



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

## Τεχνική Γεωλογία II

### Διδάσκοντας:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

## Περιγραφή ασυνεχειών βραχωδών σηματισμών

## Αντικείμενο της Διάλεξης

Αντικείμενο της διάλεξης είναι η περιγραφή των μορφολογικών αλλά και των μηχανικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα και διαμορφώνουν τη μηχανική της συμπεριφορά.

## Διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών σύμφωνα με τη μηχανική τους συμπεριφορά

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε ΕΔΑΦΙΚΟΥΣ και ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ.

Αναλυτικότερα:

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). Μπορούν να διαχωριστούν με απλές μηχανικές μεθόδους (π.χ. έκπλυση).

Ως βράχοι ή βραχώδεις σχηματισμοί χαρακτηρίζονται οι σχηματισμοί των οποίων τα στερεά συστατικά είναι κρύσταλλοι ορυκτών ή κόκκοι – τεμάχια πετρωμάτων που συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις ή/και την παρουσία συγκολλητικής ύλης.

Αρχικά θεωρήθηκε ως οριακή τιμή αντοχής μεταξύ βράχων και εδαφών να είναι το ένα (1) MPa ( $\approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ ).

Καθώς οι αντοχές των υλικών διαφοροποιούνται ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης, το βαθμό κατακερματισμού κ.α. οι τιμές της αντοχής τους παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.

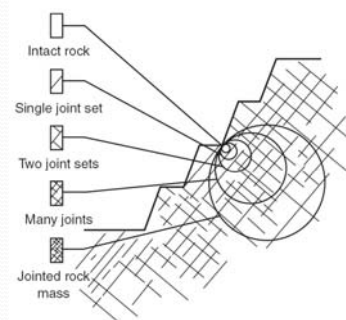
Ως εκ τούτου δεν μπορεί να είναι απόλυτος ο διαχωρισμός των υλικών θεωρώντας ως όριο την τιμή του 1Μpa. Για το λόγο αυτό η ISRM (1981) θέσπισε μια τρίτη κατηγορία μεταξύ Εδαφικών και Βραχωδών σχηματισμών τα ``σκληρά εδάφη – μαλακούς βράχους (hard soils – soft rocks)``. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη των υλικών αυτών θεωρείται ότι κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 25Μpa. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται, για παράδειγμα, οι ενότητες σχηματισμών του φλύσχη και νεογενείς σχηματισμοί.



## Άρρηκτος βράχος - βραχομάζα

Ο Άρρηκτος βράχος είναι ένα πολυκρυσταλλικό ορυκτό στερεό σώμα απαλλαγμένο από ασυνέχειες μεγάλης κλίμακας, διακλάσεις, στρώσεις κ.α. Το υλικό αυτό μπορεί να περιέχει ασυνέχειες μικρής κλίμακας, όπως σχιστότητα, φύλλωση κ.α. Μπορεί να εξεταστεί εργαστηριακά.

Η Βραχομάζα είναι ένα ασυνεχές στερεό μέσο το οποίο αποτελείται από βραχώδες υλικό που διατέμνεται από γεωλογικές ασυνέχειες. Αποτελεί τη φυσική κατάσταση ενός πετρώματος. Δεν μπορεί να εξεταστεί εργαστηριακά. Η μηχανική συμπεριφορά της υπολογίζεται με επιτόπου δοκιμές ή με τη χρήση συστημάτων ταξινόμησης.





## Περιγραφή άρρηκτου πετρώματος

Για τις απαιτήσεις της Τεχνικογεωλογικής - γεωτεχνικής έρευνας δεν αρκεί η πετρογραφική περιγραφή των πετρωμάτων. Για το λόγο αυτό έχουν επιλεγεί συγκεκριμένοι δείκτες - χαρακτηριστικά που αποτυπώνουν τη γεωτεχνική τους συμπεριφορά.

Οι ομάδες δεικτών που έχουν προταθεί από την Geological Society-Engineering Group, 1977 έχουν ως εξής:

### 1<sup>η</sup> Ομάδα Δεικτών:

#### Περιγραφικές ιδιότητες

- Τύπος
- Χρώμα
- Μέγεθος κόκκων
- Δομή & ιστός
- Αποσάθρωση & Εξαλλοίωση
- Αντοχή

### 2<sup>η</sup> Ομάδα Δεικτών:

#### Απλές εργαστ. & επιτόπου δοκιμές

- Σκληρότητα
- Πορώδες
- Πυκνότητα
- Αντοχή
- Ταχύτητα υπερήχων

### 3<sup>η</sup> Ομάδα Δεικτών:

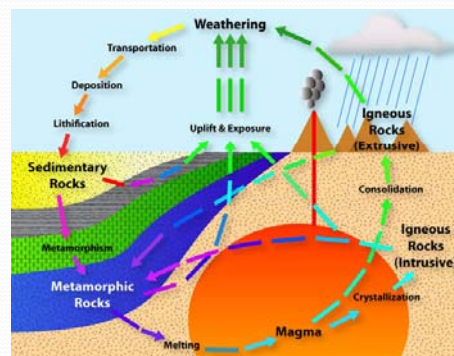
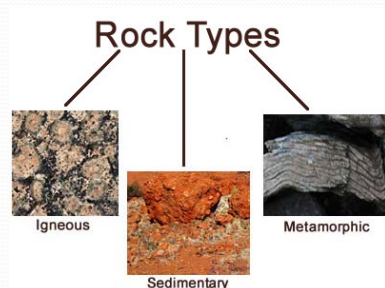
#### Εργαστηριακές δοκιμές

- Αντοχή
- Μέτρο Ελαστικότητας
- Λόγος Poisson
- Υδροπερατότητα

## Περιγραφικοί δείκτες ομάδας 1<sup>ης</sup> Τύπος πετρώματος

Ο τύπος πετρώματος αναφέρεται στη γεωλογική ονομασία του πετρώματος.

Για τον προσδιορισμό του τύπου του πετρώματος σε ορισμένες περιπτώσεις δεν αρκεί η οπτική αναγνώριση αλλά απαιτείται ορυκτολογική - πετρογραφική εξέταση.



## Περιγραφικοί δείκτες ομάδας 1<sup>ης</sup>

### Χρώμα πετρώματος

Η περιγραφή του χρωματισμού του πετρώματος είναι πολύ χρήσιμη καθώς αποτυπώνει την εικόνα του σχηματισμού και τις όποιες χρωματικές διαφορές υπάρχουν, εφόσον υπάρχουν, στη διαστρωμάτωσή του.

Το χρώμα ακέραιου πετρώματος περιγράφεται σύμφωνα με την Geological Society of America (1963) ως εξής:

|  | <u>Απόχρωση</u> | <u>Χρώμα</u> |
|--|-----------------|--------------|
|  | Ροδο-           | Ροζ          |
|  | Κοκκινο-        | Κόκκινο      |
|  | Κίτρινο-        | Κίτρινο      |
|  | Καστανο-        | Καστανό      |
|  | Λαδο-           | Λαδί         |
|  | Πρασino-        | Πράσινο      |
|  | Γαλαζο-         | Γαλανό       |
|  | Τεφρό-          | Λευκό        |
|  |                 | Τεφρό        |
|  |                 | Μαύρο        |

| <u>Φωτεινότητα</u> |  |
|--------------------|--|
| Φωτεινό            |  |
| Σκούρο             |  |

Για τον προσδιορισμό των χρωμάτων μπορεί να γίνει χρήση και διαθέσιμων χρωματολογίων

| Rock sample color      | Pulverized (<10 μm) color |
|------------------------|---------------------------|
| very pale orange       | very pale orange          |
| light brown            | very light gray           |
| grayish orange pink    |                           |
| yellowish gray         |                           |
| moderate orange pink   |                           |
| pinkish gray           |                           |
| light brown            | pinkish gray              |
| moderate orange pink   | grayish orange pink       |
| pale yellowish brown   |                           |
| grayish orange pink    |                           |
| dark reddish brown     |                           |
| moderate reddish brown |                           |
| moderate reddish brown | light brown               |
| dark reddish brown     | dark yellowish orange     |
| dusky brown            | moderate yellowish brown  |
| dark yellowish orange  |                           |

## Περιγραφικοί δείκτες ομάδας 1<sup>ης</sup> Μέγεθος κόκκων/ κρυστάλλων ακέραιου πετρώματος

Το μέγεθος των κόκκων ή των κρυστάλλων αποτελεί πολύ χρήσιμη παράμετρο στην περιγραφή των βραχωδών σχηματισμών και σχετίζεται άμεσα με τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά τους. Ο τρόπος με τον οποίο συμβάλει το μέγεθος αυτό στην αντοχή του πετρώματος εξαρτάται από τα επιμέρους μηχανικά χαρακτηριστικά των κόκκων ή των κρυστάλλων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα αδροκρυσταλλικό μάρμαρο έχει μικρότερη αντοχή από ένα λεπτοκρυσταλλικό. Αντιθέτως, ένας αδρόκοκκος ψαμμίτης έχει μεγαλύτερη διατμητική αντοχή από έναν λεπτόκοκκο.

