



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

Τεχνική Γεωλογία Ι

Διδάσκοντας:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

Εργαστηριακές δοκιμές

Αντικείμενο της Διάλεξης

Αντικείμενο της διάλεξης είναι η παρουσίαση των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελούνται για τον προσδιορισμό των φυσικών και των μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών, στο πλαίσιο της Τεχνικογεωλογικής - Γεωτεχνικής έρευνας.

Κατηγοριοποίηση εργαστηριακών δοκιμών

Διάκριση με βάση τη φύση των δοκιμαζόμενων υλικών

- Εργαστηριακές δοκιμές Εδαφομηχανικής
- Εργαστηριακές δοκιμές Βραχομηχανικής



Διάκριση με βάση το είδος των προσδιοριζόμενων παραμέτρων

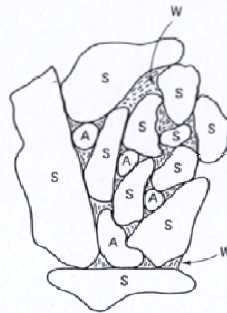
- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών
- Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών χαρακτηριστικών
- Δοκιμές προσδιορισμού υδραυλικών χαρακτηριστικών



Έδαφος – Ορισμός

Σύμφωνα με τις θεωρήσεις των Μηχανικών, ως εδάφη χαρακτηρίζονται οι σχηματισμοί των οποίων τα στερεά συστατικά είναι μεταξύ τους ασύνδετα ή ελαφρώς συγκολλημένα ενώ τα μεταξύ τους κενά είναι πληρωμένα με υγρά ή και αέρια (συνήθως νερό και αέρα).

Επομένως, ως εδάφη χαρακτηρίζονται τα μη συμπαγή τριφασικά υλικά τα οποία εκτός από στερεά φάση, αποτελούνται και από υγρή ή και αέρια φάση.



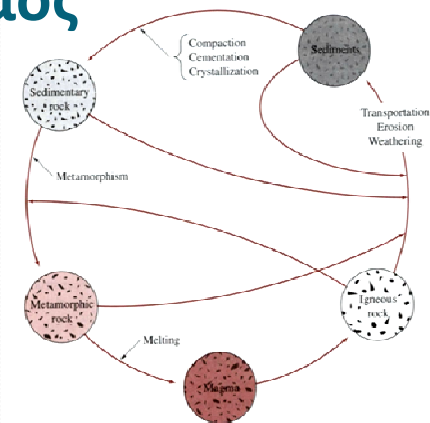
S: Solid
W: Liquid
A: Air

Βράχος – Ορισμός

Ως βράχος ονομάζεται οποιαδήποτε φυσικώς δημιουργούμενη συνεκτική μάζα ορυκτής ύλης.

Στους βράχους κατατάσσονται:

- Τα ιζηματογενή πετρώματα
- Τα πυριγενή πετρώματα και
- Τα μεταμορφωμένα πετρώματα



Η βραχομηχανική εκτός από τη μηχανική συμπεριφορά του άρρηκτου πετρώματος εξετάζει και τη συμπεριφορά της διερρηγμένης βραχομάζας. Δηλαδή βραχομηχανική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τις φυσικές ιδιότητες και τις αρχές μηχανικής συμπεριφοράς ισότροπου και ανισότροπου συνεχούς και ασυνεχούς βράχου.

Βασικές δοκιμές εδαφομηχανικής	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων ή δοκιμές ταξινόμησης	
Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας εδάφους	E105-36, παρ. 2, ASTM D 2216-90
Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους, συν. υλικού	E105-86, παρ. 3, AASHTO T147, ASTM C 29
Προσδιορισμός ειδικού βάρους στερεών συστατικών	E105-36, παρ. 4, ASTM D 854
Προσδιορισμός κόκκου, αναλ. ξηράς μεθόδου	E105-36, παρ.7, ASTM C 136-34
Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο	E105-36, παρ. 9, ASTM C 36-84
Προσδιορισμός ορίων υδαρότητας, πλαστικότητας	E105-36, παρ.5.6, ASTM D 4318-34
Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων	
Δοκιμή ανεμπόδιστη θλίψης	E105-36, παρ. 14, ASTM D 2166
Δοκιμή ταχείας διάτμησης χωρίς στερεοποίηση (UU)	E105-86,παρ.16-5-2.1,ASTM D3080
Δοκιμή ταχείας διάτμησης με στερεοποίηση	E105-86,παρ.16-5-2.2,ASTM D3080
Δοκιμή βραδείας διάτμησης με στερεοποίηση	E105-86,παρ.16-5-2.3,ASTM D3080
Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης	E105-36, παρ. 13, ASTM D 2435-30
Τριαξονική δοκιμή UU ή UUPP	E105-86, παρ.15-6.1, ASTM D 2350-43
Τριαξονική δοκιμή CUPP	E105-86, παρ.15-6.2, ASTM D 2850-82
Τριαξονική δοκιμή CD	E105-86, παρ. 15-6.31
Δοκιμή Δακτυλιοειδούς διάτμησης συνεκτικών εδαφών	ASTM D 6467-99
Πρότυπη και τροποποιημένη δοκιμή προσδιορισμού της βέλτιστης υγρασίας συμπίκνωσης ή δοκιμή Proctor	E105-36, παρ. 10.11, ASTM D 1557
Προσδιορισμός Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας, δοκιμή CBR.	E105-36, παρ. 125, ASTM D 1883
Δοκιμές προσδιορισμού υδραυλικών παραμέτρων	
Δοκιμή υδατοπερατότητας σταθερού ύψους	E105-86, παρ. 17, E-13 USBR 5600-89
Δοκιμή υδατοπερατότητας μεταβλητού ύψους	E105-86, παρ. 18, E-13 USBR 5600-89
Προσδιορισμός συντελεστή υδατοπερατότητας στη συσκευή στερεοποίησης	E105-86, παρ. 19, E-13 USBR 5600-89

Βασικές δοκιμές βραχομηχανικής	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων	
Φυσική υγρασία δείγματος πετρώματος	E103-84, παρ. 1
Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας	E103-84, παρ. 3
Προσδιορισμός δείκτη χαλάρωσης	ISRM Suggested Method
Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων	
Προσδιορισμός αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη	E103-84, παρ. 4, ASTM D2938-86
Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση	E103-84, παρ. 5
Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό	ASTM D 2936-84
Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη	E103-84, παρ. 6, ASTM D2664-36
Προσδιορισμός διατμητικής αντοχής, φυσικής και τεχνητής ασυνέχειας	ISRM Suggested Method
Προσδιορισμός σκληρότητας, με τη σφύρα Schmidt	E103-84, παρ. 7, ISRM Suggested Method
Προσδιορισμός ταχύτητας υπερήχων κυμάτων	E494 ASTM

Εργαστηριακές Δοκιμές Βραχομηχανικής

- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών παραμέτρων
- Ταξινόμηση Βραχομάζας

Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας πετρώματος

Ως υγρασία ορίζεται ο λόγος του βάρους – μάζα του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους (M_w) προς το βάρος του ξηρού πετρώματος (M_d).

Δέκα (10) τεμάχια πετρώματος (βάρους > 50 gr) ζυγίζονται πριν και μετά την ξήρανσή τους. Η διαφορά του βάρους αντιστοιχεί στην περιεχόμενη ποσότητα νερού (M_w).

Για την ξήρανση το δοκίμιο τοποθετείται στο φούρνο σε θερμοκρασία $105^\circ - 110^\circ$ C μέχρι σταθερού βάρους. Η δοκιμή πραγματοποιείται το ελάχιστο σε τρία αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Η περιεκτικότητα σε νερό υπολογίζεται ως:

$$W = \frac{\text{Βάρος Νερού } (M_w)}{\text{Ξηρό Βάρος Δείγματος } (M_d)} * 100\%$$

Προσδιορισμός πορώδους και πυκνότητας

Για τον προσδιορισμό του πορώδους και της πυκνότητας με τη χρήση συσκευής κενού ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Δείγμα **μορφώνεται** σε κανονικό γεωμετρικό σχήμα (κύλινδρος, κύβος) και προσδιορίζεται ο όγκος του (V).
- Το μορφοποιημένο δείγμα **βυθίζεται σε νερό και υποβάλλεται σε συνθήκες κενού** (συσκευή κενού για 1 ώρα στα 800 Pa κενό) για τον κορεσμό των πόρων του.
- Το δείγμα μετά τον **κορεσμό ζυγίζεται – ξεραίνεται και ξαναζυγίζεται**. Προσδιορίζεται το κορεσμένο βάρος - Μάζα (M_{sat}), το ξηρό βάρος - Μάζα (M_d) και το βάρος - Μάζα του νερού των πόρων (M_w).

Προσδιοριζόμενες φυσικές παράμετροι:

Όγκος Πόρων: $V_u = \frac{M_{sat} - M_d}{\rho_w}$ Πορώδες: $n = \frac{V_u}{V} 100\%$

Ξηρή Πυκνότητα: $\rho_d = \frac{M_d}{V}$

Υγρή Πυκνότητα: $\rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{V} = \rho_s + \frac{V_u \cdot \rho_w}{V}$

Δοκιμή Προσδιορισμού του Δείκτη Χαλάρωσης

Η Δοκιμή προσδιορισμού του Δείκτη Χαλάρωσης αναφέρεται στον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας πετρωμάτων σε διεργασίες γρήγορης αποσάθρωσης.



Μορφή - Προπαρασκευή δοκιμίου:

Διαμορφώνονται δέκα (10) τεμάχια του πετρώματος σε σφαιρικό σχήμα. Το κάθε ένα από τα τεμάχια αυτά έχει μάζα 40 – 60gr και το συνολικό τους βάρος είναι 450 – 550 gr. Η συγκεκριμένη δοκιμή συνιστάται για αργιλικά – μαργακικά πετρώματα αλλά και γενικότερα για βραχώδη υλικά που παρουσιάζουν εμφανή τάση αποσάθρωσης.

Πορεία δοκιμής:

- Τα τεμάχια (10 σφαιρίδια) τοποθετούνται σε φούρνο θερμοκρασίας 105 ± 50 C, για 2 – 6 ώρες, μέχρι την πλήρη ξήρανσή τους.

Στη συνέχεια τα σφαιρίδια του πετρώματος τοποθετούνται στο τύμπανο της ειδικής συσκευής περιστροφής, **ζυγίζονται το βάρος του άδειου τυμπάνου** καθώς και το **αρχικό βάρος του δείγματος μαζί με το βάρος του τυμπάνου**.

- Το τύμπανο μαζί με τα σφαιρίδια τοποθετείται στο δοχείο της συσκευής περιστροφής και το δοχείο **πληρώνεται με αποσταγμένο νερό**, θερμοκρασίας 20°C, μέχρι προκαθορισμένη στάθμη που καλύπτει περίπου το 1/3 της διαμέτρου του τυμπάνου.
- Η συσκευή τίθεται σε λειτουργία και το **τύμπανο περιστρέφεται για 10 min** με ταχύτητα 20 rpm. Κατά τη διάρκεια της περιστροφής τα θραύσματα του δείγματος με διάμετρο μικρότερη των 2mm αποβάλλονται διαμέσου των οπών του τυμπάνου.
- Μετά το πέρας των 10 min το τύμπανο τοποθετείται μαζί με τα απομειωμένα τεμάχια στο φούρνο, σε θερμοκρασία 105 ± 50 °C για 24 ώρες. Στη συνέχεια **ζυγίζονται το βάρος του δείγματος μαζί με το βάρος του τυμπάνου**.
- Τα **τρία τελευταία βήματα επαναλαμβάνονται** και καταγράφεται το τελικό βάρος του τυμπάνου και του ξηρού εναπομείναντος δείγματος μετά το πέρας 2ου και 3ου κύκλου και οι σχετικοί δείκτες χαλάρωσης. Στη συνέχεια διαμορφώνεται το διάγραμμα αριθμού κύκλων – δείκτη χαλάρωσης.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: Ο τελικός δείκτης χαλάρωσης $I_{d(2)}$, αναφέρεται στο δεύτερο κύκλο της δοκιμής και υπολογίζεται ως ο λόγος των τελικών προς τα αρχικά ξηρά βάρη του δείγματος, εκφρασμένα επί της %.

