



Σχεδιασμός Υπογείων Έργων

B. Μαρίνος

**ΜΑΘΗΜΑ 1^ο
ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Μέθοδοι Εκσκαφής, στάδια σχεδιασμού, αξιολόγηση γεωτεχνικών ενοτήτων, μηχανισμοί αστοχίας, θέματα εκσκαφής και υποστήριξης”

Ακαδημαϊκό έτος 2022-23

Κατασκευή σηράγγων



I. Οδικά και Σιδηροδρομικά συγκοινωνιακά δίκτυα

- για διάβαση ορεινών όγκων (σιδηροδρομική σήραγγα Καλλιδρόμου, σήραγγες Κακιάς Σκάλας)
- για παράκαμψη δυσμενών γεωλογικών συνθηκών, όπως κατολισθήσεων ή ρηξιγενών ζωνών (π.χ. οδική σήραγγα Ανηλίου)
- για περιβαλλοντικούς λόγους (π.χ. σήραγγες Υμηττού, οδική σήραγγα παράκαμψης του αρχαιολογικού χώρου Δωδώνης)

II. Αστικά συστήματα μαζικής μεταφοράς (Μετρό)

III. Υδραυλικά έργα

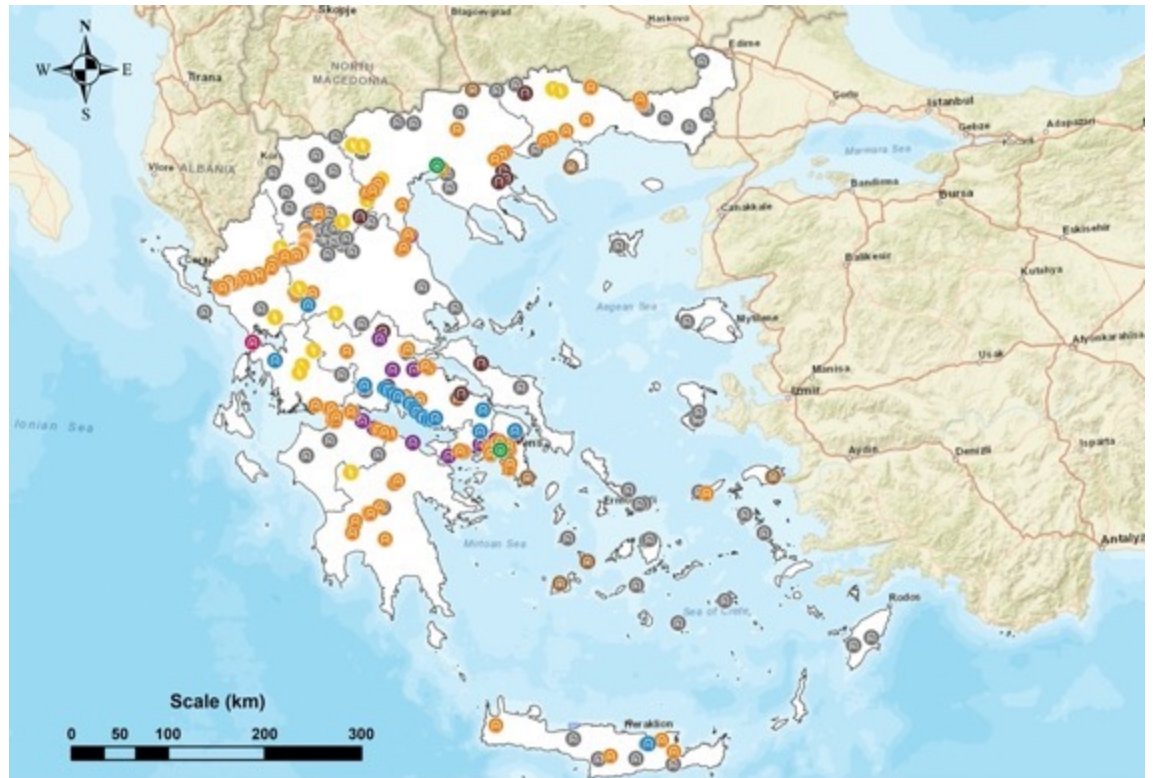
- υδραγωγεία (σήραγγες Μόρνου, Ευήνου, εκτροπής Αχελώου)
- έργα ταμίευσης (σήραγγες εκτροπής και υπερχείλισης φραγμάτων)
- αποχετεύσεις και αποστραγγίσεις (σήραγγα Κάρλας στη Θεσσαλία, σήραγγα Καρδίτσας στον Βοιωτικό Κηφισό)

IV. Έργα αποστράγγισης για τη βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας πρανών

- (π.χ. σήραγγες Μαλακάσας, «Μεγάλου Ορύγματος», Παναγοπούλας)

Σηράγγες στην Ελλάδα

Χάρτης σηράγγων (οδικών, σιδηροδρομικών, υδραυλικών, μεταλλευτικών και άλλων χρήσεων)



LEGEND

- Road tunnels
- Immersed tunnels
- Subways (underground tunnels)
- Railway tunnels
- Hydraulic tunnels
- Mining tunnels
- Dams (diversion tunnels)
- Hydroelectric power plants (underground tunnels)
- Historical tunnels

LENGTH OF TUNNELS (km)

