει ρυθμικά πάνω στο βάθρο του οργάνου και συνεχίζουμε μέχρις ότου η αύλακα που χαραξαμε κλείσει σε μήκος 12,5 mm. Η διαδικασία αυτή πρέπει να ολοκληρωθεί σε χρόνο < 3 min. Σημειώνουμε τελικά τους κύτπους της λεκάνης μέχρι τη συνένωση των δύο τμημάτων της χαραγής. Διεξάγονται τρεις τουλάχιστον δοκιμές για κάθε δείγμα και για κύτπους > 10 και < 40. Από τη δοκιμασθείσα πάστα παίρνουμε στη συνέχεια δείγμα και προσδιορίζουμε την περιεκτικότητά της σε υγρασία %. Τα αποτελέσματα μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (Σχ. 195). Η καμπύλη που προκύπτει είναι λογαριθμική ευθεία. Το όριο υδαρότητας LL προκύπτει από την περιεκτικότητα υγρασίας που αντιστοιχεί στα 25 κτυπήματα της πιατέλας.



Σχ. 194. Συσκευή Casagrande, προσδιορισμού των ορίων του Atterberg



Σχ. 195. Διάγραμμα υπολογισμού του ορίου υδαρότητας (LL)

- Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας (PL)

Το όριο πλαστικότητας PL αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση. Προσδιορίζεται στην κατάσταση εκείνη που το έδαφος χάνει τόση υγρασία, ώστε αυτό μπορεί να σχηματίσει ακόμη κυλίνδρους διαμέτρου 3 mm χωρίς να σπάει (AASHO T-90/70, ASTM D-4318/83).

Για τον προσδιορισμό του PL παίρνουμε υλικό 8 περίπου gr απ' αυτό που προσδιορίσαμε το LL, το οποίο στη συνέχεια πλάθεται ανάμεσα στα δάκτυλα και κυλινδρώνεται σε γυάλινη πλάκα για το σχηματισμό ραβδίσκων διαμέτρου 3 mm. Η διαδικασία αυτή

επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η ράβδος των 3 mm αρχίζει να παρουσιάζει ρωγμές. Στην κατάσταση αυτή ζυγίζεται ξηραίνεται και επαναζυγίζεται για τον προσδιορισμό της υγρασίας του. Η περιεκτικότητα υγρασίας του δείγματος στην κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στο όριο πλαστικότητας PL αυτού του εδάφους.

Ως **δείκτης πλαστικότητας (PI)** ορίζεται η διαφορά υγρασίας ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας $PI = LL - PL$

Προσδιορίζονται ακόμη:

- Ο **Δείκτης υδαρότητας (LI)**: $LI = \frac{W_n - PL}{PI} \cdot 100\%$ (296)

- Ο **Δείκτης στερεότητας ή συνεκτικότητας (IC)**: $IC = \frac{LL - W_c}{PI}$ (23)

- Η **Ενεργότητα A** της αργίλου ως $A = \frac{PI}{N\% \text{ ποσοστό αργίλου}}$ (25)

- Το **όριο συρρίκνωσης PS** $PS = LL - 1,15 PI$ (297)

- Το **δείκτη συμπίεστότητας Cc** $Cc = A(LL - 10)$ (26)

Από τη δοκιμή στερεοποίησης οιδημέτρου συντάσσονται τα παρακάτω διαγράμματα

- Δείκτη πόρων e- ενεργών τάσεων σ' και προσδιορισμός του συντελεστή συμπίεστότητας $\alpha_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} = \frac{0,435 Cc}{\sigma'}$, όπου $\sigma' = (\sigma'_1 + \sigma'_2)/2$
- Ανηγγμένων παραμορφώσεων $(\Delta H/H_0) = s'$ ή καθιζήσεων – λογαρίθμου ενεργών τάσεων σ' και προσδιορισμός του οιδημετρικού μέτρου ελαστικότητας $E_s = \frac{\Delta l g \sigma'}{\Delta s'}$. Από το διάγραμμα αυτό υπολογίζεται επίσης η τάση προστεροποίησης σ_v και η αντίστοιχη τιμή προστεροποίησης s_v με τις μεθόδους Ohde και Casagrande.

- Δείκτη πόρων e- λογαρίθμου των ενεργών τάσεων σ' και προσδιορισμό του δείκτη συμπιεστότητας $C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'}$

(92)

- Ανηγγμένων παραμορφώσεων ($\Delta H/H_0 = s; -\log_{10} t$ ή \sqrt{t} και προσδιορισμό του χρόνου t που αντιστοιχεί στο 50% και στο 90% των καθιζήσεων σε κάθε βαθμίδα φόρτισης. Υπολογισμός του μεγέθους και του χρόνου επίτευξης της ακαριαίας-πρωτογενούς και δευτερογενούς καθίζησης και στερεοποίησης.
- Υπολογισμός του συντελεστή στερεοποίησης C_v ως:

$$\text{Για το } U = 50\% \text{ της στερεοποίησης με } t=t_{50} \quad C_v = \frac{T_v \cdot H_0^2}{4t_{50}} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (298)$$

$$\text{Για το } U = 90\% \text{ της στερεοποίησης με } t=t_{90} \quad C_v = \frac{T_v \cdot H_0^2}{4t_{90}} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (299)$$

Και για αποστράγγιση του νερού των πόρων πάνω και κάτω από το δοκίμιο έχουμε:

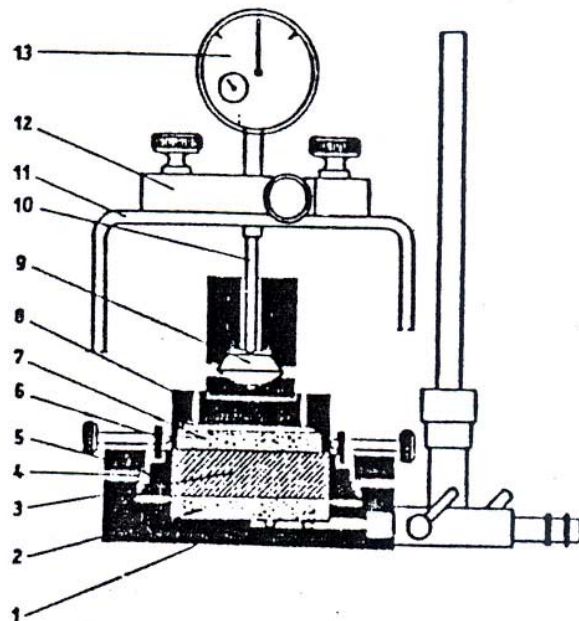
$$\text{Για το } U = 50\% \quad T_v=0,196 \text{ και } C_v = \frac{0,196 \cdot H_0^2}{4t_{50}} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (300)$$

$$\text{Για το } U = 90\% \quad T_v=0,848 \text{ και } C_v = \frac{0,848 \cdot H_0^2}{4t_{90}} \quad (\text{cm}^2/\text{sec}) \quad (301)$$

β. Δοκιμές παραμόρφωσης

ι. Δοκιμή στερεοποίησης – συμπιεστότητας (οιδημέτρου)

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπιεστότητα του εδαφικού υλικού, όταν φορτίζεται και στραγγίζεται αξονικά και δεν παραμορφώνεται πλευρικά. Η παραμόρφωση (συμπιεστότητα) είναι ίση με τη μεταβολή του όγκου του δοκιμίου και συνδέεται με τη μεταβολή του δείκτη πόρων. Η συσκευή με την οποία υπολογίζεται η στερεοποίηση του εδάφους και στη συνέχεια οι καθιζήσεις ονομάζεται οιδήμετρο (Σχ. 196).



Σχ. 196. Συσκευή προσδιορισμού της συμπιεστότητας των εδαφών (Οιδήμετρο)

Με το οιδήμετρο προσδιορίζουμε τις καθιζήσεις που προκαλούν στα εδάφη κατακόρυφες φορτίσεις σε συνάρτηση με το χρόνο επιβολής της φόρτισης και μας δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου στερεοποίησης του εδάφους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται:

- Οιδήμετρο με διαστάσεις δακτυλίου: Ύψος $H = 2,54 \text{ cm}$
Διάμετρος $D = 6,33 \text{ cm}$
Εμβαδόν $A = 31,45 \text{ cm}^2$
Όγκος $V = 79,89 \text{ cm}^3$
- Σύστημα φόρτισης (0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 kgr/cm²)
- 5-8 κλίμακες βαρών
- Μηκυσιόμετρο ακρίβειας 0,0001 in
- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Φούρνος
- Όργανα και δακτύλιος διαμόρφωσης δοκιμίων
- Κάψες πορσελάνης
- Χρονόμετρο

Για τη δοκιμή χρησιμοποιείται αδιατάρακτο δείγμα εδάφους. Το δοκίμιο μορφοποιείται σε δακτύλιο διαμέτρου 6,33 cm, ζυγίζεται και τοποθετείται μέσα στο δακτύλιο ανάμεσα στα πορώδη φίλτρα. Γεμίζουμε το οιδήμετρο με απεσταγμένο νερό προσέχοντας να μην παραμείνουν φυσαλίδες αέρα κάτω από τα πορώδη φίλτρα. Το δοκίμιο φορτίζεται αξονικά με μια σειρά φορτίων διπλασιαζόμενης κάθε φορά

πίεσης και η πίεση παραμένει σταθερή για 24 h. Πριν από την εφαρμογή της επόμενης βαθμίδας φόρτισης καταγράφεται η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου σε χρόνους 30 sec, 1, 2, 4, 8, 15, 30 min, 1, 2, 4, 8, 24 h με αρχική έναρξη το χρόνο επιβολής της κάθε βαθμίδας φόρτισης.

Για κάθε βαθμίδα φόρτισης μετά από 24 h παίρνουμε την τελική μείωση του πάχους του δοκιμίου που προσδιορίζει και το σημείο της τελικής καθίζησης. Μετά το τέλος της δοκιμής αφαιρούμε σταδιακά τα φορτία και μετράμε την αποσυμπίεση του υλικού σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται στα έντυπα των πινάκων 67 και 68.

Από τη δοκιμή στερεοποίησης οιδημέτρου συντάσσονται τα παρακάτω διαγράμματα:

- Δείκτης πόρων e- ενεργών τάσεων σ' και προσδιορισμός του συντελεστή συμπίεσότητας $\alpha_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} = \frac{0,435C_c}{\sigma'}$, όπου $\sigma' = (\sigma'_1 + \sigma'_2)/2$
- Ανηγγμένων παραμορφώσεων $(\Delta H/H_0) = s'$ ή καθιζήσεων – λογαριθμοί ενεργών τάσεων σ' και προσδιορισμός του οιδημετρικού μέτρου ελαστικότητας $E_s = \frac{\Delta \log \sigma'}{\Delta s'}$. Από το διάγραμμα αυτό υπολογίζεται επίσης η τάση προστερεοποίησης s_v και η αντίστοιχη τιμή προστερεοποίησης s_v με τις μεθόδους Ohde και Casagrande.
- Δείκτη πόρων e- λογαριθμοί των ενεργών τάσεων σ' και προσδιορισμό του δείκτη συμπίεσότητας

Πίνακας 67.

Έντυπο υπολογισμού των καθιζήσεων και του οιδημετρικού μέτρου ελαστικότητας E_s σε εδάφη

Χρόνος	Χρόνος Που διέ- ρευσε Δt	Συμπίεση σ=ρ	Καθίζηση 10 ² M	Καθίζηση Δh= M _{εισαν} /1000	Δh/hsc [%].10 ⁻³	h _a -h _f -Δh	$E_s = \frac{h_a - h_f' = \Delta h}{h_f}$	Ημερο- μηνία	Χρόνος	Χρόνος που διέ- ρευσε Δt	Συμπίεση σ=P	Καθίζηση M 10 ⁻² mm	Καθίζηση Δh= M _{ανηγ} /1000	Δh/ha [%]	h _a -h _f -Δh	$E_s = \frac{h_a - h_f' = \Delta h}{h_f}$
	Min	Kg/cm ²	Βήματα	Cm	1	Cm	1	-	-	Min	Kp/cm ²	Ρήματα	Cm	-	Cm	1
	2"	0,204	4,5							2"	0,408	1,2				
	4"		4,5							4"		4,4	1			

		4,6						9"		4,5				
	15"	4,7						15"		4,6				
	30"	4,8						30"		4,7				
15.45	60"	4,8						60"	1	4,7				
15.50	2'	5,0						2'		4,8				
	11'							4'		5,1				
	9'	I=2,3						8'		5,2				
	15'							15'		5,8				
	30'							30'		6,1				
	60'							60'	0	E=3,2				
	2 h													
	4 h								III					
	6 h							0"	1,020	13,0				
	8 h							4"		13,2				
	15 h							8"		13,4				
	30 h							15"		13,6				
								30"		13,7				
								60"		13,9				
								2'		14,0				
								4'		14,2				
								8'		14,9				
								15'		15,5				
								30'		16,0				
								60'	0,0	E=11,0				

Πίνακας 68.

