

# ΑΣΚΗΣΗ 4<sup>η</sup>

## ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ



# Ασυνέχειες βραχομάζας

Σημαντικό ρόλο στη γεωμηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας παίζουν ο αριθμός των συστημάτων των ασυνεχειών, ο προσανατολισμός τους, η συνέχεια, η απόσταση, το άνοιγμα, η τραχύτητα, το υλικό πλήρωσης, η αντοχή επιφανείας και το καθεστώς του νερού.

Επιπρόσθετα για τη διαπίστωση της παρουσίας δυνητικών αστοχιών αναγκαία είναι **η γνώση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών (γωνία τριβής).**

Για τη συγκέντρωση των παραπάνω στοιχείων, απαιτείται υπαίθρια δουλεία αλλά και εκτέλεση δοκιμών στο εργαστήριο.

Στην ύπαιθρο καταγράφονται τουλάχιστον 100 ασυνέχειες, ο προσανατολισμός του πρανούς και η κλίση του, καθώς και η καταγραφή των λοιπών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών.

Τέλος αναγκαία είναι η λήψη αντιπροσωπευτικού (-κών) δείγματος (-των) των ασυνεχειών που επικρατούν, ώστε να προσδιοριστεί στο εργαστήριο η διατμητική αντοχή.

**ΒΡΑΧΩΔΗΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ή ΠΕΤΡΩΜΑ (ROCK)**, είναι το φυσικό σύνολο ορυκτών κόκκων, που συνδέονται με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις, ή/και την παρουσία συγκολλητικής ύλης.

Αλλά **τι σημαίνει πραγματικά (και ποσοτικά) ισχυρή και μόνιμη δύναμη?** Δηλαδή **πιο είναι το όριο διάκρισης μεταξύ των Εδαφικών και των Βραχωδών σχηματισμών** και με **ποια παράμετρο καθορίζεται αυτό?**

Αρχικά το όριο ήταν η τιμή ενός (1)  $\text{Mpa}$  ( $\approx 10 \text{ kgr/cm}^2$ ) της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Αργότερα (ISRM, 1981) βρέθηκε ότι υπάρχει **μια τρίτη κατηγορία γεωλογικών σχηματισμών μεταξύ Εδαφικών και Βραχωδών σχηματισμών με αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μεταξύ 0,5 και 25Mpa**, (π.χ. οι ενότητες φλύσχη ή νεογενών, κλπ) που δεν μπορεί να θεωρηθούν ούτε εδάφη ούτε βράχοι, από πλευράς γεωμηχανικής συμπεριφοράς. Αυτά τα υλικά ονομάζονται:

**ΣΚΛΗΡΑ ΕΔΑΦΗ – ΜΑΛΑΚΟΙ ΒΡΑΧΟΙ (HARD SOILS – SOFT ROCKS)**.

## ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ

Όλα τα πετρώματα παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντοχή υλικού σχετικά με αυτή της βραχομάζας τους (**διπλάσια περίπου**).

Γενικά η γεωμηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας κατά την εμπλοκή της στην θεμελίωση ενός τεχνικού έργου, καθορίζεται κύρια από τις ασυνέχειες που τη διασχίζουν.

Οι ασυνέχειες συνήθως ομαδοποιούνται σε συστήματα, τα μέλη των οποίων έχουν λίγο πολύ κοινό προσανατολισμό, ενώ η συμπεριφορά τους σχετίζεται και με μια σειρά άλλων παραμέτρων, όπως η συνέχεια, η απόσταση, το άνοιγμα, η τραχύτητα, το υλικό πλήρωσης, η αντοχή των τοιχωμάτων και οι συνθήκες του νερού. Συνεπώς είναι αναγκαία η γνώση αυτών.

Ακόμα για τον καθορισμό των δυνητικών αστοχιών χρειάζονται τα γεωμετρικά στοιχεία του πλανούς μελέτης και η γωνία τριβής του πλέον αντιπροσωπευτικού τύπου ασυνεχειών.

## Οι κυριότερες κατηγορίες ασυνεχειών

Στρώση	( <i>Bedding plane</i> )
Σχιστότητα	( <i>Schistosity</i> )
Διαρρήξεις – διακλάσεις	( <i>Joints</i> )
Ρήγματα	( <i>Faults</i> )
Σχισμός	( <i>Cleavage</i> )
Φύλλωση	( <i>Foliation</i> ).