Κατάταξη πετρωμάτων σύμφωνα με το
δείκτη χαλάρωσης (Gamble, 1971)

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

Ενδεικτικές τιμές πετρωμάτων του ελλαδικού χώρου
(Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Είδος πετρώματος	I_{d2} (%)
Δολομιτικός ασβεστόλιθος	100-75
Μαργαϊκός ασβεστόλιθος	98-33
Μάργα, ιλιόλιθος	90-10
Ψαμμίτης	99-40
Σχιστόλιθος	100-65



Τεμάχια μάργας προετοιμασμένα
για την εκτέλεση δοκιμής.

Εργαστηριακές Δοκιμές Βραχομηχανικής

-
Δοκιμές προσδιορισμού μηχανικών παραμέτρων

Δοκιμή προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Η Δοκιμή Μονοαξονικής Θλίψης συνίσταται στη βαθμιαία αξονική φόρτιση ενός κυλινδρικού ή κυβικού δοκιμίου, χωρίς την επιβολή πλευρικής πίεσης, μέχρι τη θραύση του.

Διαστάσεις κυλινδρικού δοκιμίου: Διάμετρος δοκιμίου (ϕ) > 54 mm, ύψος δοκιμίου $2 - 3 \phi$. Οι μέγιστες διαστάσεις των κόκκων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το $1/10 \phi$.

Προπαρασκευή δοκιμίου: Το τελικό δοκίμιο θα πρέπει να μην παρουσιάζει ανωμαλίες ή κενά και θα πρέπει να έχει παράλληλες και επίπεδες έδρες.

Πορεία δοκιμής: Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο με βαθμιαία και σταθερή ταχύτητα φόρτισης $0.5-1.0 \text{ Mpa/sec}$. Η επιβολή του φορτίου συνεχίζεται μέχρι τη θραύση του δοκιμίου. Στο έντυπο σημειώνονται οι συνθήκες του δοκιμίου και το μέγιστο φορτίο ενώ σχεδιάζεται και η θραύση του δοκιμίου.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: α) Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, σ_c , και αν τοποθετηθούν στο δείγμα όργανα μέτρησης παραμορφώσεων β) το μέτρο Ελαστικότητας, E και γ) ο λόγος του Poisson, ν .

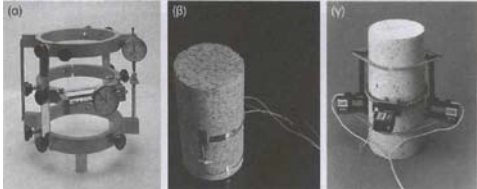




Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (MPa)	Χαρακτηρισμός πετρώματος με βάση την αντοχή σ_c
< 1.25	Πολύ ασθενές
1.25 - 5.00	Ασθενές
5.00 - 12.50	Μέτρια ασθενές
12.50 - 50	Μέτρια σκληρό
50 - 100	Σκληρό
100 - 200	Πολύ σκληρό
> 200	Εξαιρετικά σκληρό







Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε εφελκυσμό - Δοκιμή Brazilian ή δοκιμή κατά γενέτειρα

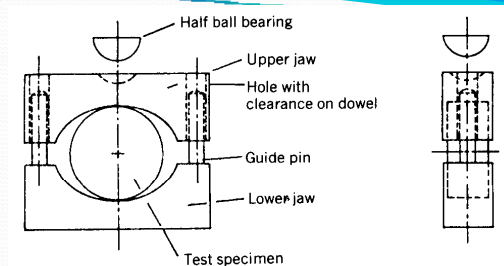
Η μέθοδος παρακάμπτει επιτυχώς τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια εφαρμογής της άμεσης μεθόδου, ενώ παράλληλα δίνει αποτελέσματα που προσεγγίζουν κατά πολύ τις πραγματικές τιμές της εφελκυστικής αντοχής.

Διαστάσεις δοκιμίου: Δισκοειδές δοκίμιο με μήκος $L = D/2$. Οι μέγιστες διαστάσεις των κόκκων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το $1/10 \phi$.

Προπαρασκευή δοκιμίου: Το τελικό δοκίμιο θα πρέπει να μην παρουσιάζει ανωμαλίες ή κενά και θα πρέπει να έχει παράλληλες και επίπεδες έδρες. Το δείγμα τυλίγεται με χαρτοταινία προκειμένου να απαλειφτούν οι όποιες ανωμαλίες της κυκλικής επιφάνειάς του.

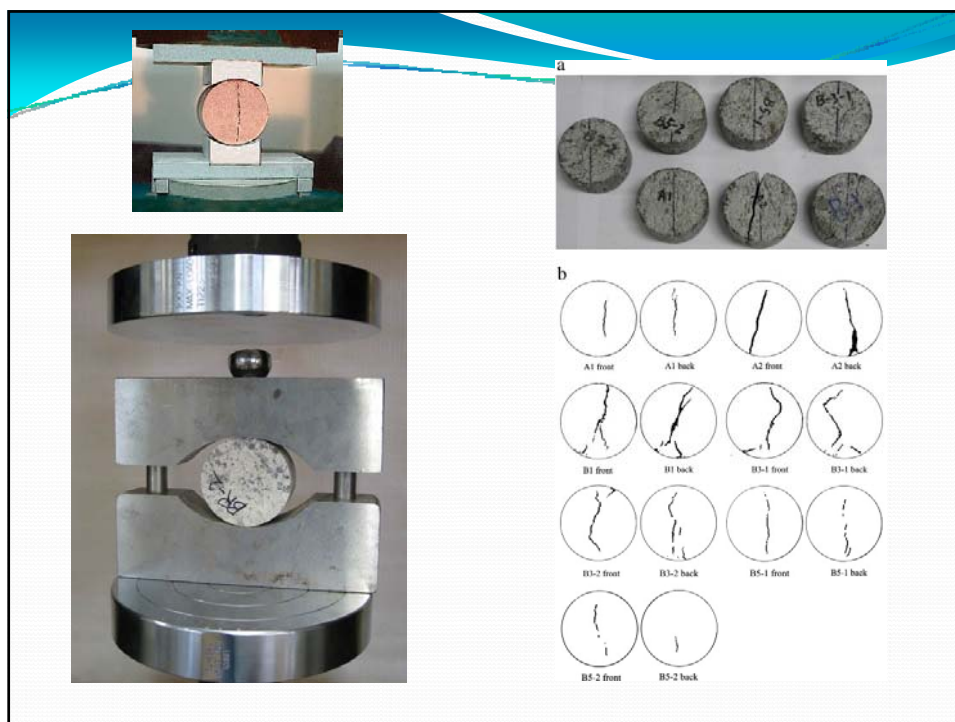
Πορεία δοκιμής: Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό φορτίο κατά γενέτειρα με βαθμιαία και σταθερή ταχύτητα φόρτισης 150-200 N/sec. Η επιβολή του φορτίου συνεχίζεται μέχρι τη θραύση του δοκιμίου η οποία πρέπει να επέλθει σε χρόνο 15-30sec. Στο έντυπο σημειώνονται οι συνθήκες του δοκιμίου και το μέγιστο φορτίο ενώ σχεδιάζεται και η θραύση του δοκιμίου.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: Εφελκυστική αντοχή, σ_t .
$$\sigma_t = -\frac{2P}{\pi DL}$$



Σχηματική διάταξη της δοκιμής Brazilian, κατά ISRM

Οι σιαγόνες είναι διαμορφωμένες έτσι ώστε να εφάπτονται σε δύο αντιδιαμετρικές επιφάνειες των κυλινδρικών δοκιμίων. Οι επιφάνειες επαφής, τη στιγμή της θραύσης, πρέπει να αντιστοιχούν σε τόξο με γωνία περίπου 10°. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει η ακτίνα καμπυλότητας των κοίλων επιφανειών της κάθε σιαγόνας να είναι 0.5 φορές μεγαλύτερη της ακτίνας των δοκιμαζόμενων δοκιμίων.



Δοκιμή προσδιορισμού αντοχής σε σημειακή φόρτιση

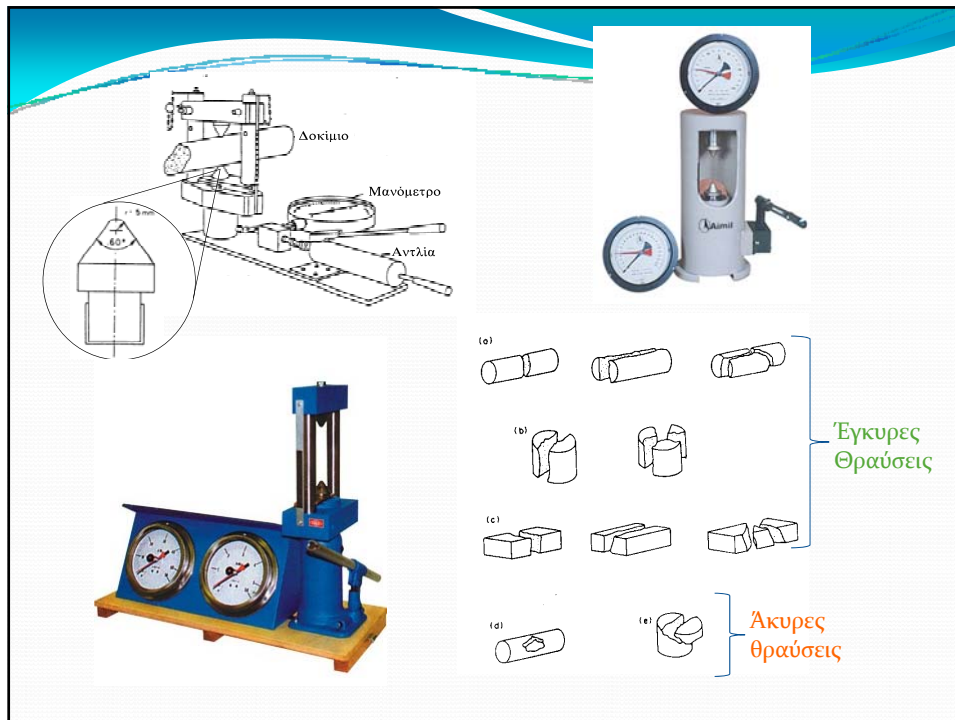
Αποτελεί έμμεση δοκιμή υπολογισμού της μονοαξονικής αντοχής των βραχωδών υλικών. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του **δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης, I_s** , ο οποίος ισούται με το λόγο του φορτίου που προκάλεσε τη θραύση προς το τετράγωνο της διαμέτρου του δοκιμίου. Για να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς υπολογίζεται για δοκίμιο διαμέτρου 50 mm ($I_{s(50)}$).