Έντυπο εκτέλεσης δοκιμής οιδιμέτρου για τον υπολογισμό της στερεοποίησης εδαφών

Διατομή δείγματος F			Ειδικό βάρος γ_s		
Ύψος δείγματος h_a			Ξηρό βάρος G_t		
			Τελευταία ανάγνωση Me		
Ύψος της στερεάς μάζας: $h_f = \frac{G_t}{F \cdot \gamma_s}$			$h_a - h_f$		
	Πριν τη δοκιμή		Μετά τη δοκιμή		
Φυσική περιεκτικότητα νερού	Wn_1		Wn_2		
Αριθμός πόρων	$E_1 = \frac{h_a - h_f}{h_f}$		$E_2 = \frac{h_a - h_f - M_e}{h_f}$		
Βαθμός κορεσμού	$Sw_1' = \frac{wn_1 \cdot \gamma_s}{E_1}$		$Sw_1' = \frac{wn_2 \cdot \gamma_s}{E_1}$		
Πορώδες	$n_1 = \frac{E_1}{1 + E_1} \cdot 100$		$n_2 = \frac{E_2}{1 + E_2} \cdot 100$		
Πορώδες γεμάτο με νερό	$nw_1 = \frac{n_1 \cdot Sw_1}{100}$		$nw_2 = \frac{n_2 \cdot Sw_2}{100}$		
Πορώδες γεμάτο με αέρα	$nl_1 = n_1 - nw_1$		$nl_2 = n_2 - nw_2$		
Ύψος της στερεάς μάζας	h_f		h_f		
Ύψος του υδάτινου μέρους	$Hw_1 = \frac{wn_1 \cdot G_t}{F}$		$hw_2 = \frac{wn_2 \cdot G_t}{F}$		
Ύψος του αέρινου μέρους	$hl_1 = nl_1 \cdot h_a$		$hl_2 = nl_2 \cdot [h_a - Me]$		
Τελευταία ανάγνωση			Me		
$h_1' h_2' h_a$	$h_1' = hf + hw_1 + hl_1$		$H_2' = hf + hw_2 + hl_2 + M_2$		
Κλίμακα βάρους	Φόρτωση P (kg/cm ²)	Ανάγνωση οργάνου M=Δh (1/100 mm)	$S' = \frac{M}{h_a}$	$\frac{h_a - h_f - M}{(1/100 \text{ mm})}$	$\varepsilon = \frac{h_a - h_f' = i}{h_f}$
0					
I					
II					
III					
IV					
V					
VI					

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} \quad (92)$$

- Ανηγγμένων παραμορφώσεων ($\Delta H/H_0 = s'$)- $\log_{10} t$ ή \sqrt{t} και προσδιορισμό του χρόνου t που αντιστοιχεί στο 50% και στο 90% των καθιζήσεων σε κάθε βαθμίδα φόρτισης. Υπολογισμός του μεγέθους και του χρόνου επίτευξης της ακαριαίας – πρωτογενούς και δευτερογενούς καθίζησης και στερεοποίησης.
- Υπολογισμός του συντελεστή στερεοποίησης C_v ως:

$$\text{Για το } U=50\% \text{ της στερεοποίησης με } t=t_{50} \quad C_v = \frac{T_v - H_0^2}{4t_{50}} \text{ (cm}^2\text{/sec)} \quad (298)$$

$$\text{Για το } U=90\% \text{ της στερεοποίησης με } t=t_{90} \quad C_v = \frac{T_v - H_0^2}{4t_{90}} \text{ (cm}^2\text{/sec)} \quad (299)$$

Και για αποστράγγιση του νερού των πόρων πάνω και κάτω από το δοκίμιο έχουμε:

$$\text{Για το } U=50\% \quad T_v=0,196 \text{ και } C_v = \frac{0,196H_0^2}{4t_{50}} \text{ (cm}^2\text{/sec)} \quad (300)$$

$$\text{Για το } U=90\% \quad T_v=0,848 \text{ και } C_v = \frac{0,848H_0^2}{4t_{90}} \text{ (cm}^2\text{/sec)} \quad (301)$$

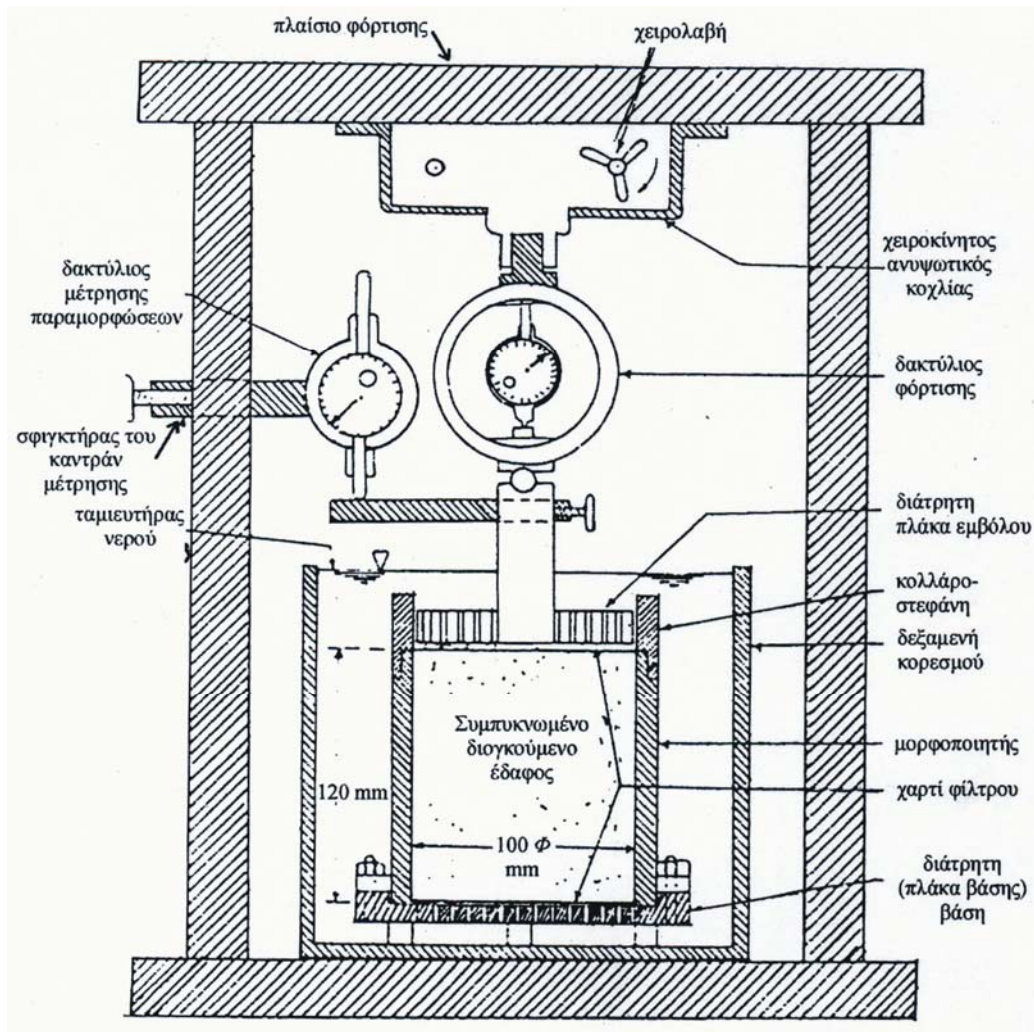
ii. Δοκιμή διόγκωσης (Swelling pressure test)

Τα μαλακά εδάφη όταν έλθουν σε επαφή με το νερό διογκώνονται (φουσκώνουν σημαντικά και χάνουν την αντοχή τους. Τέτοια εδάφη μπορούν με τις μεταβολές του όγκου τους να προκαλέσουν προβλήματα στις θεμελιώσεις. Ένα τέτοιο έδαφος αναγνωρίζεται στο ύπαιθρο από την εικόνα που παρουσιάζει το θέρους μετά την αφαίρεση της υγρασίας του (Σχηματίζει μεμβρανοειδή επιφάνεια με μπακλαβαδωτή σχιστότητα) και από το γεγονός, ότι θρυμματίζεται εύκολα στο χέρι μας. Πίεση διόγκωσης της τάξης των 1,5 μέχρι και 3,0 kg/cm² παρουσιάζεται συχνά. Για τον προσδιορισμό αυτής της πίεσης διόγκωσης σχεδιάστηκε μια συσκευή που φαίνεται στο Σχ. 197.

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτούνται:

- Πλαίσιο φόρτισης
- Χειροκίνητος μοχλός 4 tn
- Τυποποιημένος μορφοποιητής τύπου proctor με στεφάνη και διάτρητη βάση
- Διάτρητη επάνω πλάκα με ένα κεντρικό έμβολο φόρτισης

- Μετρητικός δακτύλιος (δυνατότητα 2 tn)
- Μετρητικός δακτύλιος παραμόρφωσης (0,01 mm)
- Στυπόχαρτο και λιπαντικά
- Σκεύος ανάμειξης, σέσουλα, μαχαιράκι, παχύμετρο κλπ
- Δοχείο κορεσμού
- Χρονόμετρο



Σχ. 197. Συσκευή διόγκωσης με το πλαίσιο φόρτισης

Το δοκίμιο ξηραίνεται αρχικά και στη συνέχεια το χτυπούμε με ελαστικό σφυρί. Παίρνουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους 3-4 kg και το περνούμε από το κόσκινο Νο 200. Το κοσκινισμένο υλικό ξηραίνεται στο φούρνο για 24 h. Η συμπύκνωση του δείγματος γίνεται στον τυποποιημένο μορφοποιητή διαμέτρου 10 cm, ύψους 12 cm και όγκου 945 cm^3 . Η πυκνότητα γ_a που αντιστοιχεί στην επί τόπου ξηρή πυκνότητα του υλικού που θα συμπυκνωθεί θα πρέπει να είναι ίση προς:

$$\gamma_{\alpha} = \frac{\text{βάρος ξηραμένου δείγματος}}{\text{όγκος του δείγματος}}$$

Ο μορφοποιητής στερεώνεται σε διάτρητη βάση τοποθετώντας από πάνω στυπόχαρτο. Το έδαφος που έχει ήδη ζυγιστεί χωρίζεται σε τρία ίσα μέρη και συμπυκνώνεται κατά στρώση πολύ προσεκτικά και με την πάνω επιφάνειά του επίπεδη. Στη συνέχεια τοποθετείται σ' αυτήν την επιφάνεια ένα νέο στυπόχαρτο και η επάνω στεφάνη και μια διάτρητη πλάκα με διάμετρο λίγο μικρότερη των 10 cm μέσα στη στεφάνη. Αυτή η πλάκα φέρει κεντρικά ένα έμβολο που καταλήγει σε σφαιρίδιο φόρτισης. Τοποθετούμε όλο αυτό το σύνολο σε δοχείο κορεσμού και το όλο σύστημα μαζί με το μορφοποιητή πάνω στο πλαίσιο αντίδρασης της συσκευής, στο οποίο έχουμε προσαρμόσει το χειροκίνητο ανυψωτικό κοχλία με το μετρητικό δακτύλιο. Κατεβάζουμε το δακτύλιο ώστε να ακουμπήσει στο σύστημα σφαιριδίου φόρτισης. Οι αρχικές ενδείξεις του μετρητικού δακτυλίου αντιστοιχούν στο φορτίο έδρασης και στην παραλαβή των τριβών. Ο μετρητής καταγράφει την παραμόρφωση του δοκιμίου όταν αυτό αρχίζει να είναι κορεσμένο. Ο μετρητικός δακτύλιος φόρτισης και ο μετρητής παραμόρφωσης τοποθετούνται σε μηδενική ένδειξη. Τότε αρχίζει η δοκιμή. Γεμίζουμε εντελώς το δοχείο κορεσμού. Τότε αυτό κινείται γρήγορα στο συμπυκνωμένο έδαφος που παρουσιάζει την τάση να διογκωθεί. Η παραμόρφωση καταγράφεται από το μετρητή και καταχωρείται στο έντυπο (πίνακας 69). Στο αρχικό στάδιο η διαδικασία αυτή φαίνεται γρήγορα και πρέπει να στρέψουμε τον κοχλία προς τα κάτω για να επαναφέρουμε το μετρητή ένδειξης σε μηδενική βάση.

Με τον τρόπο αυτό ο μετρητής δίνει όλο και μεγαλύτερες ενδείξεις. Οι μετρήσεις καταγράφονται στη στήλη 4 του εντύπου κατά τους χρόνους που αναγράφονται στη στήλη 2. Η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται σε 4 ημέρες. Μετά την τέταρτη ημέρα οι ενδείξεις είναι σταθερές δείχνοντας πλήρη ανάπτυξη της πίεσης διόγκωσης χωρίς μεταβολή του όγκου.

Η πίεση διόγκωσης q_{sw} υπολογίζεται από τη σχέση 302 προς: (Παπαχαρίσης, 1999).

$$q_{sw} = \frac{\text{Μέγιστο φορτίο (kgr)}}{\text{επιφάνεια δοκιμίου (cm}^2\text{)}} \quad (\text{kgr/cm}^2) \quad (302)$$

Πίνακας 69.
 Δοκιμή διόγκωσης - Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυνσιομέτρων και υπολογισμών

Περιοχή :			Έργο :		Αρ. Εντύπου : 19	
Περιγραφή εδάφους			Συντελεστής μετατροπής c =		Αρ. Δείγματος :	
No	Χρόνος min	Αρχική παραμόρφωση Ανάγνωση μετρητή	Ανάγνωση Μετρητικού δακτυλίου	Ολική ένδειξη μετρητικού δακτυλίου	Φορτίο (kg) Ενδείξεις x σταθερά c	Πίεση Διόγκωσης q_{svb} kg/cm ²
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0,0	3.52	0,0	0,0	0,0
2	1	0,0	9,18	66	28,05	0,345
3	5	0,0	9,31	79	33,57	0,414
4	10	0,0	-	-	-	-
5	15	0,0	9.32	80	34,0	0.419
6	20	0,0	9,32	80	34,0	0,419
7	25	0,0	-	-	-	-
8	30	0,0	9,33	31	34,42	0.424
9	45	0,0	9.34	82	34,85	0,430
10	60	0,0	9.35	83	35,27	0,435
11	90	0,0	-	-	-	-
12	120	0,0	9,50	98	41,65	0,514
13	180	0,0	-	-	-	-
14	4 ώρ.	0,0	9,72	120	51,00	0,629
15	8 ώρ.	0,0	9,80	123	54,40	0,671
16	24 ώρ.	0,0	10,12	160	68,00	0,839
17	2η μ.	0,0	11,05	253	107,50	1,326
18	3η μ.	0,0	11,70	318	135,20	1,667
19	4 ^η μ.	0,0	12,14	362	153,35	1,898
20	5η μ.	0,0	12,14	362	153,35	1,893

iii. Δοκιμή συμπίκνωσης εδαφών – Δοκιμή Proctor

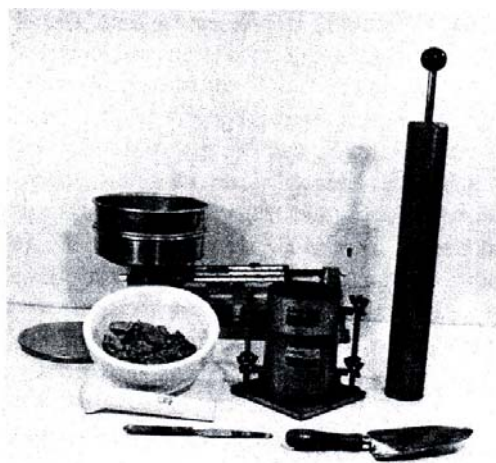
Η κατασκευή μικρών και μεγάλων τεχνικών έργων απαιτεί την εκσκαφή περιοχών είτε για τον εντοπισμό καλύτερου εδαφικού υποβάθρου θεμελίωσης είτε για τον εντοπισμό και τη χρησιμοποίηση κατάλληλου εδαφικού υλικού για την κατασκευή επιχωμάτων. Με την εκσκαφή όμως επέρχεται και μεταβολή της φυσικής κατάστασης της εδαφόμαζας που επέρχεται με την αύξηση του αρχικού όγκου, την αύξηση του πορώδους, της διαπερατότητας και της συμπιεστότητάς της με ταυτόχρονη μείωση της πυκνότητάς και της διαμητικής της αντοχής. Για να αντιπαρέλθουμε αυτά τα προβλήματα που δημιουργούνται με την εκσκαφή προβαίνουμε σε συμπίκνωση της εδαφικής μάζας στη νέα θέση απόθεσης. Έτσι με τον όρο συμπίκνωση εννοούμε την τεχνητή βελτίωση των μηχανικών

χαρακτηριστικών της εδαφόμαζας που επέρχεται με αύξηση της πυκνότητά της. Τα συμπυκνωμένα εδάφη χρησιμοποιούνται:

- Για σταθεροποίηση εδαφών στη θεμελίωση κατασκευών
- Στη βελτίωση του εδάφους στη θέση έδρασης μιας κατασκευής
- Στα εδαφικά υλικά (υλικά του πυρήνα) χωμάτων φραγμάτων
- Σε επιχώματα για έργα οδοποιίας

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης συμπύκνωσης συνεκτικών εδαφών χρησιμοποιείται η **μέθοδος Proctor**. Σκοπός της μεθόδου είναι να βρεθεί η υγρασία $W_{c,opt}$ που πρέπει να έχει ένα έδαφος (βέλτιστη περιεκτικότητα υγρασίας), προκειμένου να επιτύχουμε το μέγιστο φαινόμενο ξηρό βάρος γ_{dmax} .

