



Τ.Ε.Ι. Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΤΑΜΗΛΟΤΗΤΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Βοσνιάκος Κωνσταντίνος, M.SC., Ph.D.
Γεωτεχνικός Μηχανικός

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

- Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος
- Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας
- Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

- Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος
- Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας
- Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

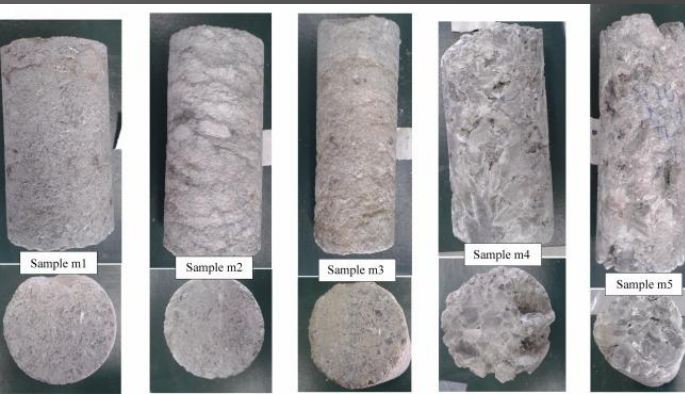
Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

➤ Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος

Ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους του πετρώματος προς το βάρος του ξηρού πετρώματος

Το δοκίμιο ζυγίζεται πριν και μετά την ξήρανσή του σε φούρνο. Η διαφορά βάρους δίνει την ποσότητα νερού (B_w).

$$w = B_w / B_d$$



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

- Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος
- Προσδιορισμός πορώδους
- Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός πορώδους

Γίνεται με χρήση συσκευής κενού.

- Δείγμα μορφώνεται σε κανονικό γεωμετρικό σχήμα (κύλινδρος ή κύβος) για να μπορεί να προσδιοριστεί όγκος του (V).
- Το δείγμα βυθίζεται σε νερό και υποβάλλεται σε συνθήκες κενού για 1-2 ώρες για τον κορεσμό των πόρων του.
- Το δείγμα ζυγίζεται (M_{sat}), ξηραίνεται και ξαναζυγίζεται (M_d).

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός πορώδους

$$V_p = (M_{sat} - M_d) / \rho_w$$

$$n = V_p / V$$



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

- Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος
- Προσδιορισμός πορώδους
- Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης

Αναφέρεται στον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας των πετρωμάτων σε διεργασίες γρήγορης αποσάθρωσης.

Διαμορφώνονται 10 τεμάχια του πετρώματος σε σφαιρικό σχήμα με μάζα 40-60 gr το καθένα και συνολικό βάρος 400-600 gr.

Τα δοκίμια τοποθετούνται ξηρά στο τύμπανο της συσκευής και ζυγίζεται το βάρος του άδειου τυμπάνου, το βάρος των δοκιμίων και το συνολικό βάρος τους.



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης



Το τύμπανο με τα δοκίμια τοποθετείται στο δοχείο της συσκευής και το δοχείο πληρώνεται με νερό μέχρι μια συγκεκριμένη στάθμη.

Το τύμπανο περιστρέφεται για 10 min με ταχύτητα 20 rpm.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης

Μετά το πέρας του 10λέπτου το τύμπανο τοποθετείται στον φούρνο για 24 ώρες και στην συνέχεια ζυγίζεται.

Ο δείκτης χαλάρωσης (I_{d2}) είναι ο λόγος των τελικών προς τα αρχικά ξηρά βάρη του δείγματος (%).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	$I_{d2}(\%)$
Πολύ υψηλή ανθεκτικότητα	100-98
Υψηλή ανθεκτικότητα	97-95
Μέτρια υψηλή ανθεκτικότητα	94-85
Μέτρια ανθεκτικότητα	84-60
Χαμηλή ανθεκτικότητα	59-30
Πολύ χαμηλή ανθεκτικότητα	<30

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη
- Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση
- Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό
- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη
- Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt
- Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Βαθμιαία αξονική φόρτιση ενός κυλινδρικού ή κυβικού δοκιμίου χωρίς επιβολή πλευρικής πίεσης μέχρι την θραύση του.

Διαστάσεις δοκιμίου:

- Διάμετρος $> 54 \text{ mm}$
- Ύψος 2-3 φορές την διάμετρο



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο με ρυθμό 1 MPa/sec.