Το μέγεθος των κόκκων/κρυστάλλων σύμφωνα με την ISRM (1981) είναι:

| Χαρακτηρισμός                | Μέγεθος κόκκων | Αντιστοιχία με έδαφος |
|------------------------------|----------------|-----------------------|
| Πολύ Χονδρόκοκκο/κρυσταλλικό | >60mm          | Κροκάλες              |
| Χονδρόκοκκο/κρυσταλλικό      | 2mm-60mm       | Χαλίκια               |
| Μεσόκοκκο/κρυσταλλικό        | 60μ-2mm        | Άμμος                 |
| Λεπτόκοκκο/κρυσταλλικό       | 2μ-60μ         | Ιλύς                  |
| Πολύ λεπτόκοκκο/κρυσταλλικό  | <2μ            | Άργιλος               |

## Περιγραφικοί δείκτες ομάδας 1<sup>ης</sup> Δομή & ιστός πετρώματος

Ο ιστός αναφέρεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τον προσανατολισμό των ορυκτών και των θραυσμάτων που αποτελούν το πέτρωμα όπως προκύπτουν από την μακροσκοπική παρατήρηση. Ο ιστός περιλαμβάνει δομές όπως φύλλωση, σχιστότητα, λεπτοστρωμάτωση. Δομές οι οποίες επηρεάζουν τη διακύμανση της αντοχής του πετρώματος.

Χαρακτηρίζεται ως ομοιογενής ή ετερογενής καθώς και ως ισότροπη ή ανισότροπη (διαφοροποίηση ανάλογα με τη διεύθυνση).

Σχιστοφυής Ιστός



Μεταμορφική Στρωμάτωση





Περιγραφή διαφόρων τύπων στρώσης ανάλογα με το πάχος τους και η αντίστοιχη γεωτεχνική περιγραφή τους.

| Απόσταση στρώσης (mm) | Γεωλογική περιγραφή στρώσης αναφορικά με την απόσταση | Γεωτεχνική περιγραφή απόστασης ασυνεχειών       |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <6                    | Φυλλόμορφη στρώση (thinly laminated)                  | Καμία (none)                                    |
| 6-20                  | Παχιά φυλλόμορφη στρώση (thickly laminated)           | Εξαιρετικά μικρή απόσταση (extremely narrow)    |
| 20-60                 | Πολύ μικρού πάχους στρώση (very thin bedded)          | Πολύ μικρή απόσταση (very narrow)               |
| 60-200                | Λεπτοστρωματώδης (thin bedded)                        | Μικρή απόσταση (narrow)                         |
| 200-600               | Μεσοστρωματώδης (medium bedded)                       | Μέτρια απόσταση (moderate wide)                 |
| 600-2000              | Παχυστρωματώδης (thick bedded)                        | Μεγάλη απόσταση (wide)                          |
| >2000                 | Πολύ μεγάλου πάχους στρώση (very thick bedded)        | Πολύ έως εξαιρετικά μεγάλη απόσταση (very wide) |

### Περιγραφικοί δείκτες ομάδας 1<sup>ης</sup>

#### Βαθμός αποσάθρωσης πετρώματος

Ως αποσάθρωση ορίζεται η προοδευτική και σταδιακή αποσύνθεση των πετρωμάτων με την πάροδο του χρόνου υπό την επίδραση παραγόντων του περιβάλλοντος, όπως του ανέμου, του νερού, του πάγου ή ακόμη και των ζωντανών οργανισμών (βιοδιάβρωση), αλλά και τη διάβρωση (η διάβρωση προκαλεί αποσάθρωση).

Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι άμεσα συνδεδεμένος με την αντοχή των πετρωμάτων. Στο βαθμό αποσάθρωσης συμβάλει ο βαθμός κατακερματισμού καθώς η παρουσία ασυνεχειών διευκολύνει τη δράση των παραγόντων της αποσάθρωσης στο εσωτερικό της βραχομάζας, επιταχύνοντας και εξαπλώνοντας την αποσάθρωσή της.

### Ενδιαφέρουσες έννοιες σχετικά με την αποσάθρωση σύμφωνα με τον Dearman (1974)

Ο Dearman θεωρεί τις ακόλουθες έννοιες σχετικά με το βαθμό αποσάθρωσης:

- Υγιές πέτρωμα (Fresh): Πέτρωμα χωρίς ορατή αποσάθρωση.
- Αποχρωματισμένο πέτρωμα (Discolored): Έναρξη της αποσάθρωσης. Η χρωματική αλλαγή θα πρέπει να αναφέρεται αν αφορά σε ένα ή σε περισσότερα ορυκτά. Επίσης θα πρέπει να αναφέρεται και βαθμός απόκλισης από το αρχικό χρώμα.
- Αποσχηματισμένο πέτρωμα (Disintegrated): Η αρχική υφή είναι διακριτή, έχει διαμορφωθεί εδαφικός σχηματισμός στον οποίο οι κρύσταλλοι δεν έχουν αποσυντεθεί (μηχανική δράση).
- Αποσυντεθημένο πέτρωμα (Decomposed): Η αρχική υφή είναι διακριτή, το πέτρωμα έχει αποσχηματισθεί σε έδαφος, και μερικά ή όλα τα ορυκτά έχουν αποσυντεθεί (χημική δράση).

### Βαθμός Αποσάθρωσης Βραχομάζας Κατά τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (ISRM)

| ΟΡΟΣ                                                    | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Υγιές πέτρωμα (Fresh rock)                              | Οχι εμφανής αποσάθρωση στο πέτρωμα. Πιθανά μόνο αποχρωματισμός των επιφανειών κάποιων κύριων ασυνεχειών.                                                                                                                                                                                   | I                  |
| Ελαφρά αποσαθρωμένο πέτρωμα (Slightly weathered rock)   | Σημειώνεται αυξημένος αποχρωματισμός που υποδηλώνει αποσάθρωση του βραχόδους υλικού και των επιφανειών των ασυνεχειών. Όλο το βραχόδες υλικό μπορεί να έχει αποχρωματιστεί από την αποσάθρωση και μπορεί κατά κάποιο τρόπο να είναι ασθενέστερο εξωτερικά από ότι στην υγιά του κατάσταση. | II                 |
| Μέτρια αποσαθρωμένο πέτρωμα (Moderately weathered rock) | Λιγότερο από 50% του βραχόδους υλικού παρουσιάζει αποσύνθεση και/ή μετατρέπεται σε έδαφος. Υγιές ή αποχρωματισμένο πέτρωμα υπάρχει με τη μορφή συνεχούς μέσου ή βραχωδών τεμαχίων.                                                                                                         | III                |
| Ισχυρά αποσαθρωμένο πέτρωμα (Highly weathered rock)     | Περισσότερο από 50% του βραχόδους υλικού παρουσιάζει αποσύνθεση ή/και μετατρέπεται σε έδαφος. Υγιές ή με αποχρωματισμό μόνο βραχόδες υλικό υπάρχει είτε σαν ασυνεχές μέσο ή σαν βραχόδη τεμάχια.                                                                                           | IV                 |
| Έντονα αποσαθρωμένο πέτρωμα (Completely weathered rock) | Όλη η βραχόδης μάζα έχει αποσυντεθεί ή/και μετατρέπεται σε έδαφος, αλλά η αρχική βραχόδης δομή είναι ακόμα άθικτη στη μεγαλύτερη της έκταση.                                                                                                                                               | V                  |
| Υπολειμματικό έδαφος (Residual soil)                    | Όλη η βραχομάζα έχει μετατραπεί σε έδαφος και η αρχική βραχόδης 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                 |