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται (AASHTO T-99/74, ASTM D-698/78) (Σχ. 198).



Σχ. 198. Όργανα που χρησιμοποιούνται στη συμπύκνωση συνεκτικών εδαφών

- Κυλινδρικές μήτρες δύο μεγεθών
Τύπος Α. Μεταλλική μήτρα εσωτερικής διαμέτρου $101,6 \text{ mm} \pm 0,406 \text{ mm}$
ύψους $116,4 \pm 0,127 \text{ mm}$
όγκου $(943 \pm 8) \cdot 103 \text{ mm}^3$
ύψος πρόσθετου δακτυλίου $50,8 \text{ mm}$
Τύπος Β. Μεταλλική μήτρα εσωτερικής διαμέτρου $152,4 \pm 0,66 \text{ mm}$
ύψους $116,4 \pm 0,127 \text{ mm}$
ύψος πρόσθετου δακτυλίου $50,8 \text{ mm}$
- Κόπανοι κυλινδρικοί δύο μεγεθών:
Α τύπος: διαμέτρου $50,8 \pm 0,127 \text{ mm}$
Βάρος $2,49 \pm 0,01 \text{ kgr}$

Ύψος πτώσης $304,8 \pm 1,524$ mm

B' τύπος: διαμέτρου $50,8 \pm 0,127$ mm

Βάρος $4,54 \pm 0,01$ kgf

Ύψος πτώσης $457,2 \pm 1,524$ mm

- Εξωλκείας δειγμάτων
- Ζυγοί. Ένας ζυγός ικανότητας 10 kgf και ακρίβειας μέχρι 5 gr και ένας 1 kgf με ακρίβεια 0,1 gr
- Φούρνος ξήρανσης
- Άκαμπτο έλασμα κοφτερής πλευράς
- Κόσκινα 50,8 mm (2"), 19,1 mm (3/4") και No 4 (4,76 mm)
- Βοηθητικά εργαλεία και δοχεία

Η δοκιμή ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- Ζυγίζεται η κενή μήτρα χωρίς το δακτύλιο
- 3,0 kgf ξηραμένου στον αέρα και κονιοποιημένου εδάφους που διέρχεται από το κόσκινο των 19,1 mm (3/4") αναμειγνύονται με μικρή ποσότητα νερού (4-10%) μέσα σε κατάλληλη πλαστική λεκάνη. Το δείγμα καλύπτεται και αφήνεται για ωρίμανση τουλάχιστο για μερικές ώρες.
- Συνδέεται ο δακτύλιος στη μήτρα και αυτή με τη σειρά της στην πλάκα της βάσης, αφού τα τοιχώματα έχουν αλειφτεί εσωτερικά με λάδι μηχανής.
- Το έδαφος που ωρίμασε στη λεκάνη χωρίζεται σε τρία ίσα μέρη.
- Τοποθετείται μέσα στη μήτρα και συμπυκνώνεται σε τρεις ίσες στρώσεις με 25 κτύπους από την πτώση του εμβόλου. Η τελευταία συμπυκνωμένη στρώση δεν πρέπει να προεξέχει μέσα στο δακτύλιο παραπάνω από 6 mm.
- Αποσπάται ο δακτύλιος και με το κοφτερό έλασμα ισοπεδώνεται η επιφάνεια του εδάφους με τα χείλη της μήτρας.
- Ζυγίζεται η μήτρα με το συμπυκνωμένο έδαφος και την προσαρμοσμένη βάση.
- Απομακρύνεται η βάση και το δείγμα αποσπάται με τον εξωλκεία
- Από το κέντρο του δείγματος λαμβάνονται 1 έως 3 δείγματα βάρους 100 gr περίπου το καθένα και προσδιορίζεται η περιεκτικότητα υγρασίας τους.
- Η ξηρή πυκνότητα υπολογίζεται από τη σχέση: $\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+W_c)}$ σε gr/cm^3 αφού $\gamma = \frac{W_o}{V_o}$

Με W_o = βάρος υγρού συμπυκνωμένου δείγματος

V_o = ο όγκος της μήτρας σε cm^3

W_c = η περιεκτικότητα υγρασίας του

Όλες οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί μεταφέρονται στο έντυπο του πίνακα 70

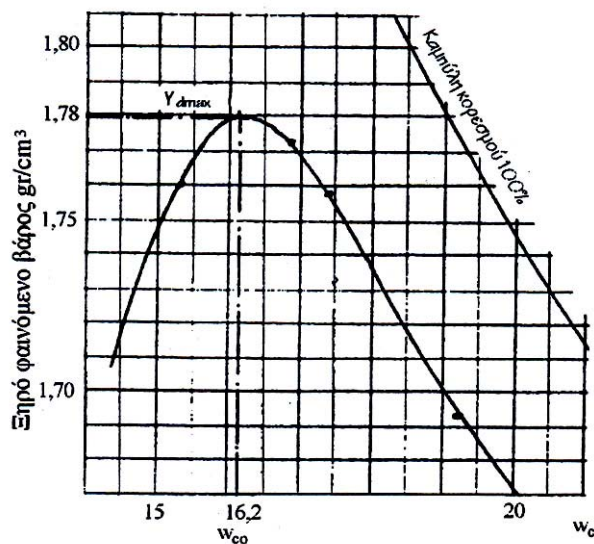
Πίνακας 70.

Δοκιμή συμπίκνωσης συνεκτικού εδάφους με τη μέθοδο proctor. Έντυπο καταγραφής μετρήσεων και υπολογισμών, της βέλτιστης περιεκτικότητας σε νερό, για τον προσδιορισμό της μέγιστης φαινόμενης ξηρής πυκνότητας, καθώς και της διακύμανσής τους

Προσδ. βέλτιστης Υγρ. W_{cop} και Φ. Β. Ξ. εδάφ. γ_{dop}			Αριθμός δοκιμής					
Περιεκτικότητα σε νερό $w_c\%$		Συμβ.	Δ. 1	Δ. 2	Δ. 3	Δ. 4	Δ. 5	Δ. 6
Αριθμός υποδοχέα		N°						
Βάρος εδάφους υγρό +απόβαρο		W_1 gr						
Βάρος εδάφους ξηρό +απόβαρο		W_2 gr						
Απόβαρο		W_T gr						
Βάρος νερού		W_w gr						
Βάρος ξηρού εδάφους		W_d gr						
Περιεκτικότητα σε νερό		W_c %						
Διάμετρος δείγματος	D_o cm	Επιφάνεια δείγματος	$A_0 = \pi D_o^2 / 4 \text{ cm}^2$					
Ύψος δείγματος	h_o cm	Όγκος δείγματος	$V_0 = h_o A_0 \text{ cm}^3$					
Βάρος μήτρας	W_T gr	Φαινόμενο Β. στερεών	$\gamma_s = \text{t/m}^3$					
Β. Υ. Εδ. +απόβαρο $W_i=W_0+W_T$		W_i gr						
Β. Υ. εδάφους $W_0=W_i-W_T$		W_0 gr						
Β. Ξ. εδάφους $W_d = W_0 / (1+w_c)$		W_d gr						
Φ. Β. Εδάφους $Y = W_0/V_0$		γ t/m^3						
Φ. Β. Ξ. εδάφους $\gamma_d = \gamma / (1+w_c)$		γ_d t/m^3						
Βέλτιστα μεγέθη		Β.Υγρασία $w_{cop} = \%$	Β. Φ. Β. Ξ εδάφ. $\gamma_{dop} = \text{t} / \text{m}^3$					
Υπολογισμός μεγεθών βέλτιστης κατάστασης και διακύμανση βέλτιστων τιμών								
Βάρος υγρού δείγματος		w_d gr	$= \gamma_d * V_0$					
Βάρος ξηρού δείγματος		W_0 gr	$= W_d*(1+ w_c)$					
Φαινόμενο βάρος δείγματος		Y t/m^3	$= W_0/V_0$					
Όγκος στερεών δείγματος $V_s/1$ όγκου		h_s/h_o	$= W_d / A_0 \gamma_s h_o$					
Ύψος στερεών δείγματος		h_s cm						
Όγκος νερού δείγματος $V_w/1$ όγκου		h_w / h_o	$= w_c h_s \gamma_s/h_o$					
Ύψος νερού δείγματος		h_w cm						
Όγκος αέρα δείγματος $V_a/1$ όγκου		h_a / h_o	$= [1 -(h_s + h_w)]/h_o$					
Ύψος αέρα δείγματος		h_a cm						
Διακύμανση βέλτιστης υγρασίας +x 3%-x 3%		$w_c \pm x \%$	$= w_c + x 19.50\%$			$=w_c-x= 13.50\%$		
Διακύμανση όγκου αέριας φάσης +y25%-y2.5		$V_a'=(V_a\pm y)$	$=(V_a + y)_{max}$			$=(V_a-y)_{min}$		
Βαθμός κορεσμού		S_r %	$= h_w / (h_o - h_s)$					
Δείκτης πόρων		e %	$= (h_o - h_s) / h_s$					
Φαιν. Βάρ. Κορεσμ. δείγματος		γ_{sat} t/m^3	$= (\gamma_s + c)/(1 + c)$					
Φαινόμενο βάρος υπό άνωση		Y' t/m^3	$= (\gamma_s-1)/(1+e)$					
Τύπος υπολογισμών		Υγρασίες πρ/σμού διακύμανσης	Καμπύλη V'_{amax}			Καμπύλη V'_{amm}		
			w_c	V'_{amax}	Y_d	w_c	V'_{amin}	Y_d
		$\frac{1}{Y_d} = \frac{1}{Y_s} + \frac{w_c}{100} + \frac{V'_a}{Y_d}$						
			W_{cmin}					
			W_{cop}					
			W_{cmax}					
Για την κατάσταση κορεσμού: $V'_a = 0$, (σχεδίαση καμπύλης κορεσμού) και έχουμε:		$\gamma_d \text{ t/m}^3$						
		$w_c \%$						
Παρατηρήσεις: Βλέπε έντυπο καμπύλων			Έργο:			Δείγμα:		
			Γεώτρηση:			Δοκιμή:		
			Βάθος:			Φύλλο:		
			Εργαστ/κός:			Ημερομηνία		
			Έλεγχος:			Αριθ. Εντύπου: 22		

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής προκύπτει το διάγραμμα:

- Ξηρό βάρος δείγματος = f (περιεκτικότητα υγρασίας). (Σχ. 199)



Σχ. 199. Η τιμή του μέγιστου ξηρού βάρους γ_{dmax} και η αντίστοιχη βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία ($w_{c,opt}$) παίρνονται από το σημείο καμπής της καμπύλης συμπύκνωσης.

Στους χώρους κατασκευής των έργων επιτυγχάνεται συμπύκνωση της τάξης του 90% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που προσδιορίζεται στο εργαστήριο.

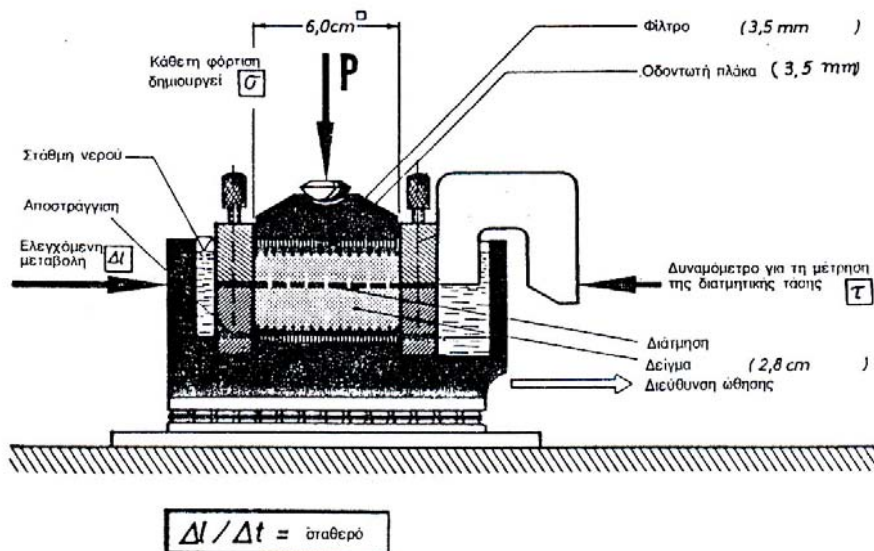
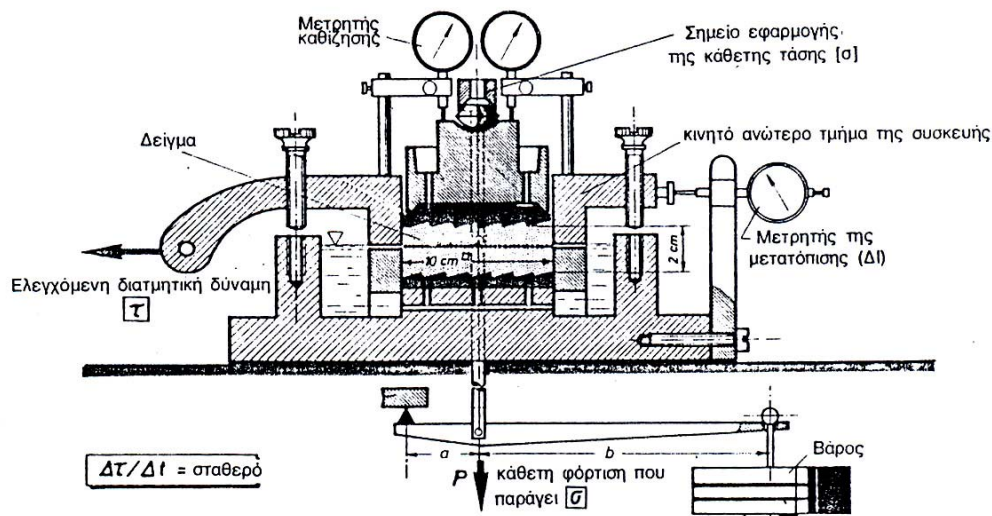
γ. Δοκιμές προσδιορισμού της αντοχής εδαφών και βράχων

Οι μηχανικές ιδιότητες της βραχώμαζας που αφορούν την αντοχή της σε πίεση, εφελκυσμό και διάτμηση εξαρτώνται από την κατάσταση του εδαφικού υλικού και στην περίπτωση του βράχου από το βαθμό αποσάθρωσης του βράχου και το βαθμό της τεκτονικής του καταπόνησης. Για τον προσδιορισμό της αντοχής εδαφικού και βραχώδους υλικού χρησιμοποιούνται εργαστηριακές δοκιμές και συσκευές.