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Η συμπεριφορά των ασυνεχειών σχετίζεται με μια σειρά παραμέτρων, η γνώση των οποίων είναι αναγκαία για την κατανόηση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας. Οι παράμετροι αυτές είναι:

1. Προσανατολισμός (*Orientation*)
2. Απόσταση (*Spacing*)
3. Συνέχεια (*Continuity*)
4. Άνοιγμα (*Aperture*)
5. Τραχύτητα (*Roughness*)
6. Υλικό πλήρωσης (*Filling*)

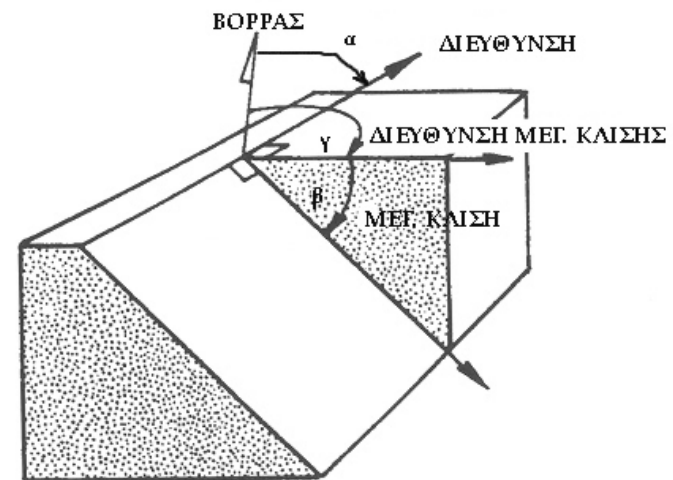
## Α. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ (ORIENTATION)

Σημαντική παράμετρος στην εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας από πλευράς ευστάθειας. Οι ασυνέχειες πρακτικά θεωρούνται επίπεδες για την καταγραφή του προσανατολισμού τους στο χώρο. Καταγράφονται :

Η διεύθυνση της ασυνέχειας (Strike), δηλαδή η τομή του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο, με μέτρο τη γωνία που σχηματίζει με το βορρά ( $\alpha$ ).

Η μέγιστη κλίση (Dip), δηλαδή η μέγιστη γωνία του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο ( $\beta$ ).

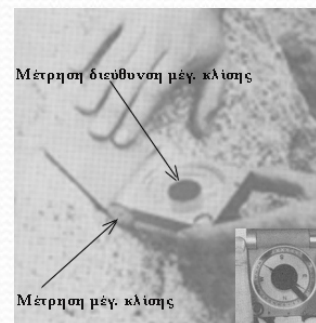
Η διεύθυνση (φορά) μέγιστης κλίσης (dip direction), δηλαδή η γωνία που σχηματίζει η τομή του επιπέδου της μέγιστης κλίσης με το οριζόντιο επίπεδο και ο βορράς ( $\gamma$ ).



Απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων  
προσανατολισμού ασυνεχειών

Η καταγραφή γίνεται με την πυξίδα και καταγράφονται η διεύθυνση μέγιστης κλίσης και η μέγιστη κλίση (συνήθως με τη μορφή π.χ.  $140^{\circ}/35^{\circ}$ ).

Η γεωλογική πυξίδα. Στη μικρή εικόνα φαίνεται η σωστή ρύθμιση (προσανατολισμός) του δίσκου της.



Τα προγράμματα στον Η/Υ είναι προσαρμοσμένα να δέχονται αυτόν τον τύπο καταγραφής.

Όμως η απόδοση διεύθυνσης και κλίσης ενός επιπέδου, δηλαδή της παράταξης είναι πλέον κατανοητή για χρήστες που δεν είναι γεωτεχνικοί.

Για παράδειγμα η πιο πάνω μέτρηση που χρησιμοποιήθηκε θα γίνει:  $B50^{\circ}A / 35^{\circ} NA/κά.$

Η στατιστική επεξεργασία των ασυνεχειών σε κάθε θέση απαιτεί 100 ή και περισσότερες μετρήσεις και γίνεται με τη χρήση των σφαιρικών προβολών. Γενικά στη γεωτεχνική χρησιμοποιείται η ισοεμβαδική προβολή (equal area projection), που ονομάζεται ισοεμβαδική προβολή Lambert ή και δίκτυο Schmidt.