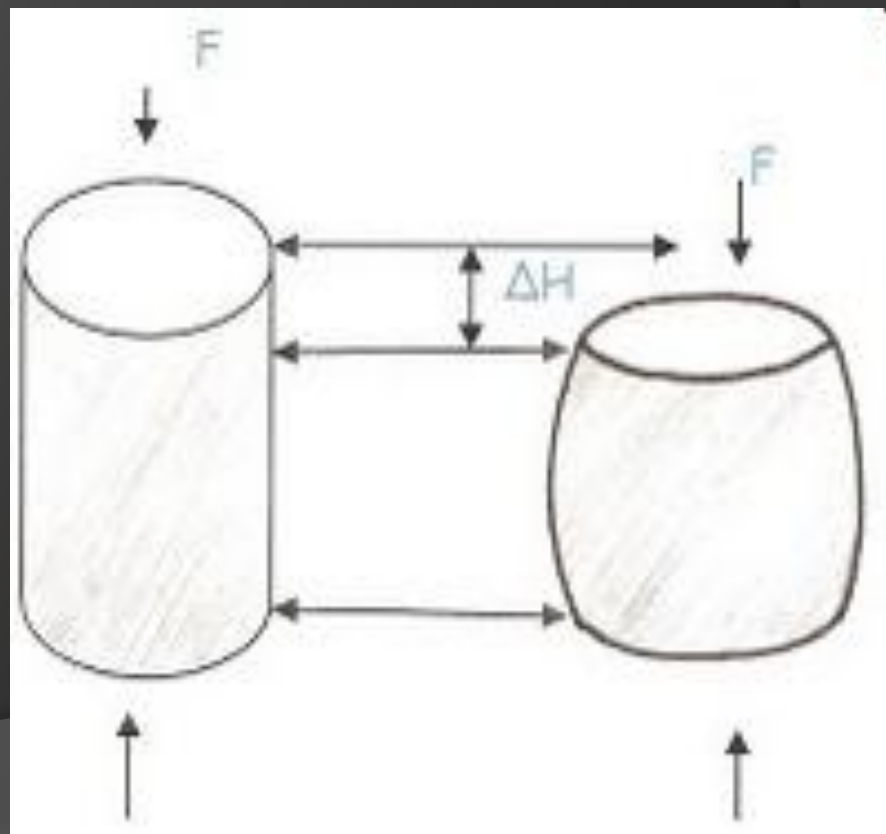
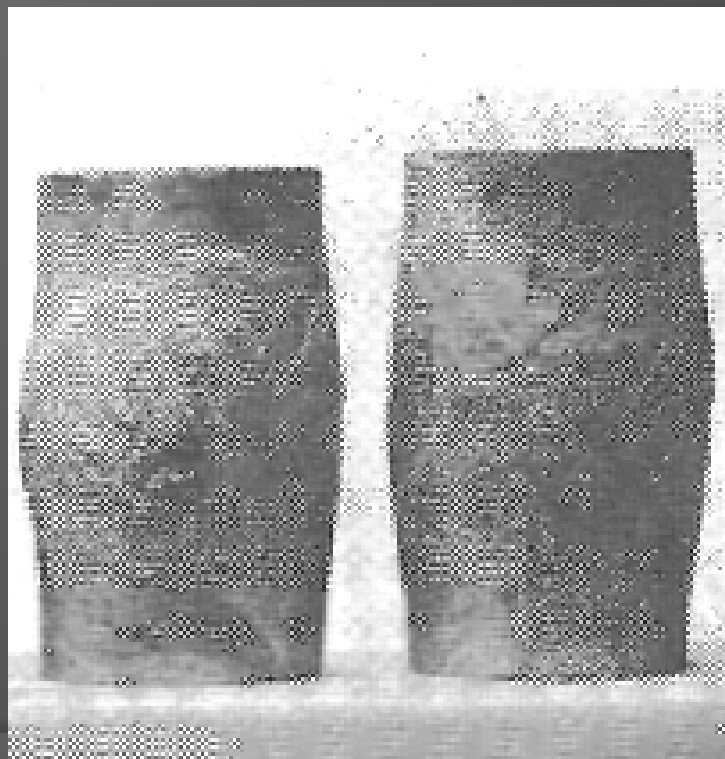
Κατά την εφαρμογή της αξονικής φόρτισης παρατηρείται βράχυνση και πλευρική διόγκωση του δοκιμίου.