- Άμεσης διάτμησης
- Μοναξονικής φόρτισης
- Τριαξονικής φόρτισης
- Δοκιμές σημείου αιχμής
- Δοκιμές Los Angeles

ι. Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Με τη δοκιμή αυτή μετράμε αμέσως τη μεταβολή της διατμητικής αντοχής του δοκιμαζόμενου υλικού με τη μεταβολή της ορθής φόρτισης που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια του δοκιμίου. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά, μη συνεκτικά εδάφη και βραχώδη πετρώματα. Κατά τη δοκιμή αυτή το επίπεδο θραύσης είναι προκαθορισμένο. Χρησιμοποιούνται συσκευές είτε με ελεγχόμενη διατμητική τάση (Σχ. 200α) είτε με ελεγχόμενη μετατόπιση (Σχ. 200β).



Σχ. 200. α) Συσκευή άμεσης διάτμησης με ελεγχόμενη διατμητική τάση τ
β) Συσκευή άμεσης διάτμησης με ελεγχόμενη μετατόπιση Δl.

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται:

- Υποδοχέας δοκιμίου αποτελούμενος από δύο δακτυλίους κυλινδρικού ή τετραγωνικού σχήματος
- Πορώδη φίλτρα
- Σύστημα επιβολής ορθής φόρτισης με βάρη
- Μηκυσιόμετρα
- Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
- Ηλεκτρικός φούρνος
- Κάψες πορσελάνης
- Βάρη
- Χρονόμετρο
- Μορφωτής δειγμάτων
- Μαχαιράκι, σπάτουλά, πριόνι ατσάλινης χορδής, κλπ.

Από αδιατάρακτο δείγμα αρκετού όγκου, ώστε να προκύψουν τρία τουλάχιστον δοκίμια με τις ίδιες ακριβώς διαστάσεις, μορφώνεται το δοκίμιο στις διαστάσεις του δακτυλίου της συσκευής άμεσης διάτμησης (κιβώτιο Casagrande) ανάμεσα στα μεταλλικά πορώδη φίλτρα. Οι διαστάσεις και ο όγκος του δοκιμίου είναι γνωστές από τις διαστάσεις του δακτυλίου που χρησιμοποιείται. Στο κιβώτιο προστίθεται απεσταγμένο νερό για κορεσμό του δείγματος και αφήνεται έτσι χωρίς το κατακόρυφο φορτίο για 24 h. Από τα αποκομμένα τεμάχια του δείγματος που παρέμειναν κατά την τελική του παρασκευή βρίσκουμε τη φυσική του υγρασία κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Μετά τον κορεσμό του δείγματος και την επιβολή της κάθετης φόρτισης, το δείγμα στερεοποιείται και αφού γίνει στερεοποίηση, αφαιρούμε τους πύρους συγκράτησης των δακτυλίων με προσοχή, μηδενίζοντας τα μηκυσιόμετρα του δυναμομετρικού δακτυλίου και των παραμορφώσεων, θέτοντας ταυτόχρονα σε κίνηση τη συσκευή επιβολής της οριζόντιας φόρτισης (διατμητικής δύναμης), καταγράφοντας σε τακτά χρονικά διαστήματα (15 με 20 λεπτά) τις ενδείξεις των μηκυσιομέτρων. Όταν ο δείκτης του δυναμομετρικού μήκους στο μέτρο του δακτυλίου αρχίζει να οπισθοχωρεί η θραύση του δείγματος έχει γίνει. Η ταχύτητα $\Delta t/\Delta t$ ή $\Delta l/\Delta t$ παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Μετά το τέλος της δοκιμής, το δοκίμιο αφαιρείται ξηραίνεται στους 105° C και υπολογίζεται το ξηρό βάρος του δείγματος. Ακόμη υπολογίζονται:

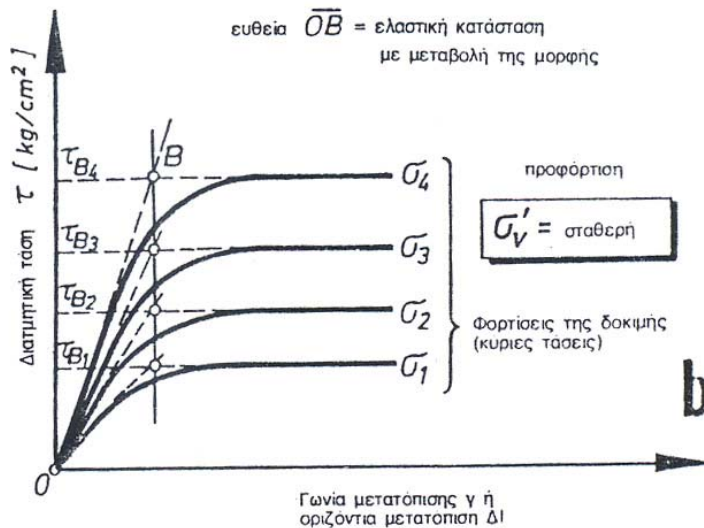
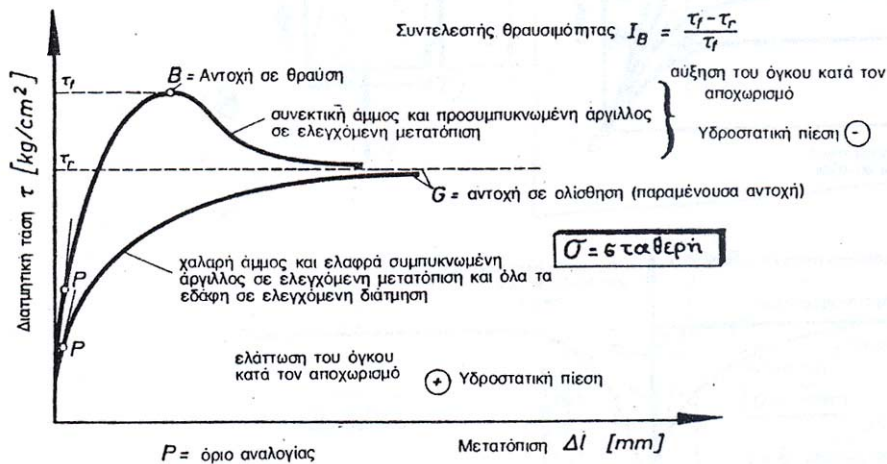
ο δείκτης πόρων (πριν και μετά τη στερεοποίηση)

ο βαθμός κορεσμού (πριν και μετά τη στερεοποίηση)

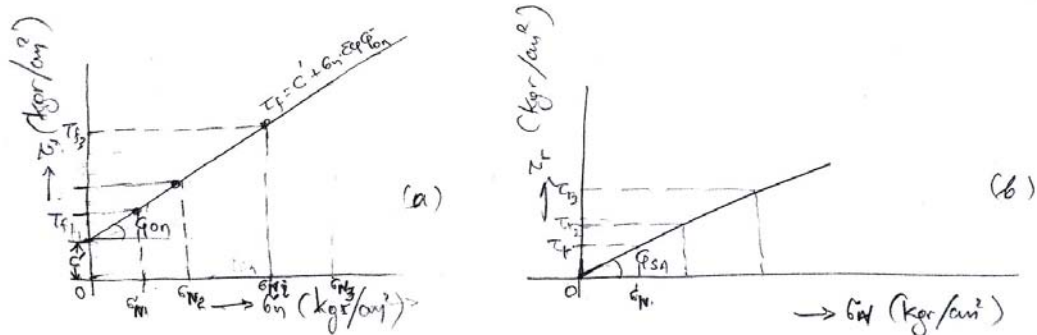
Η δοκιμή επαναλαμβάνεται σε τρία τουλάχιστον δοκίμια με διαφορετική κάθε φορά ορθή φόρτιση. Από κάθε δοκιμή προκύπτουν τα ζεύγη τιμών:

- Ορθής φόρτισης (ορθής τάσης) σ_N
- Διατμητικής τάσης θραύσης τ_f
- Παραμόρφωση Δl

Και συντάσσονται διαγράμματα $\tau=f(\Delta l)$ από το οποίο προκύπτουν οι τιμές τ_f , τ_r (Σχ. 201α), η ελαστική κατάσταση και παραμόρφωση (Σχ. 201β) καθώς και $\tau_f=f(\sigma_n)$ και $\tau_r=f(\sigma_n)$. (Σχ. 202 α και β) από τα οποία προκύπτουν η συνοχή c' και οι γωνίες τριβής ϕ_{OL} και ϕ_{SA} του υλικού.



Σχ. 201α) Διάγραμμα διατμητικών μετατοπίσεων με σταθερή ορθή φόρτιση
β) Καμπύλες διατμητικών μετατοπίσεων με διαφορετικές κλίμακες ορθής φόρτισης



Σχ. 202. Αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης. α. υπολογισμός των παραμέτρων ϕ_{0L} και c' από τις τιμές των ορθών τάσεων σ_N και των διατμητικών τάσεων θραύσης τ_{fi} . β. $c' = 0$ και υπολογισμός της γωνίας τριβής ϕ_{SA} από τις τιμές των ορθών τάσεων σ_{Ni} και των διατμητικών τάσεων ολίσθησης τ_{fi} .

Τα στοιχεία και οι μετρήσεις της δοκιμής καταγράφονται στο έντυπο που συνοδεύει τη δοκιμή. (Πίνακας 71).

Η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε βραχύδη δοκίμια, παράλληλα και κάθετα προς ασυνέχεια ή επιφάνεια στρώσης του πετρώματος.

ii. Δοκιμή αντοχής σε μοναξονική (ανεμπόδιστη) θλίψη

Η δοκιμή αντοχής σε μοναξονική θλίψη είναι μέθοδος προσδιορισμού της αντοχής συνεκτικών εδαφών και βράχων. Η δοκιμή συνίσταται στη βαθμιαία φόρτιση ενός κυλινδρικού εδαφικού τεμαχίου ή βράχου, χωρίς πλευρικό περιορισμό ($\sigma_3=0$) μέχρι τη θραύση του. Σαν αντοχή στην ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει:

- α) Επιφάνεια θραύσης
- β) Συνεχιζόμενη παραμόρφωση χωρίς την αύξηση του φορτίου

Για συνεκτικά εδάφη χρησιμοποιούνται αδιατάραχτα δείγματα. Η συλλογή γίνεται επιτόπου με ειδικό δειγματολήπτη και η αφαίρεσή τους γίνεται με ειδικό επίσης εξωλκέα. Το δοκίμιο δεν πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 33 mm με λόγο ύψους προς διάμετρο δοκίμιου 2 έως 3.

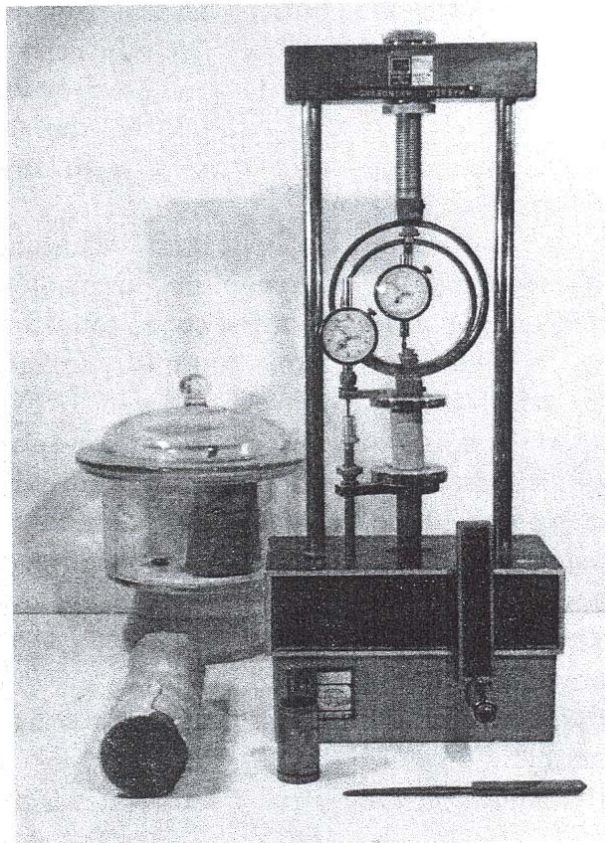
Πίνακας 71.