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \approx I_{s(50)} = \frac{P}{2500}$$

Πορεία δοκιμής: Αφού το δοκίμιο **μετρηθεί με ακρίβεια**, τοποθετείται στη συσκευή σημειακής φόρτισης και φορτίζεται μέχρι τη στιγμή της θραύσης του. Η **φόρτιση πρέπει να γίνει με αργό ρυθμό**, και η θραύση πρέπει να επέλθει σε 10 - 60 sec.

Οι συνθήκες υγρασίας του δείγματος, κατά τη δοκιμή, πρέπει να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές επί τόπου συνθήκες. Αν οι συνθήκες αυτές έχουν μεταβληθεί, πρέπει να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι νέες συνθήκες.

Για να γίνει αποδεκτή μια δοκιμή **πρέπει η επιφάνεια θραύσης να διέρχεται και από τα δύο σημεία επιβολής της πίεσης**, σε αντίθετη περίπτωση απορρίπτεται.



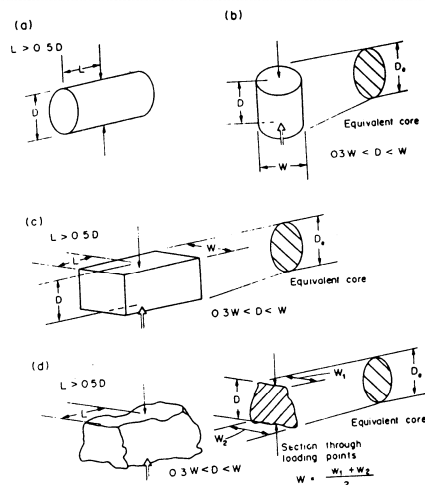
Υπολογισμός του δείκτη σημειακής φόρτισης:

Όταν οι ισοδύναμες διάμετροι πυρήνα κυμαίνονται γύρω από τη διάμετρο των 50 mm, από τη γραφική παράσταση του $\log P$ σε συνάρτηση με το De^2 μπορεί προσδιοριστεί η τιμή του φορτίου που προκαλεί θραύση σε δοκίμιο διαμέτρου 50 mm. Στη συνέχεια διαιρώντας το φορτίο με το τετράγωνο της διαμέτρου των 50 mm (2500 mm^2) μπορεί να προσδιοριστεί ο δείκτης σημειακής φόρτισης, $I_{s(50)}$.

Η σχέση που συνδέει το δείκτη σημειακής αντοχής, $I_{s(50)}$, με την μονοαξονική αντοχή, σ_c , των πετρωμάτων είναι της μορφής:

$$\sigma_c = K I_{s(50)}$$

Το K είναι συντελεστής που διαφέρει ανάλογα με το είδος του πετρώματος.



Γεωμετρία - διαστάσεις δοκιμών

Προσδιορισμός αντοχής σε τριαξονική θλίψη

Η Δοκιμή Τριαξονικής Θλίψης συνίσταται στη βαθμιαία αξονική φόρτιση ενός κυλινδρικού, με την επιβολή πλευρικής πίεσης, μέχρι τη θραύση του. Η δοκιμή προσδιορίζει τις παραμέτρους αντοχής, ϕ και c , με αναφορά στις ολικές τάσεις, καθώς δεν προβλέπεται μέτρηση της όποιας πίεσης του νερού των πόρων.

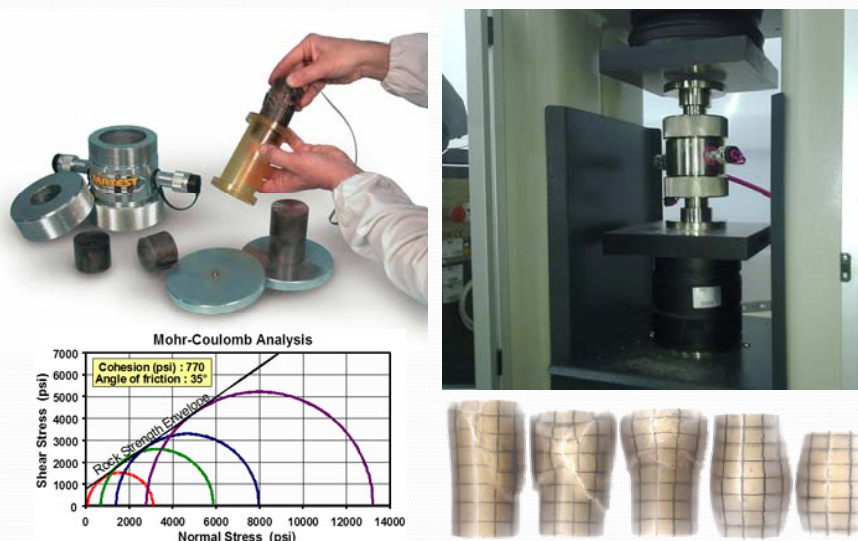
Διαστάσεις κυλινδρικού δοκιμίου: Διάμετρος δοκιμίου (ϕ) ≤ 54 mm, ύψος δοκιμίου $2 - 3 \phi$. Οι μέγιστες διαστάσεις των κόκκων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το $1/10 \phi$.

Προπαρασκευή δοκιμίου: Το τελικό δοκίμιο θα πρέπει να μην παρουσιάζει ανωμαλίες ή κενά και θα πρέπει να έχει παράλληλες και επίπεδες έδρες. Η κυλινδρική επιφάνεια δεν πρέπει να φέρει ανωμαλίες, για την ομαλή μεταβίβαση των πλευρικών τάσεων.

Πορεία δοκιμής:

- Το δοκίμιο τοποθετείται εντός της κυψέλης επιβολής των πλευρικών φορτίσεων και ευθυγραμμίζεται εντός της πρέσας επιβολής των θλιπτικών φορτίων.
- Εφαρμόζεται προοδευτικά ισότροπη πλευρική φόρτιση και θλιπτικό αξονικό φορτίο μέχρι την επίτευξη της επιθυμητής πλευρικής πίεσης.
- Στη συνέχεια επιβάλλεται αξονική φόρτιση μέχρι τη θραύση του δοκιμίου. Η επιβολή της φόρτισης γίνεται βαθμιαία και με σταθερή ταχύτητα $0.5-1.0$ MPa/sec.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: α) Οι παράμετροι αντοχής, ϕ και c , με αναφορά στις ολικές τάσεις. Αν τοποθετηθούν στο δείγμα όργανα μέτρησης παραμορφώσεων β) το μέτρο Ελαστικότητας, E και γ) ο λόγος του Poisson, ν .



Δοκιμή Διάτμησης Ασυνέχειας Βράχου

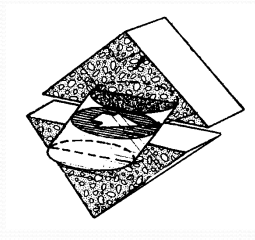
Η Δοκιμή Διάτμησης Ασυνέχειας Βράχου αναφέρεται στη βαθμιαία επιβολή διατμητικών μετακινήσεων κατά μήκος επιφάνειας ασυνέχειας βραχώδους δείγματος προκειμένου να προσδιοριστεί η μέγιστη και η παραμένουσα διατμητική αντοχή κατά μήκος της.

Προπαρασκευή δοκιμίου:

Επιλέγεται φυσική ασυνέχεια ή προετοιμάζεται, με κοπή, τεχνητή επιφάνεια ασυνέχειας από πυρήνα γεωτρήσεως ή από ακανόνιστο δείγμα πετρώματος. Η επιφάνεια της ασυνέχειας που θα εκτελεστεί η δοκιμή πρέπει να έχει ελάχιστο εμβαδό 2500 mm².

Το δοκίμιο, με τη βοήθεια ειδικού καλουπιού, εγκλωβίζεται σε εκμαγείο από γύψο ή και λευκό τσιμέντο έτσι ώστε η επιφάνεια διάτμησης να είναι οριζόντια και να απέχει από τη στάθμη του υλικού πλήρωσης του εκμαγείου απόσταση περίπου 5mm.

Οι επιφάνειες διάτμησης εμβαδομετρούνται με ακρίβεια και στις περιπτώσεις φυσικών ασυνεχειών διεξάγονται προφίλομετρήσεις για τον προσδιορισμό της τραχύτητάς τους.



Πορεία δοκιμής:

➤ **Συναρμολογείται η συσκευή και το δοκίμιο τοποθετείται σε αυτή με προσοχή.** Συνδέονται οι μηχανισμοί επιβολής των ορθών και διατμητικών φορτίων.

➤ Με τη χρήση της μίας υδραυλικής αντλίας **επιβάλλεται το ορθό φορτίο**. Με τη δεύτερη αντλία **επιβάλλεται σταδιακά το διατμητικό φορτίο** έτσι ώστε η μετακίνηση κατά μήκος της επιφάνειας διάτμησης να πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό. **Κάθε 0,5 ή 1mm μετακίνησης καταγράφεται η τιμή του επιβαλλόμενου διατμητικού φορτίου.** Η δοκιμή ολοκληρώνεται μετά την υπέρβαση της μέγιστης και της παραμένουσας διατμητικής αντοχής (δηλαδή όταν οι τέσσερις τελευταίες μετρήσεις είναι περίπου ίδιες) και αφού έχει πραγματοποιηθεί μετακίνηση το ελάχιστο ίση με το 10% του μήκους της επιφάνειας διάτμησης.

➤ Αφού ολοκληρωθεί η δοκιμή με το συγκεκριμένο ορθό φορτίο, **η συσκευή αποσυναρμολογείται**, το δείγμα αφαιρείται, **καθαρίζεται και καταγράφονται οι φθορές που έχουν συντελεστεί.**

➤ Το σύνολο των προαναφερόμενων βημάτων επαναλαμβάνονται, με το ίδιο δοκίμιο, για το ελάχιστο δύο υψηλότερα ορθά φορτία.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: α) Γωνία τριβής φυσικής ασυνέχειας (ϕ), β) Βασική γωνία τριβής τεχνητής ασυνέχειας (ϕ_b).

Προσδιορισμός σκληρότητας με τη σφύρα – Κρουσίμετρο Schmidt

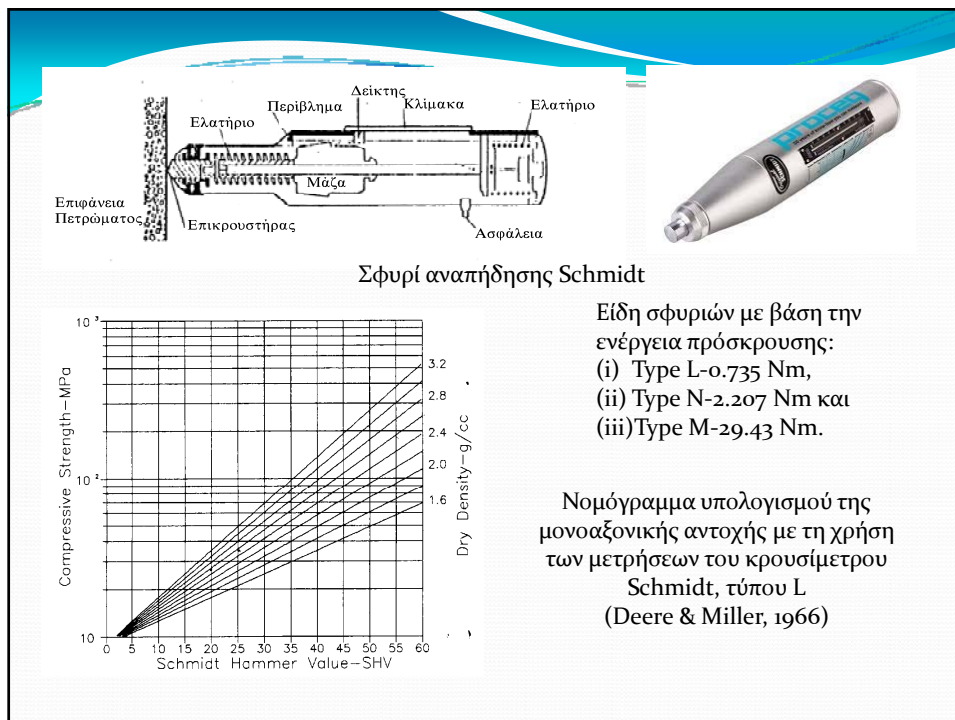
Ο προσδιορισμός της σκληρότητας μέσω του κρουσίμετρου Schmidt ή της σφύρας αναπήδησης Schmidt κρίνεται σκόπιμος λόγω του ότι μέσω αυτής είναι δυνατός ο προσδιορισμός της μονοαξονικής τους αντοχής.

