

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

4^ο Μάθημα

“Τεχνικά χαρακτηριστικά ασυνεχειών και διατμητική αντοχή ασυνεχειών βράχου”

Διδάσκων: Β. Μαρίνος, Επ. Καθηγητής

- Γεωτεχνικός Τομέας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

marinosv@civil.ntua.gr

Χρησιμοποιήστε το κριτήριο
αστοχίας Hoek-Brown

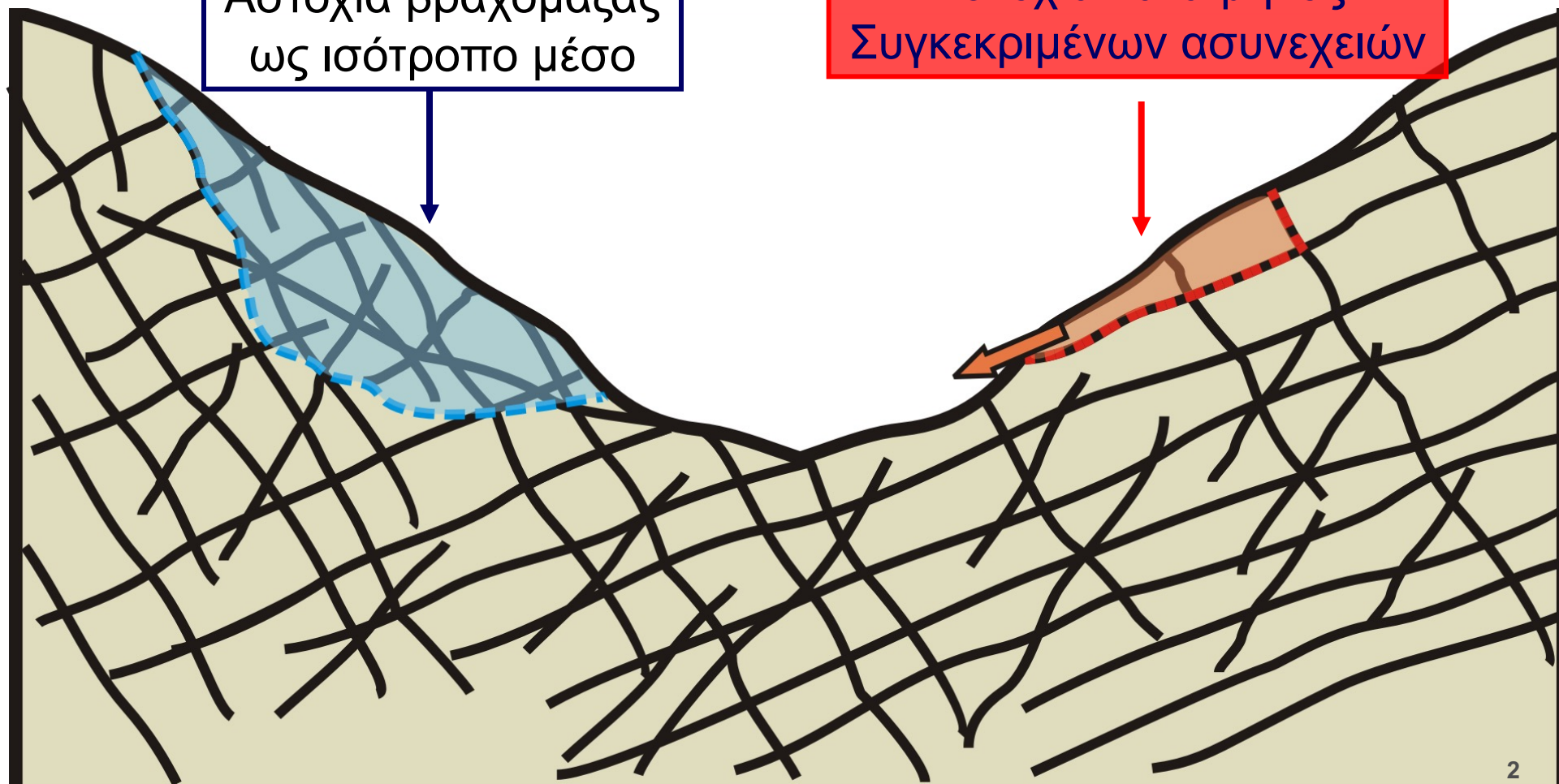
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Αστοχία βραχόμαζας
ως ισότροπο μέσο

Χρησιμοποιήστε το κριτήριο
αστοχίας Barton

$$\tau = \sigma' \tan(\phi_b + JRC \log \frac{JSC}{\sigma'})$$

Αστοχία κατά μήκος
Συγκεκριμένων ασυνεχειών





Ανισότροπη αστοχία
Ολίσθηση τεμαχών
βράχου επί ασυνεχειών
που προ-υπάρχουν
μέσα στη μάζα.

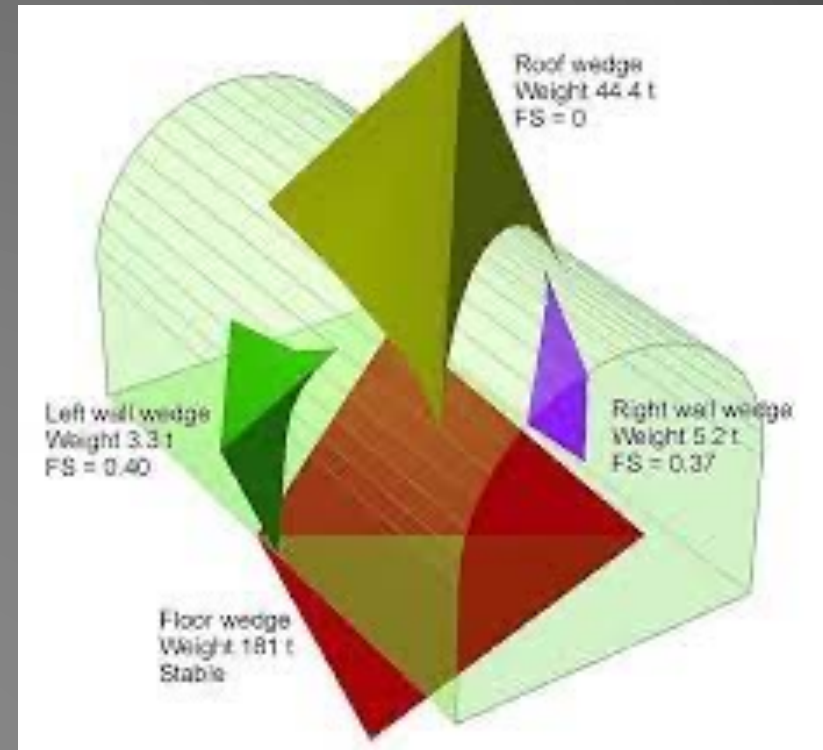
Απαραίτητη η γνώση

- της γεωμετρίας των ασυνεχειών (ρωγματώσεων-στρώσεων) και
- της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών
- Άλλων δυνάμεων (πίεση πόρων – σεισμού)





Ανισότροπη αστοχία σε υπόγεια εκσκαφή
Ολίσθηση τεμαχών βράχου (εδώ σφήνα) επί
ασυνεχειών που προ-υπάρχουν μέσα στη μάζα.



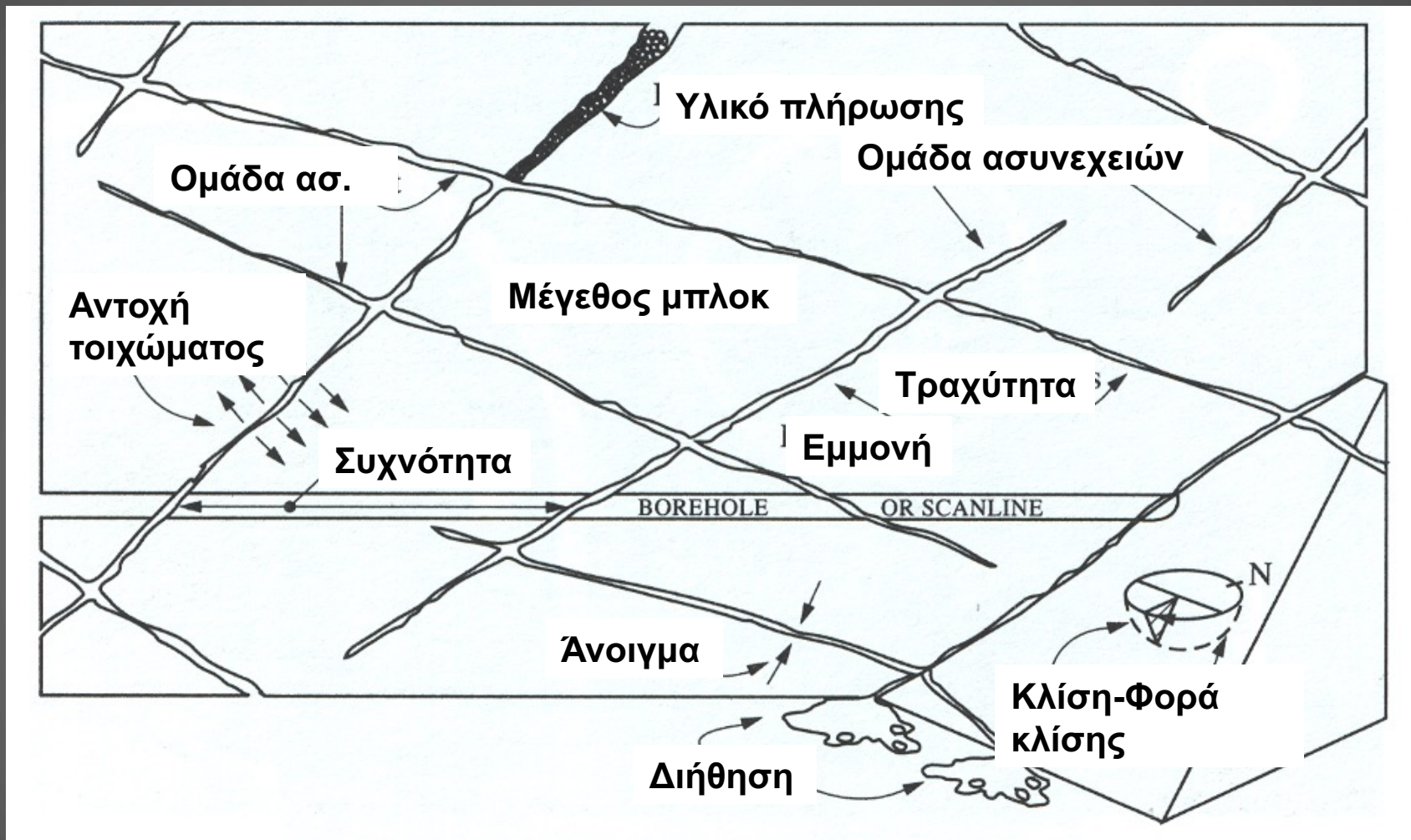


ΒΡΑΧΟΣ ΜΕ **ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ** = ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

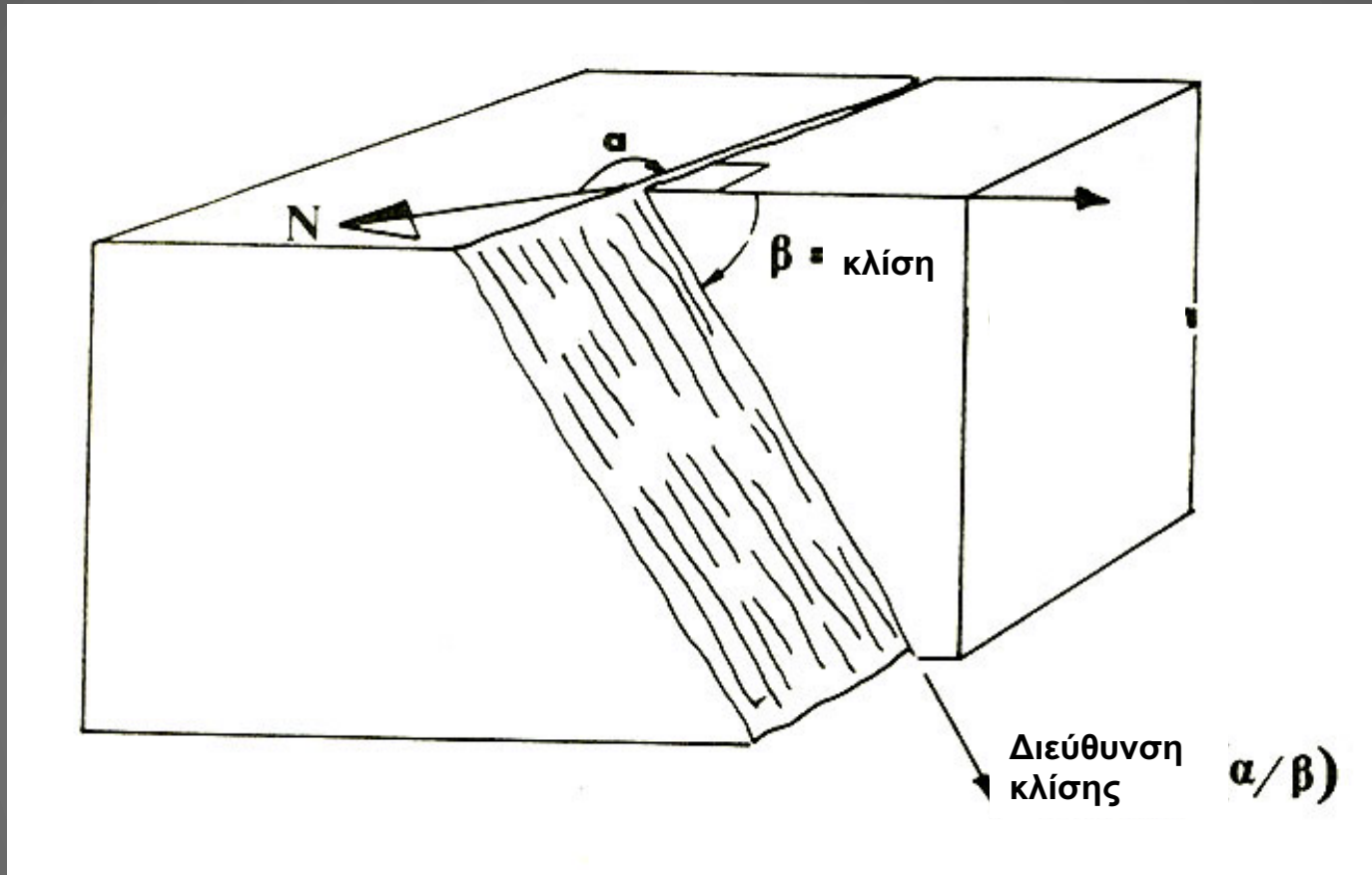
Χαρακτηριστικά ασυνεχειών

1. Προσανατολισμός
2. Αποστάσεις
3. Εμμογή
4. Τραχύτητα
5. Αντοχή τοιχωμάτων
6. Άνοιγμα
7. Υλικά πλήρωσης
8. Νερό
9. Αριθμός οικογενειών
10. RQD