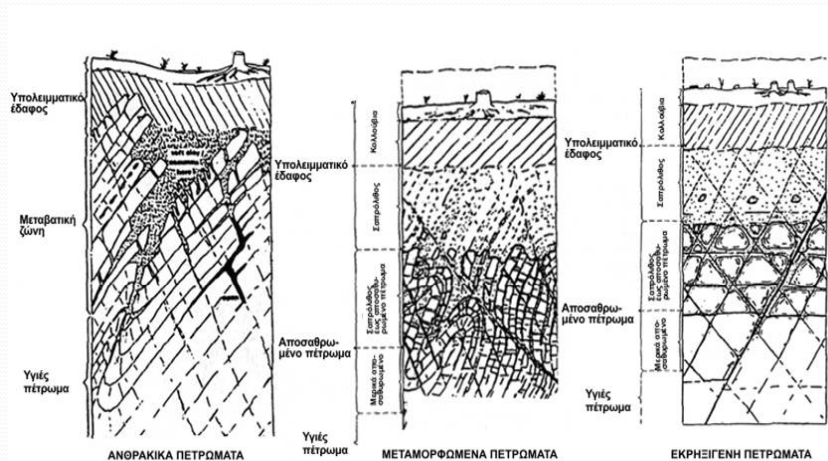


### Γεωτεχνικές χρήσεις των βραχωδών σχηματισμών ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης (ISRM)

| Όρος                                       | Γεωτεχνική χρήση                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Βαθμός Αποσαθρ. |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Υγιές (Fresh)                              | Το καλύτερο για γεωτεχνική χρήση. Κηλίδες στην επιφάνεια των ασυνεχειών αποκαλύπτουν τη <u>δράση του νερού</u> λόγω διαστάλαξης. Επί μέρους τεμάχια βραχομάζας μπορεί να <u>χαλαρώσουν λόγω εκρήξεων</u> ή απελευθέρωσης τάσεων και συνεπώς μπορεί να <u>απαιτείται υποστήριξη σε σήραγγες ή πηγάδια</u> . | I               |
| Ελαφρά αποσαθρωμένο (Slightly weathered)   | <u>Κατάλληλο για θεμελίωση μεγάλων κατασκευών από μπετόν</u> (π.χ. φραγμάτων), αλλά είναι αυξημένης υδροπερατότητας λόγω ανοικτών ασυνεχειών. Η <u>χρήση του σαν αδρανές</u> ύστερα από εξέταση. <u>Απαιτεί χρήση εκρηκτικών</u> για τη διάνοιξή του.                                                      | II              |
| Μέτρια αποσαθρωμένο (Moderately weathered) | <u>Κατάλληλο για θεμελίωση μικρών κατασκευών από μπετόν</u> . Πολλές ρωγμές σχηματίζονται κάτω από τις ερπύστριες μπουλντόζας.                                                                                                                                                                             | III             |

| Όρος                                       | Γεωτεχνική χρήση                                                                                                                                                                                                        | Βαθμός Αποσαθρ. |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Ισχυρά αποσαθρωμένο (Highly weathered)     | <u>Ακατάλληλο για φράγματα από μπετόν ή και για μεγάλες κατασκευές</u> , αλλά <u>κατάλληλο για χωμάτινα φράγματα - επιχώματα</u> . <u>Ασταθές σε υψηλά και απότομα ορύγματα</u> . Χρειάζεται προστασία από τη διάβρωση. | IV              |
| Έντονα αποσαθρωμένο (Completely weathered) | Παρόμοια γεωτεχνική απόκριση με αυτή της προηγούμενης κατηγορίας (IV).                                                                                                                                                  | V               |
| Υπολειμματικό έδαφος (residual soil)       | Ακατάλληλο για σημαντικές κατασκευές. Ασταθές σε πρηνή ιδιαίτερα όταν έχει καταστραφεί η φυτοκάλυψη, καθώς διαβρώνεται εύκολα.                                                                                          | VI              |

Οι διαφοροποιήσεις στον τρόπο δράσης των αποσθρωτικών παραγόντων στις τρεις κύριες κατηγορίες πετρωμάτων, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή



## Περιγραφικοί δείκτες ομάδας 1<sup>ης</sup>

### Αντοχή πετρώματος

Η αντοχή του άρρηκτου πετρώματος είναι καθοριστικής σημασίας καθώς εκτός από την αντοχή του βράχου καθορίζει και τη συμπεριφορά των ασυνεχειών. Η αντοχή του πετρώματος καθορίζει τη διατμητική αντοχή της τραχύτητας των επιφανειών.

Η αντοχή του πετρώματος μπορεί να εκτιμηθεί στο ύπαιθρο με απλά τεστ (πίνακας επόμενης διαφάνειας) καθώς και με δοκιμές που εκτελούνται από φορητές συσκευές όπως δοκιμή σημειακής φόρτισης ή σφύρα Schmidt. Φυσικά μπορεί να προσδιοριστεί και με την εκτέλεση δοκιμής μονοαξονικής φόρτισης σε διαμορφωμένο δοκίμιο στο εργαστήριο.

## Ταξινόμηση της αντοχής των βραχωδών σχηματισμών (ISRM, 1981)

| Grade | Description           | Field identification                                                                                                     | Approx. range of uniaxial compressive strength (MPa) |
|-------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| R6    | Extremely strong rock | Specimen can only be chipped with geological hammer.                                                                     | >250                                                 |
| R5    | Very strong rock      | Specimen requires many blows of geological hammer to fracture it.                                                        | 100–250                                              |
| R4    | Strong rock           | Specimen requires more than one blow of geological hammer to fracture it.                                                | 50–100                                               |
| R3    | Medium strong rock    | Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with single firm blow of geological hammer.   | 25–50                                                |
| R2    | Weak rock             | Can be peeled by a pocket knife with difficulty, shallow indentations made by firm blow with point of geological hammer. | 5.0–25                                               |
| R1    | Very weak rock        | Crumbles under firm blows with point of geological hammer and can be peeled by a pocket knife.                           | 1.0–5.0                                              |
| R0    | Extremely weak rock   | Indented by thumbnail.                                                                                                   | 0.25–1.0                                             |
| S6    | Hard clay             | Indented with difficulty by thumbnail.                                                                                   | >0.5                                                 |
| S5    | Very stiff clay       | Readily indented by thumbnail.                                                                                           | 0.25–0.5                                             |
| S4    | Stiff clay            | Readily indented by thumb but penetrated only with great difficulty.                                                     | 0.1–0.25                                             |
| S3    | Firm clay             | Can be penetrated several inches by thumb with moderate effort.                                                          | 0.05–0.1                                             |
| S2    | Soft clay             | Easily penetrated several inches by thumb.                                                                               | 0.025–0.05                                           |
| S1    | Very soft clay        | Easily penetrated several inches by fist.                                                                                | <0.025                                               |

## 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 ( $I_{s(50)}$ ).

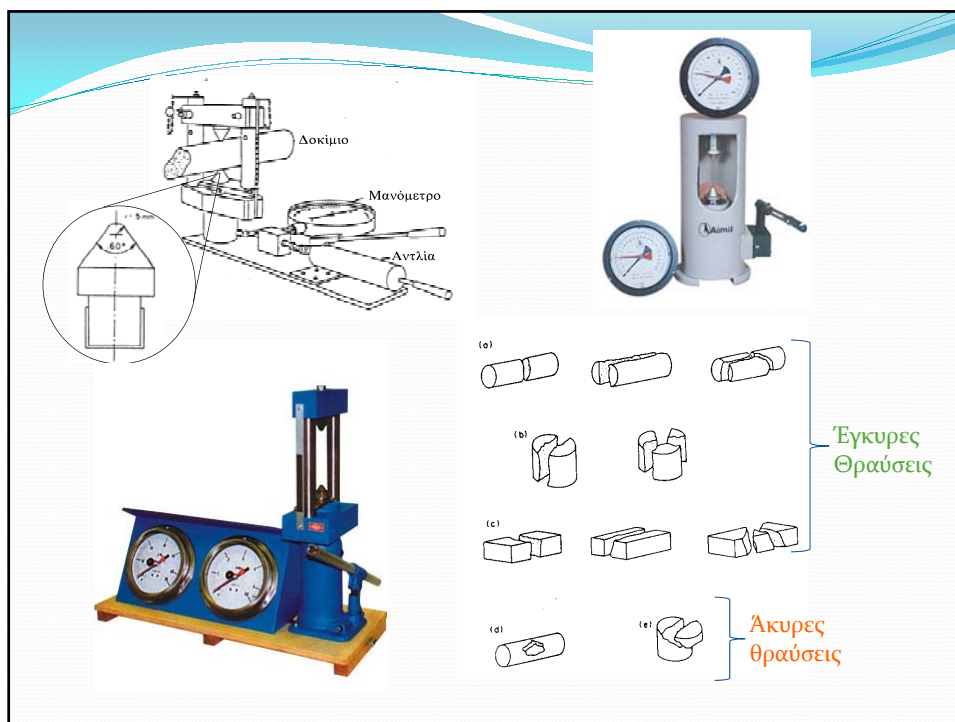
$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \approx I_{s(50)} = \frac{P}{2500}$$

**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.





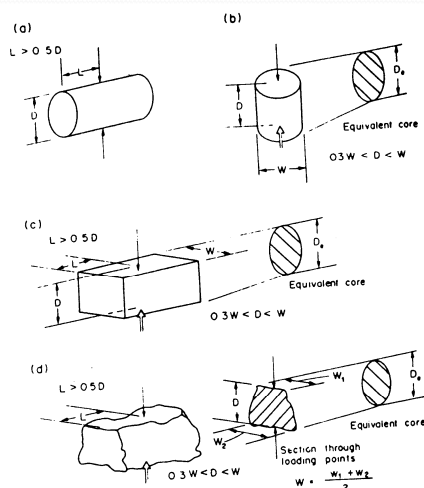
### Υπολογισμός του δείκτη σημειακής φόρτισης:

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 ( $2500 \text{ mm}^2$ ) 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<sub>c</sub>, 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

Εύρος τιμών παραμέτρων αντοχής από πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, 2002, στοιχεία από αρχείο ΚΕΔΕ).