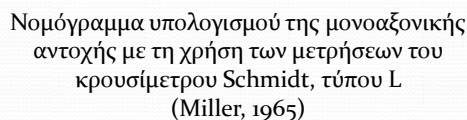
Το κρουσίμετρο Schmidt: είναι μια φορητή συσκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση δοκιμών τόσο στο ύπαιθρο όσο και στο εργαστήριο. Η φορητή συσκευή της σφύρας αναπήδησης αποτελείται από ένα έμβολο στο οποίο είναι προσαρμοσμένα δύο ελατήρια και μια ατσάλινη μάζα αναπήδησης.

Πορεία δοκιμής: Κατά τη διάρκεια της δοκιμής το έμβολο πιέζεται πάνω στην επιφάνεια του δείγματος μέχρι να απελευθερωθεί το ελατήριο αναπήδησης και να εκτινάξει την ατσάλινη μάζα. Η ατσάλινη μάζα αναπηδά και προσκρούει με ενέργεια 0,75 N/m. Το ύψος αναπήδησης της μάζας μετριέται σε μια βαθμονομημένη κλίμακα που βρίσκεται πάνω στη συσκευή, και είναι ανάλογο με τη σκληρότητα του υλικού που δοκιμάζεται.

Το έμβολο κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης δοκιμών στο ύπαιθρο πρέπει να βρίσκεται κάθετα στην επιφάνεια του υλικού που δοκιμάζεται ενώ ο άξονας του οργάνου μπορεί να σχηματίζει με τον ορίζοντα γωνία 0° , 45° , 90° , -45° , 0° .

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη, σ_c .





Η δοκιμή προσδιορισμού της ταχύτητας των υπερήχων αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ταχύτητας των διαμήκων, V_p , και των διατμητικών, V_s , κυμάτων. Με τη γνώση των συγκεκριμένων ταχυτήτων είναι δυνατός ο υπολογισμός των δυναμικών παραμέτρων E_d , ν_d και G_d .

Διαστάσεις δοκιμίου-επιφανειών: Η ελάχιστη διάμετρος κυλινδρικού δοκιμίου είναι ($\varnothing$) >8 cm, και μήκος L = 10cm. Η δοκιμή εκτελείται και σε επιφάνεια υλικών, τόσο για τον προσδιορισμό των προαναφερόμενων παραμέτρων όσο και για τη χαρτογράφηση ασυνεχειών - ρωγμών. Οι επιφάνειες αυτές πρέπει να είναι κατά το δυνατόν επίπεδες.

➤ Πριν την έναρξη της δοκιμής ελέγχεται η βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση πρότυπου δείγματος.

➤ Κατά την εκτέλεση της δοκιμής το δείγμα τοποθετείται μεταξύ των μορφοτροπέων. Στην επιφάνεια επαφής του μορφοτροπέα και του δείγματος επαλείφεται ειδικό αγωγίμο jel. Η διάταξη μορφοτροπέας - δείγμα - μορφοτροπέας τοποθετείται σε συσκευή μονοαξονικής φόρτισης και επιβάλλεται φορτίο 3-5 kN, για την εξασφάλιση της επαφής. Αν η δοκιμή αποσκοπεί μόνο στη μέτρηση της V_p τότε η απαραίτητη επαφή μπορεί να επιβληθεί με την πίεση των χεριών.

Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι: α) οι ταχύτητες των διαμήκων, V_p , και των διατμητικών, V_s , κυμάτων, β) οι δυναμικές παράμετροι μέτρο ελαστικότητας, E_d , λόγος του poisson, ν_d , και μέτρο διάτμησης, G_d .

$$V_{(s,p)} = \frac{L}{T_{(s,p)}}$$

$$G_d = \rho V_s^2$$

$$E_d = \frac{\rho \cdot V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\nu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$



Περιγραφή και Ταξινόμηση Βραχομάζας

Περιγραφή της βραχομάζας

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας δεν εξαρτώνται μόνο από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του άρρηκτου πετρώματος. **Καθοριστικό παράγοντα παίζει ο βαθμός κατακερματισμού και αποσάθρωσης καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.**

Οι κύριες επιφάνειες ασυνέχειας που εντοπίζονται εντός της βραχομάζας είναι:

- Ο σχισμός (επιφάνειες αδυναμίας εξαρτώμενες από την κρυσταλλική δομή)
- Οι στρώσεις (στα ιζηματογενή πετρώματα– διαχωρίζουν τα στρώματα)
- Η φύλλωση (στα λεπτόκοκκα μεταμορφωμένα πετρώματα)
- Η σχιστότητα (στα αδρόκοκκα μεταμορφωμένα πετρώματα)
- Οι διακλάσεις (τεκτονικές δομές, χωρίς εκατέρωθεν σχετικές μετακινήσεις)
- Τα ρήγματα (τεκτονικές δομές με εκατέρωθεν σχετικές μετακινήσεις)

Παράμετροι μηχανικής συμπεριφοράς ασυνεχειών

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (I.S.R.M.,1981) η μηχανική συμπεριφορά των ασυνεχειών καθορίζεται από τα εξής χαρακτηριστικά τους:

- Προσανατολισμός (Παράταξη – μέγιστη κλίση – διεύθυνση μέγιστης κλίσης)
- Απόσταση
- Συνέχεια
- Αντοχή τοιχωμάτων (< του άρρηκτου πετρώματος, με σφύρα Schmidt)
- Τραχύτητα
- Άνοιγμα
- Υλικό πλήρωσης
- Παρουσία υπόγειου νερού

Τα χαρακτηριστικά αυτά χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση της βραχομάζας.

Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών ασυνεχειών

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση
Βραχομηχανικής (I.S.R.M.,1981)
(πίνακας από Κούκης &
Σαμπατακάκης, 2002)

Είδος (DT)		Άνοιγμα (A)	
1	Στροφή	1	Πολύ κλειστές
2	Διάσχιση	2	Κλειστές
3	Ρήγμα	3	Μερικά ανοικτές
4	Σχιστότητα	4	Ανοικτές
5	Ρωγμή	5	Μερικά πλατιές
6	Σχισμός	6	Πλατιές
		7	Πολύ πλατιές
		8	Εξαιρετικά πλατιές
			<0.1 mm
			0.1 – 0.25 mm
			0.25 – 0.5 mm
			0.5 – 2.5 mm
			2.5 – 10 mm
			> 10 mm
			1 – 10 cm
			10 – 100 cm

Απόσταση		Spacing (S)	
1	Εξαιρετικά μικρή απόσταση	< 20 mm	Extremely close
2	Πολύ μικρή απόσταση	20 – 60 mm	Very close
3	Μικρή απόσταση	60 – 200 mm	Close
4	Μέτρια απόσταση	200 – 600 mm	Moderate
5	Μεγάλη απόσταση	600 – 2000 mm	Wide
6	Πολύ μεγάλη απόσταση	2000 – 6000 mm	Very wide
7	Εξαιρετικά μεγάλη απόσταση	>6000 mm	Extremely wide

Συνέχεια (P)		Persistence	
1	Πολύ μικρή	< 1 m	Very low
2	Μικρή	1-3 m	Low
3	Μέση	3-10 m	Medium
4	Υψηλή	10-20 m	High
5	Πολύ υψηλή	> 20 m	Very high

Τραχύτητα (R)		Roughness (R)	
1	Τραχεία κλιμακωτή	Rough Stepped	
2	Λεία κλιμακωτή	Smooth Stepped	
3	Ολισθηρή κλιμακωτή	Slickensided Stepped	
4	Τραχεία κυματοειδής	Rough Undulating	
5	Λεία κυματοειδής	Smooth Undulating	
6	Ολισθηρή κυματοειδής	Slickensided Undulating	
7	Τραχεία επίπεδη	Rough Planar	
8	Λεία επίπεδη	Smooth Planar	
9	Ολισθηρή επίπεδη	Slickensided Planar	

Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος - Rock Quality Designation (RQD)

RQD = 0 - 25% very poor
RQD = 25 - 50 % poor
RQD = 50 - 75% fair
RQD = 75 - 90% good
RQD = 90 - 100% excellent

Total length of core run = 200cm

$RQD = \frac{\sum \text{length (L) of core pieces} > 10\text{cm length}}{\text{Total length of core run}}$

$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + 35}{200} \times 100\% = 55\%$

R.Q.D. (%)	Ποιότητα πετρώματος
100-90	Εξαιρετική
89-75	Καλή
74-50	Μέτρια
49-25	Πτωχή
24-0	Πολύ πτωχή

Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα από γεωτρήσεις του RQD μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο του Palmstrom, 1975.

$RQD = 115 - 3.3 J_v$

Όπου J_v ο συνολικός αριθμός ασυνεχειών ανά τρέχον μέτρο μήκους παρατήρησης.

RQD=100% για $J_v < 4,5$.