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

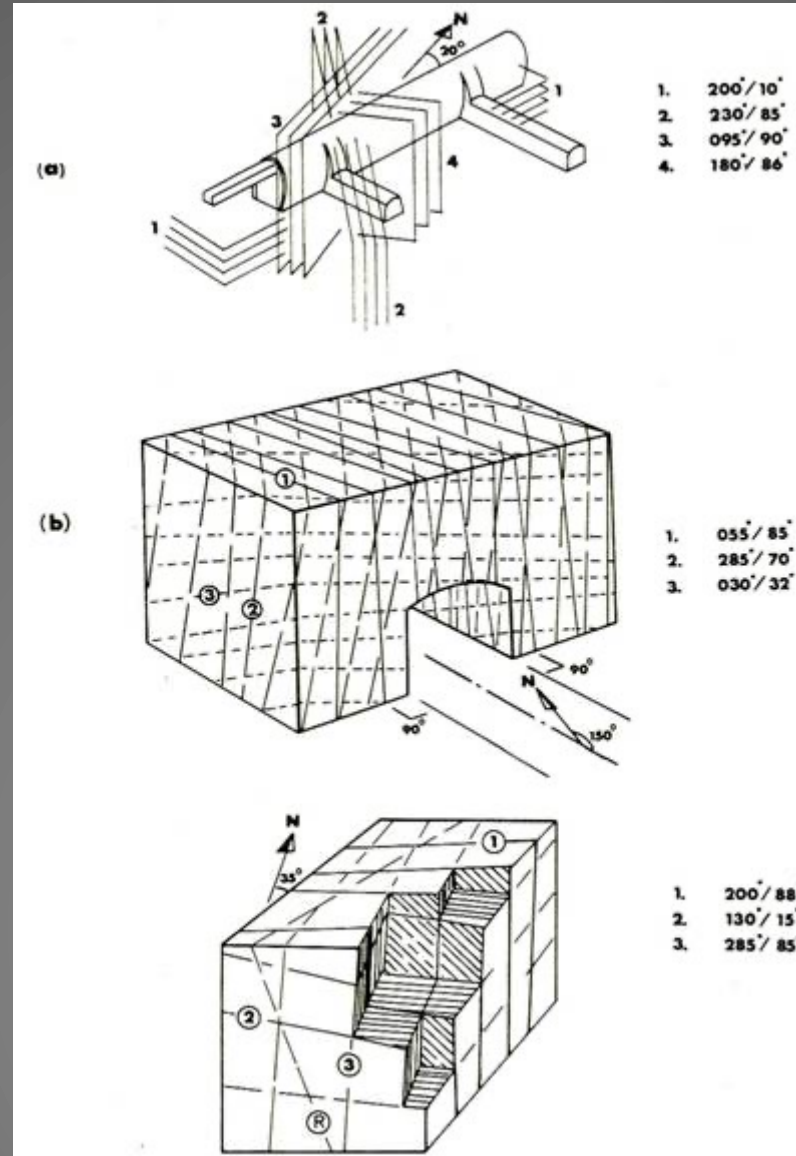


1. Προσανατολισμός Διεύθυνση/κλίση (φορά κλίσης / κλίση) μετρήσεις με πυξίδα



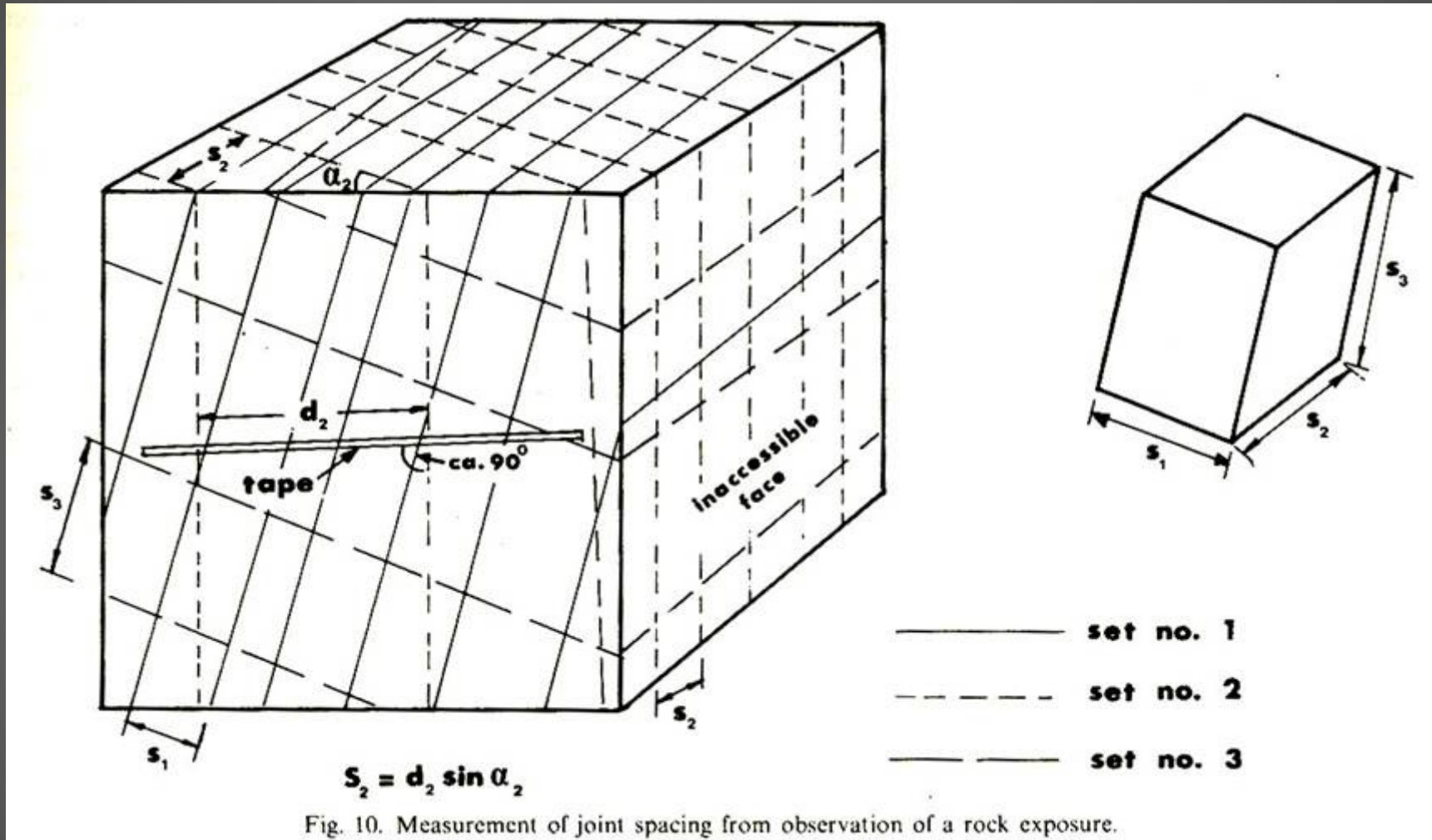
1. Προσανατολισμός

Μορφή τεμαχών βραχώμαζας



2. Αποστάσεις

- Αποστάσεις γειτονικών ασυνεχειών



Θα καθορίσουν το τελικό όγκο των βραχοτεμαχίων

2. Αποστάσεις

Μετρήσεις σε: - επιφανειακές εμφανίσεις
- γεωτρήσεις (με ειδική camera τηλεοράσεως)

<u>Περιγραφή (τυποποιημένη)</u>	<u>Αποστάσεις</u>
Εξαιρετικά μικρές αποστάσεις	< 20mm
Πολύ μικρές	20-60mm
μικρές	60-200mm
μέσες	200-600mm
μεγάλες	600-2000mm
πολύ μεγάλες	2000-6000mm
εξαιρετικά μεγάλες	>6000mm

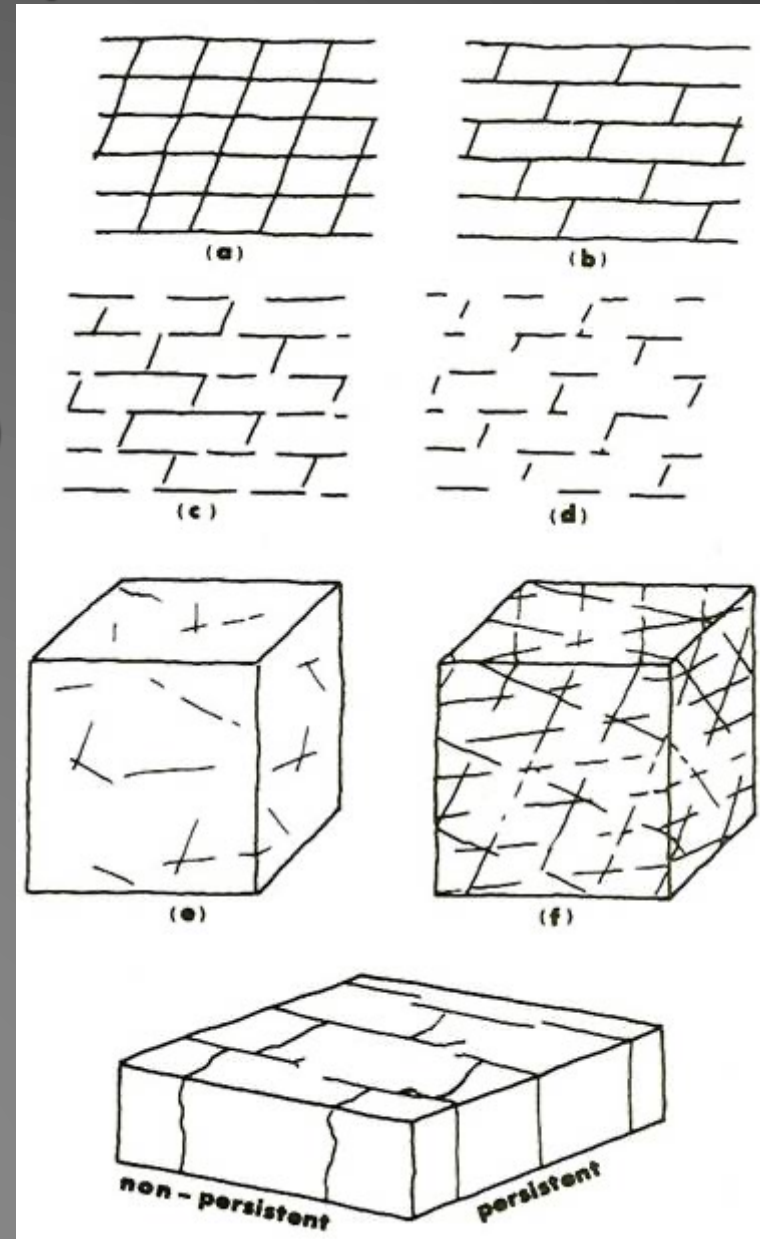
3. Εμμογή

- Έκταση ασυνέχειας στο χώρο
(μήκος στην επιφάνεια εμφάνισης)

Σημασία:

- στην ευστάθεια τριανών
- σήραγγες (και μικρά μήκη

5-10μ – επικίνδυνα, σε
συνδυασμό με άλλες παραμέτρους)



3. Εμμογή

- Μέτρηση: Ταινία

- Ταξινόμηση:

Πολύ μικρή συνέχεια < 1m

μικρή 1-3m

μέση 3-10m

υψηλή 10-20m

πολύ υψηλή >20m

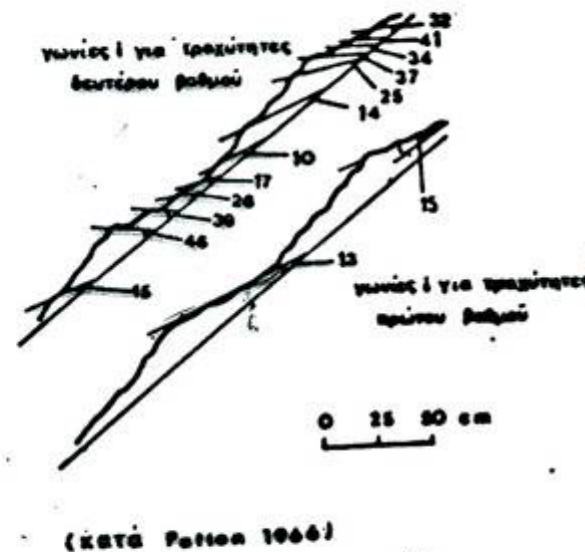
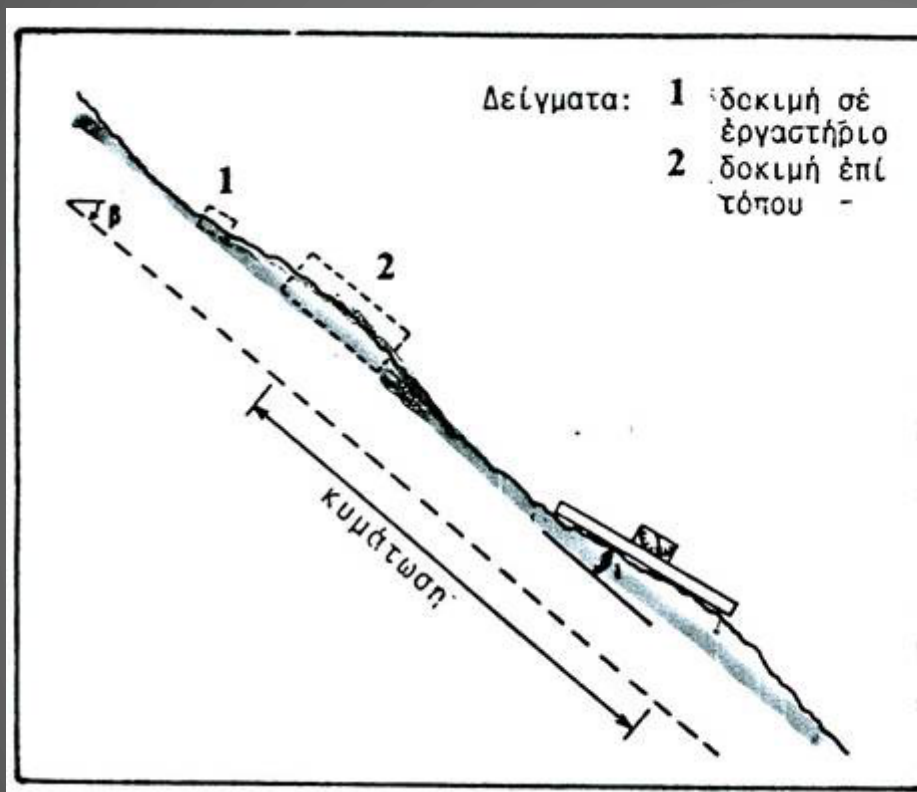
- Διευκρίνιση αν οι ασυνέχειες τελειώνουν πάνω σε άλλη

διάκλαση ή μέσα στο υλικό του πετρώματος

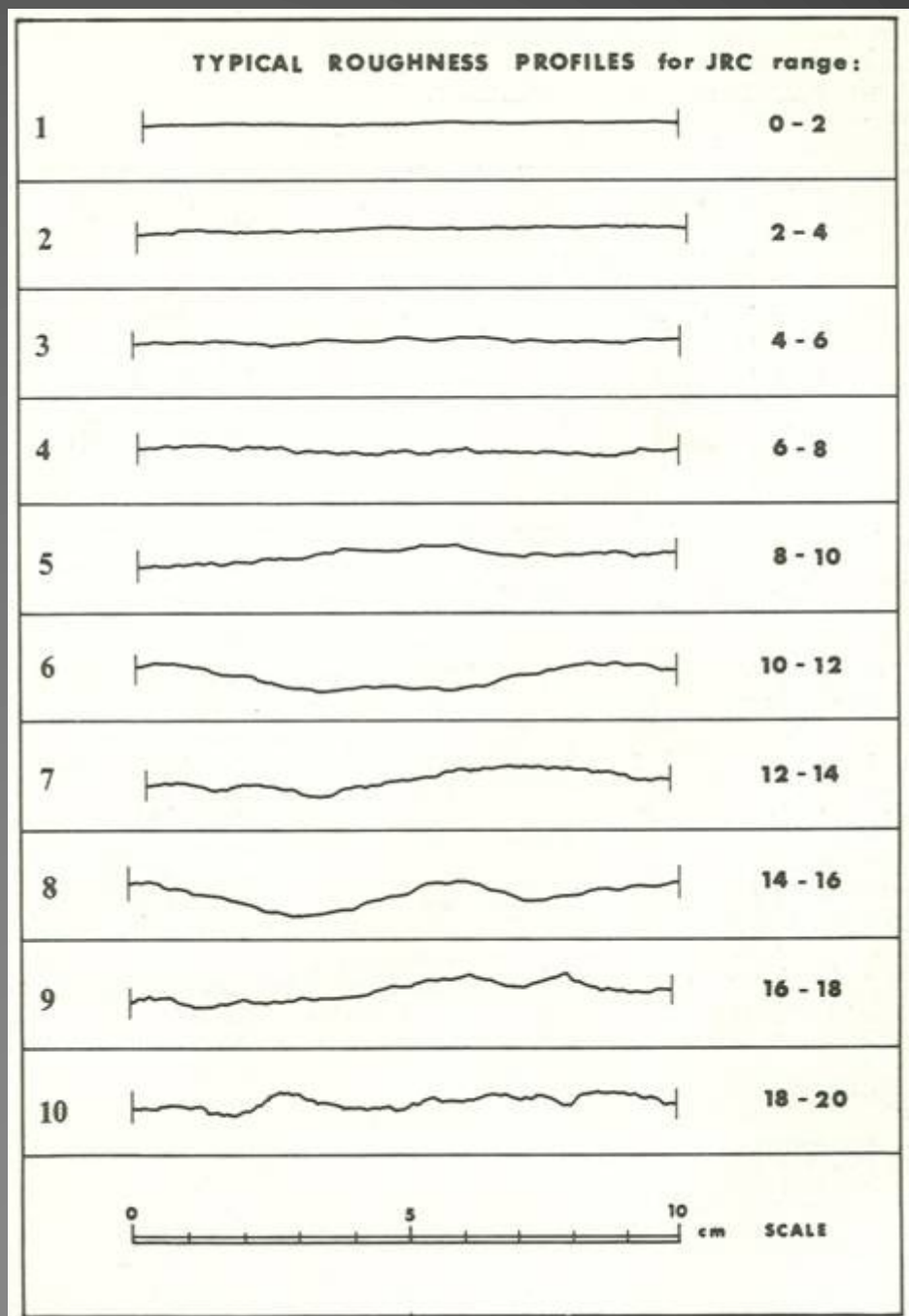
- Σημασία των «γεφυρών» στις ασυνεχείς ασυνέχειες

4. Τραχύτητα

- Άμεση συνιστώσα της διατμητικής αντοχής της ασυνέχειας (κυρίως σε ασυνέχειες χωρίς υλικό πληρώσεως)
- Τραχύτητα 1ου και 2ου βαθμού (κλίμακα δείγματος)



Τυπικά προφίλ τραχύτητας και αντίστοιχες τιμές JRC



5. Αντοχή τοιχωμάτων

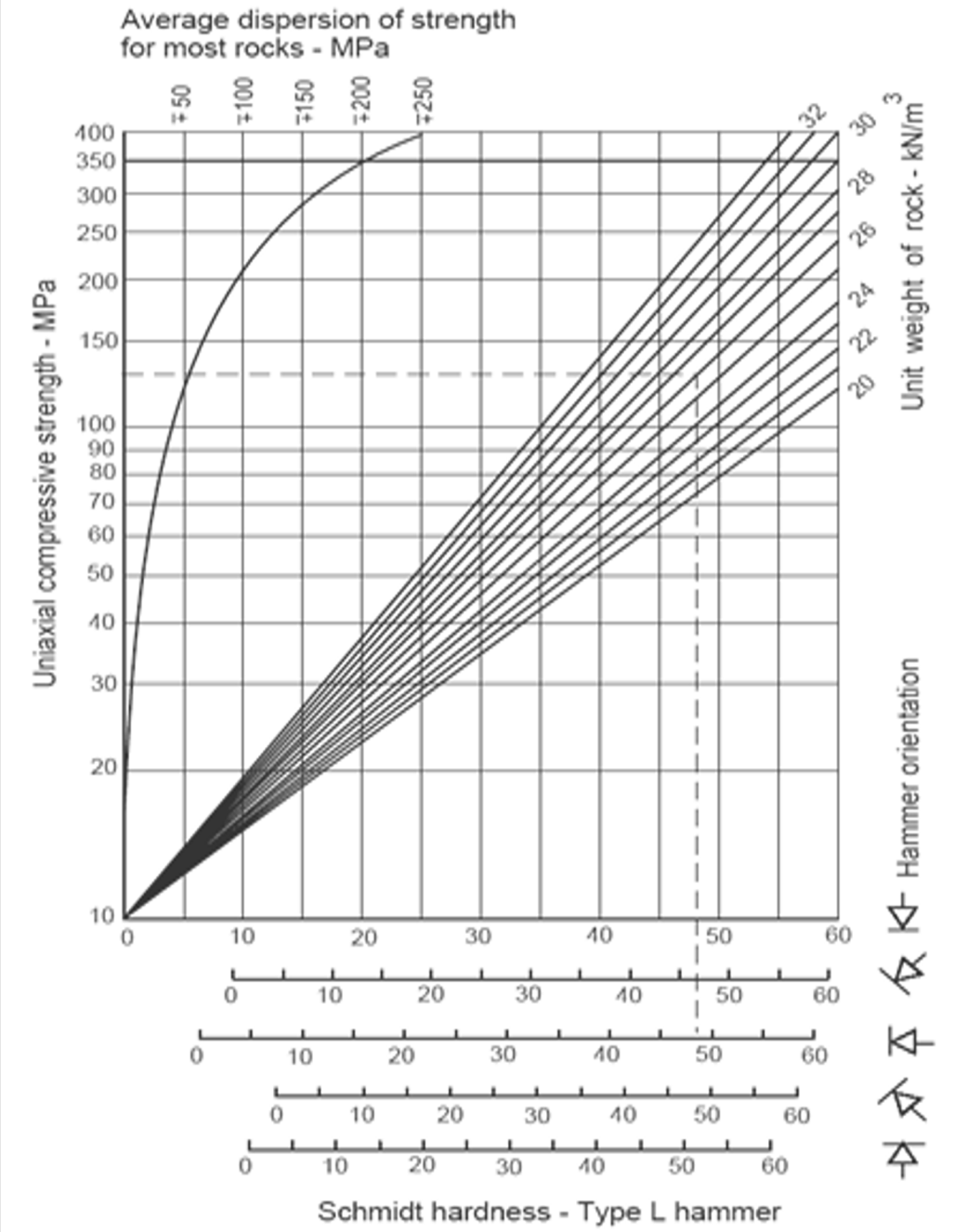
- Σχέση με διατμητική αντοχή
- Η αλλοίωση από αποσάθρωση των τοιχωμάτων είναι διαφορετική από την αλλοίωση στο εσωτερικό του πετρώματος
- Φίλμ από δευτερογενή ορυκτά σαν επένδυση τοιχωμάτων (περιγραφή - δοκιμές)

Μετρήσεις: Σφυρί Schmidt (L)

- Ταξινόμηση: - περιγραφή σε τάξεις αποσαθρώσεως (τάξεις I –υγιές, έως VI- έδαφος)
 - ταξινόμηση βάσει αντοχής από το σφυρί Schmidt (S1-S6 αργιλικά ή R0-R6 πέτρωμα)

Αντοχή των τοιχωμάτων σε μονοαξονική θλίψη JCS.

Υπολογίζεται έμμεσα από δοκιμές σκληρομέτρησης με τη σφύρα Schmidt.



6. Άνοιγμα

- Επηρεάζει την χαλαρότητα της βραχόμαζας
- Σχέσεις με νερό (πίεση ή παροχή - αποστράγγιση)
- Δυσκολίες στη μέτρηση (εξωγενείς παράγοντες που με άνοιγμα κοντά στην επιφάνεια)

Ταξινόμηση ανοίγματος

<0,1mm Πολύ κλειστό

0,1-0,25mm Κλειστό

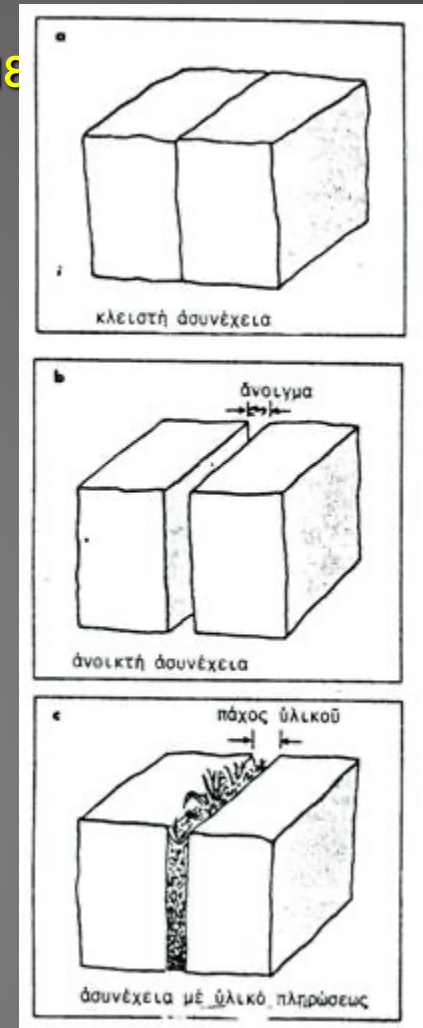
=====

0,5-2,5mm Ανοικτό

=====

1-10cm Πολύ ευρύ

=====



7. Υλικά πλήρωσης

- Εξάρτηση αντοχής από την ποιότητα υλικού πλήρωσεως και το πάχος του
- Ρόλος τραχύτητας

8. Νερό

Σημασία: - ευστάθεια βραχόμαζας (εκτιμήσεις φορτίου νερού)

- αποστραγγίσεις βραχόμαζας (εκτιμήσεις περατότητας)

Μετρήσεις: Παρατηρήσεις υπαίθρου, Μετρήσεις σε βάθος

(γεωτρήσεις, υπόγεια έργα, υδρογεωλογία περιοχής)

Ταξινόμηση ασυνέχειας: Ξερή, υγρή, στάγδην ροή, συνεχής ροή (I-VI)