Δοκιμή άμεσης διάτμησης. Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυσιομέτρων και υπολογισμών

Συσκευή: N°		Αριθμός δακτυλίου: N°		Παρ. μετ/πής: C = 0.051		C ₂ = Kgf/ (ένδειξη)		
Κατάσταση δείγματος:			Αδιατάρακτο (Δ1), (Δ2)		Διαταραγμένο (Δ1), (Δ2)			
Μετ/λή χρόνου t min	Μετ/λή δια/τρου Δ _i *10 ⁻³ in	Μετ/λή δια/τρου Δ _i , cm	Διόρθωση επιφάνειας A _i =D Δ _i cm ²	Ανηγμένη παρ/φωση ε = Δ _i /D %	Ένδειξη δυναμικού δακτυλίου (γραμμές)	Διατ/κή δ/μη F= (ένδ.)*C Kgf	Διορ/νη επιφ/νεια A _c =A ₀ -A _i cm ²	Διατ/κή τάση τ =F/A _c Kg/cm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Δοκιμή (Δ1). Κατακόρυφο φορτίο σ ₁ = Kg /cm ²								
0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	A ₀ =31.45	0.00
	5	0.0127	0.0804	2			31.37	
	10	0.0254	0.1608	4			31.29	
	15	0.0380	0.2405	6			31.21	
	20	0.0508	0.3216	8			31.13	
	30	0.0762	0.4823	12			30.97	
	40	0.1016	0.643 1	16			30.81	
	50	0.1270	0.8034	20			30.64	
	60	0.1524	0.9647	24			30.48	
	80	0.2032	1.2863	32			30.16	
	100	0.2540	1.6078	40			29.84	
	120	0.3048	1.9294	48			29.52	
	150	0.3810	2.4117	60			29.04	
	180	0.4572	2.8941	72			28.55	
	220	0.5588	3.5300	88			27.92	
	260	0.6604	4.1800	104			27.27	
	300	0.7620	4.8234	120			26.62	
	350	0.8870	5.6273	140			25.82	
	400	1.0160	6.4312	160			25.02	
Δοκιμή (Δ2). Κατακόρυφο φορτίο σ ₂ = Kg /cm ²								
0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	A ₀ =31.45	0.00
	5	0.0127	0.0804	2			31.37	
	10	0.0254	0.1608	4			31.29	
	15	0.0380	0.2405	6			31.21	
	20	0.0508	0.3216	8			31.13	
	30	0.0762	0.4823	12			30.97	
	40	0.1016	0.6431	16			30.81	
	50	0.1270	0.8034	20			30.64	
	60	0.1524	0.9647	24			30.48	
	80	0.2032	1.2863	32			30.16	
	100	0.2540	1.6078	40			29.84	
	120	0.3048	1.9294	48			29.52	
	150	0.3810	2.4117	60			29.04	
	180	0.4572	2.8941	72			28.55	
	220	0.5588	3.5300	88			27.92	
	260	0.6604	4.1800	104			27.27	
	300	0.7620	4.8234	120			26.62	
	350	0.8870	5.6273	140			25.82	
	400	1.0160	6.4312	160			25.02	
Παρατηρήσεις: Τα βοηθητικά χαρακτηριστικά των					Έργο:		Δείγμα:	
δείγμάτων σημειώνονται στο Γενικό έντυπο					Γεώτρηση:		Δοκιμή:	
					Βάθος:		Φύλλο:	
					Εργαστ/κός:		Ημερομηνία:	
					Έλεγχος:		Αριθ. Εντύπου: 12	

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται:

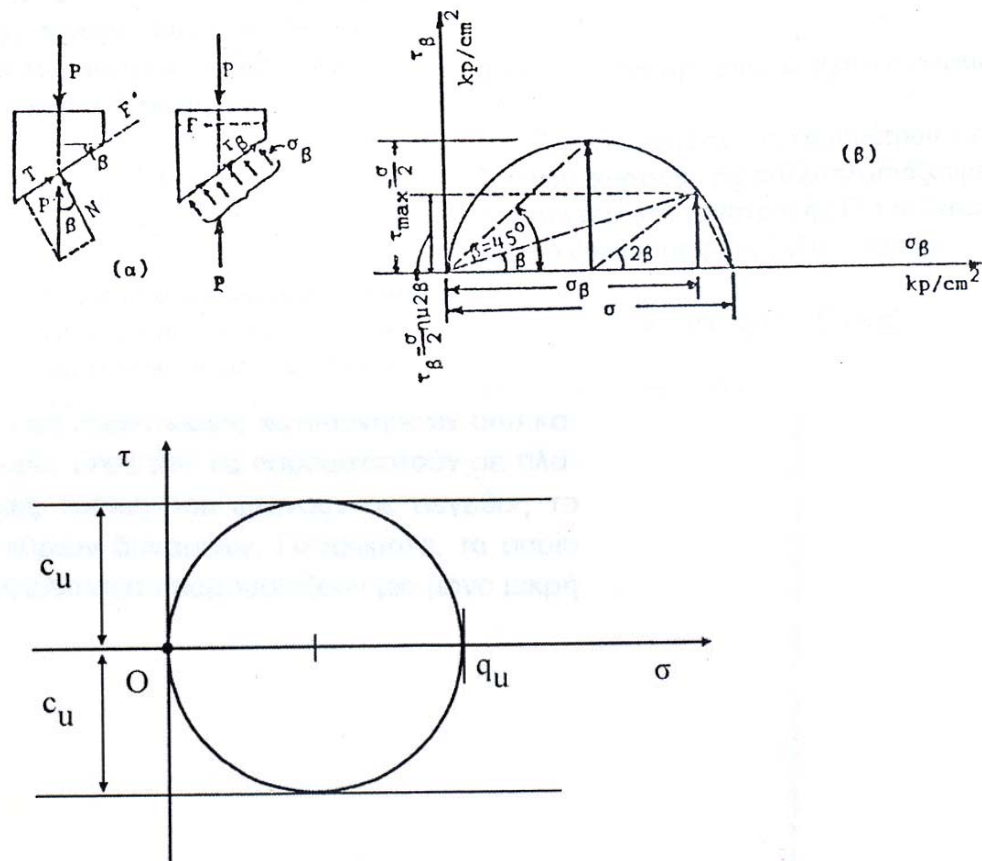
- Συσσκευή μοναξονικής φόρτισης (Σχ. 203) που αποτελείται από:
 - Το πλαίσιο φόρτισης (πρέσα). Το φορτίο επιβάλλεται είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα με μηχανική επιβολή φορτίου
 - Μεταλλική βάση με κυκλική πλάκα, στο κέντρο της οποίας τοποθετείται το δοκίμιο
 - Μηκυσιόμετρα ακριβείας 0,0001" για το δυναμόμετρο και 0,001" για το μηκυσιόμετρο
 - Ζυγός ακριβείας 0,01 gr
 - Ηλεκτρικός φούρνος
 - Κάψες πορσελάνης
 - Μορφοποιητής δειγμάτων
 - Πριονάκι ασάλινης χορδής
 - Μαχαιράκι
 - Χρονόμετρο



Σχ. 203. Συσσκευή μοναξονικής φόρτισης

Το δοκίμιο τοποθετείται στη μεταλλική πλάκα και φορτίζεται κατακόρυφα με τη βοήθεια θλιπτικού αξονικού φορτίου. Με τη μεταφορά του φορτίου καταγράφονται αυτόματα η συμπίεστικότητα του δείγματος (παραμόρφωση), όπως επίσης και το θλιπτικό φορτίο μέχρι τη χρονική στιγμή της θραύσης του δοκιμίου. Η δοκιμή διαρκεί περίπου 10 min και αποσκοπεί στον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (σ_c) του δοκιμαζόμενου υλικού. Κατά τη δοκιμή αυτή υπολογίζονται:

- Η ανηγμένη παραμόρφωση $\epsilon = \frac{\Delta h_i}{h_0}$ με h_0 = αρχικό ύψος δοκιμίου και Δh_i = βράχυνση του δοκιμίου σε cm
- Μέση επιφάνεια του A_i του δοκιμίου $A_i = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$ με A_0 = η αρχική μέση επιφάνεια του δοκιμίου σε cm^2 .



Σχ. 204 α) Γραφική απεικόνιση τάσεων σε κατάσταση μοναξονικής φόρτισης
β) Διάγραμμα τ-σ

Πίνακας 72.

Δοκιμή μονοαξονικής φόρτισης. Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυσιομέτρων και υπολογισμών

Συσκευή	N°		Αριθμός δακτυλίου: N°			Παρ. μετ/πής: C ₁ = 0.4122 C ₂ = Kgf (ένδειξη)		
Κατάσταση δείγματος		Αδιατάρακτο (Δ1) , (Δ2)				Διαταραγμένο (Δ1) (Δ2)		
Μεταβολή χρόνου t min	Μεταβολή ύψους Δh _i *10 ⁻³ in	Μεταβολή ύψους Δh _i cm	Ένδειξη δυναμικού δακτυλίου (γραμμές)	Θλιπτική δύναμη F=(ένδ)*C Kgf	Παρ/φωση $\epsilon\% = \frac{\Delta h_i (cm)}{h_0 (cm)}$	Διορ/μένη επιφάνεια A ₁ =A ₀ /(1-ε) cm ²	Τάση σ ₁ = q _u =F/A _i Kg/cm ²	Συνοχή c _u =q _u /2 Kg/cm ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Δοκιμή (Δ1).								
Παρατηρήσεις: h ₀ =7,15 cm, A ₀ = 8.71 cm ²					Έργο:		Δείγμα:	
Τα βοηθητικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων σημειώνονται στο Γενικό έντυπο.					Γεώτρηση:		Δοκιμή:	
					Βάθος:		Φύλλο:	
					Εργαστ/κός:		Ημερομηνία:	
					Έλεγχος		Αριθ. Εντύπου: 14	

- Διατμητική τάση θραύσης τ_f : τ_f = c' + σ_N.εφφ_{OL} (εξίσωση του Coulomb).

Η μέγιστη διατμητική τάση τ_f που δίνεται σύμφωνα με τη σχέση $\tau_f = \frac{\sigma_N}{2} \cdot \eta\mu 2\beta$ όπου β=η γωνία θραύσης που προκύπτει με ημ2β = 90° (Σχ. 204α) ή β=45° και τ_f= c' = $\frac{\sigma_N}{2}$ και σ_N = σ_c = $\frac{F}{A}$ με F = το μέγεθος του θλιπτικού φορτίου οπότε και τ_f = σ_c/2 = F/2A και σ_c = 2τ_f = 2c' (Σχ. 204β).

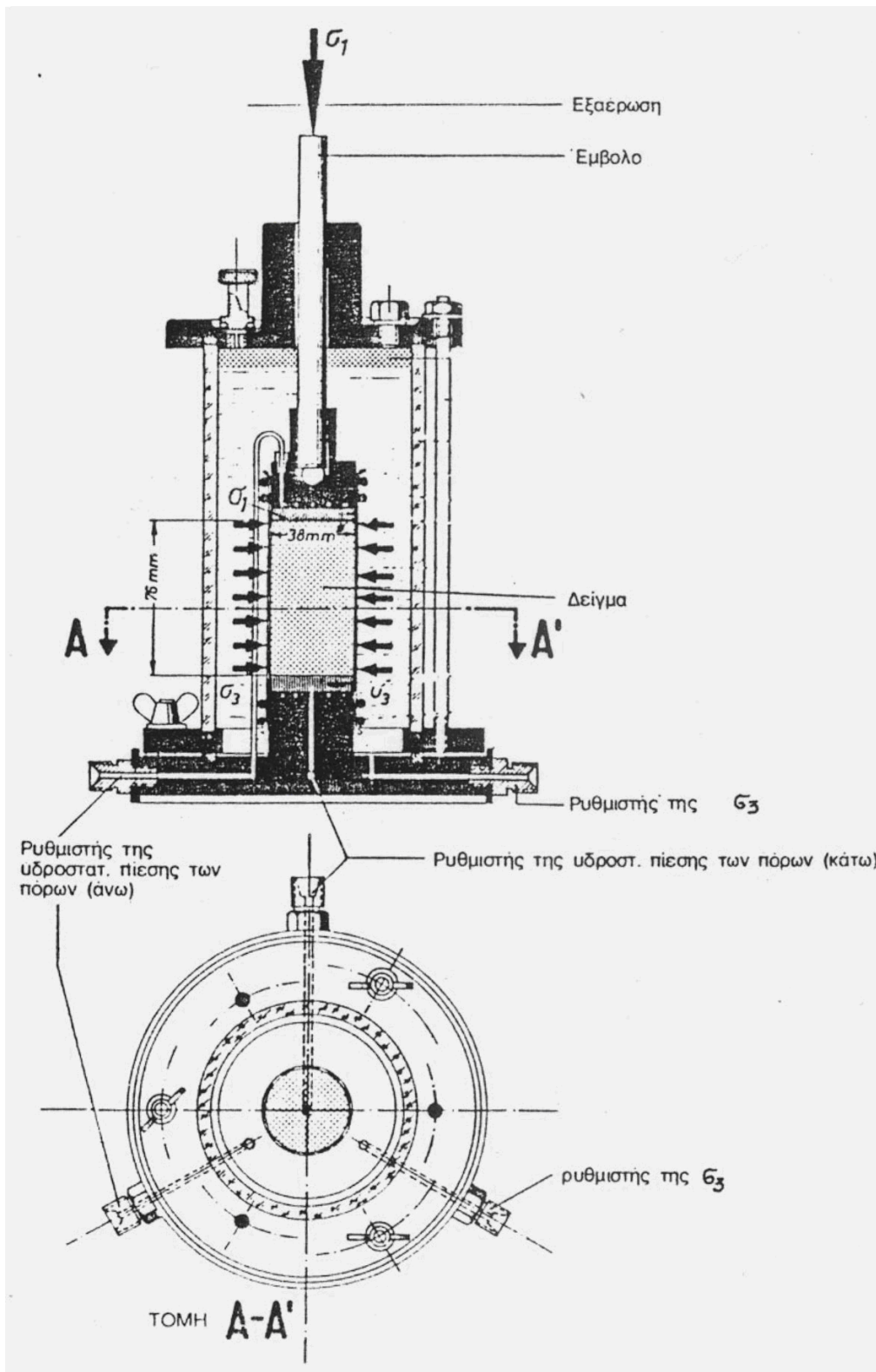
Ο υπολογισμός των παραμέτρων c' και φ_{OL} γίνεται σε διάγραμμα τ_f = f(σ_N) από τη θέση της περιβάλλουσας του Coulomb.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής μεταφέρονται στον έντυπο του πίνακα 72.

iii. Δοκιμή αντοχής σε τριαξονική φόρτιση

Στόχος της δοκιμής είναι ο έλεγχος της εντατικής κατάστασης ενός εδαφικού βραχώδους υλικού με τον υπολογισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών αντοχής και παραμόρφωσης σε οποιοσδήποτε συνθήκες φόρτισης και αποστράγγισης. Κατά τη δοκιμή το δοκίμιο, κυλινδρικού σχήματος περιβάλλεται από υδατοστεγή ελαστική μεμβράνη και τοποθετείται στην κυψέλη της συσκευής (Σχ. 205), όπου περιβάλλεται με νερό και υποβάλλεται σε ολόπλευρη υδροστατική πίεση. Στη συνέχεια φορτίζεται αξονικά μέχρι τη θραύση του με κατάσταση τάσεων σ' ₁>σ₃=σ₂. Η δοκιμή διεξάγεται

