

Άσκηση 3Α (Ταξινόμηση Βραχομάζας – Ιδιότητες βραχομάζας)

Βαθμονομήστε την βραχομάζα, στις 3 εμφανίσεις της, με βάση το GSI, σύμφωνα με τον συνημμένο πίνακα (Hoek and Marinos 2000).

α/α	Κατάσταση ασυνεχειών
Βραχομάζα Φωτ.1	Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι λείες και μετρίως αποσαθρωμένες.
Βραχομάζα Φωτ.2	Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι λείες έως ολισθηρές και μετρίως αποσαθρωμένες.
Βραχομάζα Φωτ.3	Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι κυματοειδείς, τραχείες και μη αποσαθρωμένες

Βραχομάζα Φωτ. 1 (Άσκηση Β)



Βραχόμαζα Φωτ. 2 (Άσκηση Β)



Βραχόμαζα Φωτ. 3 (Άσκηση Β)



Άσκηση 3B (Ταξινόμηση Βραχώμαζας – Διατμητική αντοχή βραχώμαζας)

Στην περιοχή του σχήματος (Σχήμα 2) πρόκειται να μελετηθεί η κατασκευή σήραγγας. Στην περιοχή αναπτύσσεται φλύσχης με την εξής στρωματογραφική σειρά (από τα νεώτερα στρώματα προς τα παλαιότερα):

- 1: Μεσοστρωματώδης ψαμμικός φλύσχης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου (ψαμμίτης 70% και ιλυόλιθος 30%) (πάχος μεγάλο)
- 2: Λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυολίθου με ίδια ποσόστωση (πάχος 70-80m)
- 3: Ιλυόλιθος με αραιές λεπτοστρωματώδεις ενστρώσεις ψαμμίτη (πάχος μεγάλο) (ιλυόλιθος 90% και ψαμμίτης 10%)

Σημείωση 1:

- i) Οι κλίσεις στα όρια των σχηματισμών είναι αυτές που σημειώνονται σχεδιαστικά
- ii) Με τον χαρακτηρισμό «πάχος μεγάλο» επιθυμείται να δηλωθεί ότι μπορεί να ξεπερνά την κλίμακα της τομής

Για την γεωτεχνική μελέτη της σήραγγας είναι απαραίτητη η γνώση του μοντέλου της βραχώμαζας και πιο αναλυτικά οι παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας που θα χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό των μέτρων άμεσης υποστήριξης κατά μήκος της σήραγγας σε περίπτωση εκδήλωσης συγκλίσεων (δηλαδή ισότροπη συμπεριφορά).

Ζητούνται

1. Σχεδιάστε το κατά τη γνώμη σας πιο πιθανό γεωλογικό προσομοίωμα λαμβάνοντας υπόψη σας μόνο τα παραπάνω δεδομένα και αυτά του σχήματος.
2. Βαθμονομείστε την βραχώμαζα, στις 3 εμφανίσεις της, με βάση το GSI, σύμφωνα με τον συνημμένο πίνακα (Marinos 2007).

α/α	Κατάσταση ασυνεχιών
Βραχώμαζα Σχηματισμού.1	Οι επιφάνειες των ασυνεχιών είναι τραχείες χωρίς αποσάθρωση.
Βραχώμαζα Σχηματισμού.2	Οι επιφάνειες των ασυνεχιών είναι λείες και μετρίως αποσαθρωμένες.
Βραχώμαζα Σχηματισμού.3	Οι επιφάνειες των ασυνεχιών είναι πολύ ολισθηρές και κατά τόπους αργιλοποιημένες

Σημείωση 2: Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων παρουσιάστε τα ομαδοποιημένα σε πίνακα και οπωσδήποτε πάνω στο διάγραμμα του GSI με προβολές στα αντίστοιχα πεδία (βλέπε παράδειγμα στο βοηθητικό φυλλάδιο της άσκησης).