9. Αριθμός οικογενειών

Ταξινόμηση:

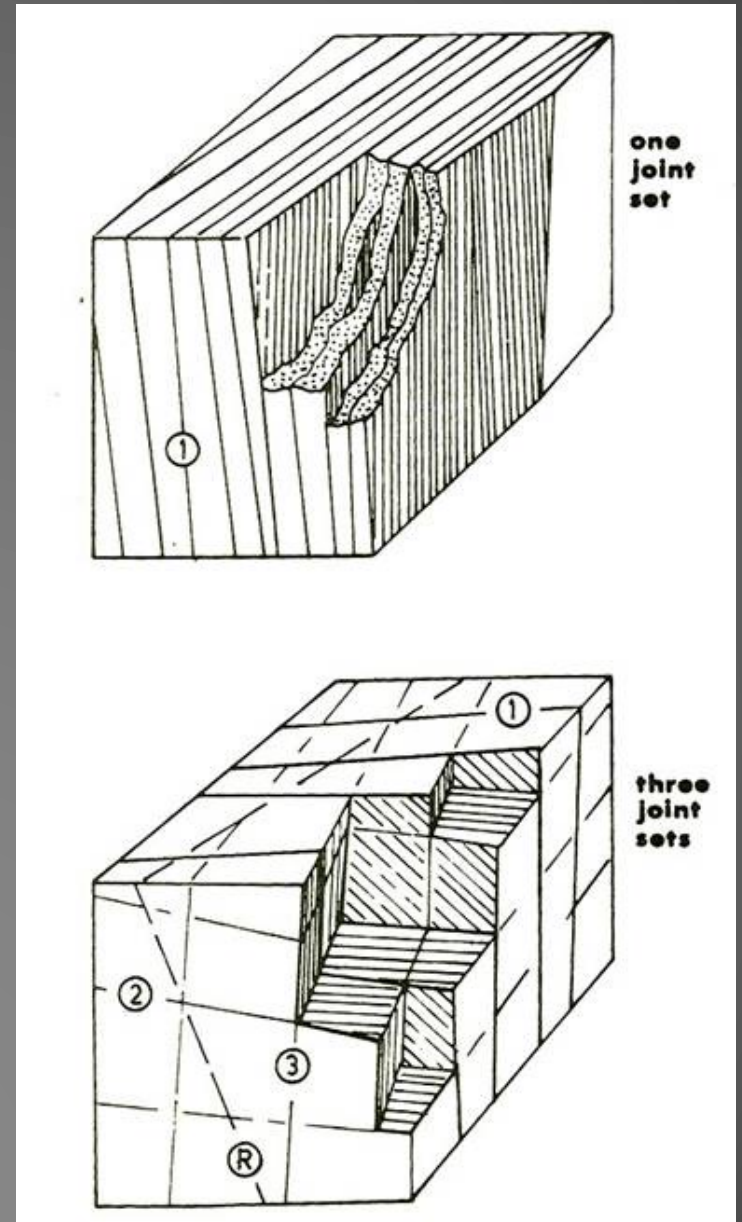
I συμπαγές τυχαίες ρωγμές

II μία οικογένεια

III μία οικογένεια + τυχαίες

VIII >4 οικογένειες

IX κονιορτοποιημένο πέτρωμα
(έδαφος)



ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ RQD-SCR-TCR

Ολική πυρηνοληψία (TCR-Total Core Recovery):

Καλείται το συνολικό μήκος των κατηγοριών και εκφράζεται σε εκατοστιαία αναλογία του μήκους της δειγματοληψίας

Στερεή πυρηνοληψία(SCR-Solid Core Recovery):

Καλείται το συνολικό μήκος των κατηγοριών και εκφράζεται σε εκατοστιαία αναλογία του μήκους της δειγματοληψίας.

Δείκτης ποιότητας του πετρώματος (RQD - Rock Quality Designation):

Κατά την μέθοδο αυτή όλοι οι πυρήνες μήκους μεγαλύτερου των 10cm (αθροίζονται και το συνολικό τους μήκος εκφράζεται σαν εκατοστιαία αναλογία του μήκους της πυρηνοληψίας).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

RQD – TCR - SCR

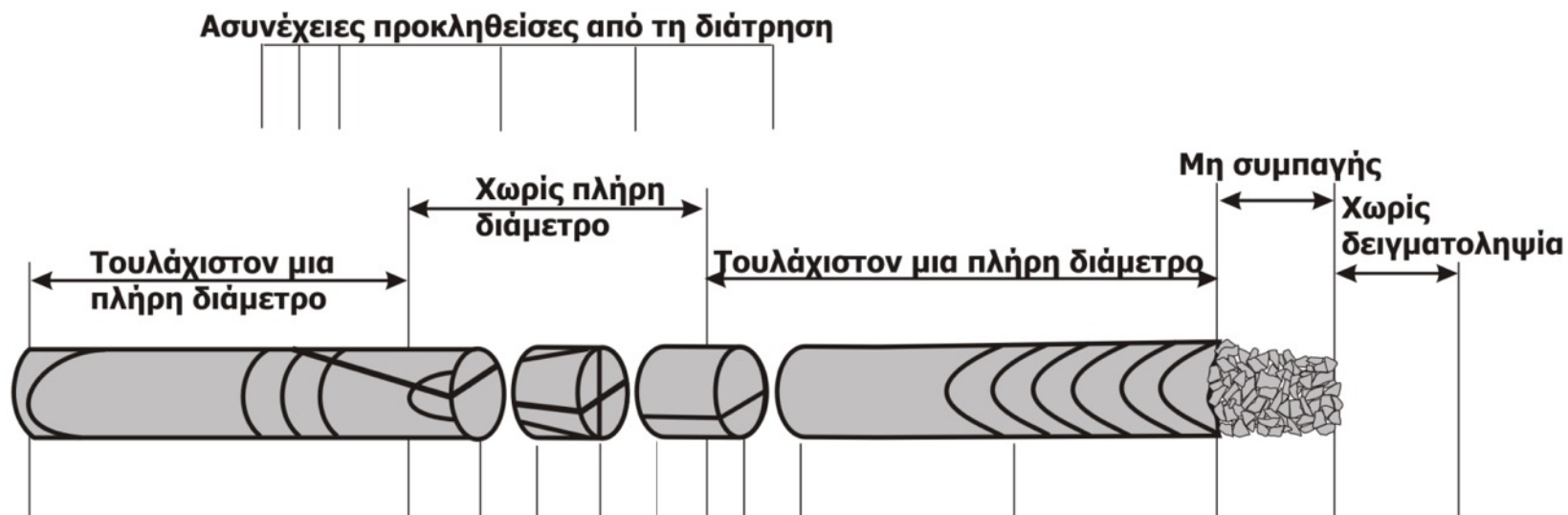
Η βαθμονόμηση αυτή της βραχόμαζας (κυρίως του δείκτη ποιότητας RQD) αποτελεί από τις βασικότερες **πρώτες και αδρές** πληροφορίες για την ποιότητα του γεωυλικού και συνήθως γίνεται κατά τη δειγματοληψία γεωτρήσεως.

Κατά τη διάτρηση ενός πετρώματος, το υλικό που περνάει μέσα στον δειγματολήπτη χωρίζεται σε:

- α) Πυρήνες μήκους μεγαλύτερου των 10 cm
- β) Πυρήνες μήκους μικρότερου των 10 cm
- γ) Θραύσματα του πετρώματος
- δ) Υλικό που έχει χαθεί κατά τη δειγματοληψία.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

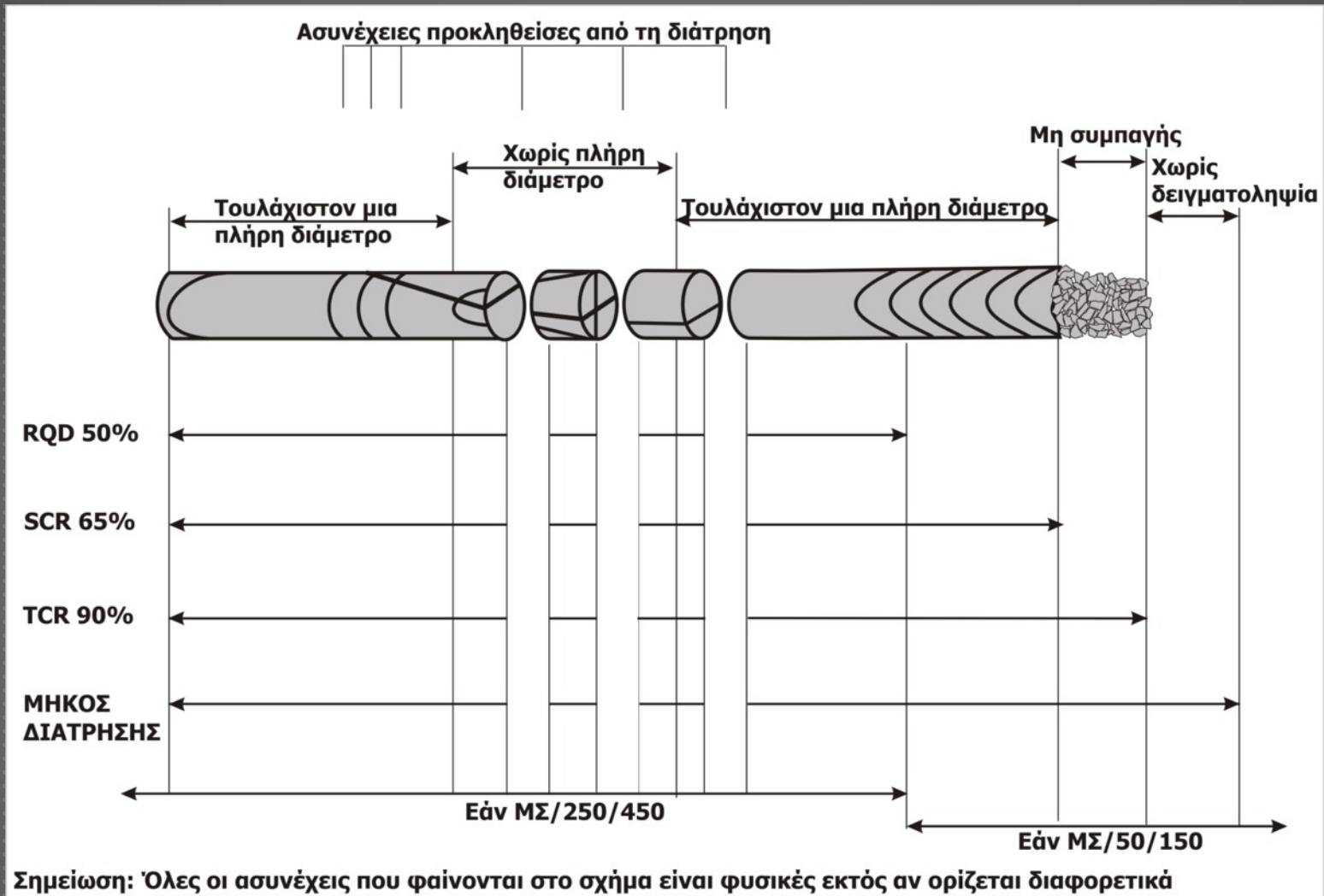
RQD – TCR - SCR



- α) Πυρήνες μήκους μεγαλύτερου των 10 cm
- β) Πυρήνες μήκους μικρότερου των 10 cm
- γ) Θραύσματα του πετρώματος
- δ) Υλικό που έχει χαθεί κατά τη δειγματοληψία.

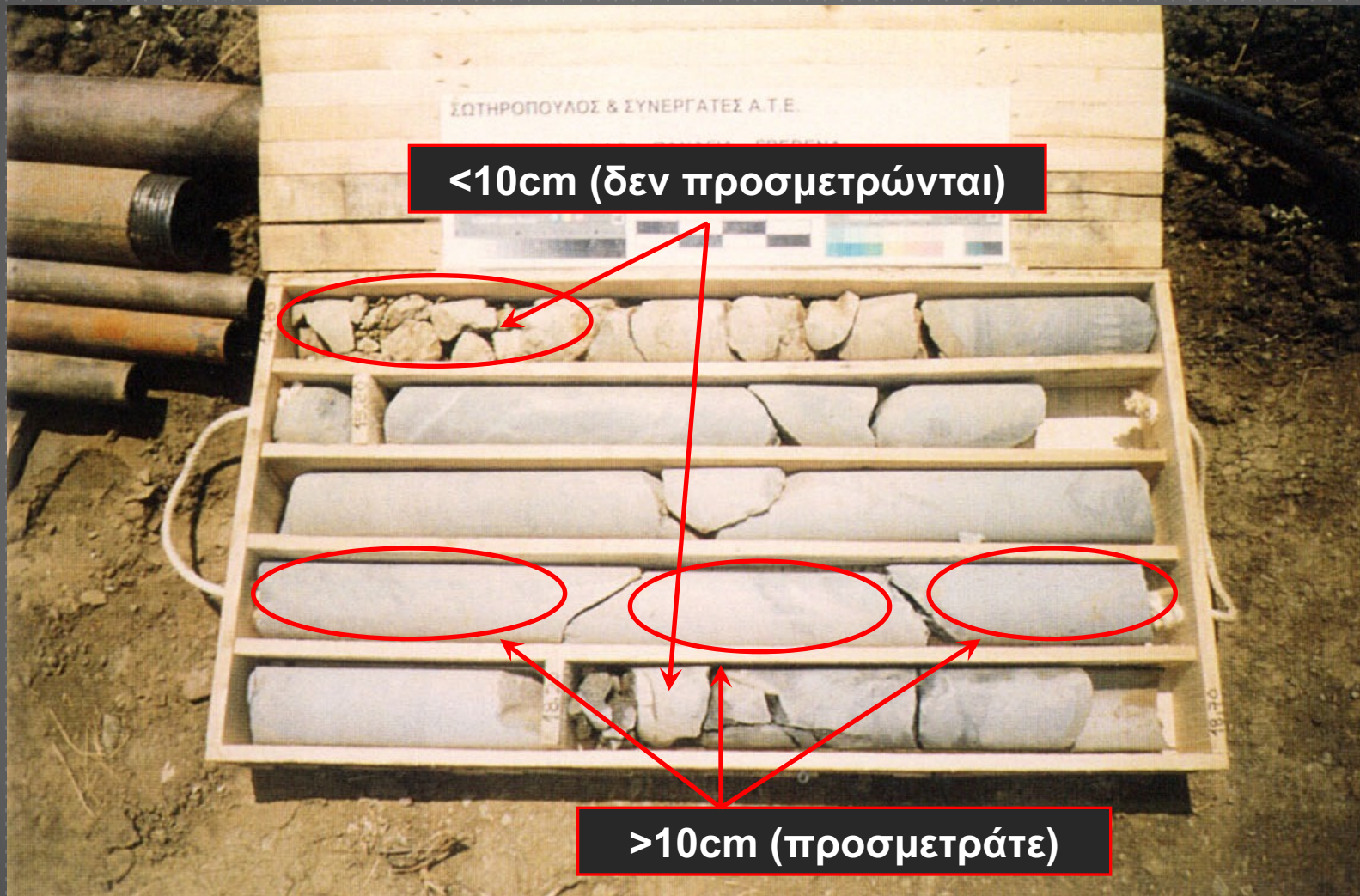
ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