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Η **αντοχή** του δοκιμίου σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται από το λόγο του μέγιστου φορτίου $P_{\max}$ κατά τη δοκιμή προς το εμβαδόν (A) της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου και δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_c = P_{\max} / A$$

σ_c : αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε MPa.

$$A = \pi D^2 / 4$$

Η **αξονική παραμόρφωση** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_\alpha = \Delta l / l_o$$

l_o : αρχικό ύψος δοκιμίου (mm).

Δl : η μεταβολή του ύψους του δοκιμίου (βράχυνση, mm)

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

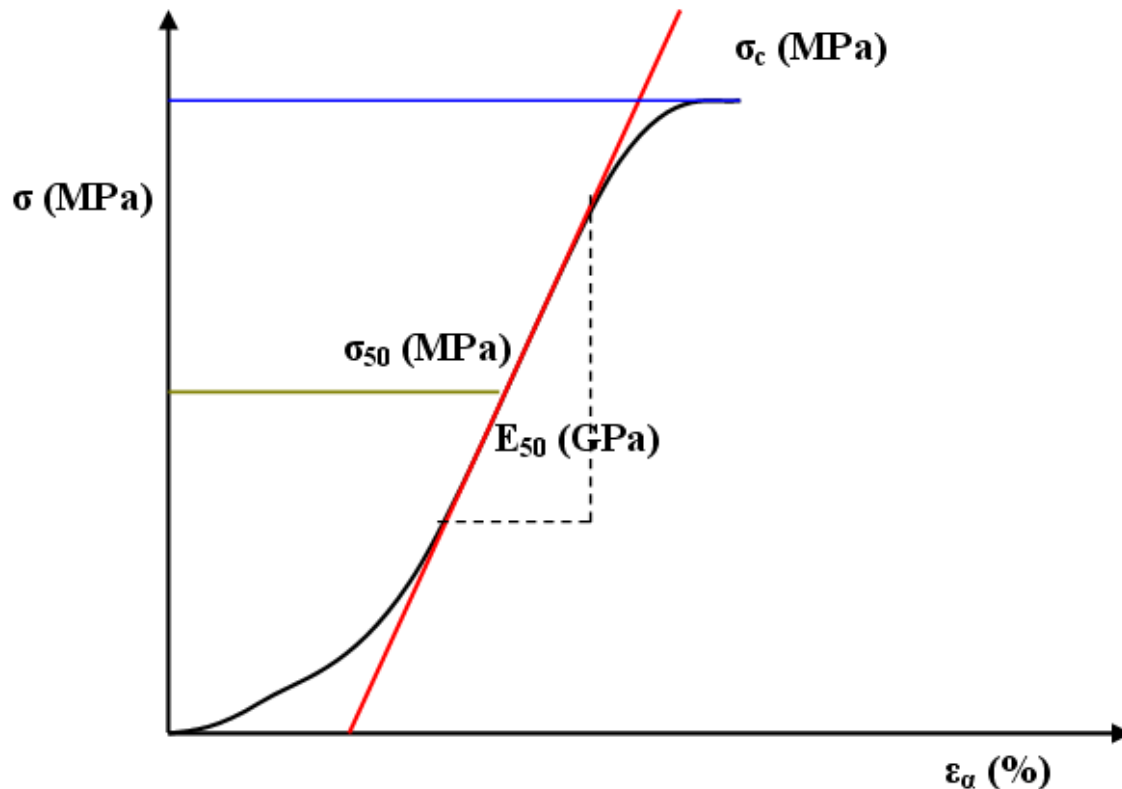
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (MPa)	Χαρακτηρισμός πετρώματος με βάση την αντοχή σ_c
< 1.25	Πολύ ασθενές
1.25 - 5.00	Ασθενές
5.00 - 12.50	Μέτρια ασθενές
12.50 - 50	Μέτρια σκληρό
50 - 100	Σκληρό
100 - 200	Πολύ σκληρό
> 200	Εξαιρετικά σκληρό