κρατώντας σταθερή πάντα την πίεση της κυψέλης αυξάνοντας σταδιακά την αξονική τάση. Ανάλογα με τις συνθήκες αποστράγγισης διακρίνουμε τρεις βασικούς τύπους δοκιμών:



Σχ. 205. Συσκευή τριαξονικής φόρτισης

1. Δοκιμή UV (Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση)
2. Δοκιμή CU (δοκιμή με στερεοποίηση – χωρίς αποστράγγιση)
3. Δοκιμή CD (αργή δοκιμή με στερεοποίηση και αποστράγγιση)

Για την εκτέλεση των δοκιμών απαιτούνται

- Τριαξονική δοκιμή θλίψης με τα παρακάτω εξαρτήματα:
 - Μηχανή θλίψης
 - Κυψέλες και εξαρτήματα κυψελών
 - Συσκευή παροχής σταθερής πίεσης
 - Συσκευή μέτρησης όγκου
 - Συσκευή μέτρησης πίεσης νερού πόρων
 - Δοχείο νερού
 - Αεροσυμπιεστής
 - Καταγραφικά όργανα
 - Μηκυσιόμετρα
 - Μορφοποιητές δειγμάτων
 - Βοηθητικά όργανα και εξαρτήματα
- **Δοκιμές UV**

Το δείγμα οδηγείται στη θραύση χωρίς αποστράγγιση. Εφαρμόζεται κατά το πλείστον, σε κορεσμένα δοκίμια. Στις δοκιμές αυτές συνήθως δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Η εκτέλεση της δοκιμής ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία:

 - Το δοκίμιο τοποθετείται στο θάλαμο της κυψέλης αφού περιβληθεί με ελαστική μεμβράνη πάχους στο 1% περίπου της διαμέτρου του δοκιμίου.
 - Ζυγίζεται η μεμβράνη μαζί με το δοκίμιο με ακρίβεια 0,1 gr
 - Το δοκίμιο τοποθετείται αμέσως στη βάση της τριαξονικής συσκευής, υγραίνεται η μεμβράνη, αναδιπλώνεται και δένεται στη βάση με ελαστικό δακτύλιο.
 - Τοποθετείται το επάνω κάλυμμα στην κορυφή του δοκιμίου. Διαβρέχεται το επάνω άκρο της μεμβράνης και τυλίγεται πλευρικά στο κάλυμμα. Τοποθετείται ο δεύτερος ελαστικός δακτύλιος και η μεμβράνη αναδιπλώνεται.
 - Τοποθετείται προσεκτικά ο κύλινδρος της κυψέλης και ελέγχεται αν το άκρο του εμβόλου εφάπτεται στο κέντρο του καλύμματος.

- Σφίγγονται όλοι οι κοχλίες της κορυφής των κατακόρυφων ράβδων μέχρι να στεγανοποιηθεί ο θάλαμος. Η μόνη ανοιχτή βαλβίδα στο σημείο αυτό είναι η βαλβίδα εξαερισμού.
- Ανοίγεται η βαλβίδα παροχής νερού και γεμίζει ο θάλαμος της κυψέλης. Κλείνονται στη συνέχεια οι βαλβίδες νερού και εξαερισμού.
- Μεταφέρεται στο θάλαμο η κατάλληλη πλευρική πίεση και καταγράφονται οι αρχικές ενδείξεις του δακτυλίου φόρτισης και του μηκυνσιομέτρου.
- Ελέγχονται προσεκτικά όλα τα απαραίτητα για την εκτέλεση της δοκιμής. Κατ' αυτήν παίρνονται οι ενδείξεις του μηκυνσιομέτρου, του δακτυλίου φόρτισης και του χρονομέτρου. Παίρνονται ενδείξεις για παραμορφώσεις 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5% για ολική παραμόρφωση μέχρι 0,5% και στη συνέχεια ανά 0,5% μέχρι να επιτύχουμε ολική παραμόρφωση 3% και τελικά ανά 1% μέχρι το τέλος της δοκιμής.
- Η δοκιμή συνεχίζεται μέχρις ότου η θλιπτική δύναμη που εφαρμόζεται να παραμένει σταθερή για μερικές ενδείξεις ή το δοκίμιο να παραμορφωθεί στο 20% περίπου.
- Εκεί σταματά η δοκιμή θλίψης και ελευθερώνεται η αξονική φόρτιση
- Κλείνεται η βαλβίδα πίεσης και η πίεση του θαλάμου εκτονώνεται από τη βαλβίδα εξαερισμού.
- Αφαιρείται το νερό από το θάλαμο της κυψέλης και αποσυναρμολογείται η συσκευή.
- Σχεδιάζεται η μορφή του δοκίμιου μετά τη θραύση
- Αφαιρείται η μεμβράνη και προσδιορίζεται η φυσική υγρασία του δοκίμιου μετά το πέρας της δοκιμής.

- **Δοκιμές CU**

Στις δοκιμές αυτές γίνεται μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ενεργών τάσεων και των ενεργών παραμέτρων c' και ϕ' . Στην περίπτωση που το δοκίμιο δεν είναι κορεσμένο χρησιμοποιείται για τον κορεσμό του μια αντίστροφη πίεση πόρων ως εξής:

- Μέσα στον υγρό θάλαμο το δοκίμιο περιβάλλεται με ελαστική μεμβράνη με τη χρησιμοποίηση του ειδικού κυλίνδρου που χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό. Το πάχος της μεμβράνης δεν πρέπει να ξεπερνά το 1% της διαμέτρου του δακτυλίου.
- Ζυγίζεται η μεμβράνη μαζί με το δακτύλιο με ακρίβεια 0,1 gr

- Αφαιρείται ο αέρας από τη βάση και από τα σωληνάκια που συνδέουν τη βάση της κυψέλης με τις προχοϊδες με διέλευση βρασμένου νερού.
- Τοποθετείται στη βάση της συσκευής πορόλιθος, τον οποίο έχουμε βράσει προηγουμένως για την απομάκρυνση του αέρα.
- Αφήνουμε το νερό να τρέχει αργά από τη βαλβίδα για να αποφύγουμε δέσμευση αέρα και τοποθετούμε το δοκίμιο πάνω στον πορόλιθο της βάσης.
- Υγραίνεται η μεμβράνη και αναδιπλώνεται στη βάση με ελαστικό δακτύλιο
- Τοποθετείται ο δεύτερος απαερωμένος πορόλιθος μαζί με το κάλυμμα της κεφαλής του δοκιμίου, με το νερό να ρέει αργά ώστε να αποφύγουμε δέσμευση αέρα ανάμεσα στο δοκίμιο και τον πορόλιθο.
- Διαβρέχεται το πάνω άκρο της μεμβράνης και τυλίγεται πλευρικά το κάλυμμα.
- Τοποθετείται ελαστικός δακτύλιος και η μεμβράνη αναδιπλώνεται
- Τοποθετείται ο κύλινδρος της κυψέλης, ελέγχεται αν το άκρο του εμβόλου εφάπτεται στο κέντρο του επάνω καλύμματος του δοκιμίου, σφίγγονται όλοι οι κοχλίες μέχρι να επιτύχουμε τη στεγάνωση του θαλάμου, κλείνουμε όλες τις βαλβίδες εκτός από τη βαλβίδα εξαερισμού.
- Ανοίγουμε τη βαλβίδα παροχής νερού, γεμίζει ο θάλαμος της κυψέλης με νερό και στη συνέχεια κλείνουμε αυτή τη βαλβίδα όπως και τη βαλβίδα εξαερισμού. Το δοκίμιο είναι έτοιμο για τη δοκιμή.

Δοκιμές CD

Χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ενεργών τάσεων και των ενεργών παραμέτρων κατά τη θραύση c' και ϕ'_{OL} . Οι δοκιμές αυτές εκτελούνται αργά, ώστε η πίεση του νερού των πόρων που αναπτύσσεται στο δοκίμιο είναι ασήμαντη. Για την εκτέλεση της δοκιμής ακολουθούνται οι ίδιες διαδικασίες που περιγράφηκαν και στις CU δοκιμές.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής μεταφέρονται στο έντυπο του πίνακα 73.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών μεταφέρονται σε διάγραμμα διατμητικών τάσεων/κυρίων τάσεων, όπου με την κατασκευή των κύκλων Mohr και την περιβάλλουσα του Coulomb προσδιορίζονται οι μηχανικές παράμετροι c' και ϕ'_{OL} .

Πίνακας 73.

Δοκιμή τριαξονικής θλίψης - Δοκιμή I (πίεση κυπέλης $\sigma_3 = \text{kg/m}^2$). Έντυπο καταγραφής ενδείξεων μηκυσιομέτρων και υπολογισμών

Έργο:				Περιοχή:			Γεώτρηση:			Βάθος:			Αρ. Εντύπου: 16				
Αριθμός Δείγματος:				Είδος Δείγματος: [Αδιατάρακτο] - Διαταραγμένο - Αναζημωμένο						Αρ. δοκιμίου:		Ημερομηνία:					
Είδος δοκιμής: [UU] - CIU - CD						Ταχύτητα διάτμησης $v - 0,62 \text{ mm/min}$						Αρ. δακτυλίου:		Συντελεστής μετατροπής: $c=0,08 \text{ kgf/ένδειξη}$			
Χρόνος	Δύναμη			Παραμόρφωση			Πίεση νερού πόρων		Επιφάνεια	Μεταβολή όγκου		Υπολογισμοί τάσεων					
Δι	Ένδειξη Δυναμό μετρου	Ανηγμένη ένδειξη	$F = \frac{x_c}{kg}$	Ένδειξη x 0.01 mm	Ύψος δοκιμίου Mm	ϵ_i %	Au	Ανηγμένη πίεση πόρων $u_t - u_0$	Διορθωμένη επιφάνεια A cm^2	Μεταβολή όγκου ΔV	U% $\frac{\Delta V}{V_0} \times 100\%$	Ολική τάση $\sigma_1 - \sigma_3 + F/A$	$\sigma'_1 - \sigma_1 - u$ Kpa	$\sigma'_3 - \sigma_3 - u$ Kpa	$\sigma'_1 - \sigma'_3$	$q = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{3}$ Kpa	$p = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma_3}{3}$ Kpa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

δ. Δοκιμές διαπερατότητας

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της διαπερατότητας χαλαρών εδαφών γίνεται με τα ποροσίμετρα. Χρησιμοποιούνται ποροσίμετρα σταθερού πιεζομετρικού φορτίου (Σχ. 206α) και ποροσίμετρα μεταβλητού φορτίου (Σχ. 206β).

Η κίνηση και η διέλευση του νερού από το δείγμα πρέπει να γίνεται από κάτω προς τα πάνω, έτσι ώστε ο αέρας που είναι εγκλωβισμένος στους πόρους του δοκίμιου να μπορεί να διαφεύγει. Ο υπολογισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας k (m/sec) προκύπτει στην α' περίπτωση (για χονδρόκοκκα υλικά) από τη σχέση:

$$k = \frac{Q \cdot l}{F \cdot t \cdot h} \text{ (m/sec)}$$

ενώ στη β' περίπτωση για λεπτόκοκκα υλικά που χρησιμοποιούμε μεταβλητό φορτίο από τη σχέση:

$$k = \frac{f \cdot l}{F \cdot t} \cdot 2,3 \log \frac{h_1}{h_2} \text{ (m/sec)}$$

Όπου Q = παροχή νερού (m^3)

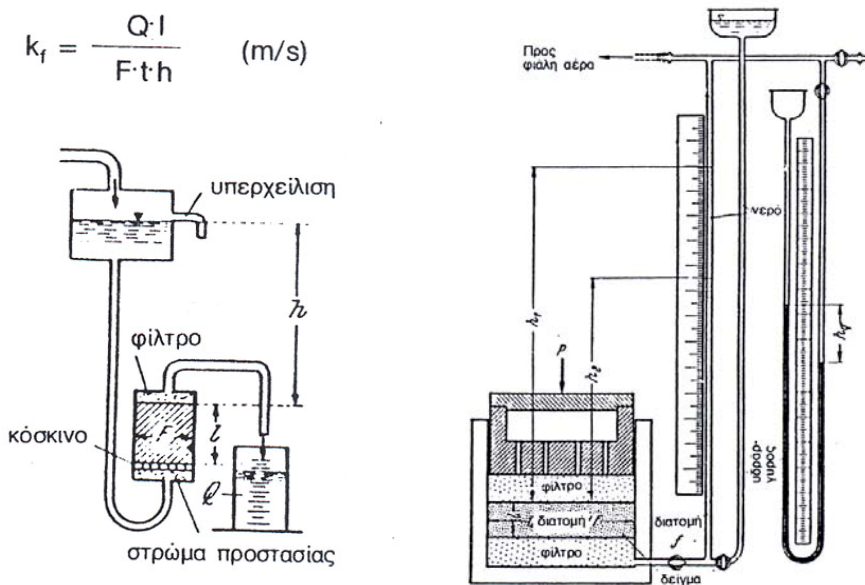
F = η διατομή δείγματος (m^2)

l = μήκος δείγματος (m)

t = χρόνος δοκιμής (sec)

h_1 = πιεζομετρικό ύψος κατά την έναρξη της δοκιμής

h_2 = πιεζομετρικό ύψος κατά το τέλος της δοκιμής



Σχ. 206. α) Όργανο μέτρησης της διαπερατότητας με σταθερό πιεζομετρικό φορτίο

β) Όργανο μέτρησης της διαπερατότητας με μεταβλητό πιεζομετρικό φορτίο

2. Επιτόπου δοκιμές και εργασίες

Για τη διερεύνηση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στη θέση θεμελίωσης ενός τεχνικού έργου, διενεργούνται διάφορα γεωερευνητικά προγράμματα, που περιλαμβάνουν διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων, σκαμάτων, και την εκτέλεση διαφόρων επί τόπου δοκιμών στις θέσεις αυτές. Σημαντικά στοιχεία για την κατάσταση της δομής και της συμπεριφοράς του υποβάθρου θεμελίωσης (εδαφόμαζα ή βραχώμαζα) στην ασφάλεια και τη λειτουργία του τεχνικού έργου μας δίνουν τα γεωτρητικά γεωερευνητικά προγράμματα

α. Ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις

Για να εκτελεστεί με ασφάλεια ένα τεχνικό έργο είναι αναγκαίο να αποκτηθεί η γνώση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν επιφανειακά και υπόγεια στη θέση θεμελίωσης του έργου. Χρειάζεται να γνωρίζουμε την αλληλοεξάρτηση των κατασκευών και του εδάφους σε επιφανειακές και βαθιές θεμελιώσεις, τοίχων αντιστήριξης, επενδύσεις σηράγγων, κλπ. Έργα που κύριο υλικό κατασκευής είναι το έδαφος σε επιχώματα φραγμάτων, βάσεις και υποβάσεις έργων οδοποιίας, αναχώματα υδραυλικών έργων κλπ και τέλος έργα διαμόρφωσης του τοπικού αναγλύφου και της βραχώμαζας σε θέσεις διαμόρφωσης τεχνητών πρηνών, εκσκαφές και ορύγματα, διαμόρφωση αναβαθμιδών κλπ σε υδραυλικά έργα και έργα οδοποιίας. Για την απόκτηση αυτής της γνώσης θα πρέπει να διανοιχθεί επιτόπου ερευνητική γεώτρηση με πλήρη πυρηνοληψία, δειγματοληψία και διερεύνηση των δειγμάτων στο εργαστήριο. Ακόμη στις οπές των γεωτρήσεων που θα προκύψουν θα εκτελεστούν επιτόπου δοκιμές, κυρίως διαπερατότητας, για τη στεγανοποίηση της βραχώμαζας με εκτέλεση τσιμεντενέσεων.