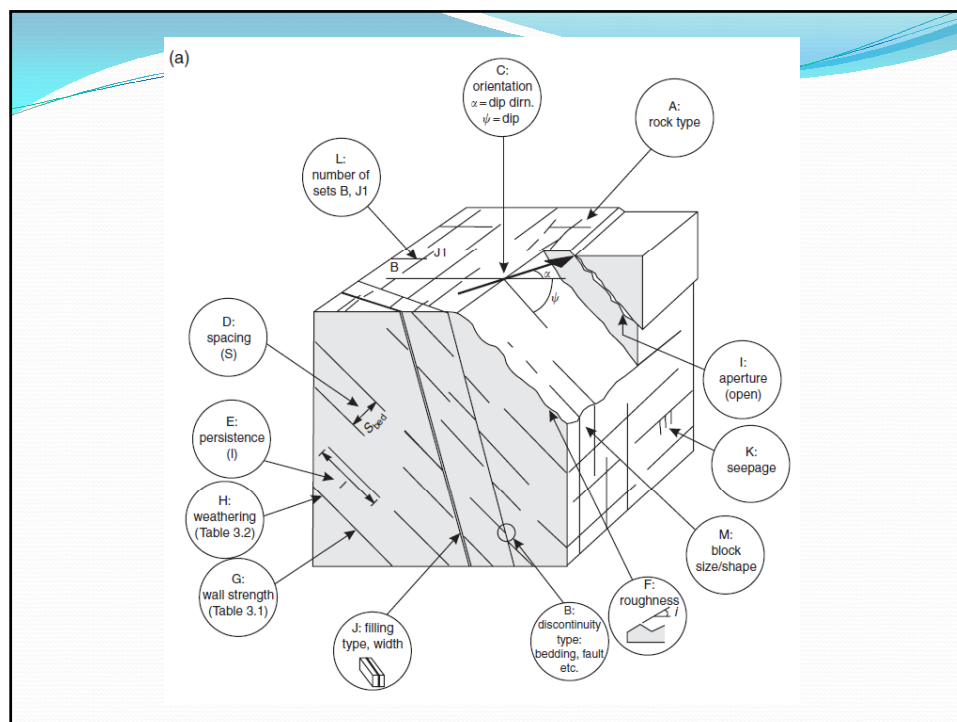
| Ακέραιο πέτρωμα                          | SHV           | $I_{s(50)}$<br>(MPa) | $\sigma_c$<br>(MPa) | $\sigma_t$<br>(MPa) |
|------------------------------------------|---------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Ασβεστόλιθος                             | 20 – 50       | 2 – 7,5              | 20 – 200            | 2 – 15              |
| Μικροκρυσταλλικός, συμπαγής ασβεστόλιθος | 35 – 55       | 4 – 7,5              | 80 – 200            | 7 – 15              |
| Δολομιτωμένος ασβεστόλιθος               | 15 – 45       | 1 – 6                | 10 – 100            | 1 – 10              |
| Μαργαϊκός ασβεστόλιθος                   | 10 – 35       | <1 – 6               | 5 – 60              | <1 – 6              |
| Μαργόλιθος<br>ιλυόλιθος                  | –<br><10 – 30 | <1 – 3               | <1 – 40             | <1 – 3              |
| Ψαμμίτης                                 | 10 – 50       | <1 – 5               | <1 – 80             | <1 – 8              |
| Μάρμαρο                                  | 30 – 60       | 3 – 9                | 50 – 250            | 5 – 20              |
| Σχιστόλιθος                              | 10 – 45       | <1 – 7               | 2 – 80              | <1 – 6              |

Περιγραφή 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 – κλίση – διεύθυνση 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.



## Επιπλέον στοιχεία απαραίτητα για την κινηματική ανάλυση ευστάθειας

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου φυσικού ή τεχνητού πρανού.
- Οι τιμές της γωνίας τριβής κατά μήκος των δυνητικών επιφανειών ολίσθησης.
- Ο συνδυασμός των τάσεων που δρουν στα επιμέρους τεμάχια της βραχομάζας.



| Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών ασυνεχειών |                            |                       |                    |
|---------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Είδος (DT)                                        |                            | Άνοιγμα (A)           |                    |
| 1                                                 | Στρώση                     | 1                     | Πολύ κλειστές      |
| 2                                                 | Διάκλαση                   | 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 |
| 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         | Slicksided Stepped    |                    |
| 4                                                 | Τραχεία κυματοειδής        | Rough Undulating      |                    |
| 5                                                 | Λεία κυματοειδής           | Smooth Undulating     |                    |
| 6                                                 | Ολισθηρή κυματοειδής       | Slicksided Undulating |                    |
| 7                                                 | Τραχεία επίπεδη            | Rough Planar          |                    |
| 8                                                 | Λεία επίπεδη               | Smooth Planar         |                    |
| 9                                                 | Ολισθηρή επίπεδη           | Slicksided Planar     |                    |

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

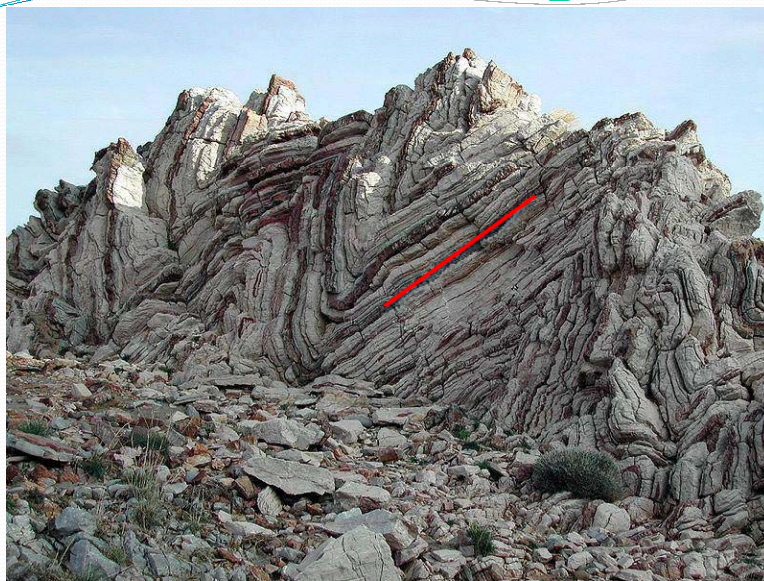
## Τύπος ασυνεχειών

Οι ασυνέχειες μπορούν να διακριθούν σε:

- Επιφάνειες στρώσης
- Επιφάνειες σχιστότητας
- Σχισμού
- Ρήγματα
- Διακλάσεις
- Ρωγμές

Οι ασυνέχειες μπορούν να διακριθούν σε αυτές που συνδέονται με τη γένεση του πετρώματος (στρώσεις, σχιστότητα, σχισμός) και στις δευτερογενείς που προκύπτουν από την τεκτονική ή άλλη καταπόνηση του πετρώματος (ρήγματα, διακλάσεις, ρωγμές).

- Οι επιφάνειες στρώσης δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της ιζηματογένεσης.
- Οι επιφάνειες σχιστότητας προκαλούνται κατά τη μεταμόρφωση του πετρώματος.
- Ο σχισμός σχετίζεται με τη δομή των ορυκτών συστατικών του πετρώματος.
- Τα ρήγματα είναι τεκτονικές δομές κατά μήκος των οποίων λαμβάνει χώρα μετατόπιση.
- Οι διακλάσεις είναι τεκτονικές δομές κατά μήκος των οποίων δε λαμβάνει χώρα μετατόπιση.
- Οι ρωγμές είναι ασυνέχειες που σχετίζονται με την καταπόνηση της βραχομάζας από τάσεις άσχετες των τεκτονικών, π.χ. συστολοδιαστολή λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, κατολισθήσεις, εκρήξεις κ.α.



Στον πτυχωμένο ασβεστόλιθο διακρίνονται οι επιφάνειες στρώσης





Επιφάνειες στρώσης και  
συστήματα διακλάσεων σε  
ασβεστόλιθους

Ρήγματα σε στιφρές μάργες



Ρωγμές σε θέση ανατίναξης  
εκρηκτικών

Επιφάνεια ρήγματος στο μέτωπο  
του πρανούς. Διακρίνονται  
επιφάνειες στρώσης και  
συστήματα διακλάσεων.





## Γεωμετρικά χαρακτηριστικά προσανατολισμού

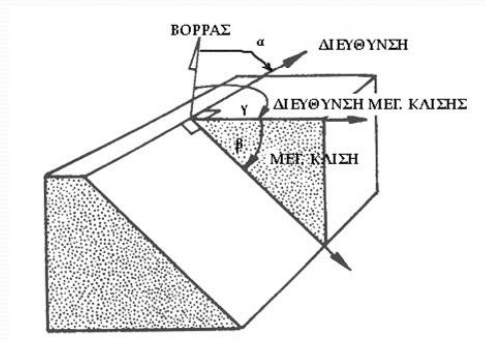
Αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κυρίως σε ότι αφορά την ευστάθεια πρανών και εκσκαφών.

Αν και οι ασυνέχειες δεν είναι επίπεδες επιφάνειες, πρακτικά θεωρούνται έτσι για την καταγραφή του προσανατολισμού τους στο χώρο.