Βαθμός Αποσάθρωσης Βραχομάζας		
ΟΡΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ
Υγρές πέτρωμα (Fresh rock)	Οχι εμφανής αποσάθρωση στο πέτρωμα. Πιθανά μόνο αποχρωματισμός των επιφανειών κάποιων κύριων ασυνεχειών.	I
Ελαφρά αποσάθρωμένο πέτρωμα (Slightly weathered rock)	Σημειώνεται αυξημένος αποχρωματισμός που υποδηλώνει αποσάθρωση του βραχώδους υλικού και των επιφανειών των ασυνεχειών. Όλο το βραχώδες υλικό μπορεί να έχει αποχρωματιστεί από την αποσάθρωση και μπορεί κατά κάποιο τρόπο να είναι ασθενέστερο εξωτερικά από ότι στην υγρή του κατάσταση.	II
Μέτρια αποσάθρωμένο πέτρωμα (Moderately weathered rock)	Λιγότερο από 50% του βραχώδους υλικού παρουσιάζει αποσύνθεση και/ή μετατρέπεται σε έδαφος. Υγρές ή αποχρωματισμένο πέτρωμα υπάρχει με τη μορφή συνεχούς μέσου ή βραχωδών τεμαχίων.	III
Ισχυρά αποσάθρωμένο πέτρωμα (Highly weathered rock)	Περισσότερο από 50% του βραχώδους υλικού παρουσιάζει αποσύνθεση ή/και μετατρέπεται σε έδαφος. Υγρές ή με αποχρωματισμό μόνο βραχώδες υλικό υπάρχει είτε σαν ασυνεχές μέσο ή σαν βραχώδη τεμάχια.	IV
Έντονα αποσάθρωμένο πέτρωμα (Completely weathered rock)	Όλη η βραχώδης μάζα έχει αποσυντεθεί ή/και μετατραπεί σε έδαφος, αλλά η αρχική βραχώδης δομή είναι ακόμα άθικτη στη μεγαλύτερή της έκταση.	V
Υπολειμματικό έδαφος (Residual soil)	Όλη η βραχομάζα έχει μετατραπεί σε έδαφος και η αρχική βραχώδης δομή όπως και ο δομικός σκελετός του υλικού έχουν καταστραφεί. Υπάρχει σημαντική μεταβολή στον όγκο αλλά ουσιαστικές μετακινήσεις του εδαφικού υλικού που προέκυψε δεν έχουν ακόμα σημειωθεί.	VI

Κατά τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (ISRM)

Ταξινόμηση Βραχομάζας

Ο κύριος στόχος των μεθόδων ταξινόμησης είναι να συγκεντρώσουν τη γεωτεχνική πληροφορία που αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας καθώς και την τεχνογνωσία που υπάρχει στη διάνοιξη και υποστήριξη των διάφορων υπογείων έργων και να τη χρησιμοποιήσουν για την κατασκευή έργων που διανοίγονται κάτω από παρόμοιες συνθήκες.

Οι μέθοδοι ταξινόμησης διατυπώθηκαν ως εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού των μέτρων υποστήριξης είναι οι πρώτες που εφαρμόστηκαν στις υπόγειες κατασκευές.

Πέραν του σχεδιασμού των υπόγειων έργων οι μέθοδοι ταξινόμησης χρησιμοποιούνται γενικά για την περιγραφή της βραχομάζας σε όλα τα έργα του μηχανικού.

Οι κυριότερες μέθοδοι ταξινόμησης είναι:

- Η μέθοδος κατά Bieniawski ή η μέθοδος RMR.
- Η μέθοδος των Barton, et al. ή του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου.

Ενώ με την ίδια λογική του ποσοτικού χαρακτηρισμού της ποιότητας της βραχομάζας έχει διατυπωθεί και ο **Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής, GSI**, των Hook et al.

Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski ή Γεωμηχανική ταξινόμηση ή Ταξινόμηση RMR (Rock Mass Rating)

Οι παράμετροι που εξετάζονται στο σύστημα ταξινόμησης του Bieniawski (1989):

1. Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος.
2. Ο δείκτης ποιότητας βραχομάζας RQD.
3. Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών.
4. Η κατάσταση των ασυνεχειών.
5. Το υπόγειο νερό.

Α. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ									
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ			ΠΕΔΙΟ ΤΙΜΩΝ						
1	Αντοχή πετρώματος	Δείκτης σημειακής φόρτισης	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Προτιμάται η δοκιμή μονοαξονικής αντοχής		
		Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Βαθμοί		15	12	7	4	2	1	0
2	Ποιότητα πετρώματος RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %		
	Βαθμοί		20	17	13	8	3		
3	Απόσταση ασυνεχειών		>2 m	0.6-2.0 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Βαθμοί		20	15	10	8	5		
4	Κατάσταση ασυνεχειών (σύμφωνα με τον πίνακα Ε)		πολύ τραχείες επιφάνειες, ασυνεχείς, χωρίς διαχωρισμό, υγρή τοιχώματα	ελαφρά τραχείες επιφάνειες, διαχωρισμός <1mm, ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα	ελαφρά τραχείες επιφάνειες, διαχωρισμός <1mm, πολύ αποσαθρωμένα τοιχώματα	επιφάνειες ολίσθησης ή υλικό πλήρωσης <5mm διαχωρισμός 1-5mm συνεχείς	Μαλακό υλικό πλήρωσης >5mm ή Διαχωρισμός >5mm, συνεχείς		
			Βαθμοί		30	25	20	10	0
5	Υπόγειο νερό	Εισροή ανά 10m μήκος σήραγγας (lit/min)	καμία	<10	10-25	25-125	>125		
		Λόγος πίεσης νερού διακλάσεων προς μέγιστη κύρια τάση σ_{max}	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Γενικές συνθήκες υγρασίας	ξηρό	ύψυγρο	υγρό	στάγδην	ροή		
	Βαθμοί		15	10	7	4	0		

Ε. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ					
Μήκος ασυνεχειών	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m
Βαθμοί	6	4	2	1	0
Εύρος ασυνεχειών	Κανένα	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5mm
Βαθμοί	6	5	4	1	0
Τραχύτητα	Πολύ τραχείες	Τραχείες	Ελαφρά τραχείες	Λείες	Κατοπτρικές
Βαθμοί	6	5	3	1	0
Υλικό πλήρωσης	Κανένα	Σκληρό < 5 mm	Σκληρό > 5 mm	Μαλακό < 5mm	Μαλακό > 5 mm
Βαθμοί	6	4	2	2	0
Αποσαθrawση	Υγιές	Ελαφρά αποσαθρ.	Μέτρια αποσαθρ.	Τελείως αποσαθρ.	Υπολ/ικό έδαφος
Βαθμοί	6	5	3	1	0

Φ. ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ (Wickham et al., 1972)						
Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας				Παράταξη παράλληλη με τον άξονα της σήραγγας		Ανεξάρτητα από την παράταξη των ασυνεχειών
Διάνοιξη σύμφωνα με την κλίση		Διάνοιξη αντίθετα με την κλίση				
Κλίση 45° - 90°	Κλίση 20° - 45°	Κλίση 45° - 90°	Κλίση 20° - 45°	Κλίση 45° - 90°	Κλίση 20° - 45°	Κλίση 0° - 20°
Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής	Μέτρια	Δυσμενής

Β. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (σύμφωνα με τον πίνακα F)

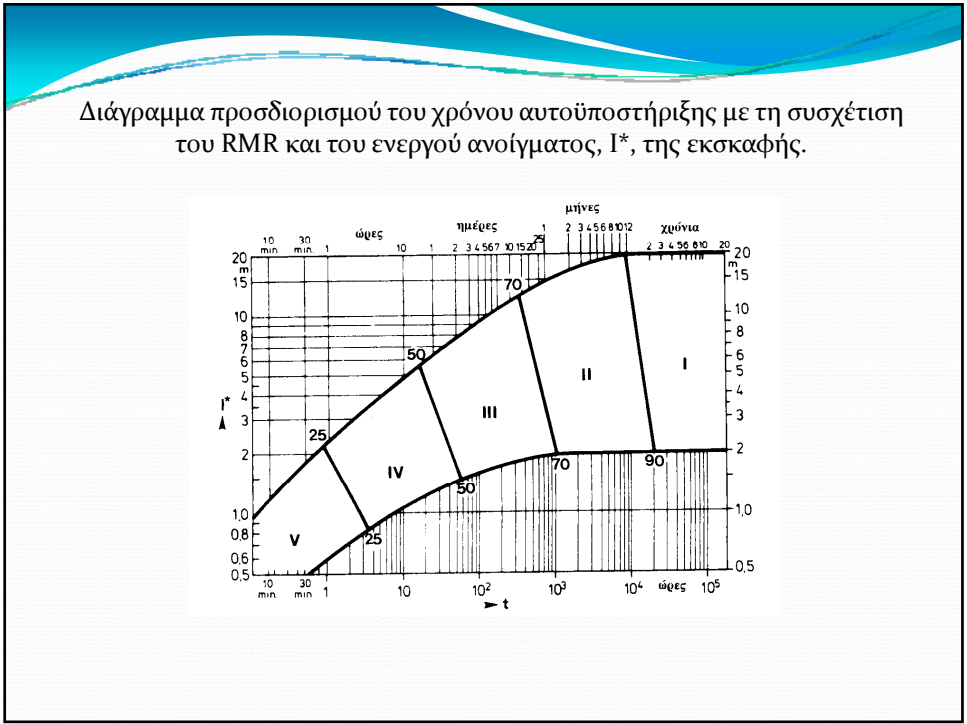
Παράταση και κλίση Διακλάσεων	Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Β α θ μ ο ί Σήραγγες & ορυχεία	0	-2	-5	-10	-12
Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
Πρανή	0	-5	-25	-50	-60

C. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Βαθμοί RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Κατάταξη	I	II	III	IV	V
Χαρακτηρισμός	πολύ καλή	καλή	μέτρια	πτωχή	πολύ πτωχή

D. ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Κατάταξη	I	II	III	IV	V
Μέσος χρόνος αυτοϋποστήριξης	20 yr για D=15 m	1 yr για D=10 m	1 w για D=5 m	10 h για D=2.5 m	30 min για D=1 m
Συνοχή (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Γωνία τριβής (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15



Μέτρα υποστήριξης υπόγειων εκσκαφών με βάση το σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας RMR (για αβαθείς σήραγγες διαμέτρου 5-12m).			
Κατηγορία βραχομάζας	Μέτρα υποστήριξης σε υπόγειες κατασκευές με συμβατικά μέσα		
	Κυρίως Ηλώσεις ή Αγκυρώσεις	Κυρίως Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	Κυρίως Χαλύβδινα Πλαίσια
I	Δεν απαιτείται υποστήριξη		
II	Ηλώσεις με αραίωση 1,5 – 2 m και – κατά περίπτωση – πλέγμα στην οροφή	50 mm στην οροφή	Αντικοινομικά
III	Ηλώσεις με αραίωση 1,0 – 1,5 m - κατά περίπτωση – πλέγμα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή	100 mm στην οροφή και 50 mm στα τοιχώματα – κατά περίπτωση – πλέγμα και ηλώσεις	Ελαφρά πλαίσια με αραίωση 1,5 – 2 m.
IV	Ηλώσεις με αραίωση 0,5 – 1,0 m, πλέγμα και 30 – 50 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή και στα τοιχώματα	150 mm στην οροφή και 100 mm στα τοιχώματα, πλέγμα και ηλώσεις μήκους 3m και με αραίωση 1,5 m	Πλαίσια μέσου τύπου με αραίωση 0,7 – 1,5 m και 50 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή
V	Δεν συνίσταται	200mm στην οροφή και 150mm στα τοιχώματα, πλέγμα, ηλώσεις και ελαφρά πλαίσια.	Βαριά πλαίσια, με αραίωση 0,7 m και ταχεία επένδυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 75 mm.