- >178
- | 1
- >42
- >55
- >388
- >300
- >75
- >100
- > 10

Total length: > 1150 km

NUMBER OF TUNNELS

- 288
- | 1
- | 2
- | 20
- | 19
- | 10
- 95
- | 17
- | 8

Total tunnels: > 460

Το μεγαλύτερο τεχνικό συνέδριο στην Ελλάδα – WTC2023

ITA-AITES

WTC 2023

**ATHENS,
GREECE**

**EXPANDING UNDERGROUND
Knowledge & Passion to Make a
Positive Impact on the World**

ITA
AITES



Γεωτεχνικοί λόγοι

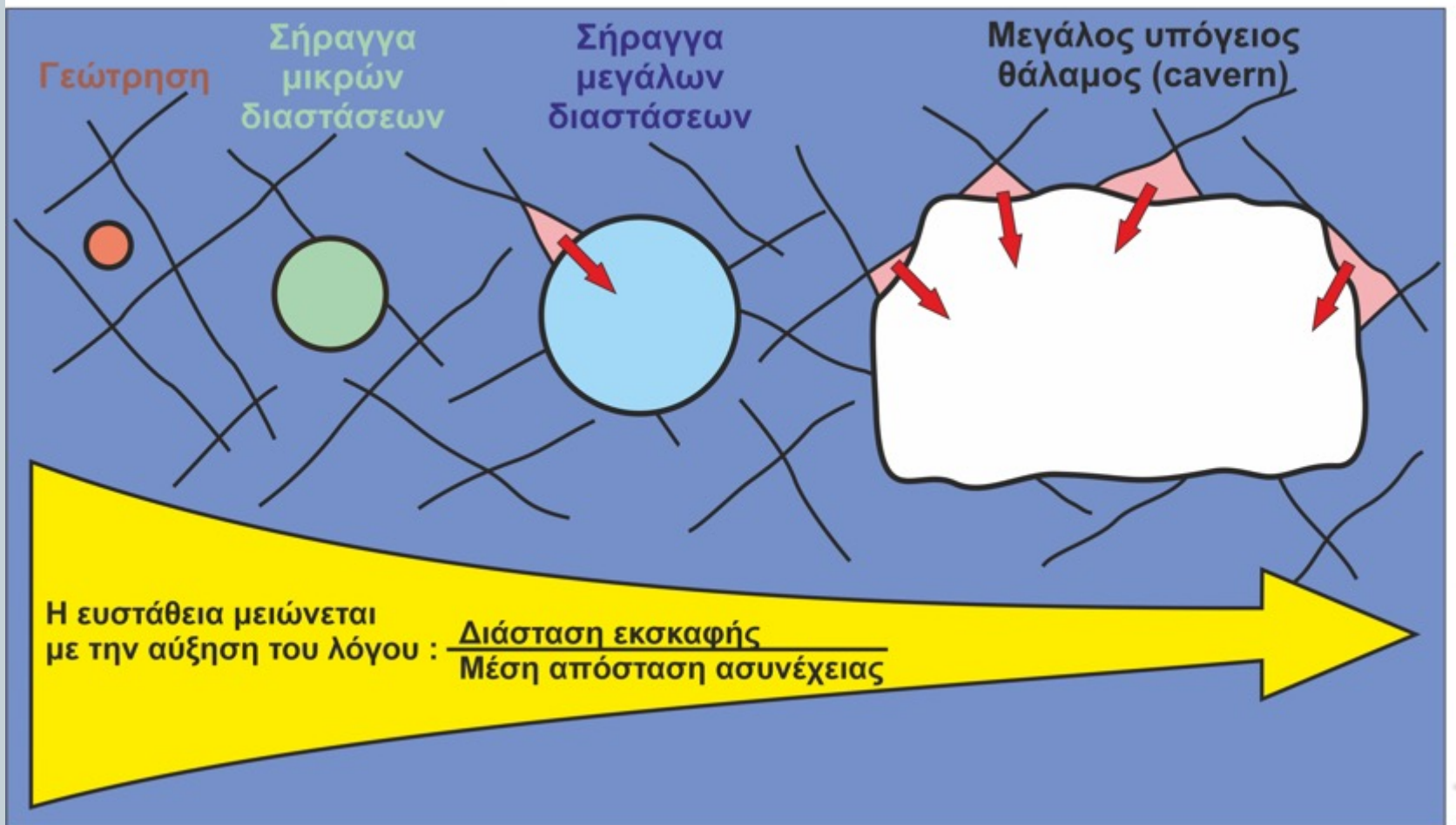
- Πολύ καλή (εδώ εξαιρετικής) ποιότητα βράχου