Τα κύρια στοιχεία προσανατολισμού που καταγράφονται είναι τα ακόλουθα:

- Η διεύθυνση της ασυνέχειας (Strike), η γωνία που σχηματίζει με το βορρά η τομή του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο.
- Η μέγιστη κλίση (Dip), δηλαδή η μέγιστη γωνία που σχηματίζει το επίπεδο της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο.
- Η διεύθυνση (φορά) μέγιστης κλίσης (dip direction), η γωνία που σχηματίζει με το βορρά η τομή του επιπέδου της μέγιστης κλίσης με το οριζόντιο επίπεδο.

Με τις πυξίδες *clar* καταγράφονται η διεύθυνση μέγιστης κλίσης και η μέγιστη κλίση (π.χ.  $140^{\circ}/35^{\circ}$ ).



Απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων  
προσανατολισμού ασυνεχειών.



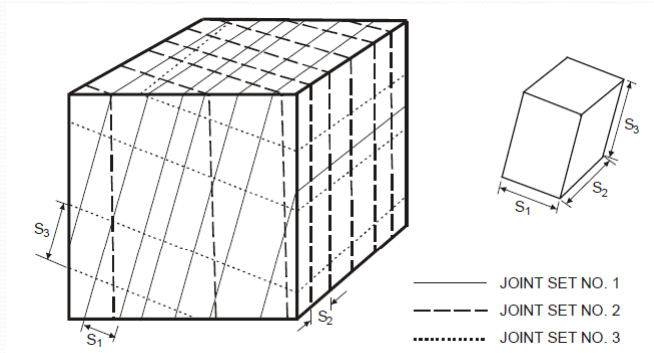
### Απόσταση ασυνεχειών

Η απόσταση των ασυνεχειών καθορίζει τις διαστάσεις των τεμαχίων της βραχομάζας που δύναται να ολισθήσουν κατά τη διάρκεια αστοχίας. Επομένως η απόσταση των ασυνεχειών, μεταξύ άλλων, επηρεάζει το βαθμό κατακερματισμού της βραχομάζας και καθορίζει τα μέτρα σταθεροποίησης και ανάσχεσης καταπτώσεων.

Δείκτες – παράμετροι που περιγράφουν την απόσταση των ασυνεχειών είναι:

➤ Συχνότητα των ασυνεχειών ( $1/s$ ): υπολογίζεται ανά σύστημα και είναι ο αριθμός των ασυνεχειών ανά μονάδα μήκους,  $1/s$  (s: spacing)

➤ Ογκομετρικός βαθμός κατακερματισμού J<sub>v</sub> (palmstrom, 1982): υπολογίζεται για το σύνολο των συστημάτων που τέμνουν τη βραχομάζα και προκύπτει από το άθροισμα των συχνοτήτων .



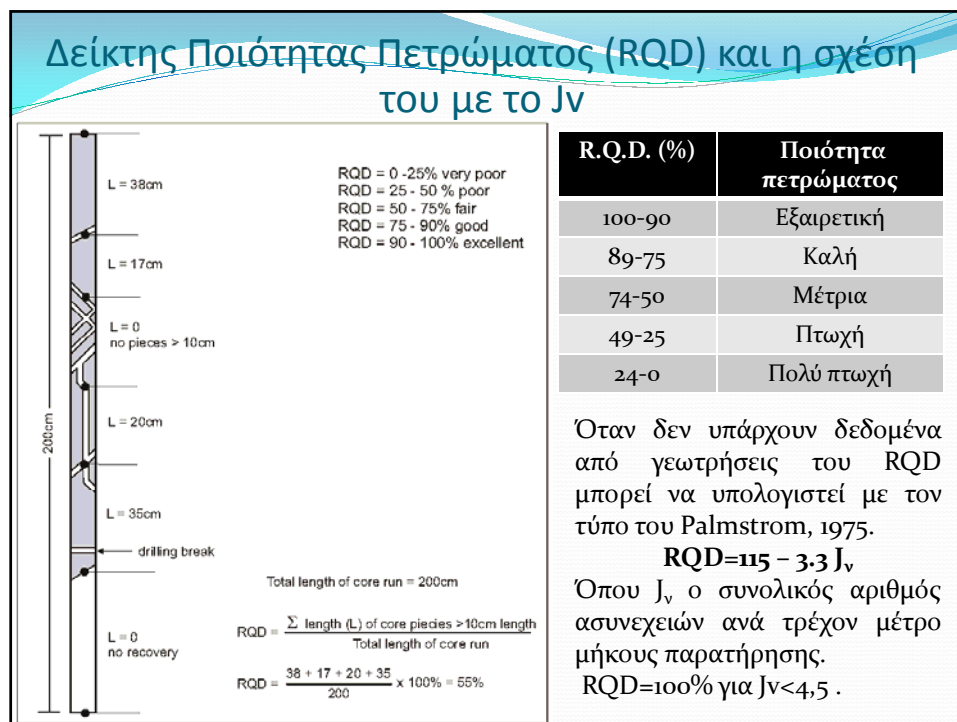
$$(J_v) = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3}$$

Κατάταξη του J<sub>v</sub> σύμφωνα με προτάσεις διάφορων ερευνητών

|               |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |        |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |                |  |  |  |  |  |               |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |                      |  |  |  |  |  |                   |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|------------------|--|--|--|--|--|----------------|--|--|--|--|--|---------------|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--------------------|--|--|--|--|--|----------------------|--|--|--|--|--|-------------------|--|--|--|--|--|-----|--|--|--|--|--|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 50            |  |  |  |  |  | 20   |  |  |  |  |  | 10     |  |  |  |  |  | 5    |  |  |  |  |  | 2                |  |  |  |  |  | 1              |  |  |  |  |  | 0.5           |  |  |  |  |  | 0.2        |  |  |  |  |  | FRACTURE FREQUENCY |  |  |  |  |  |                      |  |  |  |  |  |                   |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| VERY BROKEN   |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  | BROKEN |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  | BLOCKY           |  |  |  |  |  |                |  |  |  |  |  | MASSIVE       |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  | COATES 1965        |  |  |  |  |  |                      |  |  |  |  |  |                   |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| VERY CLOSE    |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  | CLOSE  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  | MODERATELY CLOSE |  |  |  |  |  | WIDE           |  |  |  |  |  | VERY WIDE     |  |  |  |  |  | DEERE 1963 |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |                      |  |  |  |  |  |                   |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| EXTREMELY LOW |  |  |  |  |  | LOW  |  |  |  |  |  | MEDIUM |  |  |  |  |  | HIGH |  |  |  |  |  | VERY HIGH        |  |  |  |  |  | EXTREMELY HIGH |  |  |  |  |  | FRANKLIN 1971 |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  |                    |  |  |  |  |  |                      |  |  |  |  |  |                   |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.01          |  |  |  |  |  | 0.02 |  |  |  |  |  | 0.05   |  |  |  |  |  | 0.1  |  |  |  |  |  | 0.2              |  |  |  |  |  | 0.5            |  |  |  |  |  | 1.0           |  |  |  |  |  | 2.0        |  |  |  |  |  | 5.0                |  |  |  |  |  | FRACTURE SPACING (m) |  |  |  |  |  |                   |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 200           |  |  |  |  |  | 100  |  |  |  |  |  | 50     |  |  |  |  |  | 30   |  |  |  |  |  | 20               |  |  |  |  |  | 10             |  |  |  |  |  | 6             |  |  |  |  |  | 3          |  |  |  |  |  | 2                  |  |  |  |  |  | 1                    |  |  |  |  |  | 0.6               |  |  |  |  |  | 0.3 |  |  |  |  |  | NUMBER OF JOINTS PER m <sup>3</sup> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| VERY HIGH     |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  | HIGH   |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  | MODERATE         |  |  |  |  |  |                |  |  |  |  |  | LOW           |  |  |  |  |  |            |  |  |  |  |  | VERY LOW           |  |  |  |  |  |                      |  |  |  |  |  | (J <sub>v</sub> ) |  |  |  |  |  |     |  |  |  |  |  |                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Γενικά παρατηρείται ότι το J<sub>v</sub> είναι 1,5 έως 2,0 φορές μεγαλύτερο από τη συχνότητα των ασυνεχειών του επικρατέστερου συστήματος.





### Κατάταξη της απόστασης των ασυνεχειών σύμφωνα με την I.S.R.M. (1981)

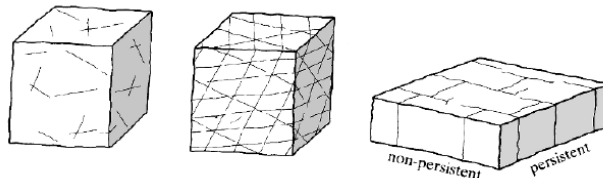
|                  |              |
|------------------|--------------|
| Πάρα πολύ μικρή  | 2 cm         |
| Πολύ μικρή       | 2 - 6 cm     |
| Μικρή            | 6 - 20 cm    |
| Μέση             | 20 - 60 cm   |
| Μεγάλη           | 60 - 200 cm  |
| Πολύ μεγάλη      | 200 - 600 cm |
| Πάρα πολύ μεγάλη | > 600 cm     |

## Συνέχεια ασυνεχειών

Η συνέχεια των ασυνεχειών είναι σημαντική καθώς όσο μεγαλύτερη η συνέχεια τόσο δυσμενέστερη η μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας. Οι μεγάλης συνέχειας διαρρήξεις καθορίζουν συνήθως και τη συμπεριφορά της βραχομάζας.