Κατευθυντήριες οδηγίες για την επιλογή της εκσκαφής και της προσωρινής υποστήριξης σηράγγων διαμέτρου 10m και σε μικρό βάθος				
Σχήμα: Πεταλοειδές. Άνοιγμα: 10 m. Κατακόρυφες τάσεις: <25 MPa (βάθος <900m). Μέθοδος διάνοιξης: διάτρηση και ανατίναξη.				
Κλάση Βραχο-μάζας	Εκσκαφή/ Προχώρηση	Εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης σε κατασκευή με συμβατικά μέσα		
		Ηλώσεις (διαμέτρου 20mm, πακτωμένα με τσιμεντοκονία)	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Μεταλλικά πλαίσια
I	Ολομέτωπη προσβολή προχώρηση 3m.	Περιπτωσιακές σημειακές επί τόπου αγκυρώσεις	Κανένα	Κανένα
II	Ολομέτωπη προσβολή προχώρηση 1-1,5 m, οριστική υποστήριξη 20m από το μέτωπο	Τοπικά, ηλώσεις στην οροφή μήκους 3m με αραίωση 2,5 m και κατά περίπτωση πλέγμα.	50mm στην οροφή όπου χρειάζεται	Κανένα
III	Μετώπου και βαθμίδας, προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1,5-3m. Έναρξη υποστήριξης ύστερα από κάθε ανατίναξη. Οριστική υποστήριξη 10m από το μέτωπο.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 4m, με αραίωση 1,5-2 στην οροφή και στους τοίχους και πλέγμα στην οροφή.	50-100 mm στην οροφή και 30 mm στις πλευρές	Κανένα
IV	Μετώπου και βαθμίδας, προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1-1,5m. Εγκατάσταση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή, 10m από το μέτωπο.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 4-5m , με αραίωση 1-1,5 m στην οροφή και στους τοίχους με πλέγμα.	100-150 mm στην οροφή και 100 mm στις πλευρές	Ελαφρά προς μέσα πλαίσια με αραίωση 1,5m όπου απαιτείται
V	Πολλαπλά τμήματα προχώρησης . Προχώρηση στο ανώτερο τμήμα 0,5-1,5m. Εγκατάσταση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή. Σκυρόδεμα όσο το δυνατό γρηγορότερα μετά από κάθε ανατίναξη.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 5-6 m, με αραίωση 1-1,5 m στην οροφή και τους τοίχους και χαλύβδινο πλέγμα. Ήλωση του ανάστροφου τόξου.	150-200 mm στην οροφή, 150 mm στις πλευρές και 50 mm στο μέτωπο.	Μέσα προς βαριά, με αραίωση 0,75m με επικάλυψη λαμαρίνας και στήριξη του μετώπου. Κλείσιμο του αντίστροφου τόξου.

Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας των Barton, Lien και Laude (1974) ή Ταξινόμηση του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου (NGI)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Α. Ο λόγος RQD/J_n εξετάζει το μέγεθος των τεμαγίων που δομούν τη βραχομάζα.

J_n: εξαρτάται από τον αριθμό των οικογενειών των ασυνεχειών.

Β. Ο λόγος J_r/J_a εξετάζει την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι επιφάνειες των ασυνεχειών.

J_r: εξετάζει την τραχύτητα που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών.

J_a: εξετάζει το βαθμό αποσάθρωσης που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών.

Γ. Ο λόγος J_w/SRF περιγράφει το τασικό πεδίο που κατανέμεται γύρω από την εκσκαφή.

J_w: εξετάζει την επίδραση του υπόγειου νερού στο τασικό πεδίο που αναπτύσσεται γύρω από την υπόγεια εκσκαφή.

SRF: εξετάζει την τασική κατάσταση που επικρατεί γύρω από την υπόγεια εκσκαφή.

1. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (RQD)

RQD

A. Πολύ πτωχή	0 – 25
B. Πτωχή	25 – 50
C. Μέτρια	50 – 75
D. Καλή	75 – 90
E. Άριστη	90 – 100

* Όταν $0 \leq RQD \leq 10$ τότε χρησιμοποιείται τιμή RQD = 10 για τον υπολογισμό του Q

** Διαφορές της τάξης του 5 (RQD = 90,95,100 κ.α.) είναι επαρκώς ακριβείς.

2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ

J_n

A. Συμπαγής βράχος με λίγες ή χωρίς διακλάσεις	0.5 – 1.0
B. Ένα σύστημα διακλάσεων	2.0
C. Ένα σύστημα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες	3.0
D. Δύο συστήματα διακλάσεων	4.0
E. Δύο συστήματα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες	6.0
F. Τρία συστήματα διακλάσεων	9.0
G. Τρία συστήματα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες	12.0
H. Τέσσερα ή περισσότερα συστήματα διακλάσεων τυχαίου προσανατολισμού, ισχυρά διακλασμένο, <<κύβοι ζάχαρης>>, κλπ.	15.0
J. Κονιορτοποιημένο πέτρωμα με μορφή εδαφικού σχηματισμού.	20.0

*Για διασταυρώσεις χρησιμοποιείται 3.0 J_n

** Για εισόδους χρησιμοποιείται 2.0 J_n.

3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ		Jr
<u>(α) Τοιχώματα βράχων σε επαφή.</u>		
<u>(β) Τοιχώματα βράχων σε επαφή πριν από διάτμηση 10 cm.</u>		
A. Ασυνεχείς διακλάσεις		4.0
B. Τραχείες ή ακανόνιστες κυματοειδείς διακλάσεις		3.0
C. Λείες, κυματοειδείς διακλάσεις		2.0
D. Ολισθηρές, κυματοειδείς διακλάσεις		1.5
E. Τραχείες ή ακανόνιστες επίπεδες διακλάσεις		1.5
F. Λείες, επίπεδες διακλάσεις		1.0
G. Ολισθηρές, επίπεδες διακλάσεις		0.5
<u>(γ) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση.</u>		
H. Ζώνη που περιέχει ορυκτά της αργίλου αρκετά παχιά ώστε να εμποδίζει την επαφή των τοιχωμάτων.		1.0
J. Αμμώδεις, χαλικώδεις ζώνες, ή ζώνες με θραύσματα αρκετά παχιά ώστε να εμποδίζουν την επαφή των τοιχωμάτων.		1.0
* Προστίθεται 1.0 αν η μέση απόσταση των διακλάσεων του σχετικού συστήματος είναι μεγαλύτερη από 3.0 m.		
** Η τιμή Jr = 0.5 είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για επίπεδες ολισθηρές διακλάσεις με προσανατολισμένες γραμμώσεις κατά τη διεύθυνση της ελάχιστης αντοχής.		

4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ	Φ°	Ja
<u>(α) Επαφή τοιχωμάτων</u>		
A. Υλικό πλήρωσης σκληρό και αδιαπέρατο (π.χ. χαλαζίας), σε ασυνέχειες ερμητικά κλειστές.	–	0.75
B. Λεκιασμένα τοιχώματα χωρίς ουσιαστική αποσάθρωση των ασυνεχειών.	(25° - 35°)	1.0
C. Ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων. Απουσία ενστρώσεων από μαλακά ορυκτά, από τεμάχια άμμου κ.α.	(25° - 30°)	2.0
D. Ιλυώδεις ή αμμώδεις, ενστρώσεις αργίλου, με μικρό κλάσμα αργίλου.	(20° - 25°)	3.0
E. Μαλακές ή με μικρή γωνία εσωτερικής τριβής ενστρώσεις αργιλικών και άλλων ορυκτών (καολίνης, μαρμαρυγίες καθώς και τάλκης, χλωρίτης, γύψος, γραφίτης), και μικρές ποσότητες από διογκούμενες αργίλους.	(8° - 16°)	4.0
<u>(β) τοιχώματα βράχων με επαφή 10 cm. πριν από τη διάτμηση.</u>		
F. Αμμώδεις κόκκοι, χωρίς άργιλο, κονιορτοποιημένο πέτρωμα.	(25° - 30°)	4
G. Ισχυρά υπερστερεοποιημένα μη μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχής ανάπτυξη πάχους < 5 mm)	(16° - 24°)	6
H. Μέσα ή χαμηλά υπερστερεοποιημένα μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχής ανάπτυξη πάχους < 5 mm).	(12° - 16°)	8
J. Διογκούμενο αργιλικό υλικό πλήρωσης (π.χ. μοντμοριλονίτης) (συνεχής ανάπτυξη πάχους < 5 mm).		
Οι τιμές του Ja εξαρτώνται από την περιεκτικότητα των διογκούμενων συστατικών της αργίλου και από τη δυνατότητα εισόδου νερού στις διακλάσεις.	(6° - 12°)	8 - 12



<u>(C) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση.</u>		
K. Ζώνες ή περιοχές από αποσαθρωμένο πέτρωμα.		6
L. Ζώνες ή περιοχές από θρυμματισμένο πέτρωμα.	(6° – 24°)	8
M. Ζώνες ή περιοχές από άργιλο (για την περιγραφή της αργίλου βλέπε G, H, J).		8 – 12
N. Ζώνες ή περιοχές από ιλυώδη ή αμμώδη άργιλο, μικρό κλάσμα της αργιλικής φάσης.		5
O. Παχιές συνεχείς λωρίδες αργίλου (για την περιγραφή της αργίλου βλέπε G, H, J).	(6°– 24°)	10
P. Ζώνες αργίλου (για την περιγραφή της αργίλου βλέπε G, H, J).		13 ή 13 – 20

*Οι τιμές της γωνίας τριβής αναφέρονται σε προσεγγίσεις που στηρίζονται στις ορυκτολογικές ιδιότητες των υλικών.



5. ΝΕΡΟ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	Πίεση νερού (MPa)	J _w
A. Στεγνή επιφάνεια ή τοπικά μικρή εισροή (< 5 l/min).	<0.1	1
B. Μέση εισροή ή μέση πίεση. Περιστασιακή έκπλυση του υλικού πλήρωσης των διακλάσεων.	0.1 – 0.25	0.66
C. Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση σε συμπαγές πέτρωμα με διακλάσεις χωρίς υλικά πλήρωσης.	0.25 – 1	0.5
D. Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση. Σημαντική έκπλυση του υλικού πλήρωσης.	0.25 – 1	0.33
E. Εξαιρετικά μεγάλη εισροή ή πίεση κατά την ανατίναξη η οποία μειώνεται περιοδικά.	> 1	0.2 – 0.1
F. Εξαιρετικά μεγάλη εισροή ή πίεση η οποία παραμένει σταθερή.	> 1	0.1 – 0.05

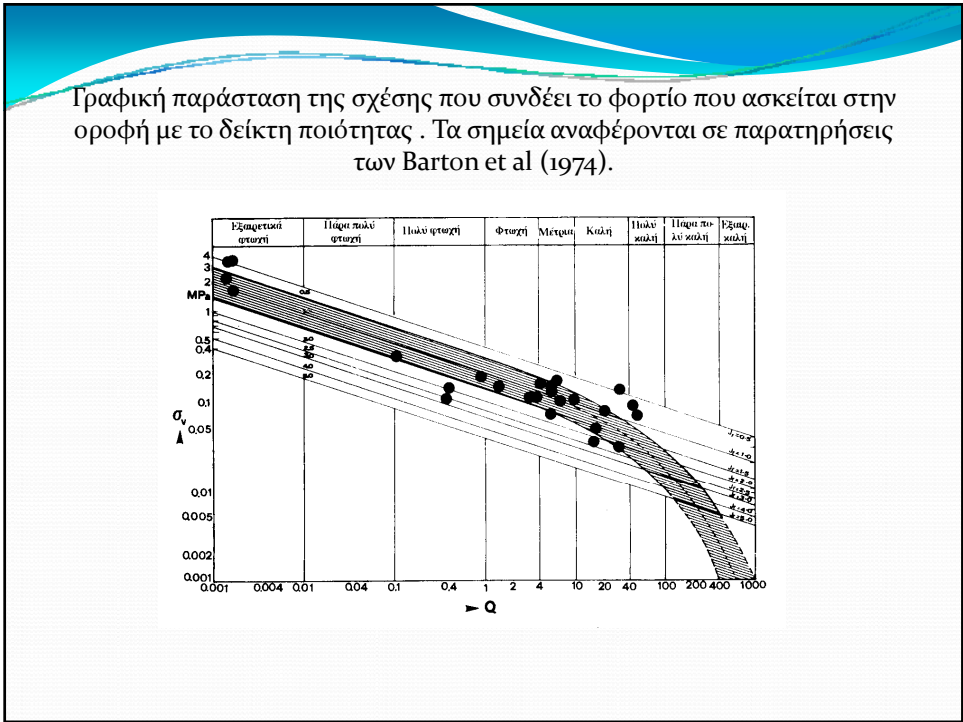
* Οι περιπτώσεις C, D, E, F έχουν εκτιμηθεί χονδρικά.
 ** Όταν υπάρχουν στραγγιστήρια η τιμή του J_w αυξάνεται.
 *** Δε λαμβάνονται υπόψη προβλήματα που προκαλούνται από τη δημιουργία πάγου.