3. Σε ποιούς από τους παραπάνω τύπους βραχώμαζας εκτιμάτε (πιθανότερα) ότι στο βάθος το GSI μπορεί να αλλάζει και γιατί (δηλαδή αν μπορεί να βελτιωθεί η δομή ή η ποιότητα των ασυνεχιών με το βάθος);
4. Εφαρμόστε το κριτήριο Hoek and Brown (2002) για τις τρεις διαφορετικές μορφές του φλύσχης και υπολογίστε τις παραμέτρους αντοχής c και ϕ για κάθε περίπτωση για βάθος σήραγγας 100m. Δίνεται ότι η μονοαξονική αντοχή σε θλίψη σ_{ci} του ψαμμίτη είναι 50 MPa και του ιλυολίθου 15 MPa ενώ το ειδικό βάρος και για τα δύο γεωυλικά είναι 0,025 MN/m³. Η επίλυση γίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις. Εσείς μπορείτε να χρησιμοποιήσετε άμεσα το πρόγραμμα RSdata (από το γεωτεχνικό λογισμικό της σουίτας της rocscience).

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

Κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown για βραχώμαζα

Όπου τα m_b , s και a δίνονται από τις σχέσεις:

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

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

$$\alpha \square \frac{1}{2} \square \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

5. Στη συνέχεια υπολογίστε για κάθε βραχόμαζα το μέτρο παραμορφωσιμότητας E_m από τη σχέση του Hoek et al (2002):

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

Όπου, D είναι συντελεστής που εξαρτάται από το βαθμό διαταραχής της βραχόμαζας ανάλογα με τη ποιότητα εκσκαφής.

Να ληφθεί η τιμή D για βραχόμαζα χωρίς διαταραχή κατά την εκσκαφή της ($D=0$).

Σημείωση 3: Για την εκτίμηση της “ζυγισμένης” τιμής των αντίστοιχων παραμέτρων (του σ_{ci} και m_i) του “άρρηκτου” φλύσχη ανάλογα με τον τύπο της βραχόμαζας πρέπει να λάβετε υπόψη σας τον πίνακα 1.

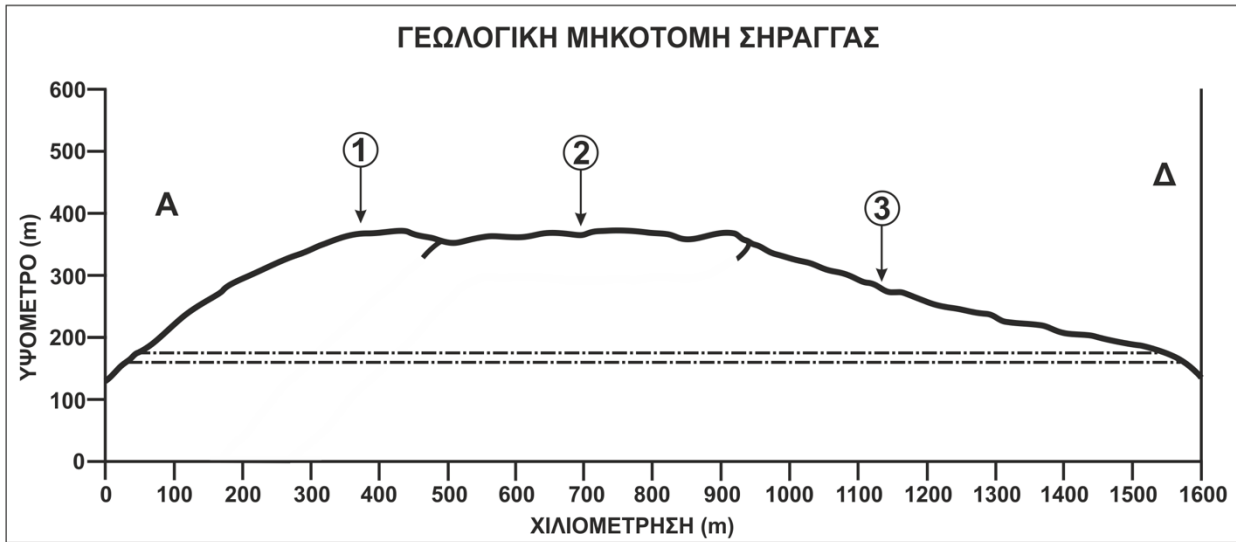
Σημείωση 4: Τα αποτελέσματα των ερωτημάτων 3 (συνοχή c και γωνία τριβής φ°) και 4 (μέτρο παραμορφωσιμότητας E) παρουσιάστε τα ομαδοποιημένα σε πίνακα.