## B. ΑΠΟΣΤΑΣΗ (SPACING)

Η απόσταση των ασυνεχειών σημαντική παράμετρος είτε από την πλευρά της περατότητας μιας βραχομάζας είτε από πλευράς τύπου αστοχίας (πολύ μικρή απόσταση ασυνεχειών μπορεί να προκαλέσει περιστροφική ολίσθηση).

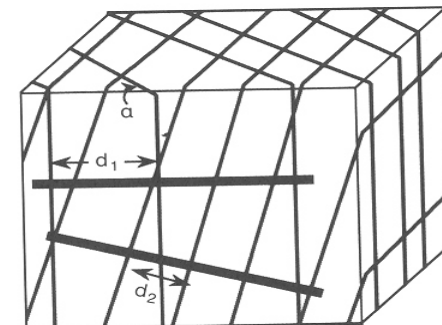
Με τη μέτρηση της απόστασης καθορίζονται οι διαστάσεις των τεμαχίων της βραχομάζας με την εκτίμηση των ακολούθων δύο δεικτών:

(α)  $I_d$  (ή δείκτης μεγέθους) που είναι το άθροισμα των μέσων αποστάσεων κάθε συστήματος προς τον αριθμό των ασυνεχειών.

(β)  $J_v$  που αποτελεί το συνολικό άθροισμα του αριθμού ασυνεχειών ανά ένα  $m^3$ .

Ο τελευταίος αποτελεί χρήσιμο δείκτη για υπολογισμό του R.Q.D στην ύπαιθρο όταν δεν υπάρχουν γεωτρήσεις, από τον τύπο:

**R.Q.D. =  $115 - 3,3 \times J_v$** , (αν  $J_v < 4,5$  το R.Q.D. είναι 100%)



## Γ. ΣΥΝΕΧΕΙΑ (CONTINUITY)

Σε μια βραχομάζα άλλες ασυνέχειες διατέμνουν τη μάζα της σε μεγάλο μήκος, ενώ άλλες περιορίζονται σε μήκος από άλλα συστήματα.

Έτσι σαν συνέχεια ενός συστήματος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η “**επιμονή**” των ασυνεχειών στην επιφάνεια του πρηνούς μελέτης.

Οι μεγάλης συνέχειας διαρρήξεις καθορίζουν συνήθως και τη συμπεριφορά της βραχομάζας από πλευράς αστοχίας, αφού και εφ’ όσον συνηγορούν και άλλοι παράγοντες μπορεί να εκδηλωθεί αστοχία επιπέδου σε μια από αυτές.

Γενικά από πλευράς συνέχειας η ταξινόμηση των ασυνεχειών έχει ως ακολούθως:

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

## Δ. ΑΝΟΙΓΜΑ (APERTURE)

Άνοιγμα μιας ασυνέχειας θεωρείται η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων της, μπορεί να προκύπτει είτε **από φυσικά** αίτια είτε από **ανθρωπογενείς παρεμβάσεις** (χρήση εκρηκτικών).

Οι τελευταίες τοπικά αλλοιώνουν την πραγματική κατάσταση και επομένως απαιτείται προσοχή κατά τη μέτρηση της παραμέτρου αυτής.

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 ευρείες (2,5- 10mm)
- ↳ Ευρείες (>10mm)
- ↳ Πολύ ευρείες (1-10cm)
- ↳ Εξαιρετικά ευρείες (10-100cm)
- ↳ Σπηλαιώδεις (>100cm)

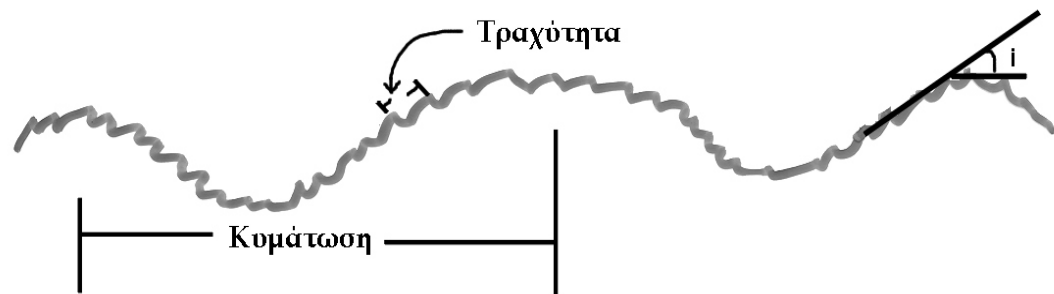
## Ε. ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (ROUGHNESS)