RQD – TCR - SCR



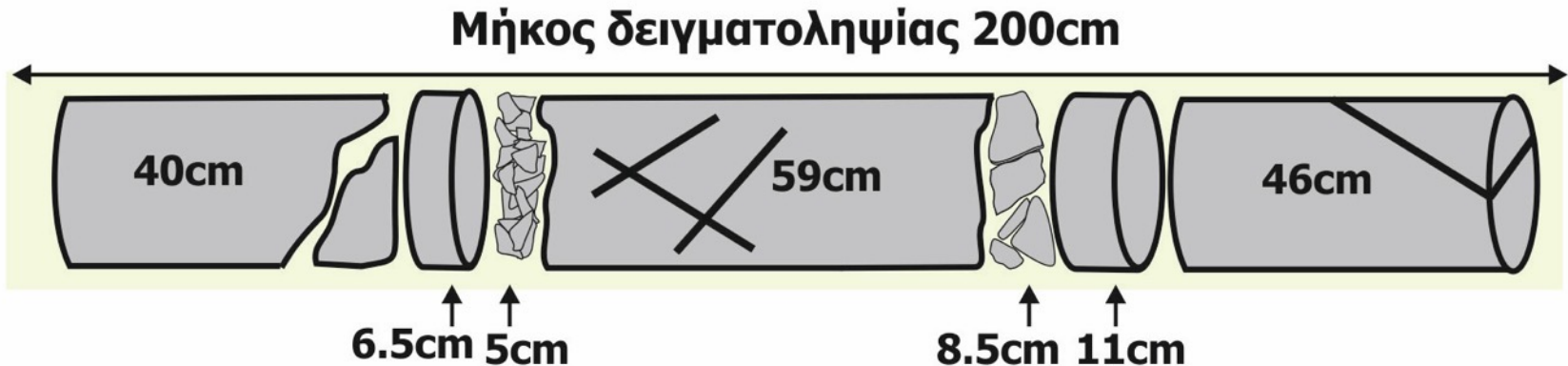
Σχηματική απεικόνιση – ορισμοί των RQD, TCR και SCR.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ RQD



ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

RQD – TCR - SCR



$$\text{TCR} = \frac{40 + 6.5 + 5 + 59 + 8.5 + 11 + 46}{200} \times 100 = 88\%$$

$$\text{SCR} = \frac{40 + 6.5 + 59 + 11 + 46}{200} \times 100 = 81.2\%$$

$$\text{RQD} = \frac{40 + 59 + 11 + 46}{200} \times 100 = 78\%$$

Παράδειγμα υπολογισμού RQD, TCR και SCR.

Εμφάνιση πυρήνων
γεώτρησης μολασσικού
πετρώματος (εναλλαγές
ψαμμίτη-ιλυολίθου) αμέσως
μετά τη δειγματοληψία.

Εμφάνιση των ίδιων
πυρήνων που
εμφανίζεται στο πάνω
Σχήμα αλλά μετά από 6
μήνες, στην αποθήκη
που εφυλάσσοντο. Ο
ψαμμίτης παραμένει
ακέραιος αλλά οι
ιλυόλιθοι εμφανίζουν
σχάση ακολουθούμενη
από κατάρρευση
(διασπορά) του αρχικού
υλικού ιλυολιθικού
πετρώματος.



RQD=60% (60cm από τα τεμάχια
συνολικού μήκους 1m είναι >10cm)

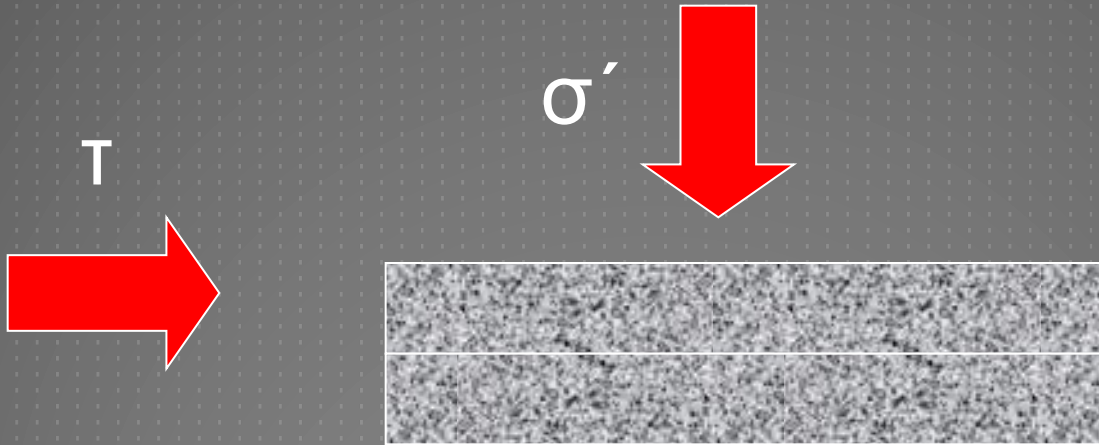
RQD=70% (70cm από τα τεμάχια
συνολικού μήκους 1m είναι >10cm)

RQD=0 (όλα τα τεμάχια επί
συνόλου 1m είναι <10cm)

«ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΒΡΑΧΟΥ-ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ»

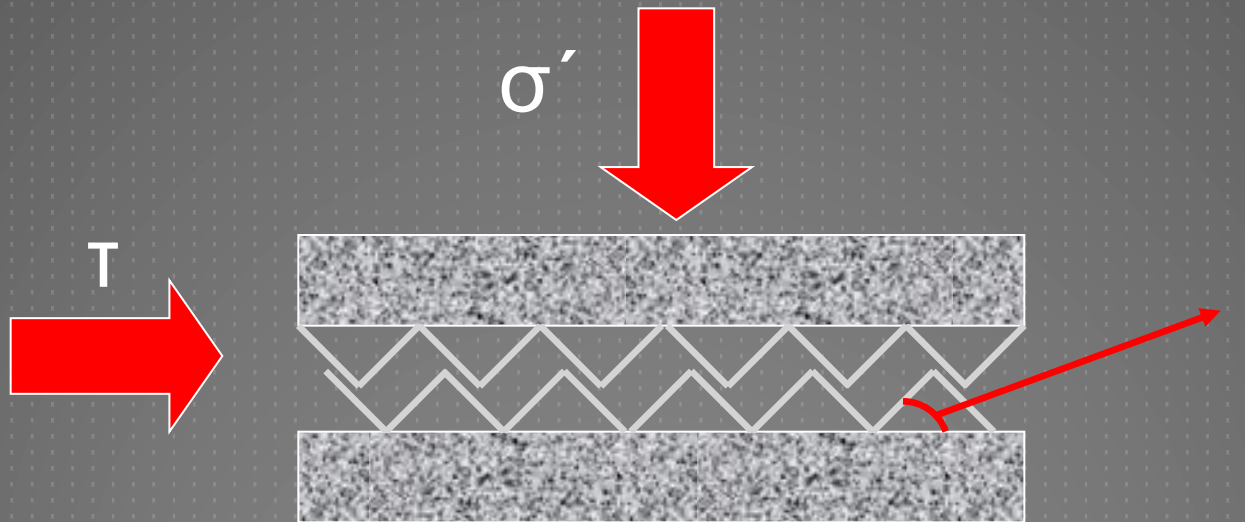
ΑΝΤΟΧΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΒΡΑΧΟΥ

Διατμητική αντοχή ασυνεχειών



$$\tau = \sigma' \tan \phi$$

Διατμητική αντοχή ασυνεχειών

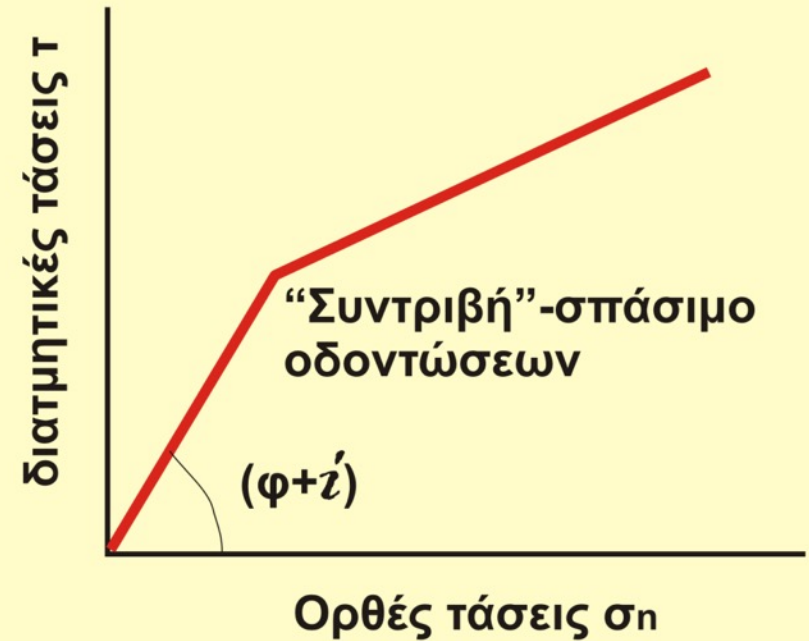
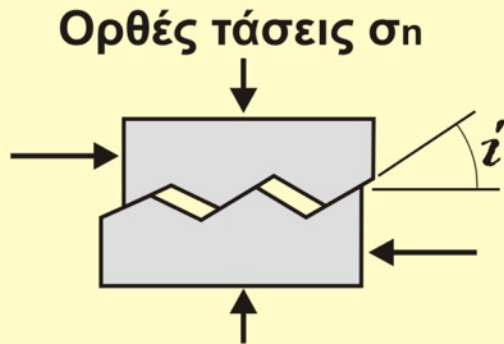


$$\tau = \sigma' \tan(\phi + i)$$

Διατμητική αντοχή ασυνεχειών

Κριτήρια θραύσης

PATTON



Από Hudson & Harrison, 1997

Διατμητική αντοχή ασυνεχειών

Κριτήριο αστοχίας Barton

$$\tau = \sigma_n \tan(\varphi_b + JRC \log JCS / \sigma_n)$$

$$\tau = \sigma' \tan(\phi + i)$$

φ_b



Βασική γωνία τριβής του άρρηκτου βράχου.
Υπολογίζεται από πειράματα σε λείες επιφάνειες

JRC



Συντελεστής τραχύτητας. Υπολογίζεται με βάση τυποποιημένα προφίλ.

JCS

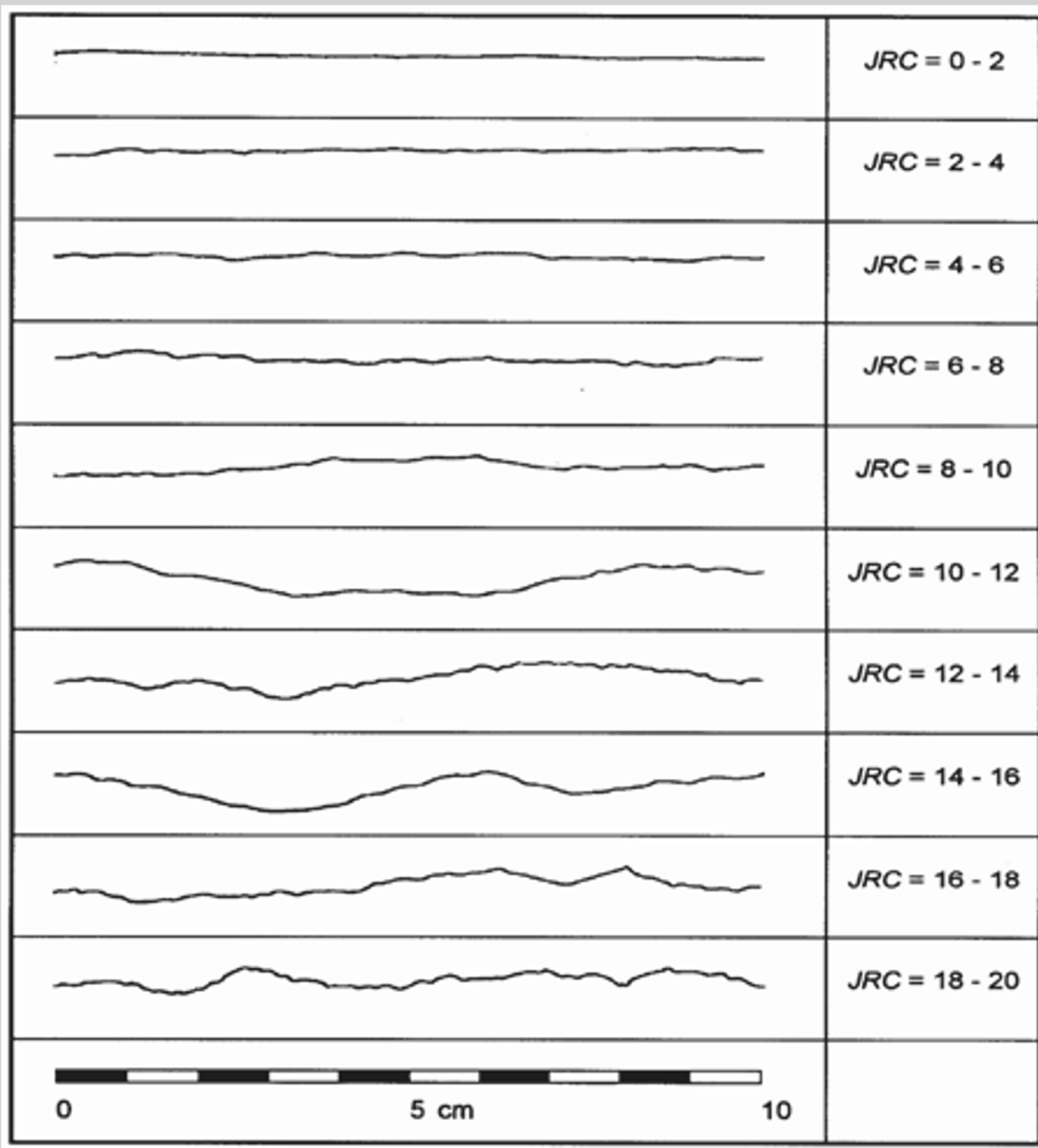


Αντοχή των τοιχωμάτων σε μονοαξονική θλίψη.
Υπολογίζεται έμμεσα από δοκιμές σκληρομέτρησης με τη σφύρα Schmidt.

