

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

## 3<sup>ο</sup> Μάθημα “Ιδιότητες Βραχομάζας”

Διδάσκων: Β. Μαρίνος, Επ. Καθηγητής

- Γεωτεχνικός Τομέας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

[marinosv@civil.ntua.gr](mailto:marinosv@civil.ntua.gr)

# ΤΟ ΓΕΩΥΛΙΚΟ: ΒΡΑΧΟΣ - ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

- ▶ Άρρηκτος βράχος: Βράχος χωρίς ασυνέχειες
- ▶ Βραχόμαζα: Σύνολο τεμαχίων – μπλοκ βράχων διαχωριζόμενων από ασυνέχειες

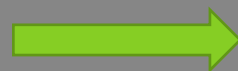
- ◎ Τα τεχνικά έργα σχεδόν κατά κανόνα κατασκευάζονται επί ή εντός κερματισμένου-διαταραγμένου βραχώδους υλικού (βραχόμαζα) και όχι σε άρρηκτο βράχο.
- ◎ Συνεπώς, τελικός στόχος οι ιδιότητες (διατμητική αντοχή και παραμορφωσιμότητα) της βραχόμαζας.

# Η αντοχή των περισσότερων πετρωμάτων >> επιβαλλόμενη τάση από τα τεχνικά έργα

Εξαιρέσεις: - ασθενή αργιλικά πετρώματα  
- πολύ αποσαθρωμένα  
- ρωγματωμένα

## Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ( $q_u$ , UCS, $\sigma_c$ )

- Σκυρόδεμα  $\approx 15-35$  MPa
- Κρυσταλλικά με πορώδες  $< 1\% \Rightarrow \sigma_c > 100$  MPa
- Ιζηματογενή με πυκνότητα  $< 23$  kN/m<sup>3</sup>  $\Rightarrow \sigma_c < 70$  MPa



**Μείωση αντοχής**

Βασάλτης, γρανίτης χαλαζίτης, γνεύσιος, ψαμμίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, σχιστόλιθος, ιλυόλιθος, μάργα, αργιλικός σχιστόλιθος, αργιλόλιθος, γύψος, ορυκτό αλάτι, πολύ αποσαθρωμένα πετρώματα

# Ποιο είναι το υλικό που μελετάμε ?

## Βραχώμαζα

- ✘ Άρρηκτο βράχο
- ✘ Ασυνέχειες

# **ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ:**

ΑΡΡΗΚΤΑ ΤΕΜΑΧΗ + ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ  
(ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΙ  
ΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ)



# ΔΟΜΗ

1. Εισαγωγή
2. Αντοχή και παραμορφωσιμότητα Άρρηκτου βράχου
3. Αντοχή και παραμορφωσιμότητα βραχόμαζας
4. Αντοχή Ασυνεχειών - αστοχίες

### 3. Διατμητική αντοχή και παραμόρφωση Βραχόμαζας

Εκτίμηση των ιδιοτήτων διατμητικής αντοχής και του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχόμαζας:

- Εργαστηριακές δοκιμές  
*(μη δυνατές)*
- Επί τόπου δοκιμές  
*(Υψηλό κόστος – πρόβλημα κλίμακας)*
- Ανάστροφες αναλύσεις  
*(ακριβέστερη μέθοδος)*
- Χρήση ταξινομήσεων βραχόμαζας  
*(RQD, Q, RMR, GSI ...)*  
*(Εμπειρική – άμεση)*

# ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΗΟΕΚ – BROWN ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

Γενικευμένο κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown για  
βραχώμαζες:

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

Hoek and Brown, 2002

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) < m_i$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) < 1$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) > 0.5$$



# ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΗΟΕΚ – BROWN ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

## Άρρηκτος βράχος

Κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown  
για άρρηκτο βράχο:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0.5}$$

$m_i$

1

0.5

Κριτήριο αστοχίας  
Mohr - Coulomb

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

## Βραχόμαζα

Γενικευμένο κριτήριο αστοχίας  
Hoek & Brown για βραχόμαζες:

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

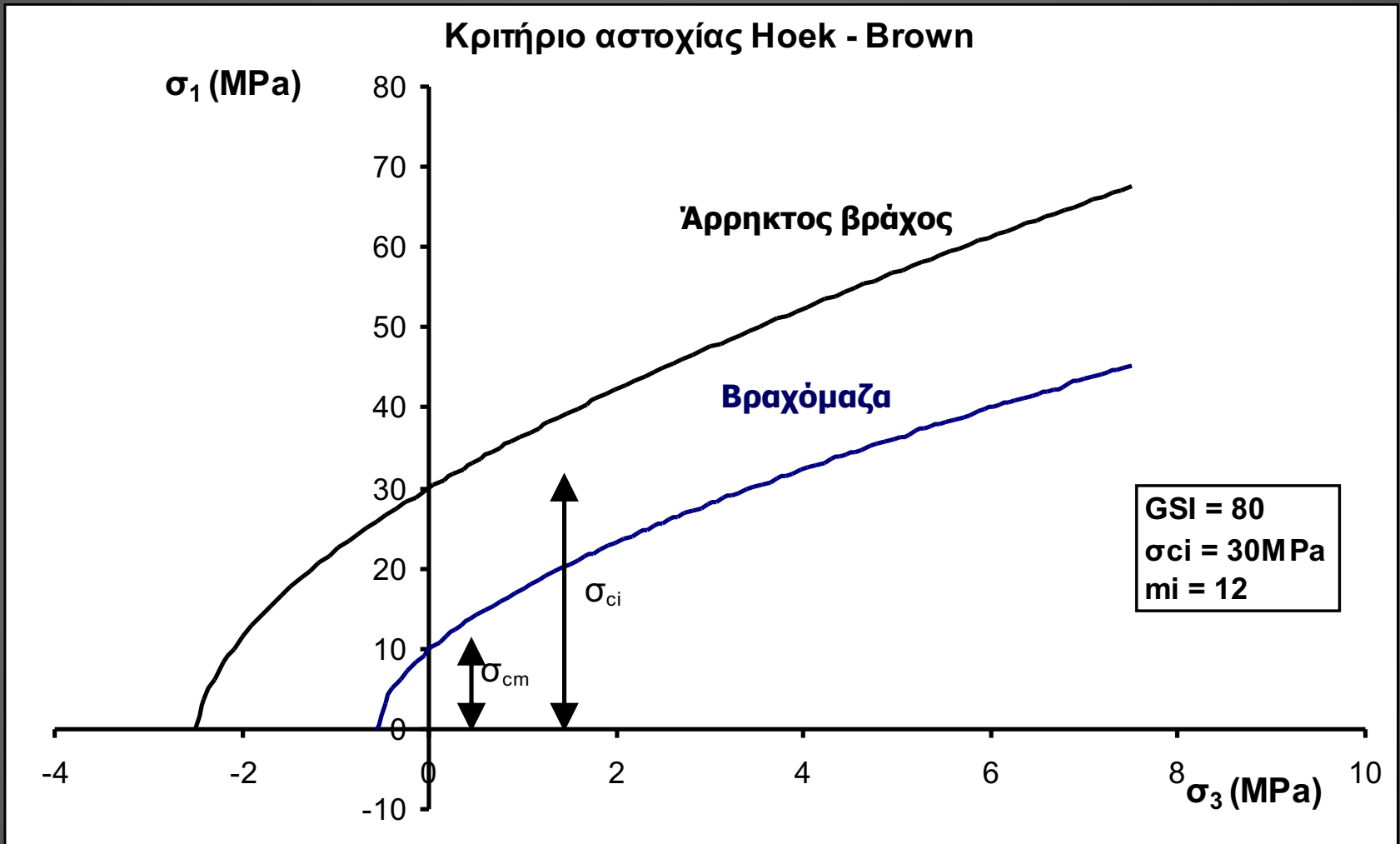
$m_b$

$s$

$a$

Απομειωμένα ανάλογα με  
το πόσο «απέχει» η  
βραχόμαζα από τον  
άρρηκτο βράχο...

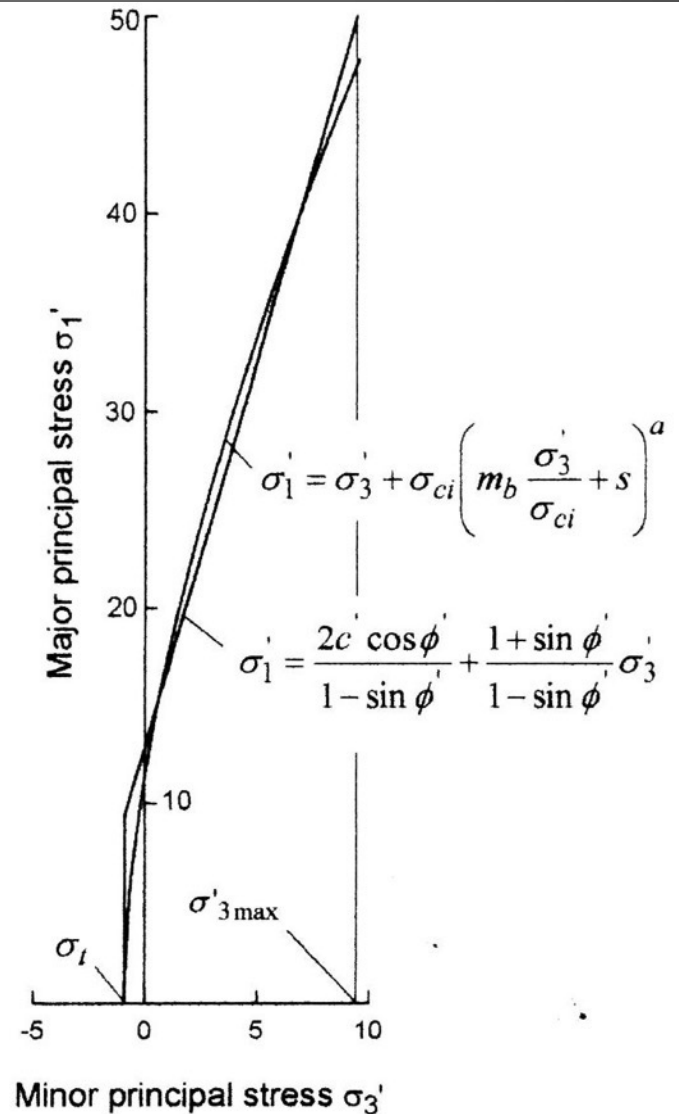
# Σύγκριση βράχου – βραχόμαζας στο κριτήριο Hoek and Brown



# ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΗΟΕΚ – BROWN ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

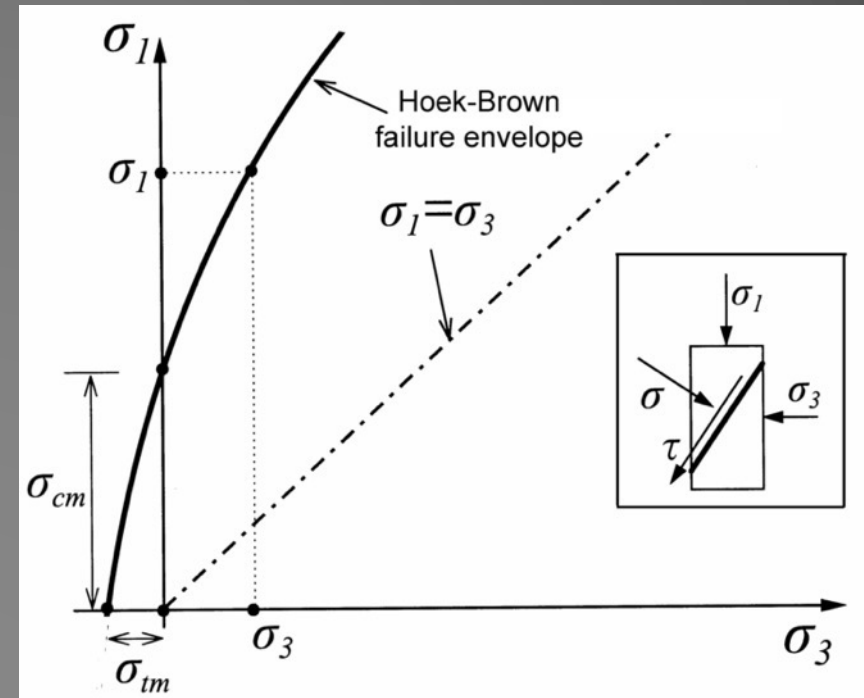
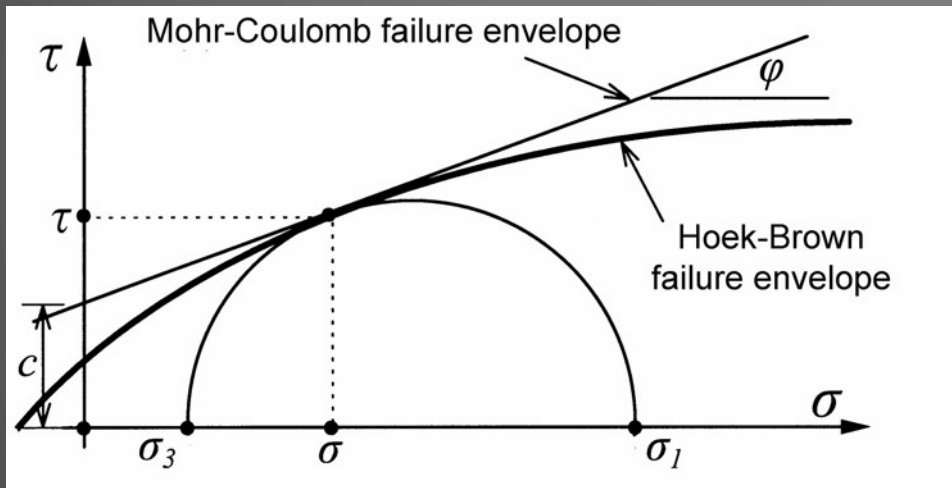
$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[ (1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n} \right] (s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left( 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$