Μια επιφάνεια ασυνέχειας πετρώματος είναι γνωστό ότι πολύ δύσκολα θα είναι λεία. Συνήθως χαρακτηρίζεται από μια μεγάλου μήκους κυμάτωση, αλλά και μια μικρότερης έκτασης ανωμαλία την τραχύτητα.

**Η τραχύτητα** σαν γενικός όρος που περιλαμβάνει και τους δύο τύπους ανωμαλίας της επιφάνειας της ασυνέχειας είναι σημαντική για την αντοχή σε διάτμηση (η γωνία τριβής της ασυνέχειας είναι ίση με το άθροισμα  $\phi_b + i$ , όπου  $\phi_b$  είναι η βασική γωνία τριβής του υλικού και  $i$  είναι η γωνία της κύριας ανωμαλίας της ασυνέχειας.

Η διάκριση των ασυνεχειών από πλευράς τραχύτητας είναι ποιοτική, με όρους όπως:

- πολύ τραχεία,
- τραχεία,
- ελαφρά τραχεία,
- ομαλή,
- λεία ή ολισθηρή.



Οι δύο τύποι ανωμαλίας που χαρακτηρίζουν την επιφάνεια μιας ασυνέχειας.

## Σύμφωνα με τον Barton

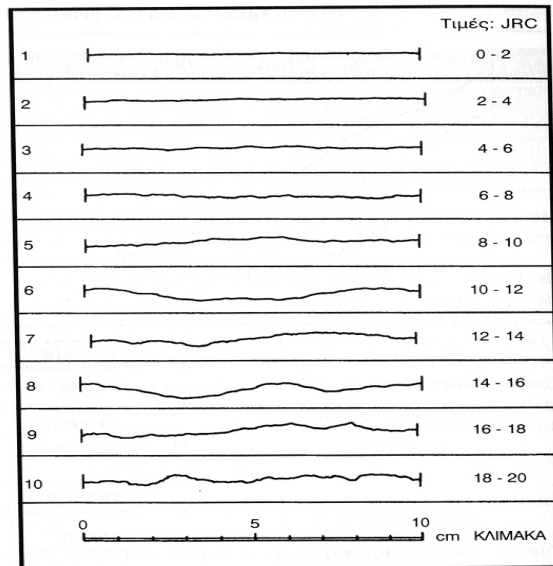
η σχέση διατμητικής και κατακόρυφης τάσης δίνεται από τον τύπο:

$$\tau = \sigma_n \varepsilon \varphi \{ \varphi_b + J.R.C. \log_{10} (J.C.S. / \sigma_n) \},$$

όπου

**J.R.C.** = Συντελεστής τραχύτητας (Joint Roughness Coefficient)  
υπολογίζεται από τυπικά προφίλ τραχύτητας,

**J.C.S.** = Αντοχή των τριχωμάτων της ασυνέχειας (Joint wall  
Cor



Μέτρηση της αντοχής με τη σφύρα Schmidt

Τυπικά προφίλ ασυνεχειών (κατά Barton – Choubey, 1977)

## ΣΤ. ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (FILLING MATERIAL)

Η παρουσία του υλικού πλήρωσης (πάχος, σύσταση κλπ), σημαντική, αφού σε συνδυασμό με την τραχύτητα της ασυνέχειας καθορίζουν την αντοχή της.

*Όσο αυξάνει το πάχος του υλικού πλήρωσης, τόσο η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας “μετατίθεται” σε αυτό και επομένως μειώνεται.*

Αν τελικά το πάχος του υλικού πλήρωσης ξεπεράσει το “πλάτος” της κυμάτωσης της ασυνέχειας τότε η αντοχή της ασυνέχειας είναι στην ουσία η αντοχή του υλικού πλήρωσης.

Η σύσταση είναι επίσης σημαντική αφού μπορεί αν είναι ασβεστιτική, χαλαζιακή κλπ να “θεραπεύσει” την ασυνέχεια δηλαδή να αυξήσει την αντοχή, ενώ αν είναι π.χ. αργιλική η αντοχή είναι μικρή.