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

Ο υπολογισμός του Μέτρου Ελαστικότητας (Young's Modulus) πετρωμάτων E_{50} (GPa) δίνεται από την σχέση:

$$E_{50} = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon_{\alpha}$$



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

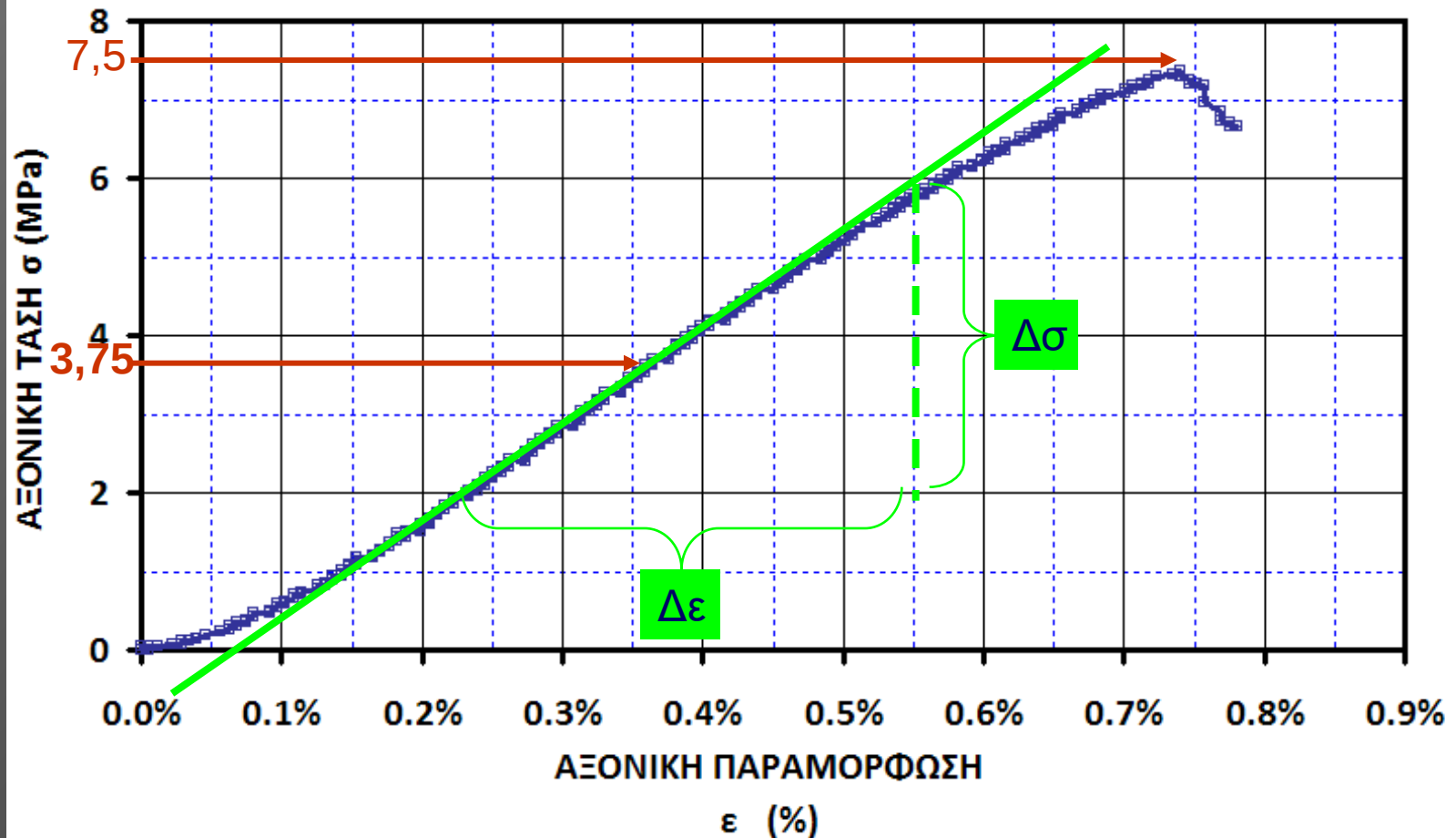
ΑΣΚΗΣΗ

Να υπολογιστεί η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa) και το Μέτρο Ελαστικότητας (GPa), βραχύδους δοκιμίου με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Δύναμη θραύσης: **28,8 kN**
- Διάμετρος: **70 mm**

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

ΑΣΚΗΣΗ



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

- $\sigma_c = P_{\max} / A = 4 \cdot 28,8 / \pi \cdot 70^2 = 0,0075 \text{ GPa}$ ή **7,5 MPa**
- $E_{50} = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon_\alpha = (6-2) / (0.0055-0.0023) = 1250 \text{ MPa}$ ή **1,25 GPa**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη
- Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση
- Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό
- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη
- Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt
- Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη

Αξονική φόρτιση με επιβολή πλευρικής φόρτισης μέχρι την θραύση του.