# Κριτήριο αστοχίας Hoek – Brown για την βραχώμαζα

Υπολογισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής ( $c$  και  $\phi$ ) της βραχώμαζας μέσω ταύτισης των δύο καμπύλων θραύσης Hoek – Brown και Mohr – Coulomb για δεδομένο  $\sigma_3$ .



# Κριτήριο αστοχίας Hoek – Brown για την βραχόμαζα

Για να προσδιορίσουμε την αντοχή της βραχόμαζας χρειαζόμαστε τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Αντοχή άρρηκτου βράχου (Εργαστηριακές δοκιμές)
  - Μονοαξονική θλιπτική αντοχή  $\sigma_{ci}$
  - Σταθερά υλικού  $m_i$
2. Παράγοντες απομείωσης της αντοχής του άρρηκτου βράχου (Γεωτρήσεις, επιτόπου παρατήρηση, εμπειρία)
  - Βαθμονόμηση της ποιότητας της βραχόμαζας (συστήματα ταξινόμησης, π.χ. GSI)
  - Διατάραξη της βραχόμαζας κατά την κατασκευή (D)







# ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

- ▶ Εμπειρικές μέθοδοι «ποσοτικοποίησης» της ποιότητας της βραχόμαζας, με βάση κάποια χαρακτηριστικά της, όπως:
  - ▶ Δομή - κερματισμός, αντοχή άρρηκτου βράχου, ποιότητα και πλήθος ασυνεχειών, παρουσία νερού κλπ.
  - $Q_{NGI}$  (Barton 1974)
  - RMR (Bieniawski 1979)
  - Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI (Hoek & Marinos 2000)

# Διατμητική αντοχή της βραχόμαζας Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας GSI

Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής  
GSI (Hoek & Marinos, 2000)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Μαρινός, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ					
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχόμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν διασμένη προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΠΤΩΧΗ	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ	
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →					
	<b>ΑΡΡΗΚΤΗ</b> Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90				N/A	N/A
	<b>ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ / ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ</b> Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70				
	<b>ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ</b> Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		60	50			
	<b>ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ</b> Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας			40	30		
	<b>ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ</b> Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχών				20		
	<b>ΦΥΛΛΩΔΗΣ / ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ</b> Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχών (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	N/A	N/A				10
		← ΜΕΙΩΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ					

# GSI for jointed rock masses, Hoek & Marinos 2000

## GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS

(Hoek and Marinos, 2000)

From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures.

Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

### STRUCTURE



**INTACT OR MASSIVE**  
intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities



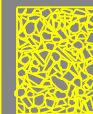
**BLOCKY** - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets



**VERY BLOCKY** - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets



**BLOCKY/DISTURBED/SEAMY** folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity



**DISINTEGRATED**  
poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces



**LAMINATED/SHEARED**  
Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes

### SURFACE CONDITIONS

#### VERY GOOD

Very rough, fresh unweathered surfaces

#### GOOD

Rough, slightly weathered, iron stained surfaces

#### FAIR

Smooth, moderately weathered and altered surfaces

#### POOR

Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments

#### VERY POOR

Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

DECREASING SURFACE QUALITY



### DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES




90				N/A	N/A
80					
	70				
	60				
		50			
		40			
			30		
				20	
N/A	N/A				10



# GSI for jointed rock masses,

## Hoek & Marinos 2000


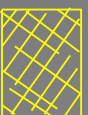


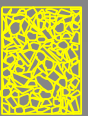

STRUCTURE	GSI
 <p><b>INTACT OR MASSIVE</b> intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	90
 <p><b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	80
 <p><b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>	70
 <p><b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>	60
 <p><b>DISINTEGRATED</b> poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>	50
 <p><b>LAMINATED/SHEARED</b> Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>	40

### GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS

(Hoek and Marinos, 2000)

From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures.

Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
	DECREASING SURFACE QUALITY →				
 <p><b>INTACT OR MASSIVE</b> intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	90			N/A	N/A
 <p><b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	80	70			
 <p><b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>		60	50		
 <p><b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>			40		
 <p><b>DISINTEGRATED</b> poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>				30	
 <p><b>LAMINATED/SHEARED</b> Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>					20
	N/A	N/A			10

# GSI for jointed rock masses, Hoek & Marinos 2000

## SURFACE CONDITIONS

X:

### VERY GOOD

Very rough, fresh unweathered surfaces

### GOOD

Rough, slightly weathered, iron stained surfaces

### FAIR

Smooth, moderately weathered and altered surfaces

### POOR

Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments

### VERY POOR

Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

## GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS

(Hoek and Marinos, 2000)

From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

## STRUCTURE

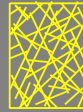


### INTACT OR MASSIVE

intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities



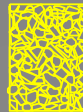
**BLOCKY** - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets



**VERY BLOCKY** - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets



**BLOCKY/DISTURBED/SEAMY** folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity



### DISINTEGRATED

poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces



### LAMINATED/SHEARED

Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes

## SURFACE CONDITIONS

### VERY GOOD

Very rough, fresh unweathered surfaces

### GOOD

Rough, slightly weathered, iron stained surfaces

### FAIR

Smooth, moderately weathered and altered surfaces

### POOR

Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments

### VERY POOR

Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

DECREASING SURFACE QUALITY

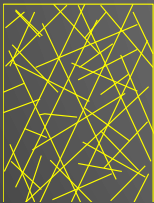


## DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES



90				N/A	N/A
80					
	70				
	60				
		50			
		40			
			30		
				20	
N/A	N/A				10

# GSI for jointed rock masses



**VERY BLOCKY**- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets

## GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS


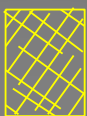


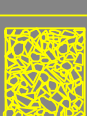
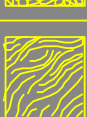
(Hoek and Marinos, 2000)

From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

SURFACE CONDITIONS

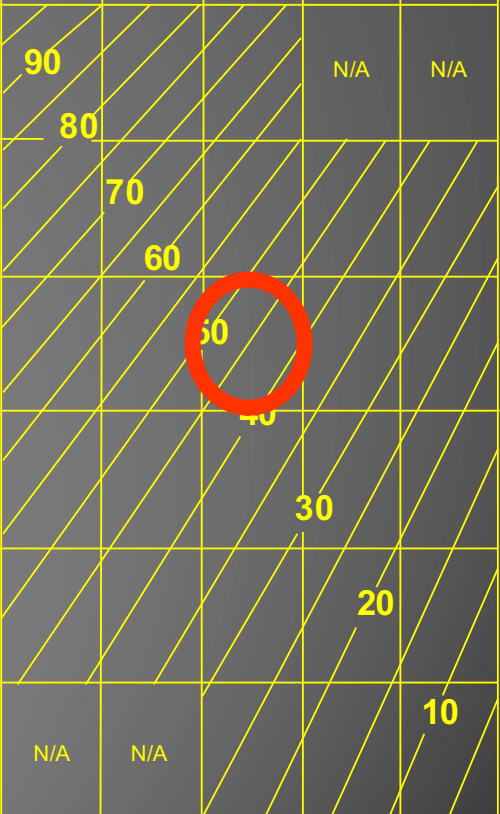
<b>VERY GOOD</b> Very rough, fresh unweathered surfaces	<b>GOOD</b> Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	<b>FAIR</b> Smooth, moderately weathered and altered surfaces	<b>POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	<b>VERY POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
--	---	--	---	---

### STRUCTURE

 <b>INTACT OR MASSIVE</b> intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 <b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	 <b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	 <b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	 <b>DISINTEGRATED</b> poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 <b>LAMINATED/SHEARED</b> Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes
---	--	--	--	---	--

DECREASING SURFACE QUALITY →

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES



# GSI for jointed rock masses


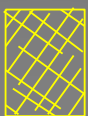



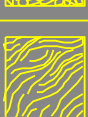


**BLOCKY/DISTURBED/SEAMY** folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity

## GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS

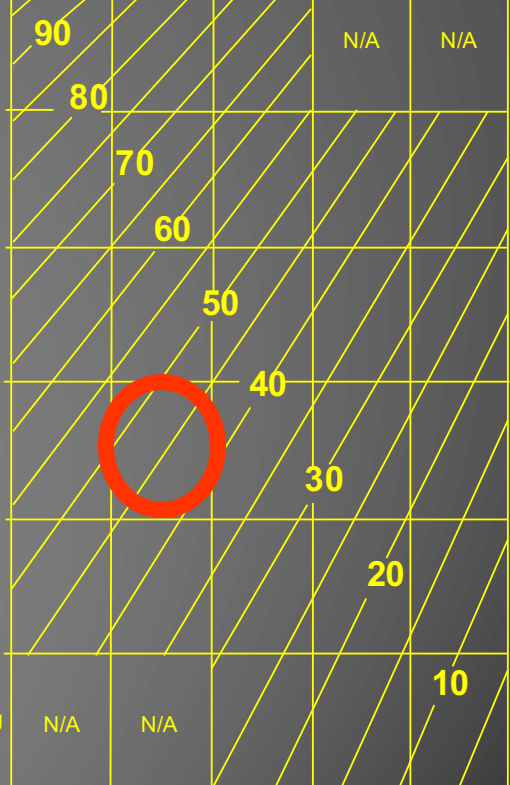
(Hoek and Marinos, 2000)  
 From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures.  
 Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

### STRUCTURE

	<b>INTACT OR MASSIVE</b> intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities
	<b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets
	<b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets
	<b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity
	<b>DISINTEGRATED</b> poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces
	<b>LAMINATED/SHEARED</b> Lackof blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes

<b>VERY GOOD</b> Very rough, fresh unweathered surfaces	<b>GOOD</b> Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	<b>FAIR</b> Smooth, moderately weathered and altered surfaces	<b>POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	<b>VERY POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
--	---	--	---	---

DECREASING SURFACE QUALITY →



# GSI for jointed rock masses



## GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS

(Hoek and Marinos, 2000)

From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures.