Προσοχή: Για τον υπολογισμό του E_m χρησιμοποιείτε αποκλειστικά την παραπάνω σχέση (όχι μέσω του προγράμματος RSdata)

Πίνακας 1. Αναλογίες των σ_{ci} , m_i και E_i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση της “ζυγισμένης” τιμής των αντίστοιχων παραμέτρων του “άρρηκτου” φλύσχη ανάλογα με τον τύπο της βραχόμαζας.

Τύπος Φλύσχη	Αναλογίες των σ_{ci} , m_i και E_i των λιθολογικών μελών για την εκτίμηση της “ζυγισμένης” τιμής των αντίστοιχων παραμέτρων του «άρρηκτου» φλύσχη ανάλογα με τον τύπο της βραχόμαζας.
I, III	Χρησιμοποιείτε τις τιμές για τους ψαμμιτικούς πάγκους
II, VI	Χρησιμοποιείτε τις τιμές για τους ιλυολιθικούς πάγκους
IV	<i>Λεπτά στρώματα:</i> Μειώστε την τιμή του ψαμμίτη κατά 10% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυολίθου <i>Παχιά στρώματα:</i> Χρησιμοποιείτε ισοδύναμα τις τιμές του ψαμμιτικού και ιλυολιθικού πάγκου
V, VII, VIII	Μειώστε τις ψαμμιτικές τιμές κατά 20% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυολίθου
IX	Χρησιμοποιείτε τις πλήρες τιμές των εμπλεκόμενων γεωυλικών
X	Μειώστε τις ψαμμιτικές τιμές κατά 30% και χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυολίθου
XI	Χρησιμοποιείτε την πλήρη τιμή του ιλυολίθου ή αργιλικού σχιστολίθου

Σημείωση: Η τελική “ζυγισμένη” τιμή πρέπει να λαμβάνει προφανώς υπόψη και τα ποσοστά συμμετοχής των δύο μελών στη σύσταση της βραχόμαζας και όχι να προκύπτει από τον μέσο όρο. Σε περίπτωση που η υπολογιζόμενη τιμή βρεθεί χαμηλότερη από αυτή του ασθενέστερου υλικού, χρησιμοποιείτε την τελευταία.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΤΟΜΗΣ

ΣΕΙΡΑ ΦΛΥΣΧΗ

	ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ ΨΑΜΜΙΤΗΣ ΜΕ ΛΕΠΤΕΣ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΙΛΥΟΛΙΘΟΥ (ΨΑΜΜΙΤΗΣ 70% ΚΑΙ ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ 30%)
	ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΩΔΕΙΣ ΕΩΣ ΜΕΣΟΣΤΡΩΜΑΤΩΔΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΨΑΜΜΙΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΛΙΘΙΚΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΙΔΙΑ ΠΟΣΟΣΤΩΣΗ
	ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ ΜΕ ΑΡΑΙΕΣ ΛΕΠΤΟΣΤΡΩΜΑΤΩΔΕΙΣ ΕΝΣΤΡΩΣΕΙΣ ΨΑΜΜΙΤΗΣ (ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ 90% ΚΑΙ ΨΑΜΜΙΤΗΣ 10%)
	ΣΗΡΑΓΓΑ

Σχήμα 2. Τομή άσκησης Β

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΛΥΣΧΗΣ (B. Μαρίνος, 2007)