Διαστάσεις δοκιμίου:

- Διάμετρος 54 mm
- Ύψος 2-3 φορές την διάμετρο.

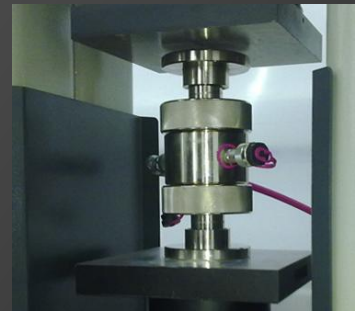
Το δοκίμιο τοποθετείται εντός του κελιού για την επιβολή πλευρικής τάσης.

Η επιβολή φόρτισης γίνεται με ρυθμός 1 MPa/sec.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

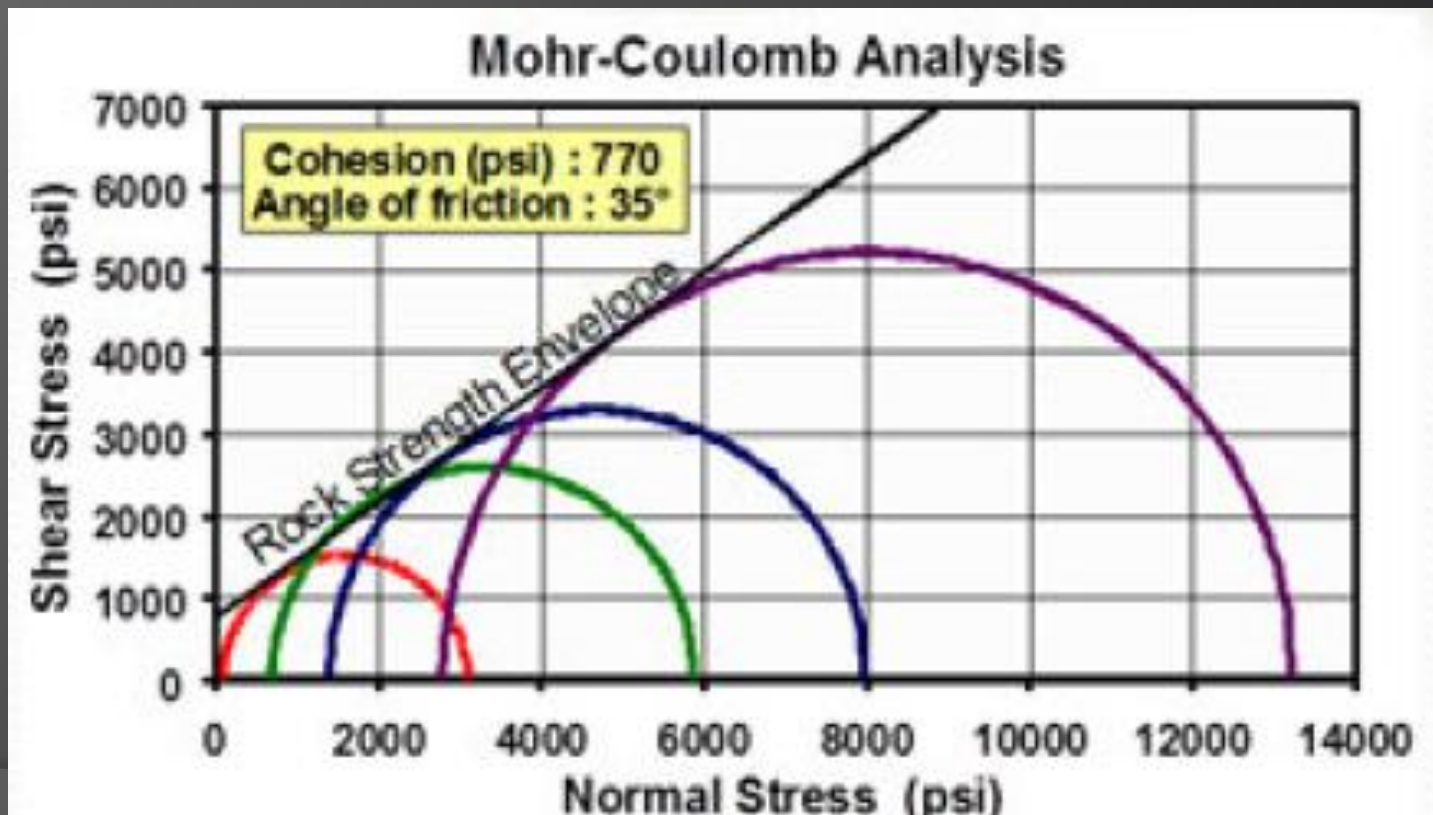
- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη
- Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση
- Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό
- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη
- Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt
- Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση

Έμμεση δοκιμή υπολογισμού μονοαξονικής αντοχής βραχωδών υλικών.