Η δειγματοληψία εδώ χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες που η καθεμιά χωρίζεται σε άλλες επιμέρους κατηγορίες που χρησιμοποιούν ειδική τεχνική.

Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων
 - Δειγματοληψία αδιαταράχτων δειγμάτων
 - Δειγματοληψία διαταραγμένων δειγμάτων
- Πυρηνοληψία βραχωδών δειγμάτων
 - Απλή πυρηνοληψία
 - Πυρηνοληψία με διπλούς πυρηνοσυλλέκτες

Για να θεωρηθεί ένα δείγμα αδιατάραχτο θα πρέπει:

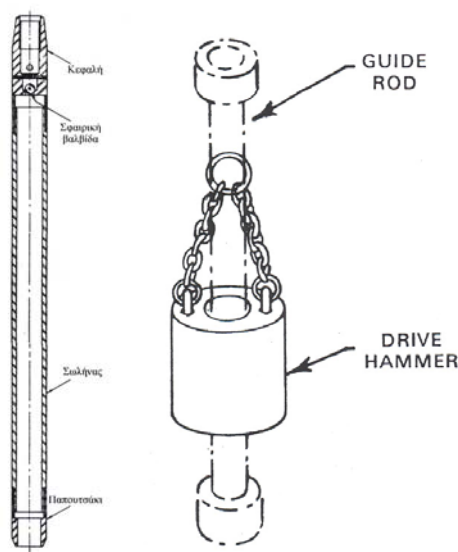
- Να έχει καθαριστεί καλά η οπή

- Να χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση ο κατάλληλος δειγματολήπτης αδιατάραχτου δείγματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται δειγματολήπτες λεπτών τοιχωμάτων.
- Ο δειγματολήπτης να φέρει βαλβίδα σφαιριδίου για την εκτόνωση της πίεσης κατά την εισχώρηση του δείγματος.
- Η δειγματοληψία να γίνεται με αργή εισχώρηση του δειγματολήπτη στο έδαφος και να αποφεύγονται οι κρούσεις.

Η πυρηνοληψία συνεκτικών εδαφικών και βραχωδών δειγμάτων γίνεται με τη βοήθεια απλού ή διπλού (πυρηνοσυλλέκτη ή καροταρία) σωλήνα με κατάλληλο κοπτικό άκρο, με περιστροφή ή κρούση σε οποιοδήποτε βάθος. Διανοίγεται η γέωτρηση με συνεχή και πλήρη δειγματοληψία (καροταρία) ή με επιλεγμένη δειγματοληψία. Τα καρότα τοποθετούνται σε κασάκια αριθμημένου βάθους και φωτογραφίζονται.

β. Πρότυπη δοκιμή διείδυσης S.P.T. (Standard Penetration Test)

Διενεργείται κατά τη διάρκεια διάνοιξης της ερευνητικής γέωτρησης. Διενεργείται στον εκάστοτε πυθμένα της γέωτρησης και στα επιθυμητά βάθη. Πριν από την εκτέλεση της δοκιμής, ο πυθμένας καθαρίζεται από τα υπολείμματα της διάτρησης. Τα στελέχη κατεβαίνουν κρεμασμένα από το συρματόσχοινο έξω από την κεφαλή μετάδοσης της κίνησης. Στο κάτω άκρο της στήλης έχει προσαρμοστεί ο διαιρετός δειγματολήπτης Terzaghi (207β) που τον ακουμπάμε στον πυθμένα (Παπαχαρήσης κ.ά. 1999).



Σχ. 207. α) Δειγματολήπτης αδιαίρετου κυλινδρικού σωλήνα
β) Οδηγός δοκιμής S.P.T.

Απελευθερώνουμε τη στήλη από το συρματόσχοινο. Με τη βοήθεια σχοινοῦ του βοηθητικού τυμπάνου ανύψωσης και με την τροχαλία του ιστού προσαρμόζουμε τον οδηγό με το σύστημα κρούσης (Σχ. 207β) στην κορυφή της στήλης, κατεβάζουμε το βάρους κρούσης μαλακά στην κάτω βάση του οδηγού με τη βοήθεια του τυμπάνου. Σε στέλεχος που εξέρχει από τους σωλήνες της επένδυσης χαράσσουμε τρία συνεχόμενα τμήματα των 15 cm το καθένα. Δένουμε ένα σχοινί στη στήλη των στελεχών για να μην κινούνται, αρχίζουμε τη δοκιμή ανεβάζοντας το βάρος στο επάνω μέρος του οδηγού και το αφήνουμε να πέσει ελεύθερα στη βάση του οδηγού. Το βάρος είναι 63,4 kg και το ύψος πτώσης 76 cm. Σημειώνουμε τον αριθμό των κρούσεων για εισχώρηση του δειγματολήπτη κατά 15 cm και το σύνολο των κρούσεων για τα τελευταία 30 cm. Το σύνολό τους μας δίνει τον αριθμό κρούσης N κατά Terzaghi. Αν έχουμε πάνω από 50 κρούσεις χωρίς να εισχωρήσει ο δειγματολήπτης 15 cm, θεωρούμε ότι υπάρχει άρνηση εισχώρησης και διακόπτουμε τη δοκιμή. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της δοκιμής δίνεται στους πίνακες 74 και 75 (Παπαχαρήσης κ.ά. 1999).

Πίνακας 74.

Εμπειρικές τιμές του ϕ , D_r και γ για ψαθυρά εδάφη σε συνάρτηση με τις τιμές S.P.T.

Διάστρωση	Πολύ χαλαρή	Χαλαρή	Μέση	Πυκνή	Πολύ πυκνή
Σχετική πυκνότητα D_r	0,00	0,15	0,35	0,65	1,00
S.P.T. (N)	<4	4	10	30	>50
Γωνία τριβής (ϕ) (ο)	25-30°	27-32°	30-35°	35-40°	38-43°
Φαινόμενο βάρος γ (gr/cm ³)	1,12-1,60	1,44-1,84	1,76-2,08	1,76-2,24	2,08-2,40

Πίνακας 75.

Εμπειρικές τιμές συνεκτικότητας αργίλου, αριθμού κρούσεων N και αντοχή σε μοναξονική θλίψη (sc)

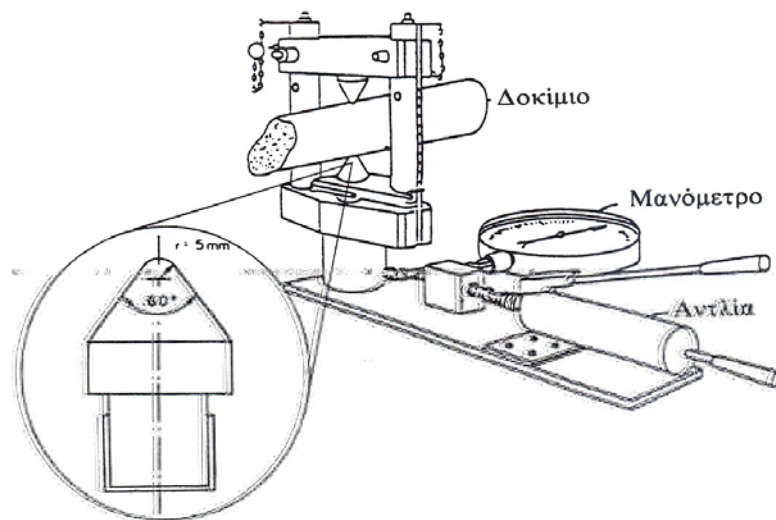
Συνεκτικότητα	Πολύ μαλακή	Μαλακή	Μέση	Στιφρή	Πολύ στιφρή	Σκληρή
sc (gr/cm ³)	0	0,25	0,50	1,00	2,0	4,00
S.P.T. (N)	0	2	4	8	16	32
γ (gr/cm ³)	1,60-1,92	1,76-2,08		1,92-2,24		>2,08

γ. Δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση (Point Load Test)

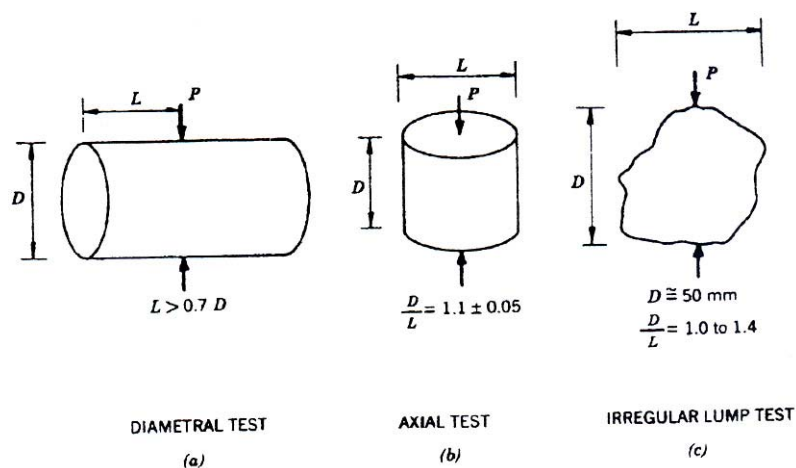
Η δοκιμή σημειακής φόρτισης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής βραχυδών υλικών (Broch & Franklin, 1972). Διεξάγεται και με φορητές συσκευές στο ύπαιθρο και δεν απαιτεί προετοιμασία του δείγματος (Σχ. 208α). Στη συσκευή αυτή τα δείγματα υποβάλλονται σε αντιδιαμετρική σημειακή φόρτιση (Σχ. 208β) και προσδιορίζονται ο δείκτης σημειακής φόρτισης I_s και ο δείκτης ανισοτροπίας αντοχής I_a (50). Δίνονται:

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad (304)$$

και $I_{a(50)}$ = μέγιστη αντοχή σημειακής φόρτισης σε ισοδύναμη διάμετρο δείγματος 50 mm.



$$\text{POINT LOAD INDEX } I_s = \frac{P}{D^2}$$



Σχ. 208. α) Φορητή συσκευή σημειακής φόρτισης
β) Διατάξεις δοκιμών σε εκτέλεση δοκιμής σημειακής φόρτισης

P = φορτίο σημειακής φόρτισης που προκάλεσε τη θραύση

D = διάμετρος δοκιμίου

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται, μπορούν να είναι καρότα δειγματοληψίας, τεμάχια με επίπεδες επιφάνειες ή να έχουν ακανόνιστο σχήμα (Σχ. 208). Η φόρτιση γίνεται βαθμιαία με σταθερή ταχύτητα μέχρι θραύσης του δοκιμίου.

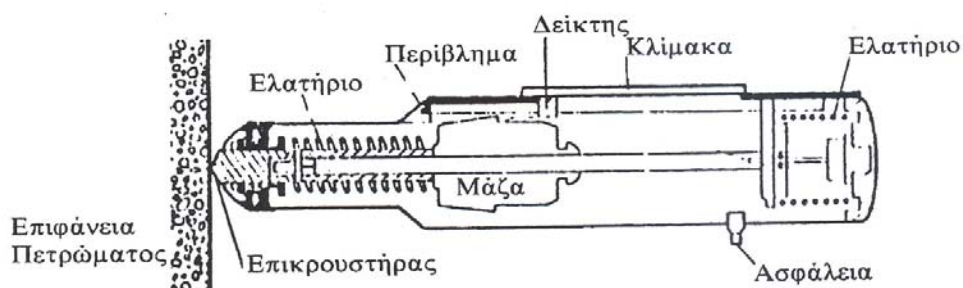
Η σχέση που συνδέει το δείκτη σημειακής φόρτισης I_s με την αντοχή του υλικού σε μοναξονική θλίψη (σ_c) είναι:

$$\sigma_c = k \cdot I_s \quad (305)$$

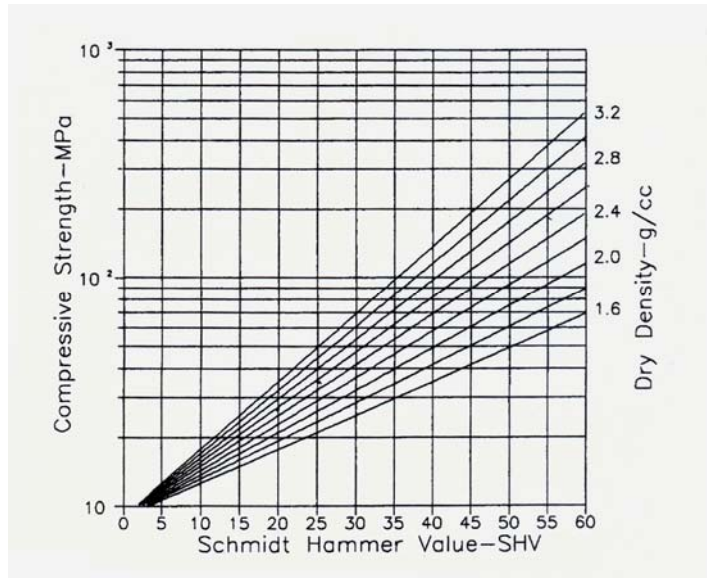
Το k είναι συντελεστής, που παίρνει τιμές από 20-24, $k=20$, (Franklin & al, 1972) $k=24$ (Broch & Franklin, 1972). Η συνήθης τιμή του είναι το 24 για πυρήνες \varnothing 54 mm και $k = 21$ για πυρήνες \varnothing 50 mm.