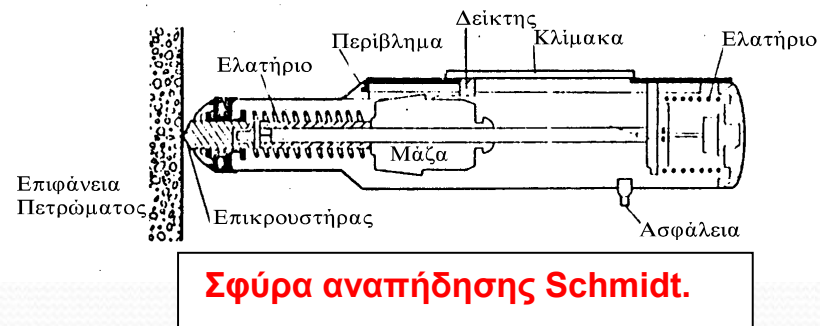
## Z. ANTOXH TOIXΩMATΩN (WALL STRENGTH)

Για τη μέτρηση της αντοχής των τοιχωμάτων χρησιμοποιείται για μεγαλύτερη ακρίβεια η σφύρα Schmidt τύπου "L".

Λαμβάνονται πολλές μετρήσεις και εκτιμάται ο μέσος όρος, αφού απορριφθούν οι μισές με τη μικρότερη τιμή. Υπάρχει νομόγραμμα όπου ανάλογα με τη γωνία προσέγγισης της επιφάνειας κατά τη μέτρηση και την ένδειξη υπολογίζεται η αντοχή σε MPa.