Υπολογίζεται ο δείκτης αντοχής σημειακής φόρτισης:

$$I_s = P/D^2$$

Αφού το δοκίμιο μετρηθεί τοποθετείται στην συσκευή σημειακής φόρτισης. Η θραύση πρέπει να επέλθει σε 10-60 sec.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση

Η μονοαξονική αντοχή: $\sigma_c = K I_s$



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη
- Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση
- Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό
- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη
- Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt
- Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό

Μιας και η δοκιμή του εφελκυσμού δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμη σε βραχώδη δοκίμια, η μέθοδος αυτή δίνει αποτελέσματα που προσεγγίζουν κατά πολύ τις τιμές της εφελκυστικής αντοχής.

Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό φορτίο με σταθερή ταχύτητα φόρτισης 200 N/sec. Η θραύση πρέπει να επέλθει σε χρόνο 15-30 sec.

Εφελκυστική αντοχή: $\sigma_t = -2P/\pi DL$

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη
- Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση
- Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό
- Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη
- Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt
- Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt

Μέσω της δοκιμής αυτής μπορεί να υπολογιστεί η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.

Το «σφυρί» Schmidt είναι μια φορητή συσκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην ύπαιθρο και στο εργαστήριο.



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

➤ Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt

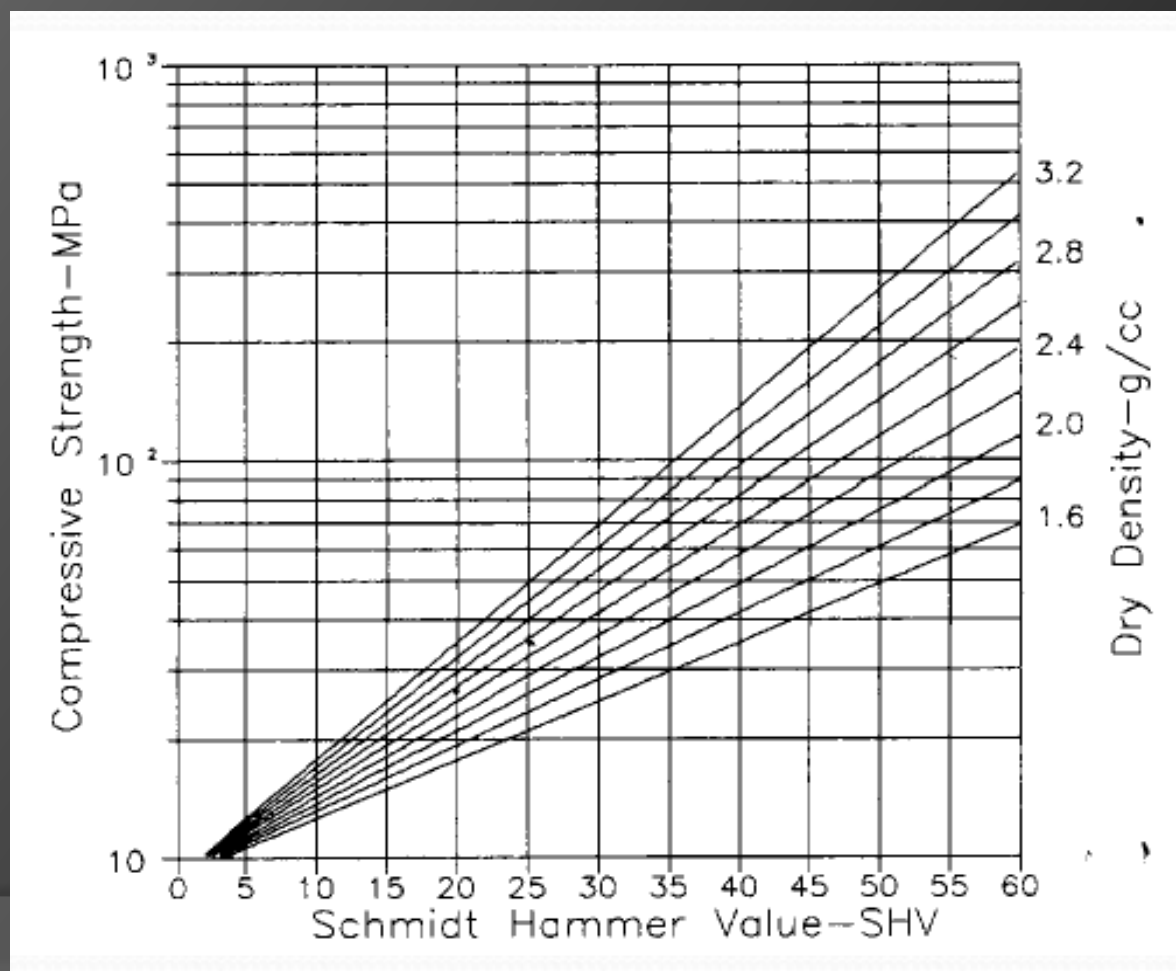
Κατά την διάρκεια της δοκιμής το έμβολο πιέζεται κάθετα στην επιφάνεια του δείγματος μέχρι να ελευθερωθεί το ελατήριο αναπήδησης και να εκτινάξει το ατσάλινο έμβολο. Το ύψος αναπήδησης μετριέται σε βαθμονομημένη κλίμακα που είναι πάνω στην συσκευή.