- Πολύ πτωχής ποιότητας βράχου



Γεωμετρία Σήραγγας

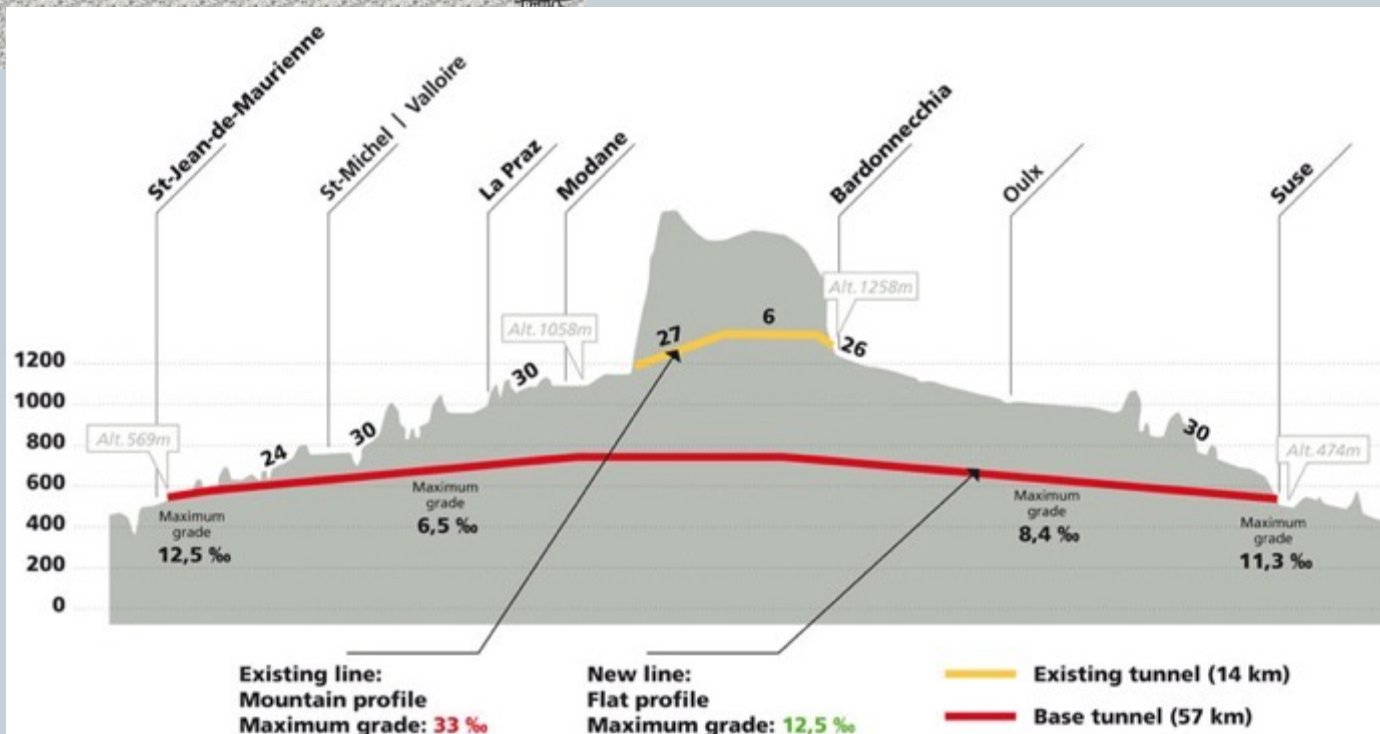


How deep is your tube?

Horizontal stuff shows typical depth these slope down to deepest depth



Βάθος Σήραγγας



Μέθοδοι Διάνοιξης σηράγγων



1. Διάτρηση
2. Εκσκαφή και Επανεπίχωση (Cut and Cover)
3. Υποστήριξη και Εκσκαφή (Cover and Cut)

Μέθοδοι Διάνοιξης σηράγγων



Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διάνοιξη των σηράγγων είναι οι παρακάτω:

◆ Συμβατική μέθοδος διάνοιξης

- Με ανατινάξεις
- Με απλά μέσα μηχανικής εκσκαφής

◆ Διάνοιξη με μηχανοποιημένο τρόπο (μηχάνημα ολομέτωπης κοπής -TBM)

Σήραγγες με διάτρηση



Διάτρηση με «τοσάτα» (μηχανική εκσκαφή)

Σήραγγες με διάτρηση



Διάτρηση με «τσάπα» (μηχανική εκσκαφή)

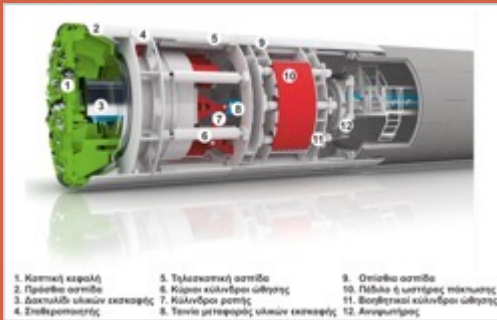
Σήραγγες με διάτρηση



Διάτρηση με εκρηκτικά



Εκσκαφή με Μηχανοποιημένη μέθοδο - ΤΒΜ



Σήραγγες με εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover)



- Πρώτα σκάβουμε μέχρι το επίπεδο της σήραγγας όλο το υλικό και το αφαιρούμε.
- Αντιστηρίζουμε τα πλευρικά πρανή ώστε να είναι ευσταθή προσωρινά.
- Φτιάχνουμε το κέλυφος (το περιτύπωμα) της σήραγγας με μπετό και σίδερα
- «Σκεπάζουμε» την σήραγγα με τα υλικά της αρχικής εκσκαφής και το παλιό - αρχικό ανάγλυφο αποκαθίσταται.