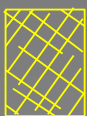
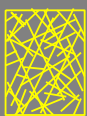

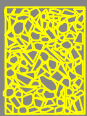
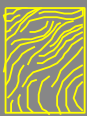
Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

SURFACE CONDITIONS

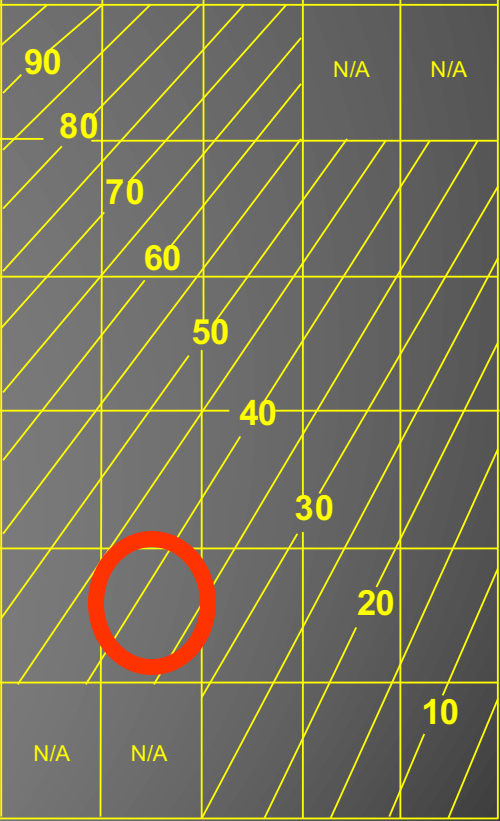
<b>VERY GOOD</b> Very rough, fresh unweathered surfaces	<b>GOOD</b> Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	<b>FAIR</b> Smooth, moderately weathered and altered surfaces	<b>POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	<b>VERY POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
--	---	--	---	---

### STRUCTURE

DECREASING SURFACE QUALITY →

 <b>INTACT OR MASSIVE</b> intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 <b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	 <b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	 <b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	 <b>DISINTEGRATED</b> poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 <b>LAMINATED/SHEARED</b> Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes
---	--	--	--	---	--

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES



# GSI for jointed rock masses



**LAMINATED/SHEARED**  
Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes

## GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS

(Hoek and Marinos, 2000)  
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

### SURFACE CONDITIONS

<b>VERY GOOD</b> Very rough, fresh unweathered surfaces	<b>GOOD</b> Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	<b>FAIR</b> Smooth, moderately weathered and altered surfaces	<b>POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	<b>VERY POOR</b> Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
--	---	--	---	---

### STRUCTURE

<b>INTACT OR MASSIVE</b> intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	<b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	<b>VERY BLOCKY</b> - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	<b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	<b>DISINTEGRATED</b> poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	<b>LAMINATED/SHEARED</b> Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes
--	---	---	---	--	---

DECREASING SURFACE QUALITY →

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓

90				N/A	N/A
80					
	70				
	60				
		50			
		40			
			30		
				20	
N/A	N/A				10



# ■ Θέσεις βαθμονόμησης

1. Σε πρηνή-ορύγματα: Αξιολόγηση στην κλίμακα του έργου – βαθμονόμηση της βραχομάζας που θέλουμε να μελετήσουμε αν αστοχήσει



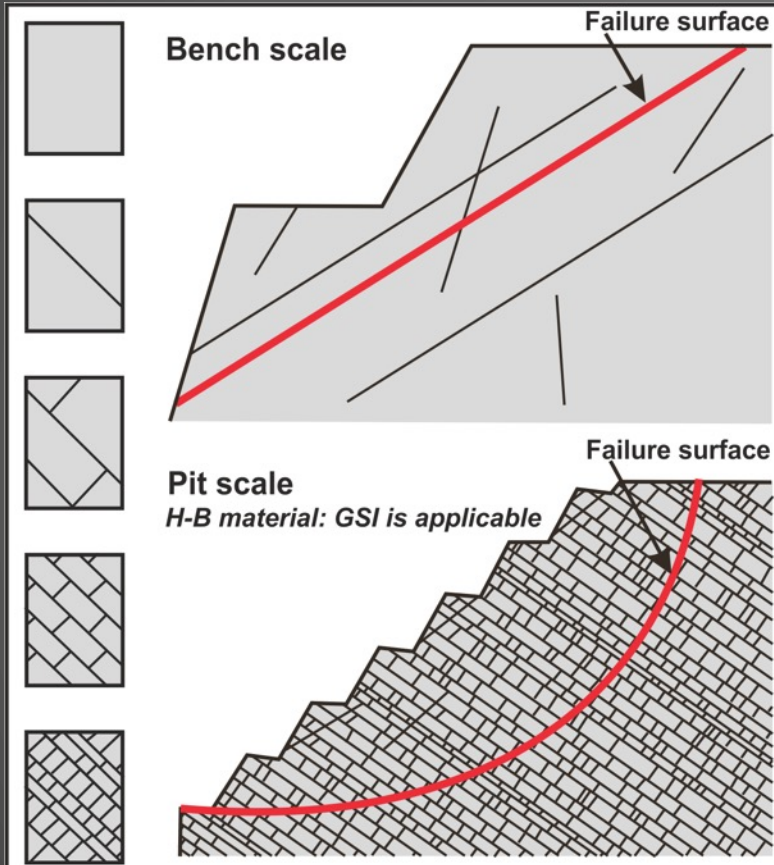
# ■ Θέσεις βαθμονόμησης

1. Σε πυρήνες δειγματοληψίας – μέτωπα σηράγγων:  
Προεκβολή από την μία διάσταση στις τρεις