δ. Δοκιμές αντοχής με τη Σφύρα Schmidt (Schmidt Rebound Hammer Test)

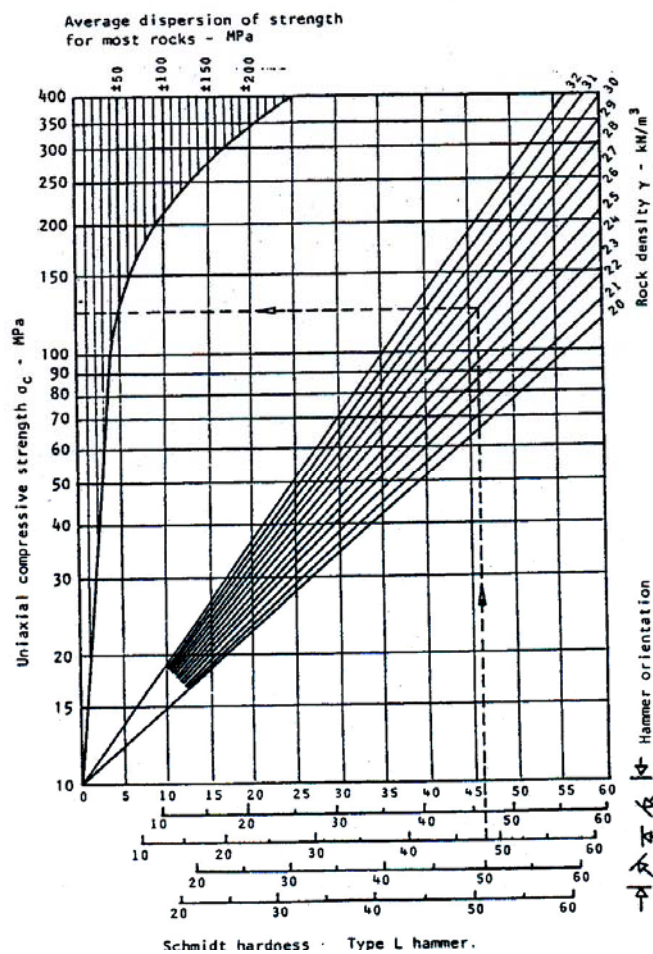
Η σφύρα Schmidt είναι φορητή συσκευή (Σχ. 209) που χρησιμοποιείται επιτόπου για τον υπολογισμό της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας βράχων μέτριας σκληρότητας. Το έμβολο κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των δοκιμών πρέπει να τοποθετείται κάθετα στην επιφάνεια του πετρώματος, που πρέπει να είναι επίπεδη και ομαλή. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής το έμβολο πιέζεται πάνω στην επιφάνεια μέχρι να απελευθερωθεί το ελατήριο αναπήδησης και να εκτινάξει την ασάλινη μάζα. Η ασάλινη μάζα αναπηδά και προσκρούει με ενέργεια 0,75 N/m. Το ύψος αναπήδησης της μάζας μετριέται στην κλίμακα που βρίσκεται πάνω στη συσκευή και καταγράφεται. Οι κρούσεις που προκαλούν θραύση απορρίπτονται. Η θλιπτική μοναξονική αντοχή του βράχου προκύπτει από Νομογράμματα (Σχ. 210 και Σχ. 211).



Σχ. 209. Σφύρα Schmidt



Σχ. 210. Νομόγραμμα υπολογισμού της μοναξονικής αντοχής με τη χρήση της σφύρας Schmidt (Deere & Miller, 1966)



Σχ. 211. Σχέση μεταξύ της σκληρότητας Schmidt και της μοναξονικής αντοχής (Deere & Miller, 1966)

Οι εμπειρικές σχέσεις που δίνονται από διάφορους ερευνητές για τον υπολογισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη από τον αριθμό των κρούσεων της σφύρας Schmid είναι (Χρηστάρας κ.ά., 1997):

$$\text{Log } \sigma_c = 1,831 \log \text{SHV} + 1,533 \text{ (Aufmuth)} \quad (306)$$

ή $\sigma_c = 7,752 \text{SHV} - 213,349 \text{ (Irfan \& Dearman)} \quad (307)$

ε. Επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας

Οι δοκιμές αυτές έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο και έχουν δοθεί οι βασικές αρχές που ακολουθεί η εκτέλεσή τους και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους. Εκτελούνται επιτόπου στη βραχώμαζα και διακρίνονται σε:

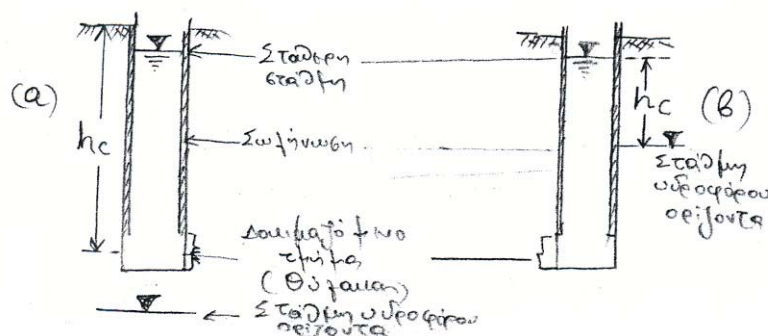
1. Δοκιμές σταθερού φορτίου – Δοκιμές Le franc
2. Δοκιμές μεταβλητού φορτίου – Δοκιμές Maag
3. Δοκιμές εισπίεσης νερού – Δοκιμή Lugeon

Παρακάτω θα αναφερθούμε στις διατάξεις που χρησιμοποιούν οι δοκιμές αυτές.

ι. Δοκιμή Le franc (Σταθερού φορτίου)

Η δοκιμή εκτελείται κατά την εξέλιξη της διάτρησης. Σωληνώνεται με περιφραγματικό σωλήνα το ανώτερο τμήμα της γεώτρησης και το κατώτερο μικρό τμήμα της αφήνεται γυμνό (ασωλήνωτος θύλακας). Διοχετεύεται νερό ώστε η στάθμη του στο σωλήνα της γεώτρησης να παραμένει σταθερή (Σχ. 212) κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Μετρείται η ποσότητα του νερού και ο χρόνος εκτέλεσης της δοκιμής. Ο υπολογισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας k δίνεται από τη σχέση

$$k = \frac{Q}{c \cdot hc} \text{ (m/sec)}$$

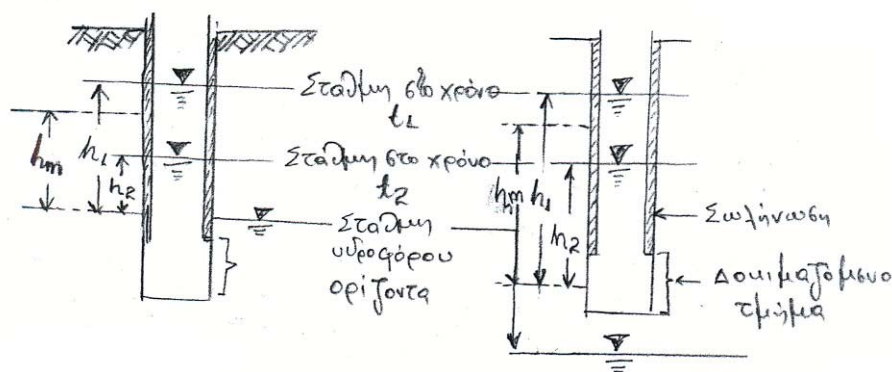


Σχ. 212. Δοκιμή σταθερού φορτίου

- α. Δοκιμαζόμενο τμήμα πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα
- β. Δοκιμαζόμενο τμήμα κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα

ii. Δοκιμή Maag (μεταβλητού φορτίου)

Χρησιμοποιούνται οι ίδιες διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν και στη δοκιμή Le franc μόνο που σ' αυτήν τη δοκιμή ρίχνουμε μια μετρηθείσα ποσότητα νερού Q στο σωλήνα της γεώτρησης, έτσι ώστε αυτή να ανέλθει σε μια συγκεκριμένη στάθμη και μετράμε το χρόνο που αυτή θα κατέλθει σε συγκεκριμένο χαμηλότερο επίπεδο (Σχ. 213).



Σχ. 213. α. Δοκιμή Maag. Δοκιμαζόμενο τμήμα κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, β. Δοκιμαζόμενο τμήμα πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.

Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας k δίνεται από τις σχέσεις

$$k = \frac{r}{4 \cdot h_m} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ (m/sec) για σωληνωμένη γεώτρηση} \quad (212)$$

$$k = \frac{A}{c(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} \text{ (m/sec) για μερικά σωληνωμένη γεώτρηση} \quad (213)$$

iii. Δοκιμές Lugeon (εισπίεσης νερού WD ή WP-tests)

Η εκτέλεση της δοκιμής Lugeon και ο υπολογισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας της βραχώμαζας έχουν περιγραφεί με λεπτομέρεια στην παράγραφο 2ίνγ. Τα αποτελέσματα της δοκιμής μεταφέρονται σε έντυπα της μορφής που απεικονίζουν τα Σχ. 214 και 215.

ΤΜΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΑΣΜΑΤΩΝ		ΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΤΑΠΕ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ		ΑΠΟ - ΕΡΣΙ		ΜΗΚΟΣ		ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ		ΣΤΑΘΜΑΙ		ΧΡΟΝΟΣ		ΠΙΕΣΙΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ		ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ		ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ		ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ		ΑΠΡΑΞΙΑ	
ΤΜΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΑΣΜΑΤΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΤΑΠΕ ΚΑΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΟ - ΕΡΣΙ	ΜΗΚΟΣ	ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΣ	ΣΤΑΘΜΑΙ	ΧΡΟΝΟΣ	ΠΙΕΣΙΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ	ΣΤΑΤΙΚΗ	ΔΥΝΑΜΙΚΗ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	ΠΙΕΣΙΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡΟΥ	ΣΤΑΤΙΚΗ	ΔΥΝΑΜΙΚΗ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	
FROM - TO	DIAMETERS	FROM - TO	LENGTH	OF BOREHOLE	WATER LEVELS	TIME	MANOMETER PRESSURE	STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	MANOMETER PRESSURE	STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	
FROM - TO	DIAMETERS	FROM - TO	LENGTH	OF BOREHOLE	WATER LEVELS	TIME	MANOMETER PRESSURE	STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	MANOMETER PRESSURE	STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	

ΔΟΚΙΜΑΙ ΛUGΕΟΝ		ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ		ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ		ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ		ΑΠΡΑΞΙΑ	
ΔΟΚΙΜΑΙ	ΛUGΕΟΝ	ΣΤΑΤΙΚΗ	ΔΥΝΑΜΙΚΗ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	
TESTED	PACKER	STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	

ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ		ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ		ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ		ΑΠΡΑΞΙΑ	
ΣΤΑΤΙΚΗ	ΔΥΝΑΜΙΚΗ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	
STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	

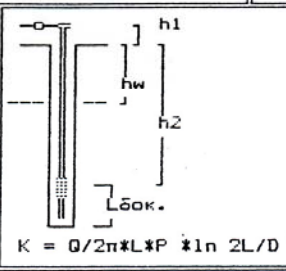
ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ		ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ		ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ		ΑΠΡΑΞΙΑ	
ΣΤΑΤΙΚΗ	ΔΥΝΑΜΙΚΗ	ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΙΣ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΙΣ	ΑΠΡΑΞΙΑ	
STATIC	DYNAMIC	EFFECTIVE PRESSURE	ABSORPTION	PERCOLATION	ABSORPTION	PERCOLATION	

Σχ. 214. Έντυπο καταγραφής των αποτελεσμάτων δοκιμών Lugeon

ΦΟΡΕΑΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ
ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΒΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΤΕΧΝ. ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ	ΔΟΚΙΜΗ ΕΙΣΠΙΕΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ -ΚΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗ LUGEON
--	--

ΕΡΓΟ: ΦΑΡΜΑ ΑΓΙΟΝΕΡΙ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: ΟΞΕΙΟ ΠΡΑΝΕΣ	Α/Α ΔΟΚΙΜΗΣ: 14	ΔΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ: ΚΑΙΤΣΟΣ <input checked="" type="checkbox"/>
-------------------------	----------------------------	--------------------	---

ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣ. = 40-40 (m) ΤΜΗΜΑ ΥΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣ ΤΜΗΜΑ ΑΠΟ: 37-20 - 40-40 (m) ΔΟΚΙΜ. ΤΜΗΜΑ: 3.20 (m) ΔΙΑΜΕΤΡ. ΓΕΩΤΡ. = 0.101 (m) ΤΥΠΟΣ ΣΤΕΛΕΧΩΝ : ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟ:	 <p style="text-align: center;">$K = Q/2\pi * L * P * \ln 2L/D$</p>	ΥΨΟΣ ΜΑΝΟΜΕΤΡ. = 12-00 (m) ΥΨΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ = 0-50 (m) ΠΡΩΙΝΗ ΣΤΑΘΜ. = 18-40 (m) ΣΤΑΘ. ΠΡΟ ΔΟΚ. = 16-40 (m) ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 24-04-89 ΚΑΙΡΟΣ : ΑΙΘΡΙΟΣ
--	---	---

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΓΕΩΛΟΓΟΣ : ~~Χρήστος Ουρανούσης~~

Ε Π Ε Ξ Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α Δ Ο Κ Ι Μ Η Σ												
Ρμ (m)	Ρατ (m)	Ραπ (m)	Ρυδρ (m)	Ρολ (m)	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ (Q=Lit/min)						Q (Lit/ min/m)	K (m /sec)
					1min	2min	3min	4min	5min	M O		
10.0	19.4	0.0	0.0	29.4	19.0	15.0	16.0	16.0	15.0	16.2	5.1	1.90E-06
20.0	19.4	0.0	0.0	39.4	18.0	16.0	17.0	15.0	16.0	16.4	5.1	1.43E-06
30.0	19.4	0.0	0.0	49.4	20.9	19.9	19.8	18.7	19.7	19.8	6.2	1.38E-06
40.0	19.4	0.0	0.0	59.4	24.9	23.9	22.8	23.7	23.7	23.8	7.4	1.38E-06
30.0	19.4	0.0	0.0	49.4	21.0	20.0	21.0	20.0	21.0	20.6	6.4	1.44E-06
20.0	19.4	0.0	0.0	39.4	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	5.6	1.57E-06
10.0	19.4	0.0	0.0	29.4	16.0	15.0	16.0	15.0	16.0	15.6	4.9	1.83E-06
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :											M.O. = 1.56E-06	
Για το δοκιμαζόμενο τμήμα ο μέσος όρος του (K) είναι $K = 1.56E-06$ (m/sec) και η βραχυμάζα χαρακτηρίζεται σαν Η Μ Ι Π Ε Ρ Α Τ Η												

αφ' η γραφών τα νεύτρα

Σχ. 215. Έντυπο καταγραφής των αποτελεσμάτων δοκιμών Lugeon