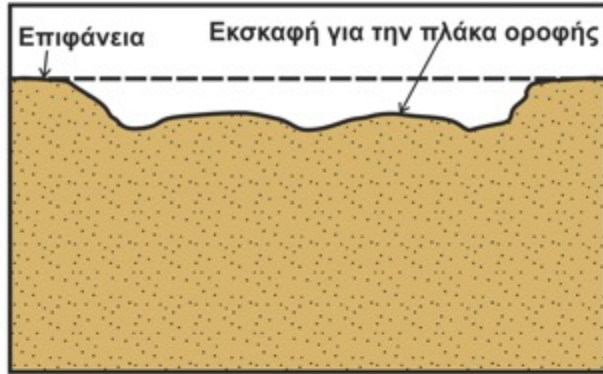
Σήραγγες με εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover)



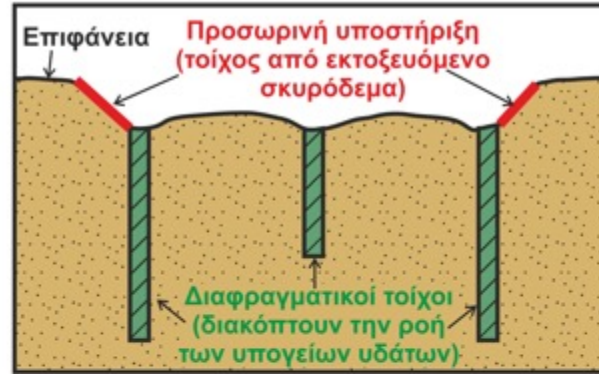
Σήραγγες με επίχωση (και προυποστήριξη) και εκσκαφή (Cover and Cut)

Αρχικά προ-υποστηρίζουμε την περιοχή (θόλο και πλευρές) που θα γίνει η σήραγγα και μετά αρχίζουμε και σκάβουμε από μέσα το έδαφος (έχουμε εισχωρήσει μέσα από άλλο σημείο πιο πίσω ή κάποιο παράθυρο).

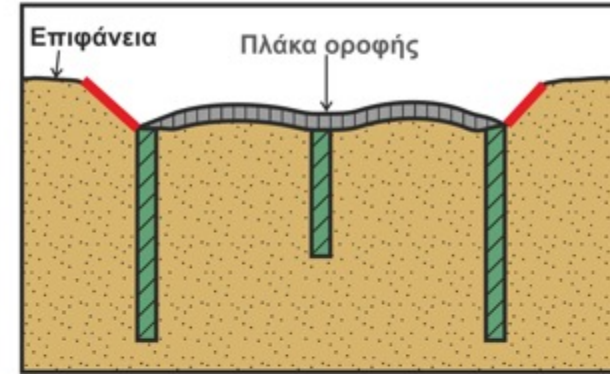
ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 1



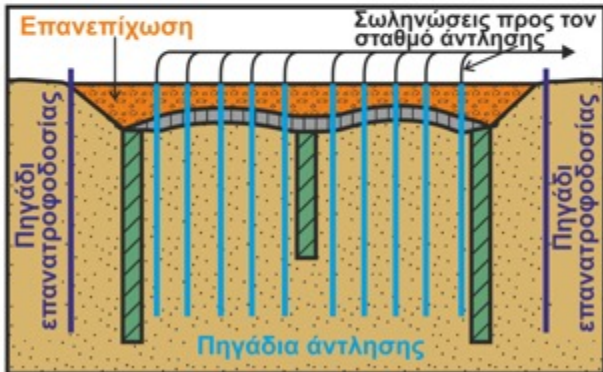
ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 2



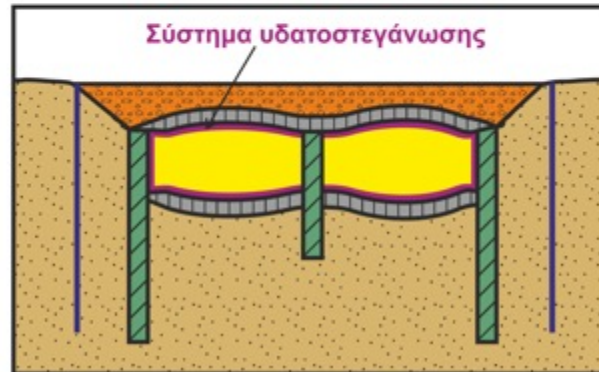
ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 3



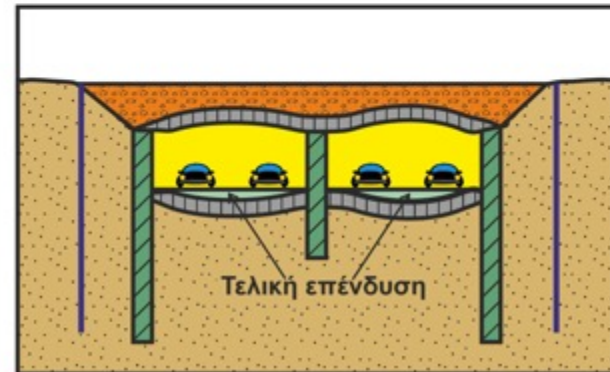
ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 4



ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 5



ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ 6



Σήραγγες με επανεπίχωση και εκσκαφή (Cover and Cut)