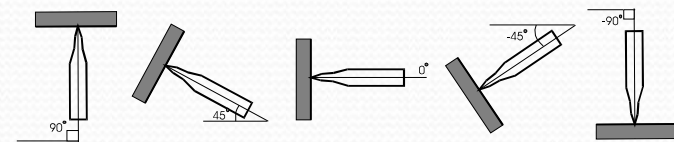
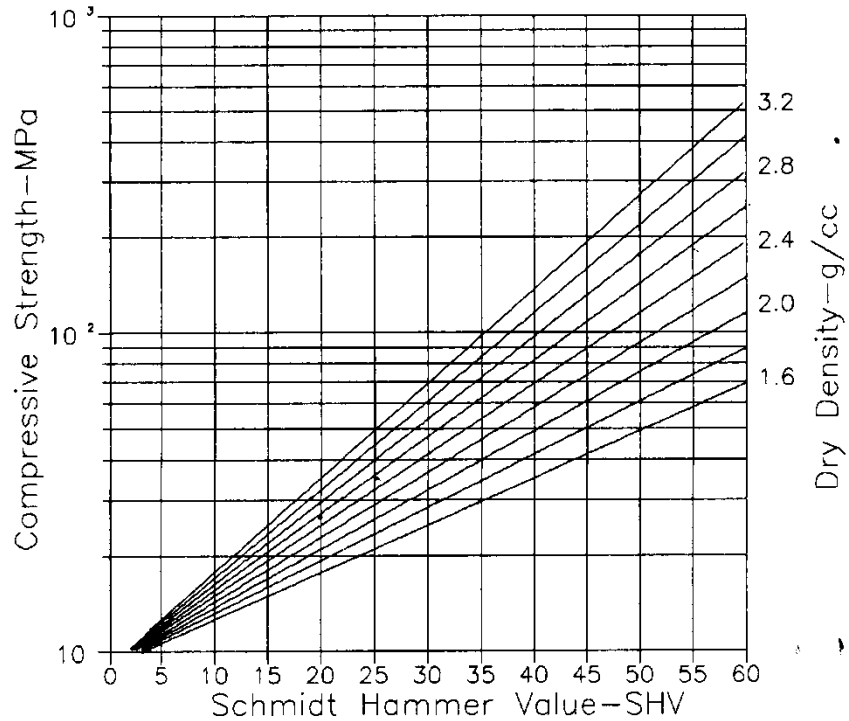
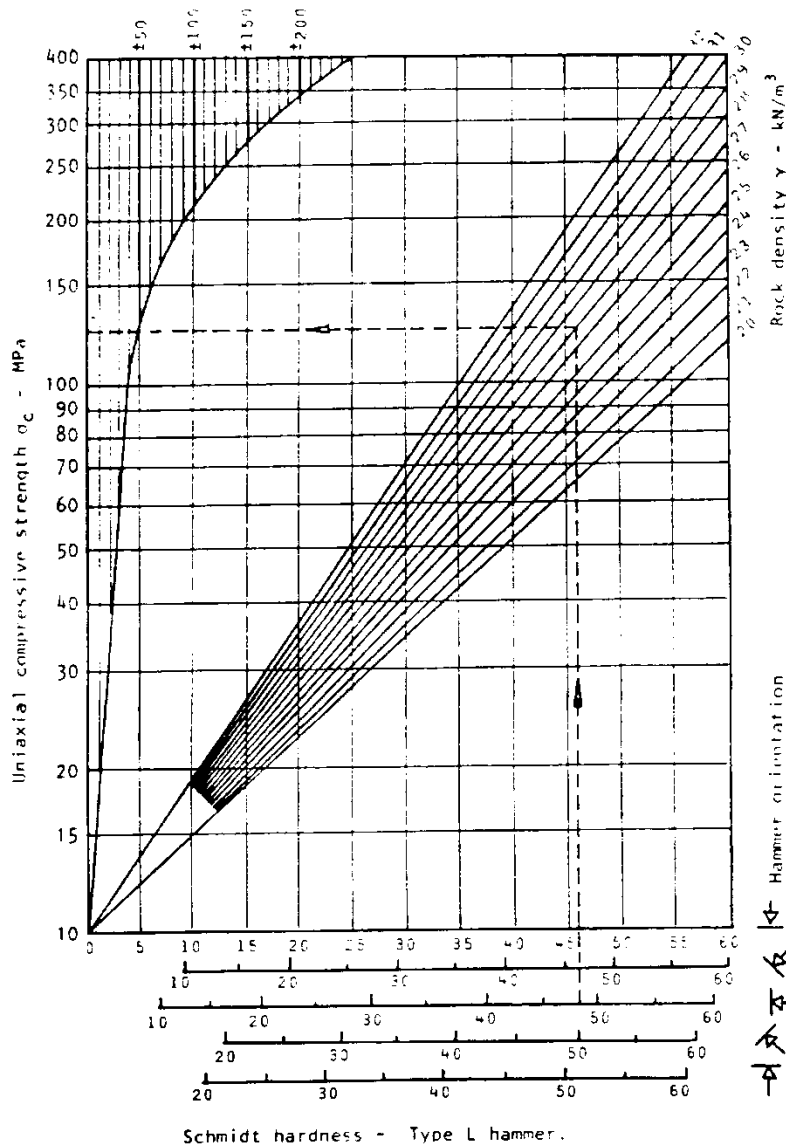
Οι κατηγορίες διάκρισης του υλικού των τοιχωμάτων από πλευράς αντοχής είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Πολύ μαλακό <10 MPa
- ✓ Μαλακό 10-20MPa
- ✓ Μέτριο 20-50MPa
- ✓ Σκληρό 50-60MPa
- ✓ Πολύ σκληρό >60 MPa



Θα πρέπει να τονισθεί ότι σημαντικό ρόλο στην αντοχή των τοιχωμάτων μιας ασυνέχειας παίζει ο βαθμός αποσάθρωσης αυτής.

Average dispersion of strength  
for most rocks - MPa



$\alpha/\alpha$	Ένδειξη κρουσίμετρου	Γωνία κλίσης του άξονα του οργάνου	Μονοαξονική αντοχή (Mpa), σύμφωνα με το νομόγραμμα του Miller (1965)	Αποδεκτές τιμές μονοαξονικής αντοχής (Mpa).
1	48	-45		
2	24	-45		
3	43	-45		
4	62	-45		

M.O. = ....Mpa

Η τιμή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη ( $\sigma_c$ ), μπορεί να δοθεί και από τον τύπο των Xu and Mahtab (1990):

$$\sigma_u = 12,74 \text{ Exp}(0,02 \times R_L \times \rho)$$

Όπου

$\rho$  = η πυκνότητα (για τους ασβεστόλιθους είναι περίπου 2,5 gr/cm<sup>3</sup>).