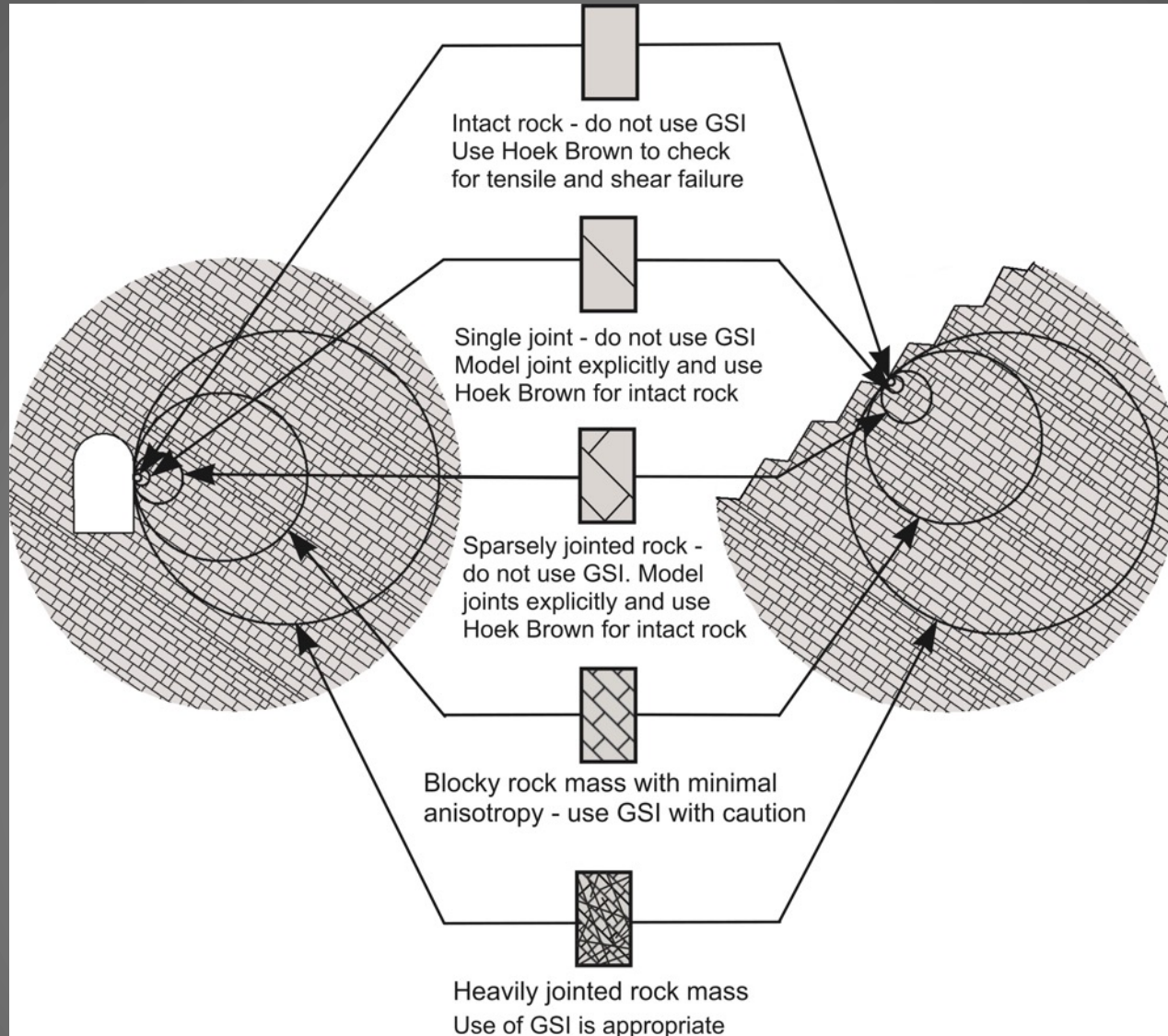




# ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ GSI ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



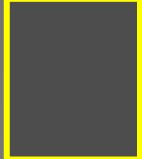

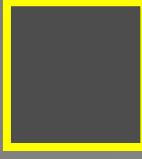

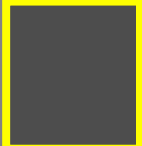


# ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ GSI ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI

Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		<b>Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας</b>
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμονή και αντοχή των ασυνεχειών
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών
Αποδομημένη βραχόμαζα		Ευλόγως ισότροπη
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις



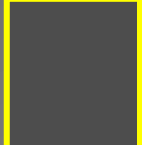



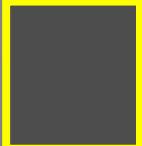
# ΤΥΠΟΙ ΔΟΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

## Άρρηκτο πέτρωμα



# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI

Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		<b>Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμονή και αντοχή των ασυνεχειών</b>
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών
Αποδομημένη βραχόμαζα		Ευλόγως ισότροπη
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις



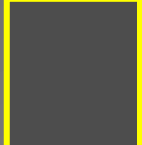



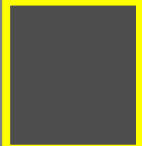
# ΤΥΠΟΙ ΔΟΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ



Την ευστάθεια του πρανούς θα καθορίσει η αντοχή των ασυνεχειών. Δεν έχει νόημα να χρησιμοποιήσου με ταξινόμηση, το υλικό είναι αυστηρά ανισότροπο.

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI

Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		<b>Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμόνη και αντοχή των ασυνεχειών</b>
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών
Αποδομημένη βραχόμαζα		Ευλόγως ισότροπη
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις

# ΤΥΠΟΙ ΔΟΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

## Τεμαχισμένη βραχώμαζα



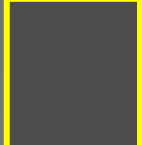



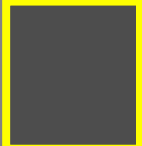


Ο  
προσανατολισμός  
των ασυνεχειών  
είναι τέτοιος που  
δεν ευνοεί  
ολίσθηση του  
πρανούς κατά  
μήκος τους



# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI

Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμονή και αντοχή των ασυνεχειών
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		<b>Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις</b>
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών
Αποδομημένη βραχόμαζα		Ευλόγως ισότροπη
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις

# ΤΥΠΟΙ ΔΟΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ





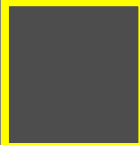


## Πολύ τεμαχισμένη βραχώμαζα



**Το υλικό μπορεί να θεωρηθεί ότι συμπεριφέρεται ισότροπα.**

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI

Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμονή και αντοχή των ασυνεχειών
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		<b>Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών</b>
Αποδομημένη βραχόμαζα		Ευλόγως ισότροπη
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις

# ΤΥΠΟΙ ΔΟΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ





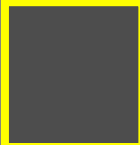


## Στρωματώδης – διαταραγμένη βραχώμαζα



Η ανισοτροπία εξαρτάται από τη γεωμετρία της πτυχωσης ή της σχιστότητας.

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI



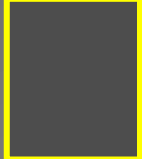

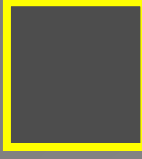

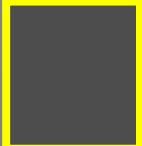
Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμονή και αντοχή των ασυνεχειών
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών
Αποδομημένη βραχόμαζα		<b>Ευλόγως ισότροπη</b>
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις



# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ GSI

Τύποι δομών βραχόμαζας

Άρρηκτο πέτρωμα		Γενικώς ισότροπη, ψαθυρή, ελαστική συμπεριφορά στα σκληρά πετρώματα
Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια		Εντελώς ανισότροπη εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας
Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες		Ανισότροπη ανάλογα με τον αριθμό, προσανατολισμό, εμμονή και αντοχή των ασυνεχειών
Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες		Ευλόγως ισότροπη, έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις, με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις
Στρωματώδης αλλά κερματισμένη και διαταραγμένη		Ανισότροπη ανάλογα με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης ή της σχιστότητας και της αντοχής των ασυνεχειών
Αποδομημένη βραχόμαζα		Ευλόγως ισότροπη
Φυλλώδης/ Διατμημένη		Ευλόγως ισότροπη, μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών πετρώματος και ασυνεχειών. Θραύση τεμαχών ακόμη και σε χαμηλές τάσεις

# ΤΥΠΟΙ ΔΟΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

## Διατμημένη βραχώμαζα



Το υλικό μπορεί να θεωρηθεί ότι συμπεριφέρεται ισότροπα.