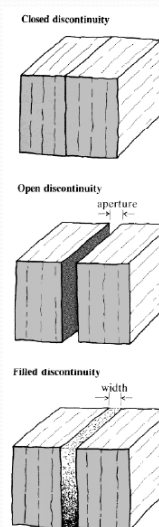
Κατάταξη της  
συνέχειας των  
ασυνεχειών  
σύμφωνα με την  
I.S.R.M. (1981)

|             |         |
|-------------|---------|
| Πολύ μικρή  | <1m     |
| Μικρή       | 1 - 3m  |
| Μέτρια      | 3 - 10m |
| Μεγάλη      | 10-20 m |
| Πολύ μεγάλη | >20m    |



## Άνοιγμα ασυνεχειών

Ως άνοιγμα ορίζεται η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων της ασυνέχειας. Μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια, π.χ. διάβρωση, αλλά και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, π.χ. χρήση εκρηκτικών. Η αύξηση του ανοίγματος έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της διατμητικής αντοχής κατά μήκος της ασυνέχειας.





Ανάλογα με το άνοιγμα οι ασυνέχειες διακρίνονται σε:

|                    |              |
|--------------------|--------------|
| Πολύ κλειστές      | <0,1mm       |
| Κλειστές           | 0,1-0,25mm   |
| Μερικά ανοικτές    | 0,25- 0,50mm |
| Ανοικτές           | 0,50-2,5mm   |
| Μέτρια πλατιές     | 2,5 - 10mm   |
| Πλατιές            | >10mm        |
| Πολύ πλατιές       | 1-10cm       |
| Εξαιρετικά πλατιές | 10-100cm     |

Κατάταξη της συνέχειας των ασυνεχειών σύμφωνα με την I.S.R.M. (1981)

Εξαιρετικά πλατιά επιφάνεια ασυνέχειας

### Υλικό πλήρωσης

Το υλικό πλήρωσης (πάχος και είδος), σε συνδυασμό με την τραχύτητα, καθορίζουν την αντοχή της ασυνέχειας.

Σε ότι αφορά το πάχος, όσο αυξάνει το πάχος του υλικού πλήρωσης, τόσο η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας εξαρτάται από αυτό. Αν τελικά το πάχος του υλικού πλήρωσης ξεπεράσει το ύψος της μικρο- και μακρο- τραχύτητας της ασυνέχειας τότε η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας είναι στην ουσία η αντοχή του υλικού πλήρωσης.

Το είδος του υλικού πλήρωσης διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στη διατμητική αντοχή. Αν το υλικό πλήρωσης είναι ασβεστιτικής ή χαλαζιακής κλπ σύστασης τότε ανάλογα και με το είδος του πετρώματος μπορεί να αυξήσει την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας. Αντιθέτως, αν το υλικό πλήρωσης είναι π.χ. αργιλικό τότε η αύξηση του πάχους του συνεπάγεται τη μείωση της διατμητικής αντοχής της ασυνέχειας.





Εξαιρετικά πλατιά επιφάνεια  
ρήγματος πληρωμένη με αργιλικό  
υλικό

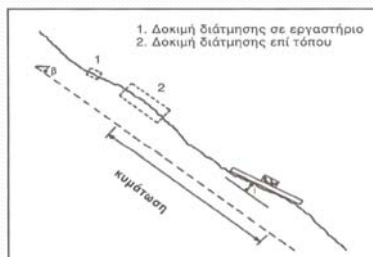


Εξαιρετικά πλατιά επιφάνεια  
ρήγματος πληρωμένη με αργιλικό  
και σταλαγμιτικό υλικό

## Τραχύτητα ασυνεχειών

Οι επιφάνειες των ασυνεχειών σπάνια είναι επίπεδες και λείες. Συνήθως αυτό παρατηρείται στις επιφάνειες ρηγμάτων όπου οι πολύ υψηλές τάσεις έχουν προκαλέσει τη λείανσή τους. Η τραχύτητα των επιφανειών διακρίνεται σε μία μεγάλου μήκους κυμάτωση (waviness), αλλά και μια μικρότερης έκτασης τραχύτητα, δηλαδή μικροτραχύτητα (asperity). Στα σχήματα που ακολουθούν διακρίνονται οι δύο τύποι τραχύτητας.

Η τραχύτητα είναι σημαντική για τη διατμητική αντοχή της βραχομάζας. Πιο συγκεκριμένα η γωνία τριβής της ασυνέχειας είναι ίση με το άθροισμα της γωνίας τριβής λείας επιφάνειας,  $\phi_b$ , και της γωνίας κυμάτωσης,  $i$ , της τραχύτητας,  $\phi_b + i$ .



Η διάκριση των ασυνεχειών από πλευράς τραχύτητας διαμορφώνεται ως εξής (I.S.R.M., 1978):  
 Οι όροι που περιγράφουν την μικροτραχύτητα είναι:

- Τραχεία
- Λεία
- Ολισθηρή

Οι όροι που περιγράφουν την μακροτραχύτητα είναι:

- Κλιμακωτή
- Κυματοειδής
- Επίπεδη

The diagram illustrates nine types of joint roughness profiles, categorized by micro-roughness and macro-roughness:

- I Stepped rough**: Profile with horizontal steps.
- II smooth**: Profile with small, irregular bumps.
- III slickensided**: Profile with smooth, slightly irregular surfaces.
- IV Undulating rough**: Profile with large, irregular bumps.
- V smooth**: Profile with small, regular bumps.
- VI slickensided**: Profile with smooth, slightly irregular surfaces.
- VII Planar rough**: Profile with small, regular bumps.
- VIII smooth**: Profile with small, regular bumps.
- IX slickensided**: Profile with smooth, slightly irregular surfaces.

Εκτίμηση της γωνίας τραχύτητας,  $i$ .  
 Τυπικά προφίλ τραχύτητας και οι αντίστοιχες τιμές JRC για το καθένα.  
 (Barton and Choubey, 1977)

Η γωνία τραχύτητας είναι:

$$i = JRC \cdot \log_{10} \left[ \frac{JCS}{\sigma_n} \right]$$

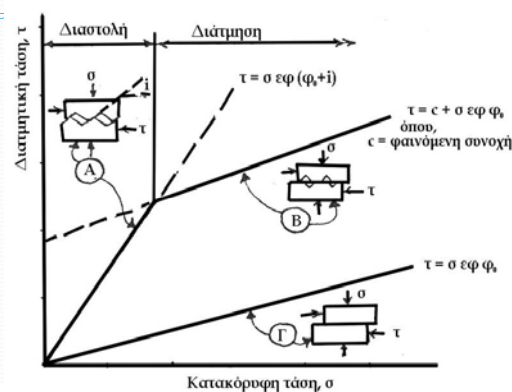
JRC: συντελεστής τραχύτητας  
 JCS: αντοχή τοιχωμάτων (σφυρί Schmidt-L)  
 $\sigma_n$ : δρώσα ορθή τάση

| Τιμές JRC |
|-----------|
| 0 - 2     |
| 2 - 4     |
| 4 - 6     |
| 6 - 8     |
| 8 - 10    |
| 10 - 12   |
| 12 - 14   |
| 14 - 16   |
| 16 - 18   |
| 18 - 20   |

The diagram shows ten typical roughness profiles (1 to 10) corresponding to JRC values. A scale bar at the bottom indicates 0, 5, and 10 cm.

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα η διατμητική αντοχή των επιφανειών διαμορφώνεται ως εξής:

- Στην περίπτωση λείας ασυνέχειας (καμπύλη Γ), η διατμητική αντοχή είναι ίση με:  $\tau = \sigma_n \cdot \epsilon \phi_b$ , όπου  $\sigma_n$  = η ορθή τάση και  $\phi_b$  = η βασική γωνία τριβής του υλικού.
- Στην περίπτωση ασυνέχειας με τραχύτητα αλλά όχι με συγκόλληση των τοιχωμάτων, τότε η διατμητική αντοχή ορίζεται σαν:  $\tau = \sigma_n \cdot \epsilon \phi(\phi_b + i)$  (καμπύλη Α). Κατά τη διάτμηση αρχικά παρατηρείται διαστολή και ακολούθως θραύση των προεξοχών της τραχύτητας.
- Στην ακραία περίπτωση επουλωμένης ασυνέχειας ο τύπος διατμητικής τάσης έχει ως εξής:  $\tau = c + \sigma_n \cdot \epsilon \phi_b$ , (καμπύλη Β). Η επούλωση εισάγει την παράμετρο της συνοχής,  $c$ .