Συντελεστής τραχύτητας JRC.

Υπολογίζεται με βάση
τυποποιημένα προφίλ.

Εκτίμηση γωνίας i
μέσω του συντελεστή
τραχύτητας
ασυνεχειών JRC
(Barton 1987)

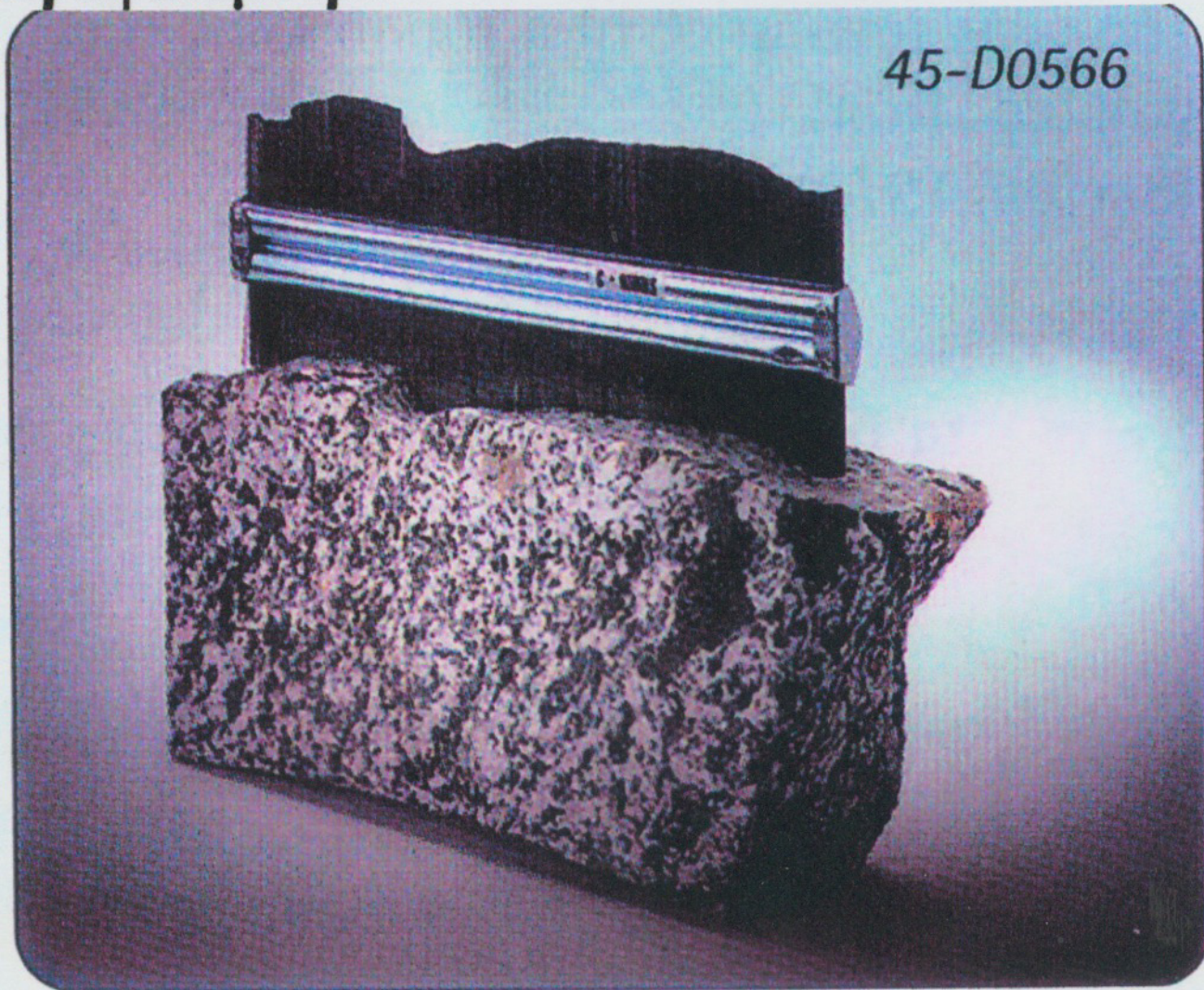


ΤΙΜΗ JRC ΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ
20cm ΚΑΙ 1m (BARTON,
1987)

Description	Profile	JRC 200mm	JRC 1 m
Rough		20	11
Smooth		14	9
Slickensided		11	8
ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ			
Rough		14	9
Smooth		11	8
Slickensided		7	6
ΚΥΜΑΤΟΕΙΔΗΣ			
Rough		2.5	2.3
Smooth		1.5	0.9
Slickensided		0.5	0.4
ΕΠΙΠΕΔΗ			

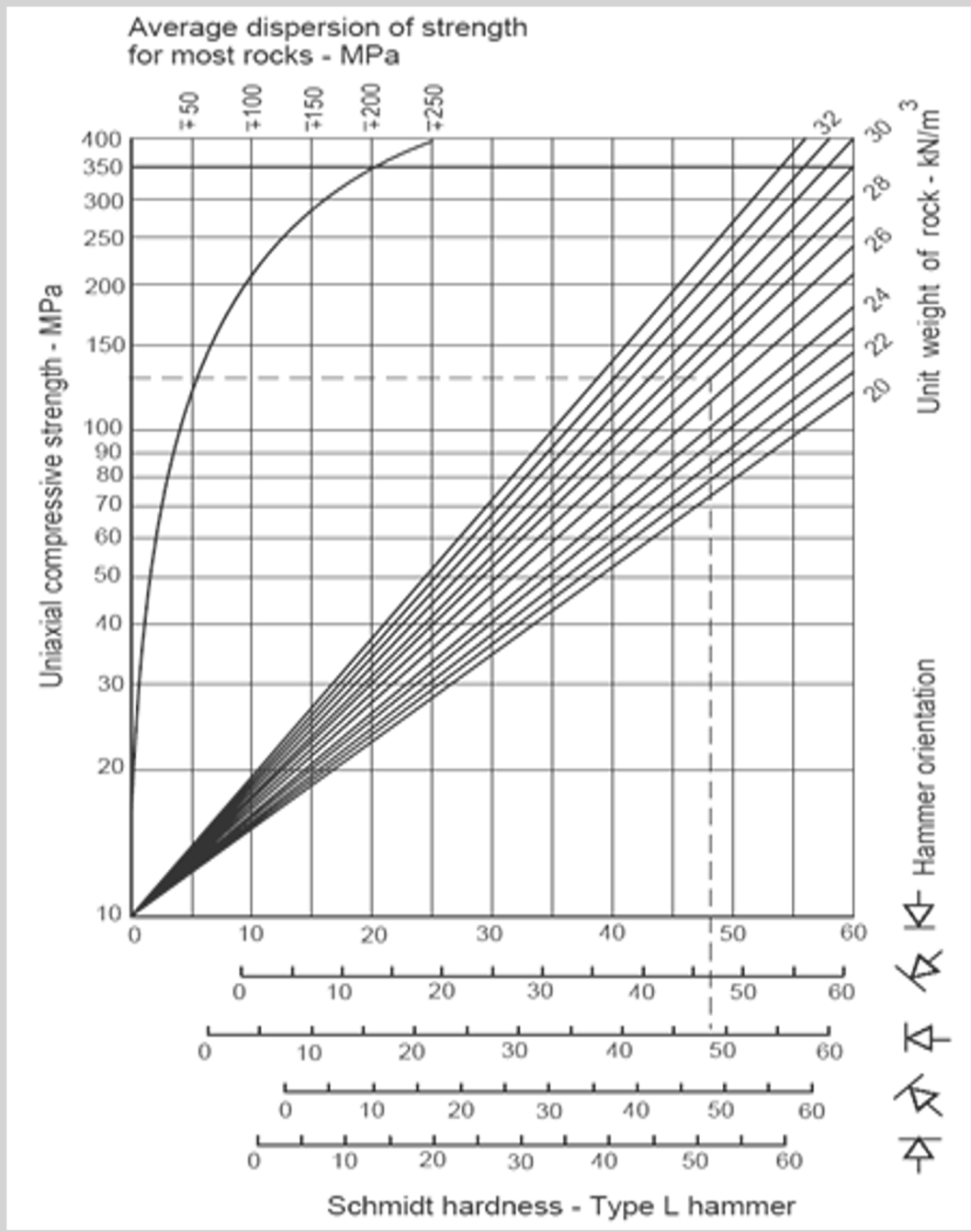
Αποτύπωμα προφίλ ασυνεχείας

Προφιλόμετρο

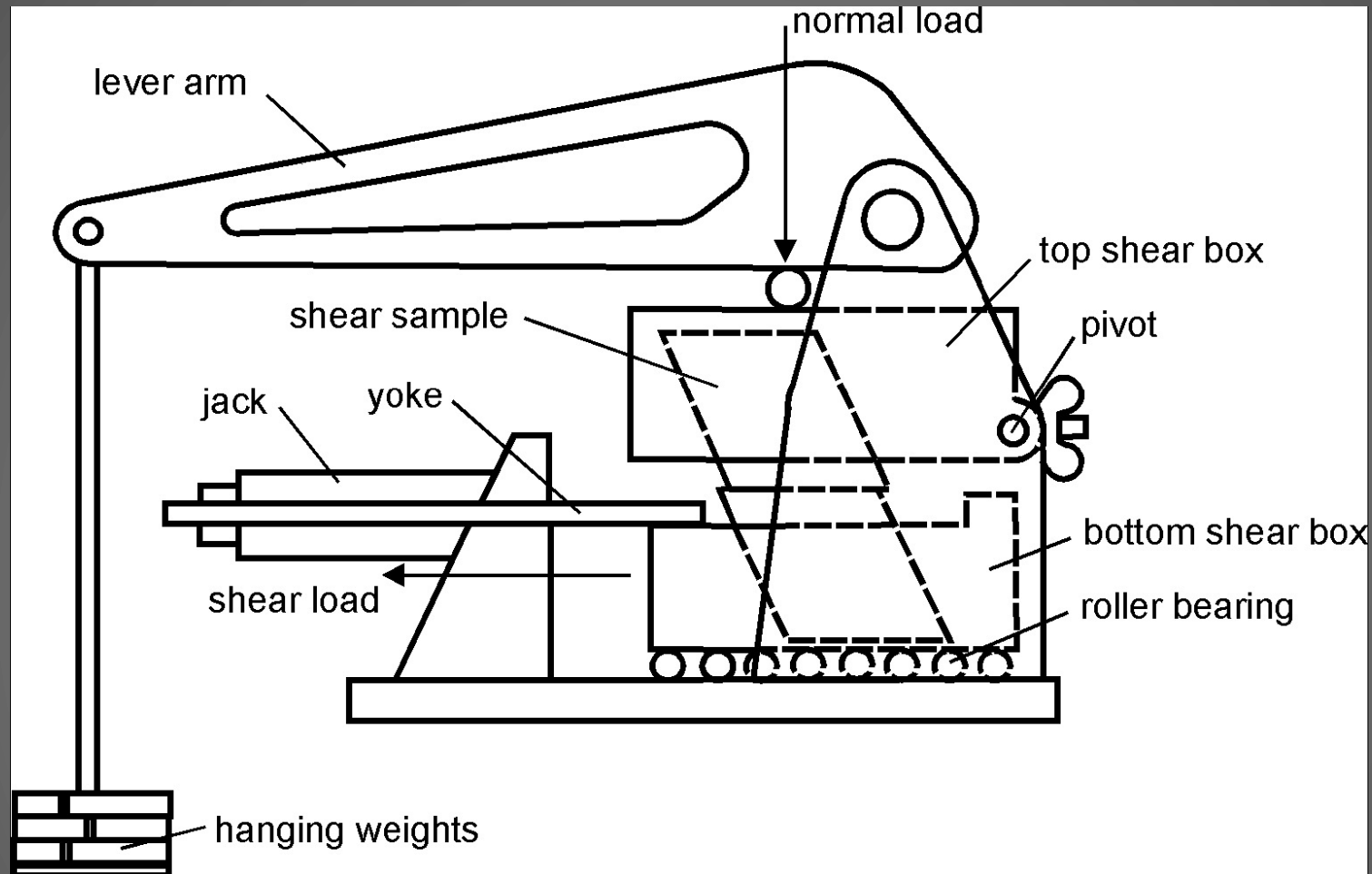


Αντοχή των τοιχωμάτων σε μονοαξονική θλίψη JCS.