Σήραγγες με επανεπίχωση και εκσκαφή (Cover and Cut)



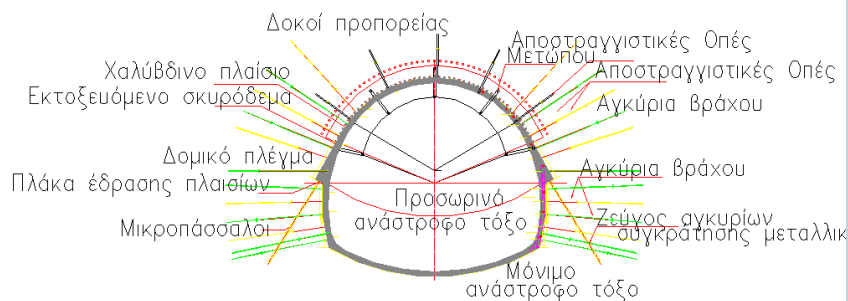
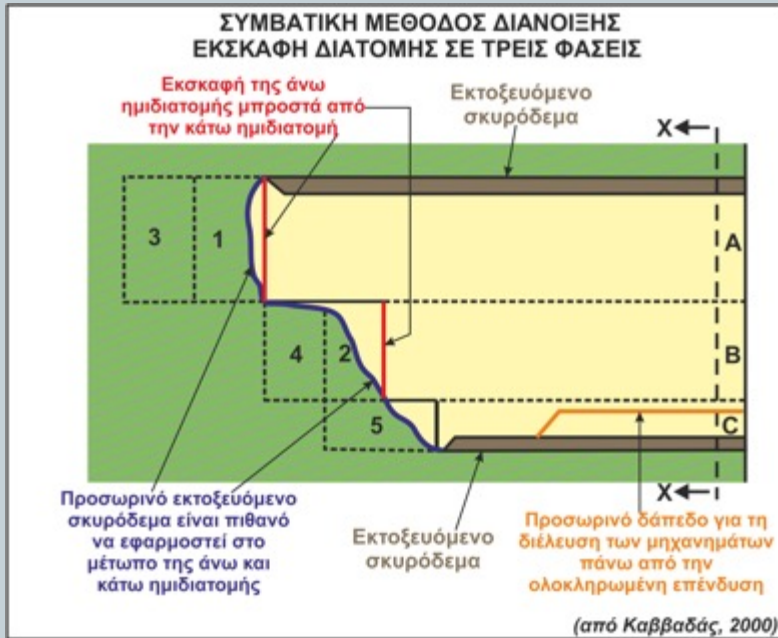
ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟ - NATM

Η "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunnelling Method – NATM) αποτελεί ένα σύνολο τεχνικών που άρχισαν να εφαρμόζονται συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων περί το 1960



1. Η μέθοδος NATM περιλαμβάνει τη διάνοιξη σηράγγων με Ελεύθερο μέτωπο εκσκαφής, δηλαδή χωρίς πίεση στο μέτωπο με μηχανικά μέσα (π.χ. TBM)
2. Άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή/και αγκύρια βράχου, όχι άμεση υποστήριξη με εφαρμογή τελικής επένδυσης από προκατασκευασμένα στοιχεία ή έγχυτο σκυρόδεμα

ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟ - NATM



Συμβατική μέθοδος διάνοιξης ή NATM

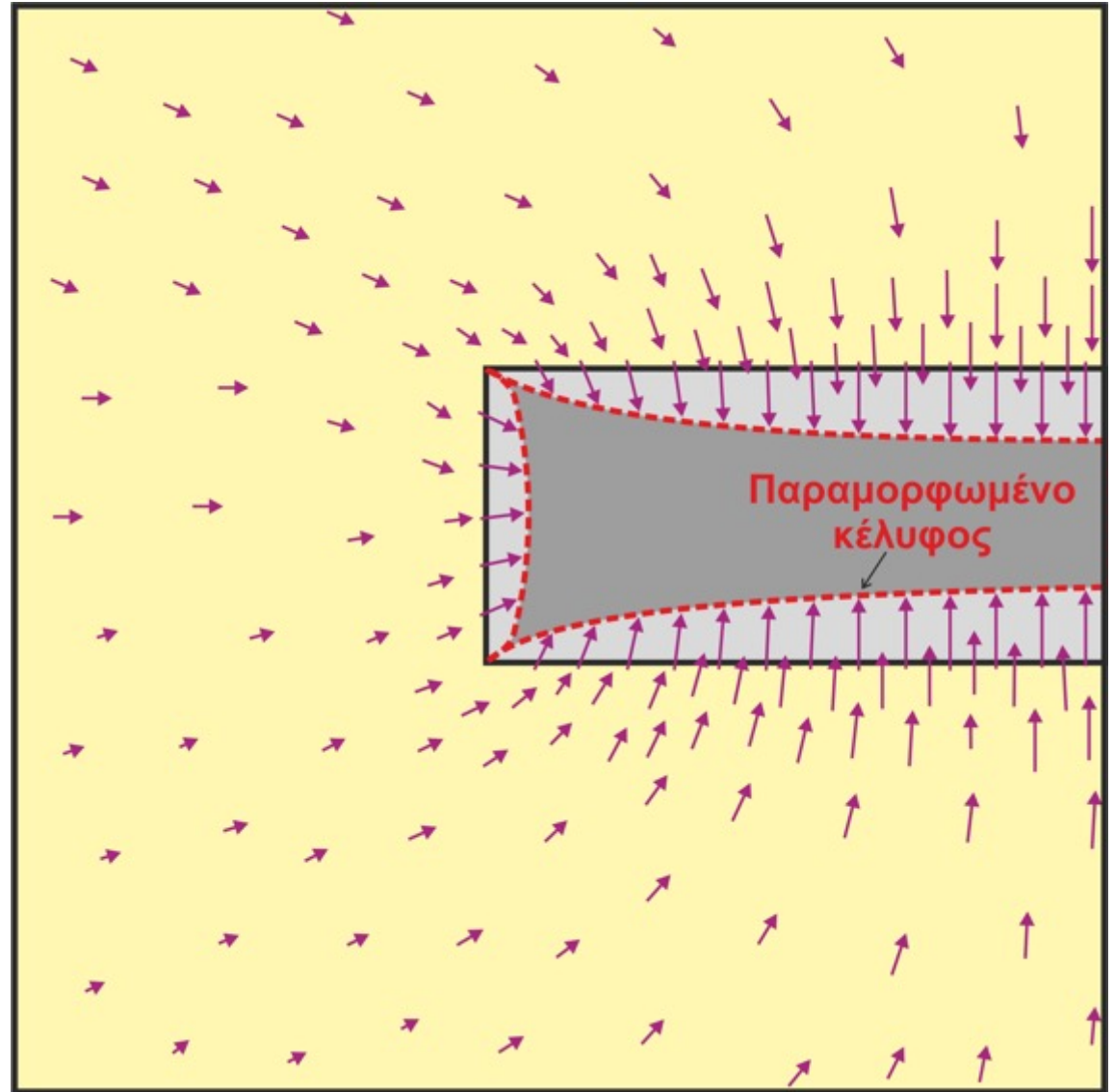
Η φιλοσοφία της μεθόδου

- ◆ Η μέθοδος θεωρεί ότι κάθε διατομή αποτελείται από:
 - ένα δακτύλιο βραχόμαζας (το τμήμα εκείνο της βραχόμαζας που επηρεάζεται από την κατασκευή)
 - τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.
- ◆ Θεωρεί δηλαδή το δακτύλιο της βραχόμαζας όχι μόνο ως στοιχείο φόρτισης, αλλά και ως φέρον στοιχείο συγχρόνως.
- ◆ Επιχειρεί, δηλαδή, την ενεργοποίηση ενός ποσοστού της αντοχής της βραχόμαζας