Εύρος τιμών βασικής γωνίας τριβής ( $\phi_b$ ) για διάφορα πετρώματα (Κούκης, 2002, στοιχεία από αρχείο ΚΕΔΕ).

| Είδος Πετρώματος       | Βασική γωνία τριβής ασυνεχειών ( $\phi_b$ ) |
|------------------------|---------------------------------------------|
| Ασβεστόλιθοι           | 26-49                                       |
| Μαργόλιθοι - ιλυόλιθοι | 23-40                                       |
| Γνεύσιοι - σχιστόλιθοι | 24-43                                       |
| Ψαμμίτες               | 25-39                                       |



## Διατμητική αντοχή συναρτήσει της τραχύτητας (Barton & Choubey, 1977)

$$\tau = \sigma_n \varepsilon \varphi \left[ \varphi_b + JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

Όπου: JRC είναι ο συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών (Joint Roughness Coefficient) και JCS είναι η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη των τοιχωμάτων της ασυνέχειας (Joint wall Compression Strength).

Προφιλόμετρο για την  
μέτρηση της  
μικροτραχύτητας



## Αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας

Η αντοχή των τοιχωμάτων των ασυνεχειών είναι στις περισσότερες των περιπτώσεων μικρότερη από αυτή του άρρηκτου πετρώματος. Αυτό οφείλεται στην αποσάθρωση που υφίστανται οι επιφάνειες των τοιχωμάτων. Επομένως μετρώντας την αντοχή της επιφάνειας ουσιαστικά συνεκτιμάται στην περιγραφή ο βαθμός αποσάθρωσης.

Η αντοχή σε ανεμπόδιση (μονοαξονική) θλίψη των τοιχωμάτων των ασυνεχειών μπορεί έμμεσα να προσδιοριστεί με την επιτόπου χρήση του σφυριού Schmidt τύπου L. Επίσης μπορεί να προσδιοριστεί προσεγγιστικά με τη χρήση μαχαιριδίου και του γεωλογικού σφυριού σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ταξινόμηση της αντοχής των βραχωδών σχηματισμών κατά ISRM (1981).

Κατάταξη της  
αντοχής των  
ασυνεχειών  
σύμφωνα με την  
I.S.R.M. (1981)

|             |             |
|-------------|-------------|
| Πολύ μαλακά | <10 MPa     |
| Μαλακά      | 10 – 20 MPa |
| Μέτρια      | 20 – 50 MPa |
| Σκληρά      | 50 – 60 MPa |
| Πολύ σκληρά | >60 MPa     |

## Προσδιορισμός σκληρότητας με τη σφύρα – Κρουσίμετρο Schmidt

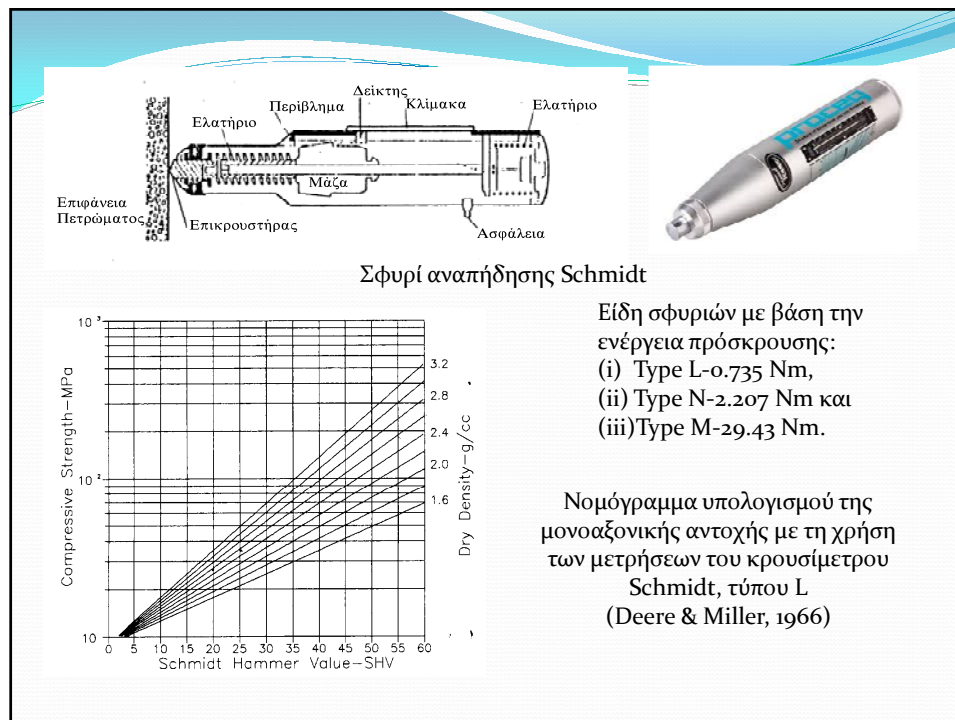
Ο προσδιορισμός της σκληρότητας μέσω του κρουσίμετρου Schmidt ή της σφύρας αναπήδησης Schmidt κρίνεται σκόπιμος λόγω του ότι μέσω αυτής είναι δυνατός ο προσδιορισμός της μονοαξονικής τους αντοχής.

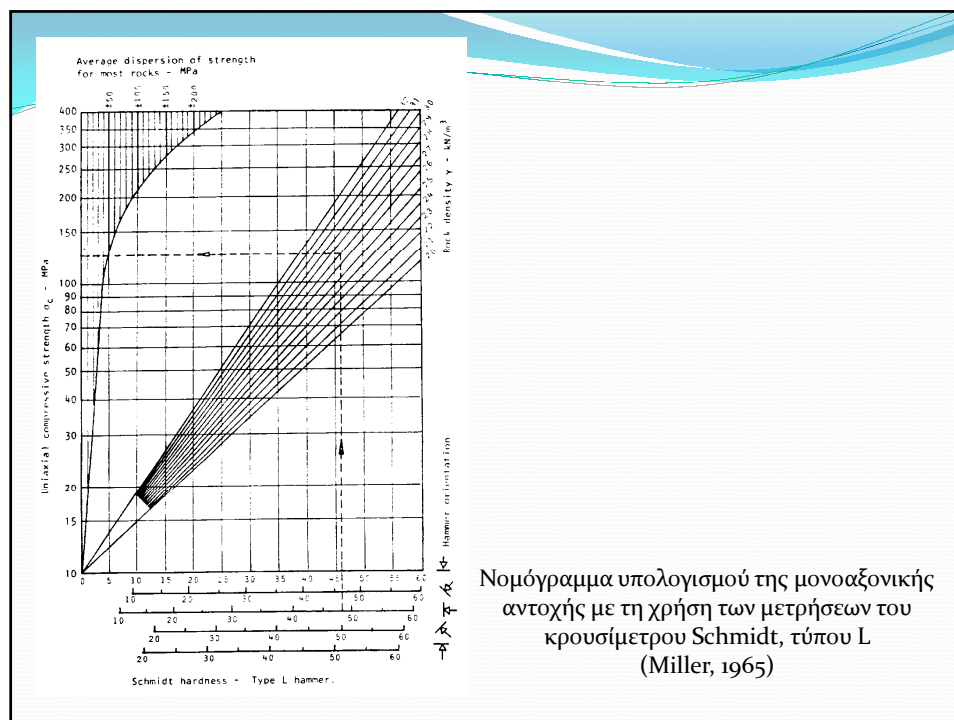
**Το κρουσίμετρο Schmidt:** είναι μια φορητή συσκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση δοκιμών τόσο στο ύπαιθρο, όσο και στο εργαστήριο. Η φορητή συσκευή της σφύρας αναπήδησης αποτελείται από ένα έμβολο στο οποίο είναι προσαρμοσμένα δύο ελατήρια και μια ατσάλινη μάζα αναπήδησης.

**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  $0,75 \text{ N/m}$ . 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  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $0^\circ$ .

**Προκύπτουσες μηχανικές παράμετροι:** Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη,  $\sigma_c$ .





## Παρουσία νερού στις ασυνέχειες

Η παρουσία νερού στις ασυνέχειες προκαλεί μείωση των ενεργών τάσεων που αναπτύσσονται κατά μήκος των επιφανειών. Οι υδροστατικές πιέσεις δρουν με αντίθετη φορά στις ορθές τάσεις με αποτέλεσμα να τις απομειώνουν, μειώνοντας αντίστοιχα και τη διατμητική αντοχή κατά μήκος των επιφανειών.

Εκτός από τις μεταβολές στην κατανομή των τάσεων η ροή του νερού διαβρώνει, καρστικοποιεί, αποσαθρώνει, διαλύει τη βραχομάζα μειώνοντας την αντοχή και την τραχύτητά της κατά μήκος των επιφανειών. Το γεγονός αυτό όπως είναι φυσικό μειώνει τη διατμητική τους αντοχή.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου το νερό αποθέτει ασβεστίτικο υλικό κατά μήκος των ασυνεχειών με αποτέλεσμα να τις επουλώνει και να βελτιώνει τη διατμητική τους αντοχή.