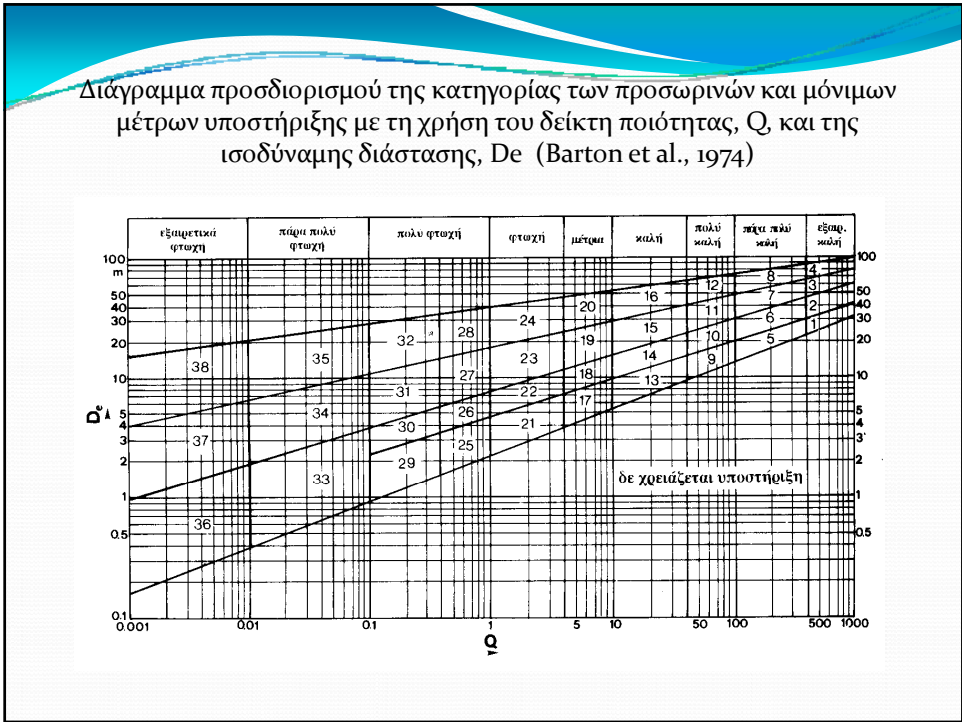
6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΑΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	SRF
<u>α)* Ζώνες ασθενούς αντοχής που τέμνουν την εκσκαφή και μπορούν να προκαλέσουν χαλάρωσή της κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.</u>	
A. Πολλαπλές ασθενείς ζώνες που περιέχουν αργιλικό υλικό ή χημικώς εξαλλοιωμένο πέτρωμα. Πολύ χαλαρή δομή του βράχου που περιβάλλει την εκσκαφή.	10
B. Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες οι οποίες περιέχουν άργιλο ή χημικά αποσαθρωμένο πέτρωμα (βάθος εκσκαφής <50 mm).	5
C. Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες οι οποίες περιέχουν άργιλο ή χημικά αποσαθρωμένο πέτρωμα (βάθος εκσκαφής >50 mm).	2.5
D. Πολλαπλές διατηρημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα (χωρίς άργιλο), χαλαρή περιβάλλουσα βραχομάζα (οποιοδήποτε βάθος εκσκαφής).	7.5
E. Μεμονωμένες διατηρημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα (χωρίς άργιλο, για βάθος εκσκαφής ≤ 50m).	5
F. Μεμονωμένες διατηρημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα (χωρίς άργιλο, για βάθος εκσκαφής > 50m).	2.5
G. Χαλαρές, ανοικτές διακλάσεις, έντονη κατάτμηση του βράχου σε μικρά κυβικά στοιχεία κατάτμησης (οποιοδήποτε βάθος εκσκαφής).	5

<u>β)** Συμπαγές πέτρωμα, προβλήματα εξαιτίας τάσεων.</u>	σ_c / σ_1	σ_{ten} / σ_1	SRF
H. Χαμηλές τάσεις, κοντά στην επιφάνεια.	>200	>13	2.5
J. Μέσες τάσεις.	200 - 10	13 - 0,66	1
K. Υψηλές τάσεις, πολύ συμπαγής δομή (συνήθως έχουν ευνοϊκή επίδραση στην ευστάθεια, μπορεί όμως να έχουν δυσμενή επίδραση στην ευστάθεια των παρειών).	10 - 5	0,66 - 0,33	0.5 - 2
L. Μαλακή εκτίναξη συμπαγούς πετρώματος.	5 - 2,5	0,33 - 0,16	5 - 10
M. Έντονη εκτίναξη συμπαγούς πετρώματος.	<2,5	<0,16	10 - 20
<u>γ)*** Βράχος που ασκεί πιέσεις, πλαστική ροή συμπαγούς πετρώματος υπό την επίδραση υψηλών γεωπιέσεων.</u>			
N. Βράχος ο οποίος ασκεί μικρές πιέσεις.			5 - 10
O. Βράχος ο οποίος ασκεί πολύ υψηλές πιέσεις.			10 - 20
<u>δ) Διογκούμενο πέτρωμα, χημική διόγκωση εξαρτώμενη από την παρουσία νερού.</u>			
P. Ελαφρά διογκούμενος βράχος.			5 - 10
R. Έντονα διογκούμενος βράχος.			10 - 15
* Οι τιμές του SRF μειώνονται κατά 25 - 50 % αν οι ασθενείς (διατηρημένες) ζώνες δεν τέμνουν την υπόγεια εκσκαφή αλλά απλά την επηρεάζουν.			
** Σε περιπτώσεις έντονα ανισότροπου τασικού πεδίου (εφόσον αυτό έχει μετρηθεί): Αν $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 100$, οι σ_c και σ_{ten} μειώνονται σε $0,8\sigma_c$ και $0,8\sigma_{ten}$. Αν $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, οι σ_c και σ_{ten} μειώνονται σε $0,6\sigma_c$ και $0,6\sigma_{ten}$. σ_c = η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, σ_{ten} = η αντοχή σε εφελκυσμό, σ_1 = η μέγιστη κύρια ορθή τάση, σ_3 = η ελάχιστη κύρια ορθή τάση.			
*** Υπάρχει περιορισμένη εμπειρία όταν το βάθος της σήραγγας είναι μικρότερο από το άνοιγμά της. Προτείνεται η αύξηση του SRF από 2,5 σε 5 (βλέπε Η).			

Κατηγορίες βραχομάζας με βάση το δείκτη ποιότητας Q

Χαρακτηρισμός Βραχομάζας	Δείκτης ποιότητας Q	Πίεση ασκούμενη στην οροφή P (MPa)
Εξαιρετικά πτωχή	0,001 – 0,01	1,2
Πάρα πολύ πτωχή	0,01 – 0,1	0,6
Πολύ πτωχή	0,1 – 1,0	0,3
Πτωχή	1 – 4	0,15
Μέτρια	4 – 10	0,1
Καλή	10 – 40	0,05
Πολύ καλή	40 – 100	0,025
Πάρα πολύ καλή	100 – 400	0,005
Εξαιρετικά καλή	400 – 1000	0,001





Ισοδύναμη διάσταση D_e = Μέγιστο άνοιγμα / ESR

Πίνακας τιμών του συντελεστή ESR κατά Barton et al., 1974

ΤΥΠΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ESR
A Προσωρινά ανοίγματα μεταλλείων, κ.α.	3 – 5
B Κατακόρυφα φρεάτια κυκλικής διατομής.	2.5
B Κατακόρυφα φρεάτια ορθογωνικής ή τετραγωνικής διατομής.	2.0
C Μόνιμες στοές μεταλλείων, σήραγγες προσαγωγής υδροηλεκτρικών σταθμών (χαμηλής πίεσης), ερευνητικές σήραγγες κ.α.	1.6
D Μικρές οδικές και σιδηροδρομικές σήραγγες, στοές προσπέλασης, αποθηκευτικοί θάλαμοι, κ.α.	1.3
E Μεγάλες οδικές ή σιδηροδρομικές σήραγγες, θάλαμοι ενεργειακών σταθμών, καταφύγια πολιτικής άμυνας, διασταυρώσεις και πύλες υπόγειων έργων, κ.α.	1.0
F Σταθμοί σιδηροδρόμων, εργοστάσια, υπόγειοι πυρηνικοί σταθμοί.	0.8

Για τον έλεγχο της ευστάθειας των προσωρινών εκσκαφών η ισοδύναμη διάστασή τους δίνεται από το λόγο του πλάτους ή του ύψους τους με το 1,5 ESR.

Σχέση μεταξύ του δείκτη ποιότητας, Q , και του δείκτη ποιότητας πλευρικών τοιχωμάτων, Q_w

Δείκτης ποιότητας, Q	Δείκτης ποιότητας πλευρικών τοιχωμάτων, Q_w
$Q > 10$	$5 Q$
$0.1 < Q < 10$	$2.5 Q$
$Q < 0.1$	Q

Για τον έλεγχο της ευστάθειας των προσωρινών εκσκαφών ο δείκτης ποιότητας υπολογίζεται από το $5Q$ ή το $5Q_w$ αντίστοιχα.