$R_L$  = η μέση τιμή των μετρήσεων αναπήδησης της σφύρας Schmidt, τύπου L.

Αν χρησιμοποιείται σφύρα τύπου N τότε η σχέση  $P_L$  και  $R_N$  δίνεται με την εξίσωση των Aydin and Basu (2005):

$$R_N = 1,0646R_L + 6,3673$$

Όπου,

$R_L$  = η μέση τιμή των μετρήσεων αναπήδησης της σφύρας Schmidt, τύπου L.

$R_N$  = η μέση τιμή των μετρήσεων αναπήδησης της σφύρας Schmidt, τύπου N

*Aydin, A. and Basu, A. (2005). The Schmidt hammer in rock material characterization: Journal of Engineering Geology, 81 (2005), Elsevier International, pp. 1-14.*

*Xu, S., Grasso, P. and Mahtab, A. (1990). Use of Schmidt Hammer for estimating mechanical properties of weak rock: Proc. 6th International IAEG Congress, vol. 1. Balkema, Rotterdam, pp. 511 –519.*

## **H. ΝΕΡΟ (SEEPAGE)**

Η κυκλοφορία του νερού μέσα στις ασυνέχειες επιφέρει τη δράση χημικών – φυσικών διεργασιών, άρα μεταβολές στην αντοχή, την παραμορφωσιμότητα, ανθεκτικότητα, κλπ.

Επιπρόσθετα προκαλεί διαβρωτικές δράσεις δηλαδή αλλοίωση των τοιχωμάτων, όπως αποσάθρωση, καρστικοποίηση κλπ.

Οι ασυνέχειες ανάλογα με το νερό που κυκλοφορεί και σύμφωνα με απλές περιγραφές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν μπορεί να είναι :

- ✓ **Στεγνές (Dry)**
- ✓ **Σε υγρή κατάσταση (Damp)**
- ✓ **Σε πολύ υγρή κατάσταση (Wet)**
- ✓ **Ροή στάγδην (Dripping)**
- ✓ **Συνεχής ροή (Flowing)**



ΑΣΚΗΣΗ 4<sup>η</sup>  
ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ II

**ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ  
(ΥΠΑΙΘΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ)**

Δουλεύοντας ανά δυο:

Χρησιμοποιείτε τον πίνακα καταγραφών που σας δόθηκε:

- (α) μετρήσετε τη διεύθυνση μέγιστης κλίσης και την κλίση του πρσανούς στο χώρο έρευνας,
- (β) καταγράψτε τα γεωμετρικά στοιχεία 100 ασυνεχειών (κύρια η στρώση) με τη μορφή κλίση και διεύθυνση μέγιστης κλίσης,
- (γ) σημειώστε τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των ομάδων, όπως συνέχεια, απόσταση, άνοιγμα, τραχύτητα και υλικό πλήρωσης (αν υπάρχει),
- (δ) εκτιμήστε το RQD της βραχομάζας σύμφωνα με τον τύπο:  
 $R.Q.D. = 115 - 3,3 \times J_v$ , ( $J_v$  = το άθροισμα των ασυνεχειών ανά  $m^3$ ).
- (ε) μετρήστε την αντοχή των τοιχωμάτων χρησιμοποιώντας τη σφύρα Schmidt τύπου "L".
- (στ) εντοπίστε κατάλληλο δείγμα για τον προσδιορισμό στο εργαστήριο της διατμητικής αντοχής χαρακτηριστικής ασυνέχειας.

# ΦΥΛΛΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ:

ΕΡΓΟ:

ΘΕΣΗ:

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝ.	ΚΛΙΣΗ (°)	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΓ. ΚΛΙΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ (cm)	ΑΝΟΓΜΑ (m)	ΑΝΟΓΜΑ (mm)	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡ.	ΑΠΟΣΤ. ΘΡΟΣΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										

2 Β: ΣΤΡΟΣΗ, F:ΡΗΓΜΑ, J:ΔΙΑΚΛΑΣΗ, S:ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑ, Z: ΖΩΝΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

5 ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΕΠΟΜΕΝΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ ΙΔΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6 Α: <1m, Β: 1-3m, C: 3-10m, D: 10-20m, E: >20m

7 0:ΚΑΘΟΛΟΥ 1Α:<0,1mm, 1Β:0,1-1mm 2Α:15mm, 2Β:>5mm