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΩΝ

Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

- Προσδιορισμός σκληρότητας με την σφύρα Schmidt



ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

ΒΑΘΟΣ	C_u (kN/m ²)
Γεώτρηση 1	
14 – 14,45	40,6
16,2 – 16,65	68,2
18,5 – 18,95	152
19 – 19,45	157,2
Γεώτρηση 2	
9,28 – 10,25	78,3
11 – 11,45	64,6
12 – 12,45	128
15 – 15,45	50,1
17,37 – 17,75	70
18 – 18,45	74,8
Γεώτρηση 3	
10,5 – 10,95	105,2
14,6 – 14,95	63,9
16,5 – 16,95	54,7
18,35 – 18,75	46,9
19 – 19,45	64,6
Γεώτρηση 4	
17 – 17,45	171
19 – 19,45	51,9

Εργαστηριακά αποτελέσματα
αντοχής εδαφών σε
συγκεκριμένα βάθη.

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

ΔΕΙΚΤΕΣ

ηλεκτρικότητα ανηγρ. υδαρότητας

↑ ↑ ↑

ΒΑΘΟΣ	I_P	I_C	I_L
Γεώτρηση 1			
16,2 – 16,65	22,6	0,827	0,173
18,5 – 18,95	33,4	0,99	0,01
Γεώτρηση 2			
9,8 – 10,25	27,8	0,938	0,062
15 – 15,45	8,7	0,126	0,874
Γεώτρηση 3			
14,6 – 14,95	10,7	0,473	0,527
18,35 – 18,75	20,3	0,687	0,313
19 – 19,45	13,8	0,562	0,438

Αποτελέσματα ορίων Atterberg.

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

<i>Penetration Resistance (N)</i>	<i>Relative Density</i>
0 – 4	Very loose
4 – 10	Loose
10 – 30	Medium
30 – 50	Dense
> 50	Very dense

Table 1: Standard Penetration Test (SPT)

<i>Term</i>	<i>Undrained Shear Strength (kN / m²)</i>
Less than 20	Very soft
20 – 40	Soft
40 – 75	firm
75 – 150	stiff
Greater than 150	Very stiff

Table 2: Characterization of the soil according the C_u

<i>Plasticity index</i>	<i>Angle of shearing resistance (ϕ)</i>
15	30°
20	28°
25	27°
30	25°
40	22°
50	20°

<i>N</i>	<i>Σχετική Πυκνότητα D_r</i>	<i>ϕ°</i>
0 – 4	0 – 0,15	27 – 32
4 – 10	0,15 – 0,35	30 – 35
10 – 30	0,35 – 0,65	35 – 40
30 – 50	0,65 – 0,85	38 – 42
> 50	0,85 – 1,00	> 40

Πίνακες με συσχετισμούς μεγεθών.