Ετερογενείς βραχώδεις 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 ιλυολίθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται και αργιλικό σχιστόλιθο. Βασίζονται στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχών (κυρίως της στρώσης) της βραχώδους επιπέδου το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. Η επιλογή της δομής πρέπει να καθορίζεται με βάση την τεκτονική διαταραχή (αδιατάρακτη, μέτρια διαταραγμένη, πολύ πτυχωμένη - διαταραγμένη, αποδιοργανωμένη, διατηρημένη), την αναλογία ψαμμίτων και ιλυολίθων και την εκφρασμένη εσωτερική στρωματοποίηση τους. Στους τύπους IV και V όταν το πάχος των τραpezών 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 ιλυολίθου. Επιλέξτε τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα ευρύς πεδίο 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 ασυνεχών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γεωτονικών πεδίων προς κάθε κατεύθυνση. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασταθείς επιπέδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών 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 ασυνεχών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
		80	70	60	50	40
ΤΥΠΟΣ I. Αδιατάρακτος, μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικούς πολύ λεπτούς υμένους ιλυολίθους. 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	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγιείς, μη αποσπασθριμένες επιφάνειες	I	II	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ II. Αδιατάρακτος συμπαγής ιλυολίθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτων	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθριμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	III	IV	V	VI	N/A
ΤΥΠΟΣ III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθων	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίου αποσπασθριμένες και εξολεωμένες επιφάνειες	N/A	N/A	VII	VIII	N/A
ΤΥΠΟΣ IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώδης που αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυολίθου σε ίσες περίπου αναλογίες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφιλιομάτα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διαταραγμένος ιλυολίθος με ενστρώσεις ψαμμίτων	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθριμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφιλιομάτα	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διαταραγμένος ιλυολίθος με αραιές ενστρώσεις ψαμμίτων		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώδης, η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιλυολίθου σε ίσες περίπου αναλογίες		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διαταραγμένη- πτυχωμένη βραχώδης, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί- διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιλυολίθο ή και αργιλικό σχιστόλιθο με ενστρώσεις ψαμμίτη		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ IX. Αποδιοργανωμένη βραχώδης που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγμάτων ή/και έντονης αποσπάρωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως ψαθυρά γεωλυτικά με διαταραγμένο ιλυολιθικό υλικό ανάμεσα		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατηρημένος ιλυολίθος ή αργιλικό σχιστόλιθο με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμίτικα τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χαστική δομή. Οι στρώσεις του ψαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιλυολίθου		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικά ισχυρά διατηρημένος ιλυολίθος ή αργιλικό σχιστόλιθο σε χαστική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα ψαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια. Ορισικά ή συμπεριφορά των γεωλυτικών μπορεί να προσομοιωθεί με εδαφικά		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A Σημαίνει γεωλογικός αδύνατος συνδυασμός. Αλλού, εκτός των σκιασμένων περιοχών, περιπτώσεις όχι αδύνατες αλλά πολύ απίθανο να υπάρχουν

→ Φορά τεκτονικής διαταραχής αντίστοιχης λιθολογίας

Σχήμα 3. Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής – GSI (Geological Strength Index) για ετερογενείς βραχώδεις όπως ο φλύσχη (Μαρίνος Β. 2007)

Βιβλιογραφία:

- Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B., 2002. Hoek - Brown failure criterion - 2002 edition. In: Bawden H.R.W., Curran, J., Telesnicki, M. (eds). Proceedings of NARMS-TAC 2002, Toronto, pp. 267-273.
- Hoek, E. and Marinos, P. 2007. A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion. Soils and Rocks, No. 2., November 2007.
- Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E. "The geological Strength index: applications and limitations". Bull. Eng. Geol. Environ. 64, 55-65 (2005).
- Marinos, P and Hoek, E. 2000 GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne. 1422-1442
- Μαρίνος Β., (2007), «Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων», Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής, Ε.Μ.Π.

Βραχώμαζα σχηματισμού 1 (Άσκηση Β)



Βραχόμαζα σχηματισμού 2 (Άσκηση Β)



Βραχόμαζα σχηματισμού 3 (Άσκηση Β)