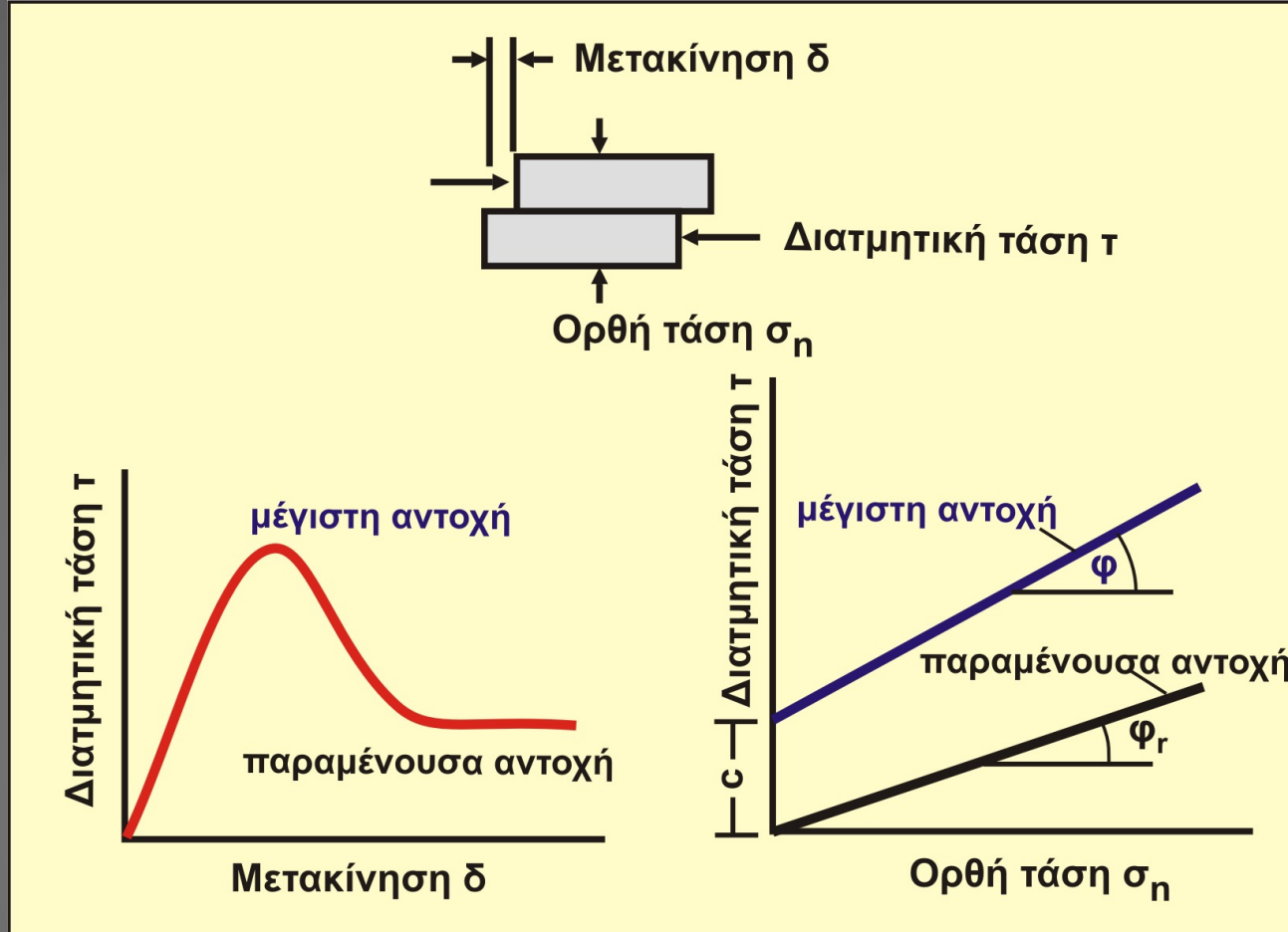
Υπολογίζεται έμμεσα από δοκιμές σκληρομέτρησης με τη σφύρα Schmidt.



Πειραματικός υπολογισμός διατμητικής αντοχής ασυνεχειών



Πειραματικός υπολογισμός διατμητικής αντοχής ασυνεχειών

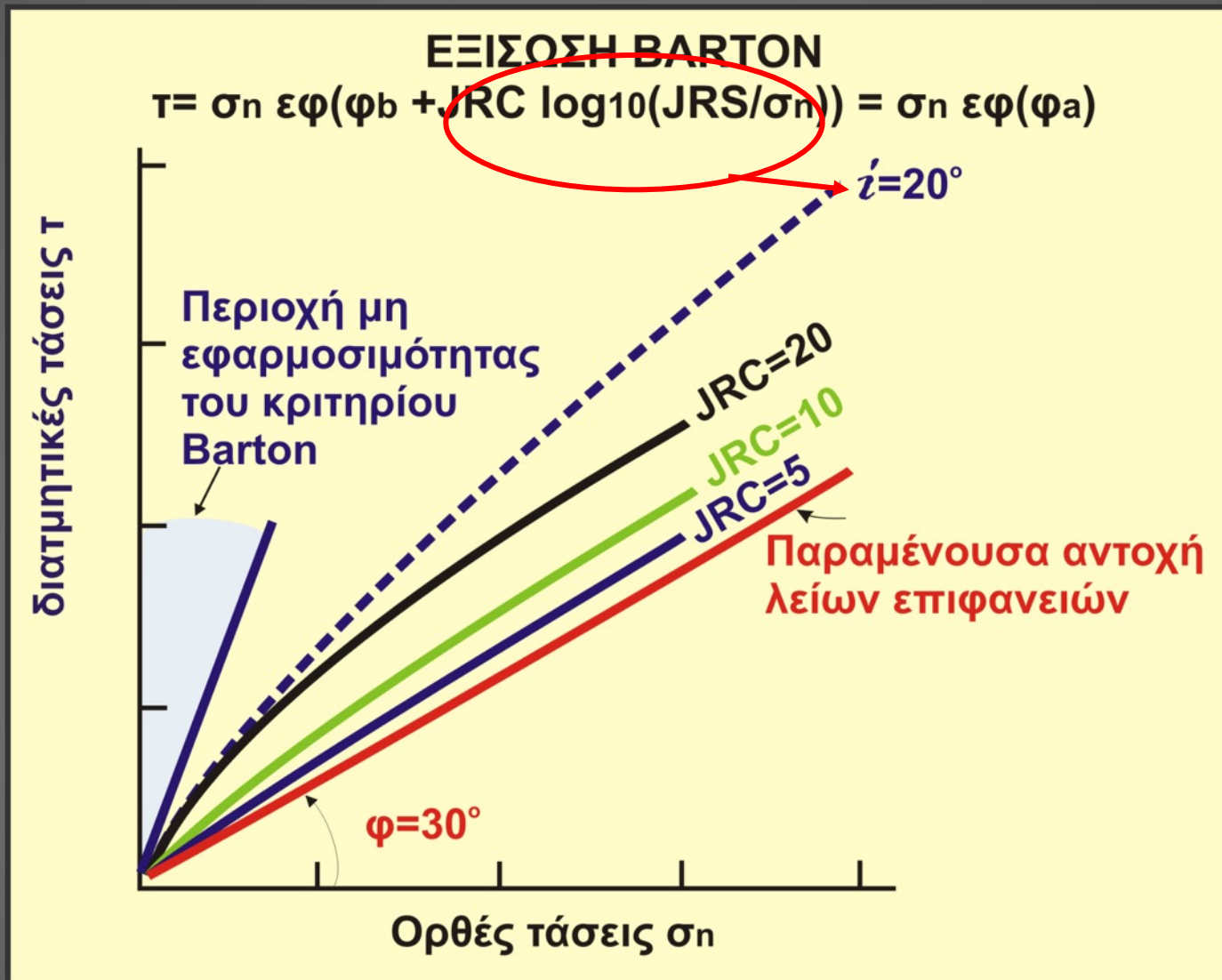


Συσκευή άμεσης διάτμησης ασυνεχειών
Πειραματικός υπολογισμός διατμητικής
αντοχής ασυνεχειών