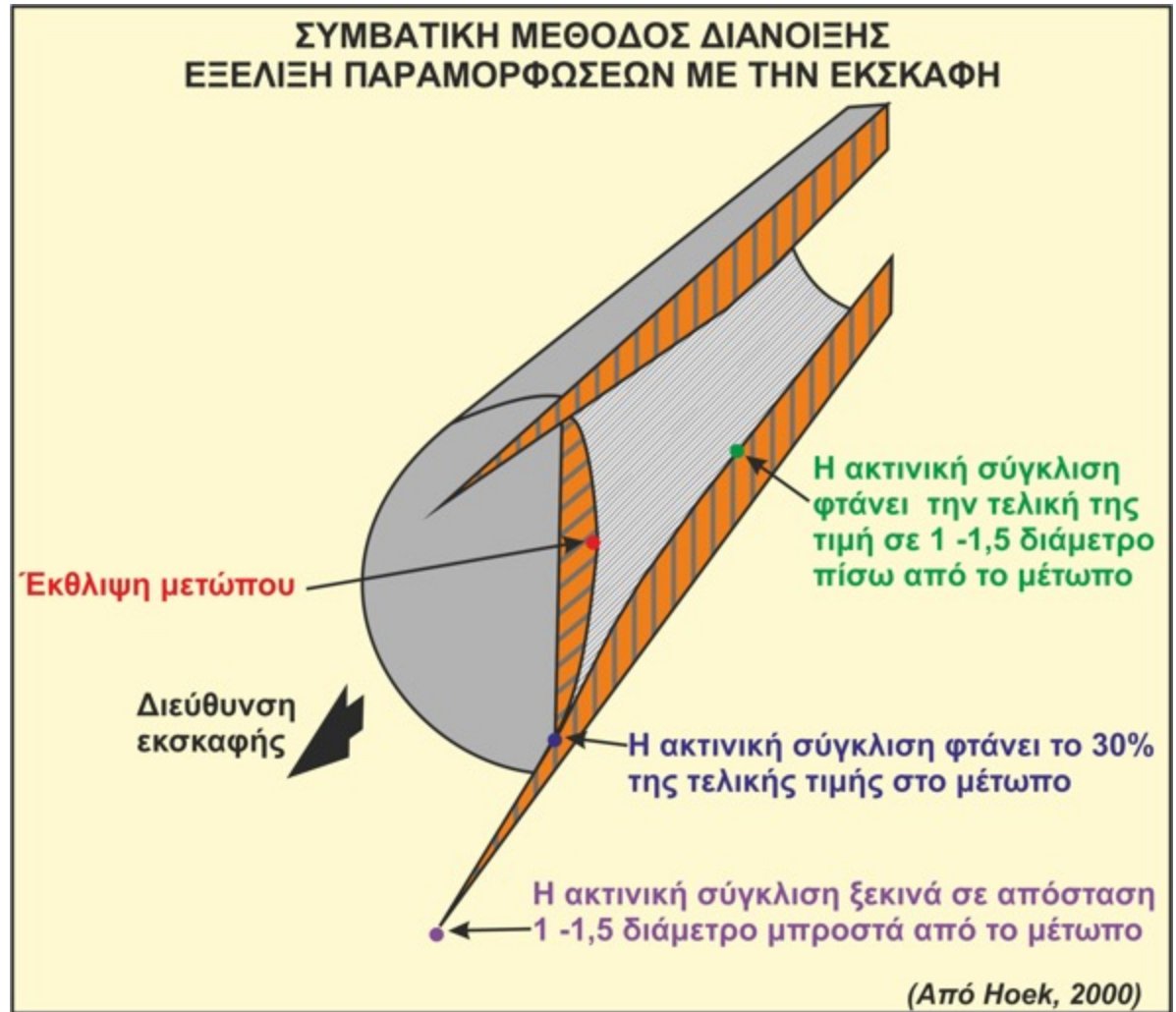
Συμβατική μέθοδος διάνοιξης - NATM

Εξέλιξη
παραμορφώσεων
με την εκσκαφή



Συμβατική μέθοδος διάνοιξης - NATM

Εξέλιξη παραμορφώσεων με την εκσκαφή

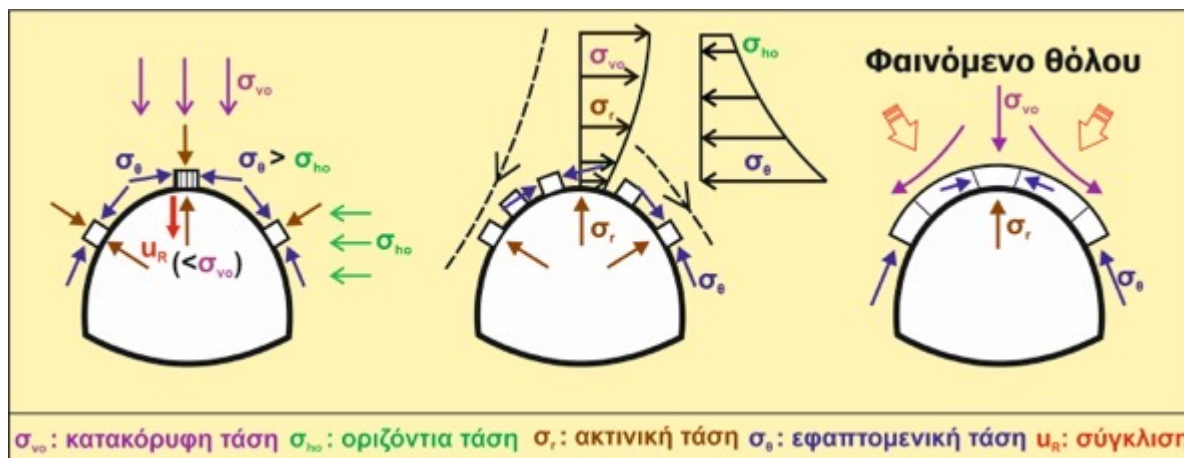


Συμβατική μέθοδος διάνοιξης - NATM

Εξέλιξη παραμορφώσεων με την εκσκαφή

Η "NATM" βασίζεται στις εξής αρχές:

- Κατά την διάνοιξη, το έδαφος συγκλίνει (ακόμη και μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής, με αποτέλεσμα την μείωση της ακτινικής τάσης σ_r και την αύξηση της περιφερειακής τάσης σ_θ . Η αυξημένη σ_θ δημιουργεί το λεγόμενο «φαινόμενο θόλου» με αποτέλεσμα την αυτουποστήριξη της οροφής της σήραγγας.
- Οι μετακινήσεις του εδάφους στην οροφή «χαλαρώνουν» το έδαφος και μπορεί να προκαλέσουν κατάπτωση τεμαχών με συνέπεια αλυσιδωτές καταπτώσεις. Η έγκαιρη τοποθέτηση υποστήριξης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτρέπει τέτοιες καταπτώσεις και συνεπώς διασφαλίζει την δημιουργία του φαινομένου θόλου