Η παρουσία υπόγειου νερού στις ασυνέχειες μπορεί ημιποσοτικά να περιγραφεί για ασυνέχειες με ή χωρίς υλικό πλήρωσης (I.S.R.M., 1981).

| Κατηγορία | Χωρίς υλικό πλήρωσης                                     | Με υλικό πλήρωσης                                                         |
|-----------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| I         | Πολύ κλειστή και στεγνή χωρίς πιθανότητα εμφάνισης νερού | Υλικό πολύ στερεοποιημένο και αδιαπέρατο χωρίς δυνατότητα εμφάνισης νερού |
| II        | Στεγνή χωρίς παρουσία νερού                              | Υλικό υγρό χωρίς ελεύθερο νερό                                            |
| III       | Στεγνή με ένδειξη νερού                                  | Υλικό υγρό με παρουσία σταγόνων                                           |
| IV        | Υγρή χωρίς ελεύθερο νερό                                 | Υλικό με ενδείξεις απόπλυσης και με συνεχή ροή νερού                      |
| V         | Ροή νερού όχι συνεχής αλλά με μορφή σταγόνων             | Υλικό τοπικά αποπλυσμένο με σημαντική ροή νερού                           |
| VI        | Συνεχής ροή νερού                                        | Υλικό εντελώς αποπλυσμένο με ροή νερού υπό πίεση                          |

Τυπικό έντυπο καταγραφής στοιχείων ασυνεχειών στην ύπαιθρο.

| ΦΥΛΛΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ                                                     |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|----------------|-------------|-------|---------|------------|-------|--------|--------------|
| ΕΡΓΟ:                                                                           |       |         |                | ΘΕΣΗ:       |       |         |            |       |        |              |
| ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ:                                                                    |       |         |                | ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ: |       |         |            |       |        |              |
| 1                                                                               | 2     | 3       | 4              | 5           | 6     | 7       | 8          | 9     | 10     | 11           |
| A/A                                                                             | ΕΙΔΟΣ | ΚΑΤΑΣΤ. | ΔΙΕΥΘ/ΝΣΗ ΜΕΓ. | ΑΠΟΣΤ.      | ΜΗΚΟΣ | ΑΝΟΙΓΜΑ | ΤΡΑΧΥ-     | ΥΛΙΚΟ | ΑΠΟΣΤ. | ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ |
| Α/Α                                                                             | ΕΙΔΟΣ | ΚΑΤΑΣΤ. | ΔΙΕΥΘ/ΝΣΗ ΜΕΓ. | ΑΠΟΣΤ.      | ΜΗΚΟΣ | ΑΝΟΙΓΜΑ | ΤΡΑΧΥ-ΤΗΤΑ | ΠΛΗΡ. | ΘΡΟΣΗ  |              |
| 1                                                                               | B     | 25      | 75             | 1.10        | E     | 2A      | SR         | 0     | UW     |              |
| 2                                                                               | B     | 38      | 70             | 1.10        | E     | 2A      | SR         | 0     | UW     |              |
| 3                                                                               | B     | 45      | 60             | 1.10        | E     | 2A      | SR         | 0     | UW     |              |
| 4                                                                               | B     | 45      | 75             | 1.10        | E     | 2A      | SR         | 0     | UW     |              |
| 5                                                                               | B     | 45      | 60             | 2.10        | E     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 6                                                                               | J     | 50      | 280            | 2.10        | E     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 7                                                                               | J     | 55      | 285            | 2.10        | E     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 8                                                                               | J     | 55      | 250            | 2.10        | E     | 1B      | SR,R       | 0     | UW     |              |
| 9                                                                               | J     | 85      | 355            | 2.10        | E     | 1B      | SR,R       | 0     | UW     |              |
| 10                                                                              | J     | 80      | 0              | 2.10        | D     | 1B      | SR,R       | 0     | UW     |              |
| 11                                                                              | J     | 80      | 355            | 2.10        | D     | 1B      | SR,R       | 0     | UW     |              |
| 12                                                                              | J     | 75      | 260            | 30.50       | D     | 2A      | R          | H2    | UW     |              |
| 13                                                                              | J     | 80      | 265            | 30.50       | D     | 2B      | R          | H2    | UW     |              |
| 14                                                                              | J     | 75      | 255            | 30.50       | D     | 2B      | R          | H2    | UW     |              |
| 15                                                                              | J     | 70      | 140            | 7.30        | C     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 16                                                                              | J     | 50      | 160            | 7.30        | C     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 17                                                                              | J     | 50      | 165            | 7.30        | C     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 18                                                                              | J     | 80      | 160            | 7.30        | C     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 19                                                                              | J     | 30      | 290            | 100.300     | E     | 2B      | R          | 0     | UW     |              |
| 20                                                                              | B     | 20      | 40             | 1.10        | E     | 2A      | SR         | 0     | UW     |              |
| 21                                                                              | B     | 45      | 70             | 1.10        | E     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 22                                                                              | B     | 40      | 60             | 5           | E     | 2B      | SR         | S2    | SW     |              |
| 23                                                                              | J     | 75      | 230            | 5.15        | E     | 1B      | SR         | S2    | UW     |              |
| 24                                                                              | J     | 40      | 250            | 1.10        | E     | 0       | R          | 0     | UW     |              |
| 25                                                                              | J     | 60      | 250            | 1.10        | E     | 0       | SH         | S2    | UW     |              |
| 26                                                                              | B     | 35      | 65             | 1.10        | E     | 2A      | SR         | 0     | SW     |              |
| 27                                                                              | B     | 40      | 50             | 5.15        | E     | 2A      | SR         | 0     | SW     |              |
| 28                                                                              | B     | 70      | 40             | 1.10        | E     | 0       | SR         | S1    | SW     |              |
| 29                                                                              | B     | 65      | 60             | 1.10        | E     | 0       | SR         | S1    | SW     |              |
| 30                                                                              | J     | 35      | 240            | 1.10        | E     | 2A      | VR         | 0     | HW     |              |
| 31                                                                              | J     | 40      | 245            | 1.10        | E     | 2A      | R          | H1    | HW     |              |
| 32                                                                              | B     | 42      | 220            | 1.9         | E     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 33                                                                              | B     | 35      | 50             | 1.20        | E     | 1B      | SR         | 0     | UW     |              |
| 34                                                                              | J     | 57      | 325            | 10          | D     | 2A      | R          | H2    | UW     |              |
| 34                                                                              | J     | 60      | 338            | 10          | D     | 2B      | R          | H2    | UW     |              |
| 2 B: ΣΤΡΩΣΗ, F: ΡΗΓΜΑ, J: ΔΙΑΚΑΛΑΔΗ, S: ΣΚΙΣΤΟΤΗΤΑ, Z: ΣΩΝΗ ΑΣΑΤΗΘΕΣΕ           |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
| 5 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΕΞΟΡΗΚΤΗΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ ΙΔΙΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ                               |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
| 6 A: <1m, B: 1-3m, C: 3-10m, D: 10-20m, E: >20m                                 |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
| 7 0: ΚΑΘΟΔΟΥ, 1A: <0.1mm, 1B: 0.1-1mm, 2A: 1-5mm, 2B: >5mm                      |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
| 8 VR: ΠΟΛΥ ΤΡΑΧΕΙΑ, R: ΤΡΑΧΕΙΑ, SR: ΕΛΑΦΡΑ ΤΡΑΧΕΙΑ, SNE: ΟΜΑΛΗ, SL: ΟΛΙΣΘΗΡΗ    |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
| 9 0: ΚΑΝΟΝΑ, H1: ΣΤΕΦΟΡ<5mm, H2: ΣΤΕΦΟΡ<5mm, S1: ΜΑΛΑΚΟ-d<5mm, S2: ΜΑΛΑΚΟ-d>5mm |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |
| 10 UW: ΧΩΡΙΣ, SW: ΜΕΡΟΣ, HW: ΜΕΤΡΙΑ, HW: ΕΝΤΩΝΗ, 0: ΟΛΙΓΟΙ                      |       |         |                |             |       |         |            |       |        |              |

## Βιβλιογραφία

- International Society for Rock Mechanics (ISRM) (1981) Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses (ed. E. T. Brown). Pergamon Press, Oxford, UK, 211 pp.
- International Society of Rock Mechanics (ISRM) (1981) Rock Characterization, Testing and Monitoring; ISRM Suggested Method. Pergamon Press, Oxford, UK.
- International Society of Rock Mechanics (ISRM) (1981) Basic geological description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 18, 85–110.
- International Society of Rock Mechanics (1985) Suggested methods for determining point load strength. Int. J. Rock Mech., 22 (2), 53–60.
- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2002) Τεχνική Γεωλογία, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ. 516.
- Price D. (1981) Report of the IAEG Commission on Site Investigations, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, December 1981, Volume 24, Issue 1, pp 185-226
- Ρόζος Δ. (2007) Σημειώσεις του μαθήματος Τεχνική Γεωλογία II, ΕΜΠ, σελ. 247.
- Ρόζος Δ. (2012) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Τεχνική Γεωλογία II, ΕΜΠ.