**Η συνολική αστοχία δεν καθοδηγείται από την ανισοτροπία της βραχομάζας (την στρώση εδώ): Το GSI και το H&B κριτήριο αστοχίας είναι εφαρμόσιμο**



**Pindos mountain, Greece**

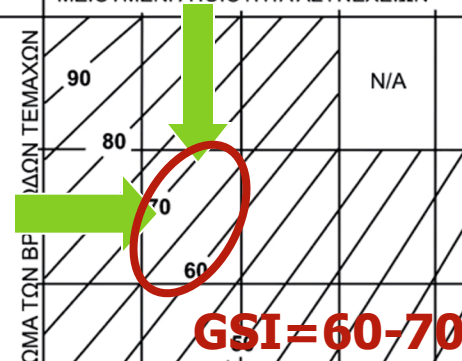
# Σύστημα ταξινόμησης βραχώμαζας GSI

Η τιμή της βαθμονόμησης προκύπτει ως συνδυασμός της **δομής** και της **ποιότητας των ασυνεχειών**



Δεν έχει νόημα μοναδική τιμή – πιο ρεαλιστικό το εύρος, π.χ. 35-40

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχώμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. <u>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες.</u> Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχώμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →	
ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσαθρωμένες επιφάνειες		ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσαθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	
		ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξηλωμένες επιφάνειες		ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσαθρωμένες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	
		ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσαθρωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης			
ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ			
	INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90			N/A
	BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80			N/A
	VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών	70			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτωχόμενη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας	60			
	DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλειδωμα και μη ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων		40		
	LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων		30		
			20		
			10		
		N/A	N/A		



# Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής

## GSI για ετερογενείς βραχώμαζες (V. Marinós, 2007)

(B. Μαρινός, 2007, υπό δημοσίευση)

Ετερογενείς βραχώμαζες εννοούνται εδώ αυτές που εναλλάσσονται στρώματα σαφώς διαφορετικών λιθολογικών τύπων με σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά αντοχής τους. Για τον φλύσχη αυτές οι εναλλαγές αναφέρονται κυρίως σε ψαμμίτες και ιλυόλιθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται και αργιλικό σχιστόλιθοι. Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών (κυρίως της στρώσης) της βραχώμαζας επιλέξτε το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. **Η επιλογή της δομής πρέπει να καθορίζεται με βάση την τεκτονική διαταραχή (αδιατάρακτη, μέτρια διαταραγμένη, πολύ πτυχωμένη - διαταραγμένη, αποδιοργανωμένη, διατμημένη) και την αναλογία ψαμμιτών και ιλυολίθων και την εκπεφρασμένη εσωτερική στρωμάτωσή τους. Στους τύπους IV και V όταν το πάχος των τραπεζών του ψαμμίτη είναι μεγάλο (~50 cm) προτείνεται η αύξηση της τιμής GSI κατά 5 μονάδες.** Από τον τύπο IV και στους επόμενους τύπους τα επίπεδα στρώσης διακρίνονται μέσα στη μάζα του ιλυόλιθου. Επιλέξτε τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών π.χ. από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασταθείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχώμαζών μειώνεται από τη παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.

**ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ**  
(κυρίως επίπεδα στρώσης)

**ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ**  
Πολύ τραχιές, υγείς, μη αποσθρωμωμένες επιφάνειες

**ΚΑΛΗ**  
Τραχιές, ελαφρά αποσθρωμωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες

**ΜΕΤΡΙΑ**  
Λείες, μετρίως αποσθρωμωμένες και εξηλωμένες επιφάνειες

**ΠΤΩΧΗ**  
Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα

**ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ**  
Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσθρωμωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσις

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →

### ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ

**ΤΥΠΟΣ I.** Αδιατάρακτος, μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικές πολύ λεπτές υμένες ιλυόλιθου. Σε αβαθείς σήραγγες ή πρανή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI

**ΤΥΠΟΣ II.** Αδιατάρακτος συμπαγής ιλυόλιθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμιτών

**ΤΥΠΟΣ III.** Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθων

**ΤΥΠΟΣ IV.** Μέτρια διαταραγμένη βραχώμαζα που αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες

**ΤΥΠΟΣ V.** Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με ενστρώσεις ψαμμιτών

**ΤΥΠΟΣ VI.** Μέτρια διαταραγμένος ιλυόλιθος με αραιές ενστρώσεις ψαμμιτών

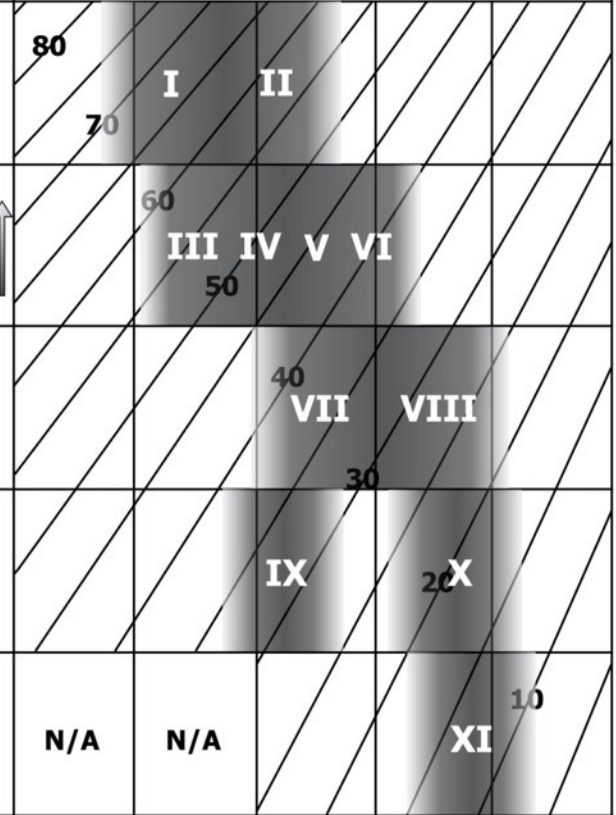
**ΤΥΠΟΣ VII.** Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώμαζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυόλιθου σε ίσες περίπου αναλογίες