Απόσπασμα πίνακα προσδιορισμού μέτρων υποστήριξης

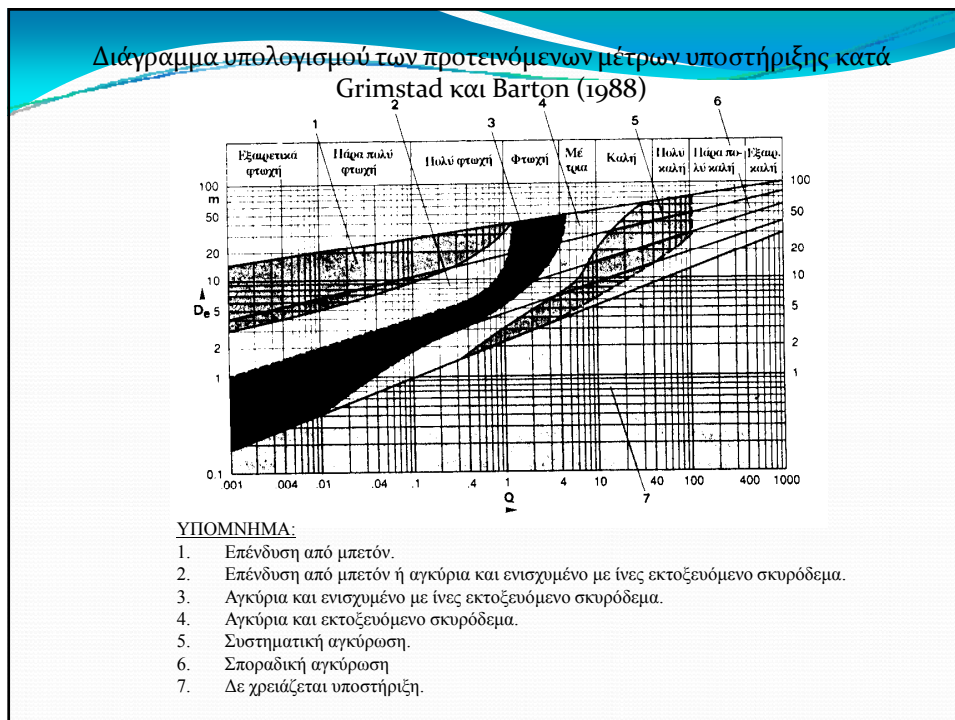
Κατηγορία υποστήριξης	Συντελεστές Κατάστασης			Τύπος υποστήριξης	Συμπλ/κες σημειώσεις
	RQD Jn	Jr Ja	SPAN ESR		
1°	—	—	—	sb(utg)	—
10	≥ 30	—	—	B(utg)2-3m	—
13	≥ 10	≥ 1.5	—	sb(utg)	I
	< 10	< 1.5	—	B(utg)1.5-2m+S2-3cm	I
18	> 5	—	$\geq 10m$	B(utg)1-1.5m+clm	I,III
23	—	—	≥ 15	B(tg)1-1.5m+ S(mr)10-15cm	I,II,IV,VII
27	—	—	$\geq 12m$	B(tg)1m+ S(mr)7.5-10cm	I,IX
32	—	—	$\geq 20m$	B(tg)1m+ S(mr)40-60cm	II,IV,IX
35	—	—	$\geq 15m$	B(tg)1m+ S(mr)30-100cm	II,IX
	—	—	$\geq 15m$	CCA(sr)60-200cm +B(tg)1m	VIII,X,XI
	—	—	$< 15m$	B(tg)1m+ S(mr)20-75cm	IX,III
	—	—	$< 15m$	CCA(sr)40-150cm +B(tg)1m	VIII,X,XI
38	—	—	$\geq 10m$	CCA(sr)100-300cm	IX
	—	—	$\geq 10m$	CCA(sr)100-300cm +B(tg)1m	VIII,X,II
βλέπε XIII	—	—	$< 10m$	S(mr)70-200cm	IX
	—	—	$< 10m$	S(mr)70-200cm+B(tg)1m	VIII,X,III

CCA:τσιμεντένια τόξα, S:εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, mr:μεταλλικό πλέγμα, sr:ατσάλινο πλέγμα.

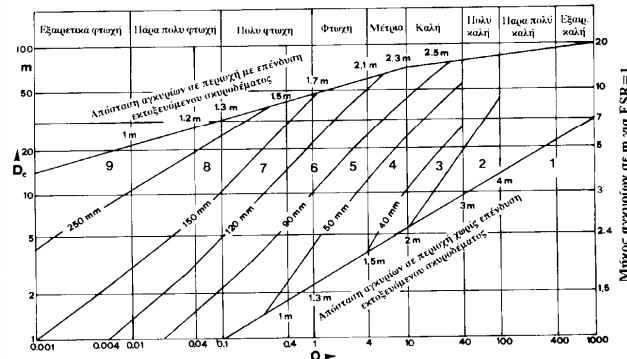
clm:συρματοπλέγματα, sb:σημειακές αγκυρώσεις, B:συστηματικές αγκυρώσεις,

tg:προεντεταμένα αγκύρια διαστελόμενης κεφαλής για συμπαγείς βραχώδεις μάζες, και με πλήρωση κονιάματος για χαμηλής ποιότητας βραχομάζες, utg:αγκυρώσεις, χωρίς τάνυση, πακτωμένες σε όλο το μήκος.

Οροφή:	Τοιχώματα:
Κοχλιώσεις: $I = 2 + 0.15 b \text{ ESR}$	Κοχλιώσεις: $I = 2 + 0.15 b \text{ ESR}$
Αγκυρώσεις: $I = 0.4 b / \text{ESR}$	Αγκυρώσεις: $I = 0.35 b / \text{ESR}$



Διάγραμμα υπολογισμού των προτεινόμενων μέτρων υποστήριξης κατά
Grimstad, και Barton (1993)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

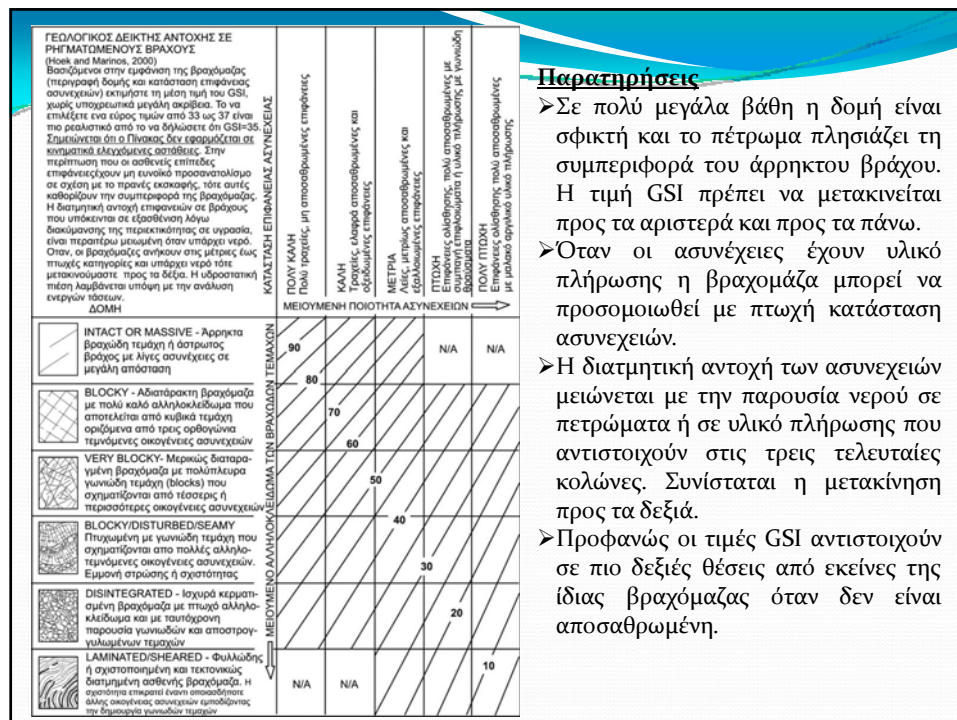
1. Ανευποστήρικτο.
2. Σποραδική αγκύρωση.
3. Συστηματική αγκύρωση.
4. Συστηματική αγκύρωση με 40-100mm μη ενισχυμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
5. Ενισχυμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 50 – 90 mm και αγκύρωση.
6. Ενισχυμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 90 – 120 mm και αγκύρωση.
7. Ενισχυμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 120-150 mm και αγκύρωση.
8. Ενισχυμένο με ίνες εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, >150 mm, ενισχυμένο με νευρώσεις και αγκύρωση.
9. Επένδυση από μπετόν.

Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής, GSI (Geological Strength Index)

Ο δείκτης, GSI, εισήχθη από τους Hoek, Wood & Shah (1992) επεκτάθηκε ουσιαστικά για τις ασθενείς βραχομάζες από τους Hoek, Marinos & Benissi (1998), Marinos & Hoek (2000) και για το φλύσχη από τους Marinos & Hoek (2000).

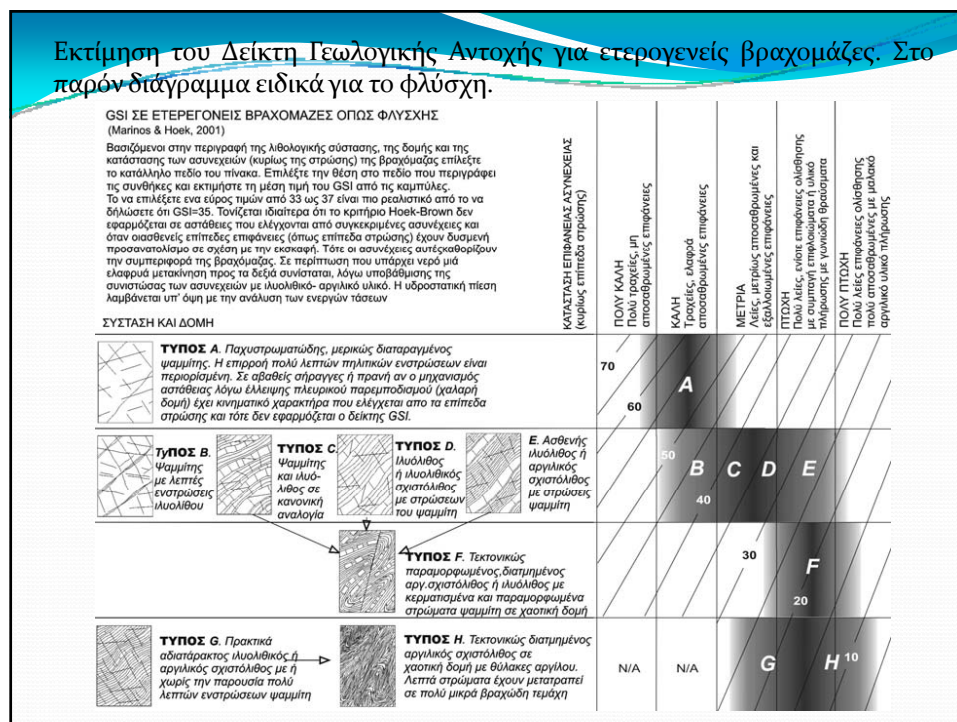
Ο Δείκτης εκτός από τη γεωτεχνική ταξινόμηση, **εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού, ανάλογα με τη ρωγμάτωση της βραχομάζας. Αποτελεί λοιπόν σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown, αντικαθιστώντας το αρχικά χρησιμοποιούμενο RMR.**

Επομένως ο δείκτης GSI προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα του προσδιορισμού των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των τεχνικών έργων σε περιβάλλον ρωγματομένων βράχων.



Παρατηρήσεις

- Σε πολύ μεγάλη βάθος η δομή είναι σφικτική και το πέτρωμα πλησιάζει τη συμπεριφορά του άρρηκτου βράχου. Η τιμή GSI πρέπει να μετακινείται προς τα αριστερά και προς τα πάνω.
- Όταν οι ασυνέχειες έχουν υλικό πλήρωσης η βραχομάζα μπορεί να προσομοιωθεί με πτωχή κατάσταση ασυνεχειών.
- Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού σε πετρώματα ή σε υλικό πλήρωσης που αντιστοιχούν στις τρεις τελευταίες κolumnες. Συνίσταται η μετακίνηση προς τα δεξιά.
- Προφανώς οι τιμές GSI αντιστοιχούν σε πιο δεξιές θέσεις από εκείνες της ίδιας βραχομάζας όταν δεν είναι αποσαθρωμένη.



Βιβλιογραφία

- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2002) Τεχνική Γεωλογία, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ.516.
- Μαραγκός Χ. (1999) Τεχνικά Έργα Υποδομής, Έκδοση Μαραγκός Χ. σελ. 568.
- Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι., (1999) Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Ρόζος Δ. (2007) Τεχνική Γεωλογία Ι, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- Χρηστάρας Β., Δημητρίου Α., Λεμονή Ε., Λουπασάκης Κ., (2006), Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, ΤΕΕ - Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, σελ. 144.