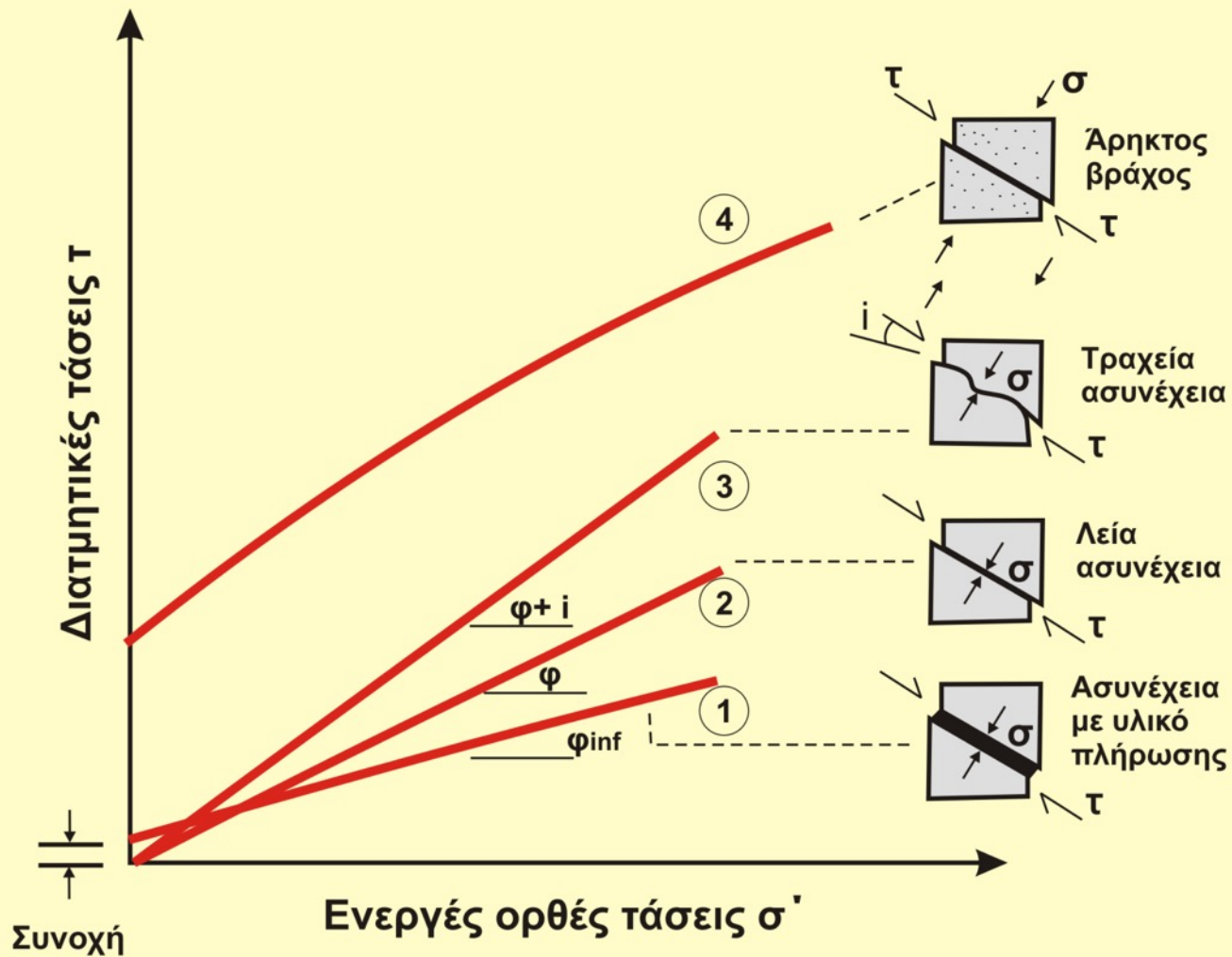


Διατμητική αντοχή ασυνεχειών

Κριτήριο αστοχίας Barton

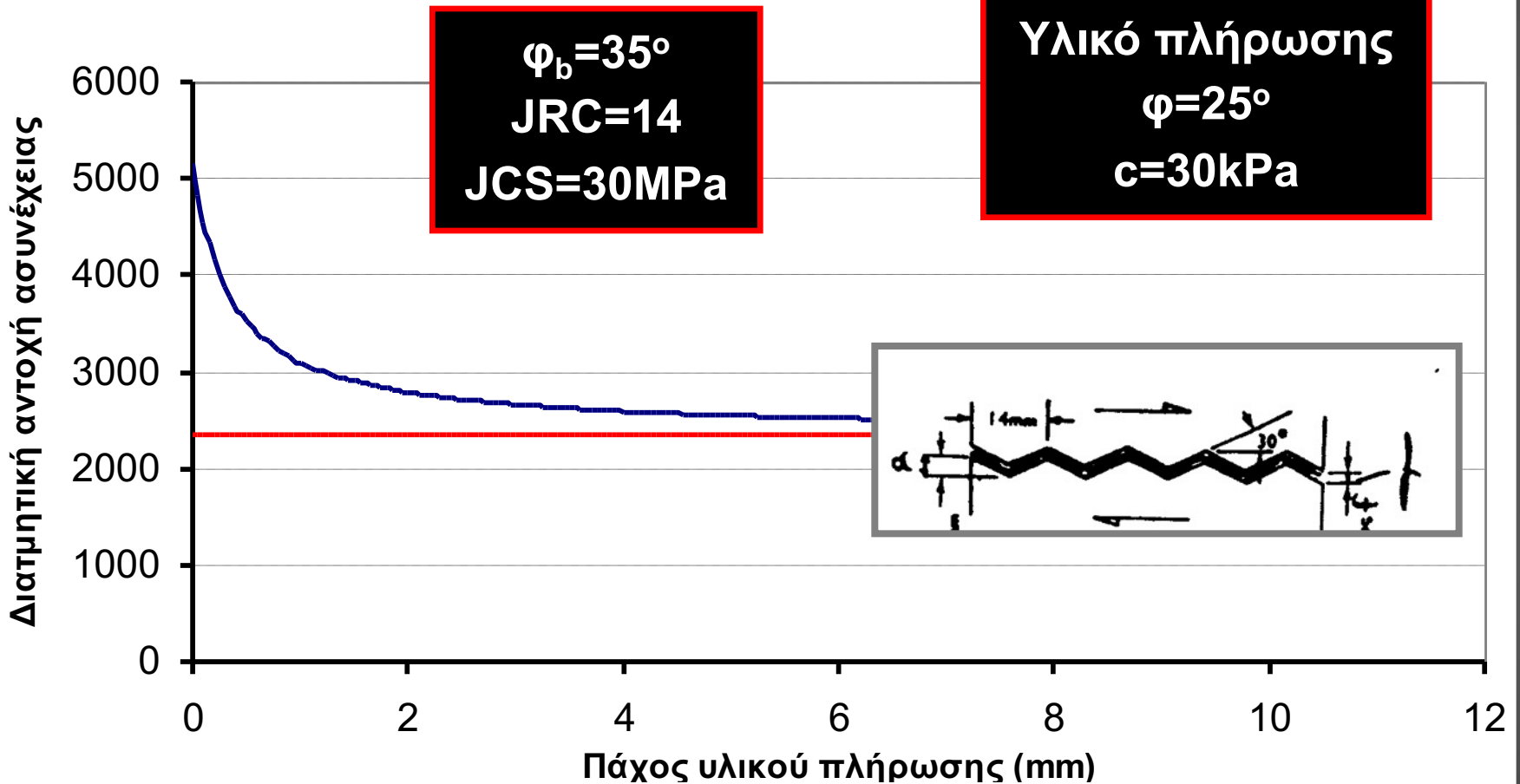


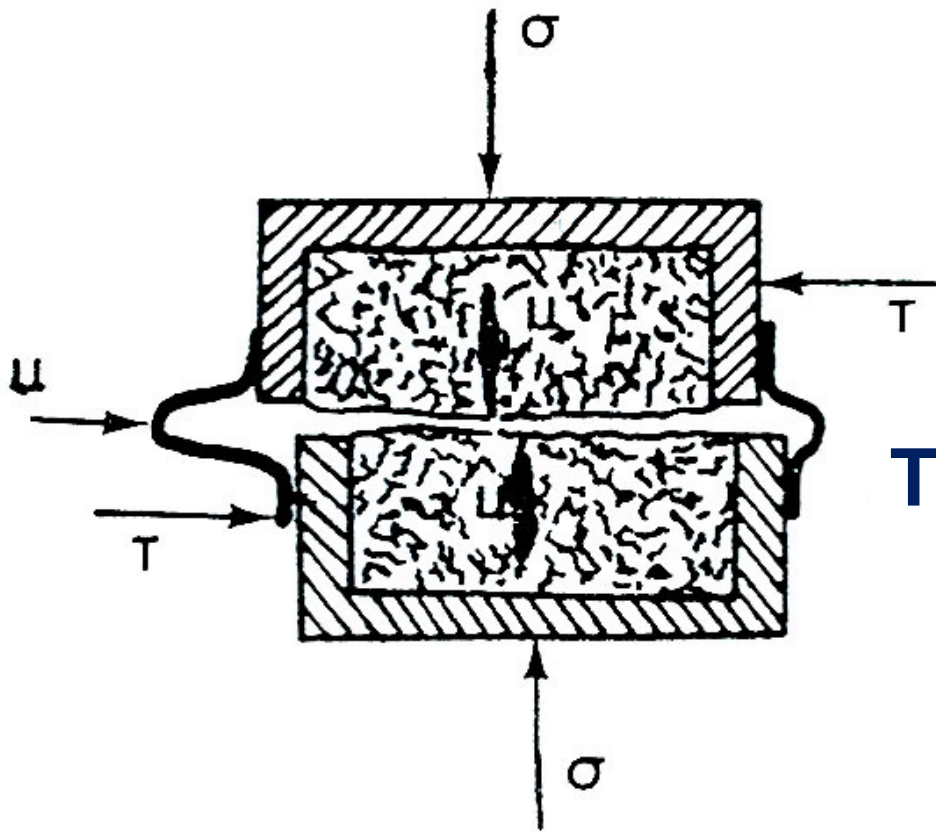
Διατμητική αντοχή ασυνεχειών Συμπερασματικά (Σχηματικά)



Κριτήριο αστοχίας Barton για τις ασυνέχειες

Διατμητική αντοχή ασυνέχειας ως προς πάχος υλικού πλήρωσης





$$\tau = c + (\sigma - u) \epsilon \phi \phi$$

ΕΚΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΕΣΗ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΤΑ c , ϕ , ΑΝ Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΕΙΝΑΙ ΑΡΓΙΛΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ

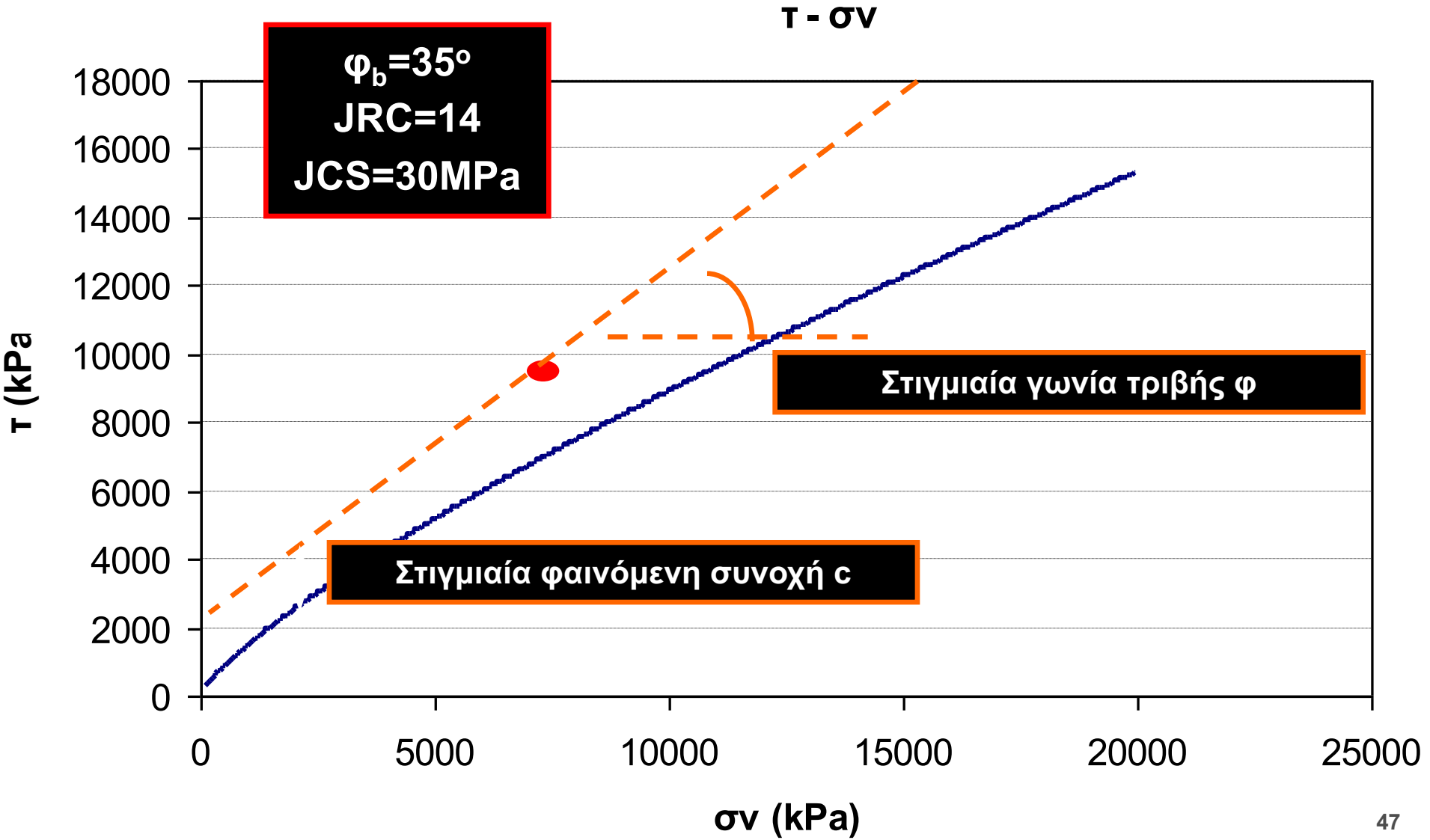
Κριτήριο αστοχίας Barton για τις ασυνέχειες

Άρα:

Για να σχεδιάσω την καμπύλη αντοχής (τ - σ) μίας ασυνέχειας

- ❖ Υπολογίζω τη ϕ_b του πετρώματος με πειράματα σε λείασμένες ασυνέχειες
- ❖ Υπολογίζω το JRC από τα τυποποιημένα προφίλ
- ❖ Υπολογίζω το JCS από τις αναπηδήσεις της σφύρας Schmidt

Κριτήριο αστοχίας Barton για τις ασυνέχειες



Χρησιμοποιήστε το κριτήριο
αστοχίας Hoek-Brown

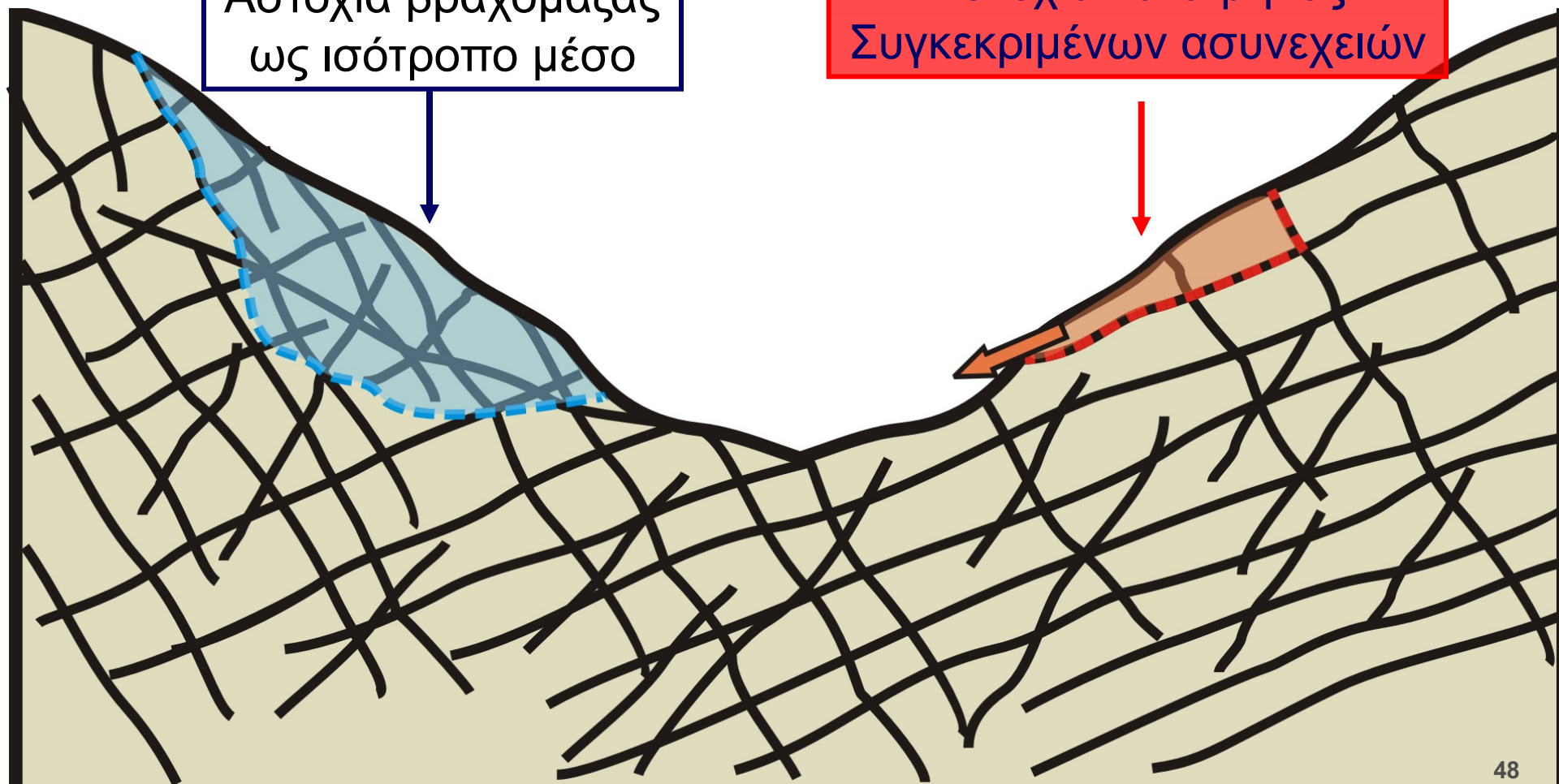
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Αστοχία βραχόμαζας
ως ισότροπο μέσο

Χρησιμοποιήστε το κριτήριο
αστοχίας Barton

$$\tau = \sigma' \tan(\phi_b + JRC \log \frac{JSC}{\sigma'})$$

Αστοχία κατά μήκος
Συγκεκριμένων ασυνεχειών



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία - Σημειώσεις

- © Hoek, E., 2007. Practical Rock Engineering. Notes on Internet (www.rocscience.com/hoek/hoek.asp).
- © Hudson A.J, and Harrison P.J, 1997. Engineering rock mechanics.

Δημοσιεύσεις

- © Barton, N. and Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, **10**(1-2), pp. 1-54.