**ΤΥΠΟΣ VIII.** Έντονα διαταραγμένη-πτυχωμένη βραχώμαζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί-διατμηθεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιλυόλιθο και αργιλικό σχιστόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη

**ΤΥΠΟΣ IX.** Αποδιοργανωμένη βραχώμαζα που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγμάτων ή/και έντονης αποσάθρωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως ψαθυρά γεωυλικά με διαταραγμένο ιλυολιθικό υλικό ανάμεσα

**ΤΥΠΟΣ X.** Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατμημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμιτικά τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χασοτική δομή. Οι στρώσεις του ψαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιλυόλιθου

**ΤΥΠΟΣ XI.** Τεκτονικώς ισχυρά διατμημένος ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χασοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα ψαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια. Οριακά η συμπεριφορά των γεωυλικών μπορεί να προσομοιωθεί με εδαφικά



ΟΓΑΝ ΤΟ ΠΑχος ΤΩΝ ΤΡΑΠΕΖΩΝ ΤΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ = 50cm

→ Φορά τεκτονικής διαταραχής αντιστοιχίας λιθολογίας

# Διατμητική αντοχή της βραχόμαζας

## *Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής GSI*

- Το σύστημα GSI δεν υποκαθιστά τα γνωστά RMR ή το Q, αφού αυτά δημιουργήθηκαν για την εκτίμηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης της βραχόμαζας.
- Η κύρια λειτουργία του GSI είναι η εκτίμηση των ιδιοτήτων και των παραμέτρων σχεδιασμού της βραχόμαζας εκεί όπου έχει εφαρμογή το κριτήριο αστοχίας Hoek - Brown.

# Μέτρο Παραμορφωσιμότητας Βραχόμαζας

□ Hoek, Carranza-Torres, Corkum, 2002

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci} (MPa)}{100}} \times 10^{(GSI-10)/40}$$

Όπου,  $D$  είναι συντελεστής που εξαρτάται από το βαθμό διαταραχής της βραχόμαζας ανάλογα με τη μέθοδο εκσκαφής γύρω από τη διάνοιξη της σήραγγας.

# Μέτρο Παραμορφωσιμότητας Βραχόμαζας

$E_m$ , μέσω GSI,  $\sigma_{ci}$ ,  $E_i$

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci} (MPa)}{100}} \times 10^{(GSI-10)/40} \quad \text{Hoek et al, 2002}$$

$$E_m = E_i \left[ 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right] \quad \text{Hoek \& Diederichs, 2006}$$

$E_m$  = Μέτρο παραμορφωσιμότητας βραχομάζας

$E_i$  = Μέτρο παραμορφωσιμότητας άρρηκτου βράχου




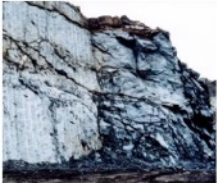

$\sigma_{cm}$  = Μονοαξονική θλιπτική αντοχή βραχομάζας

$\sigma_{ci}$  = Μονοαξονική θλιπτική αντοχή άρρηκτου βράχου

# Διατμητική αντοχή της βραχόμαζας

## Παράμετρος διατάραξης της βραχόμαζας $D$

Table 1: Guidelines for estimating disturbance factor  $D$

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of $D$
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.  Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$  $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting  $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.  In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting  $D = 0.7$ Mechanical excavation

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ▶ Hoek E. 1994. Strength of rock and rock masses. In: News journal of the International Society of Rock Mechanic, 2, 2, pp 4-16
- ▶ Hoek E., Diederichs M.S. 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. In: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43, pp 203-215.
- ▶ Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. 2013. Quantification of the Geological Strength Index chart. 47th US Rock Me-chanics / Geomechanics Symposium, San Francisco: AR-MA 13-672.
- ▶ Hoek E., Marinos P. and Benissi M. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for weak and sheared rock-masses – The case of the Athens Schist formation. In: Bull. Eng. Geol. Env. 57, 2, pp 151-160.
- ▶ Hoek E., Caranza-Torres C.T. and Corcum B. 2002. Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition. In: Bawden, H.R.W., Curran, J. and Telesnicki M., (Eds). Proc. North American Rock Mechanics Society (NARMS-TAC 2002). Mining Innovation and Technology, Toronto, Canada, pp 267-273.
- ▶ ISRM. 1981. Rock characterization, testing and monitoring – ISRM suggested methods. In Brown E.T. (ed), International Society of Rock Mechanics, Pergamon, Oxford.
- ▶ Marinos P., Hoek E. 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock-mass strength estimation. In: Proc. GeoEng2000 at the Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, Pennsylvania, pp 1422-1446
- ▶ Marinos P., Hoek E. 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. In: Bull. Eng. Geol. Env., 60, pp 82-92.
- ▶ Marinos V. 2007. Geotechnical classification and engineering geological behaviour of weak and complex rock masses in tunneling, Doctoral thesis, School of Civil Engineering, Geotechnical Engineering Department, National Technical University of Athens (NTUA), Athens. (In greek)
- ▶ Marinos, V., & Carter T.G., Maintaining Geological Reality in Application of GSI for Design of Engineering Structures in Rock. (2018) J. Eng. Geo. Vol 239 pp282-297& Corrigendum to "Maintaining geological reality in application of GSI for design of engineering structures in Rock" [in press]
- ▶ Marinos, P., Hoek, E., 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, pp. 1422-1446.
- ▶ Marinos V., Marinos P. and Hoek E. 2005. The Geological Strength Index – Applications and limitations». Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64/1, 55-65.
- ▶ Marinos, P., Hoek, E. and Marinos, V., 2005. Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunnelling. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65(2), pp. 129-142.