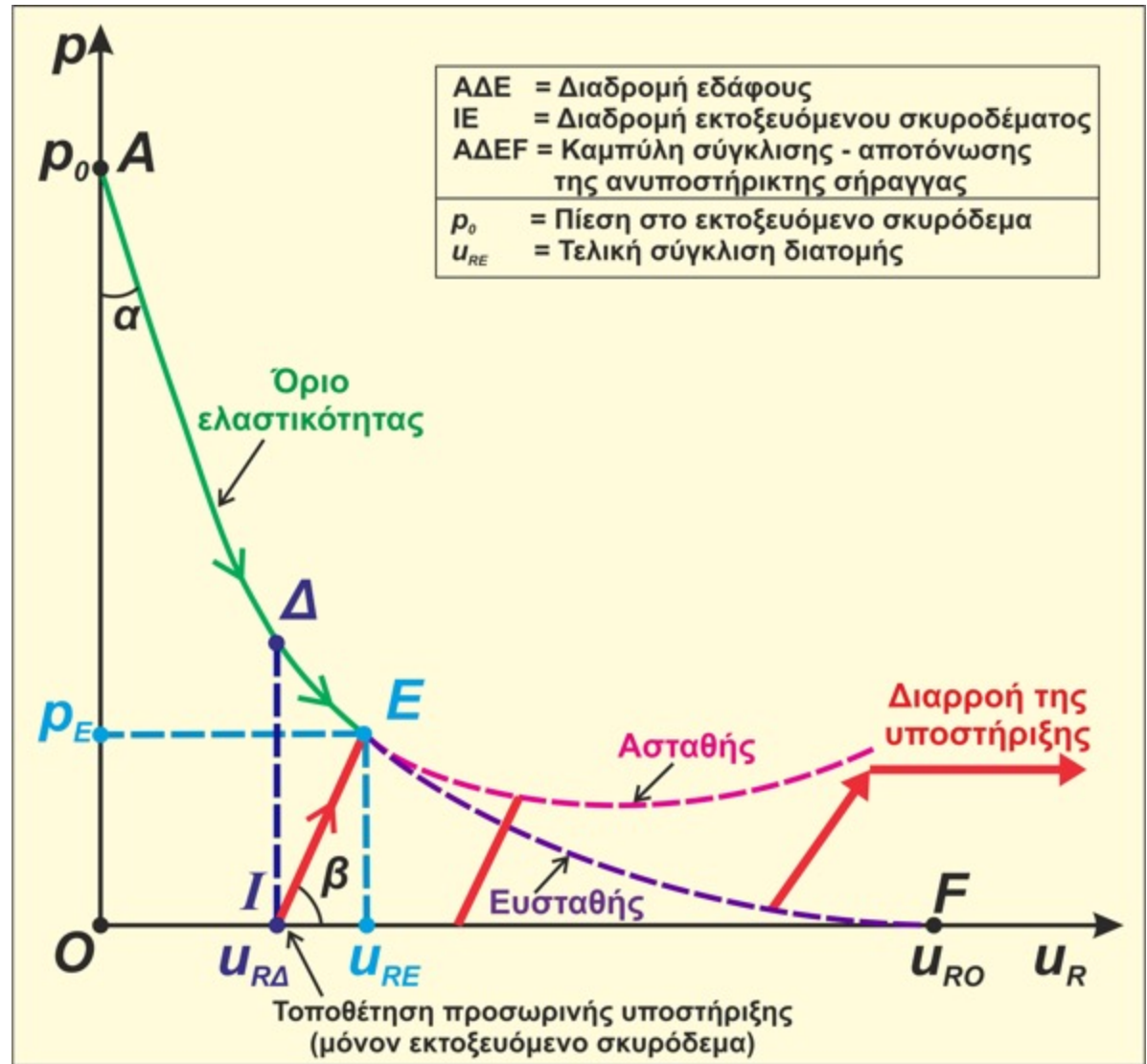


Αρχή της μεθόδου NATM

Η σήραγγα διανοίγεται κατά τρόπο ώστε να ενεργοποιηθεί στο μέγιστο βαθμό η αντοχή της περιβάλλουσας βραχώμαζας (μέσω της ελεγχόμενης σύγκλισης του τοιχώματος)

Έτσι μειώνονται οι πιέσεις της βραχώμαζας στην άμεση υποστήριξη (τόσο περισσότερο όσο αυξάνει η σύγκλιση του τοιχώματος)

Προσοχή: Εάν η σύγκλιση αυξηθεί υπέρμετρα, μπορεί να προκληθεί αποδιοργάνωση της βραχώμαζας και αύξηση των πιέσεων



Παράδειγμα αστοχίας



Σήραγγα Τυμφρηστού – Αστοχία
προσωρινής υποστήριξης με σύγκλιση ~2μ

Συμβατική μέθοδος διάνοιξης

Η εφαρμογή της μεθόδου

Για την αντιμετώπιση των ασταθειών στη συμβατική μέθοδο χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση διάφοροι τρόποι εκσκαφής :

- ❑ Εκσκαφή της διατομής σε φάσεις.
- ❑ Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής.
- ❑ Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής.
- ❑ Ολομέτωπη εκσκαφή με άμεσο κλείσιμο της διατομής με μόνιμη υποστήριξη
- ❑ Γεωτεχνική Παρακολούθηση της συμπεριφοράς των σήραγγων.

Κατασκευή της "τελικής επένδυσης" της σήραγγας σε μεταγενέστερο χρόνο

Συμβατική μέθοδος διάνοιξης Εκσκαφή της διατομής σε φάσεις.

Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι:

- ✧ η ελάχιστη δυνατή αποδιοργάνωση της βραχώμαζας,
- ✧ ο περιορισμός των συγκλίσεων,
- ✧ η βελτίωση της ευστάθειας του μετώπου
- ✧ η χρήση των λιγότερων δυνατών μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

◆ **Εκσκαφή άνω ημιδιατομής (Top Heading).** Γίνεται εκσκαφή του άνω τμήματος της σήραγγας.

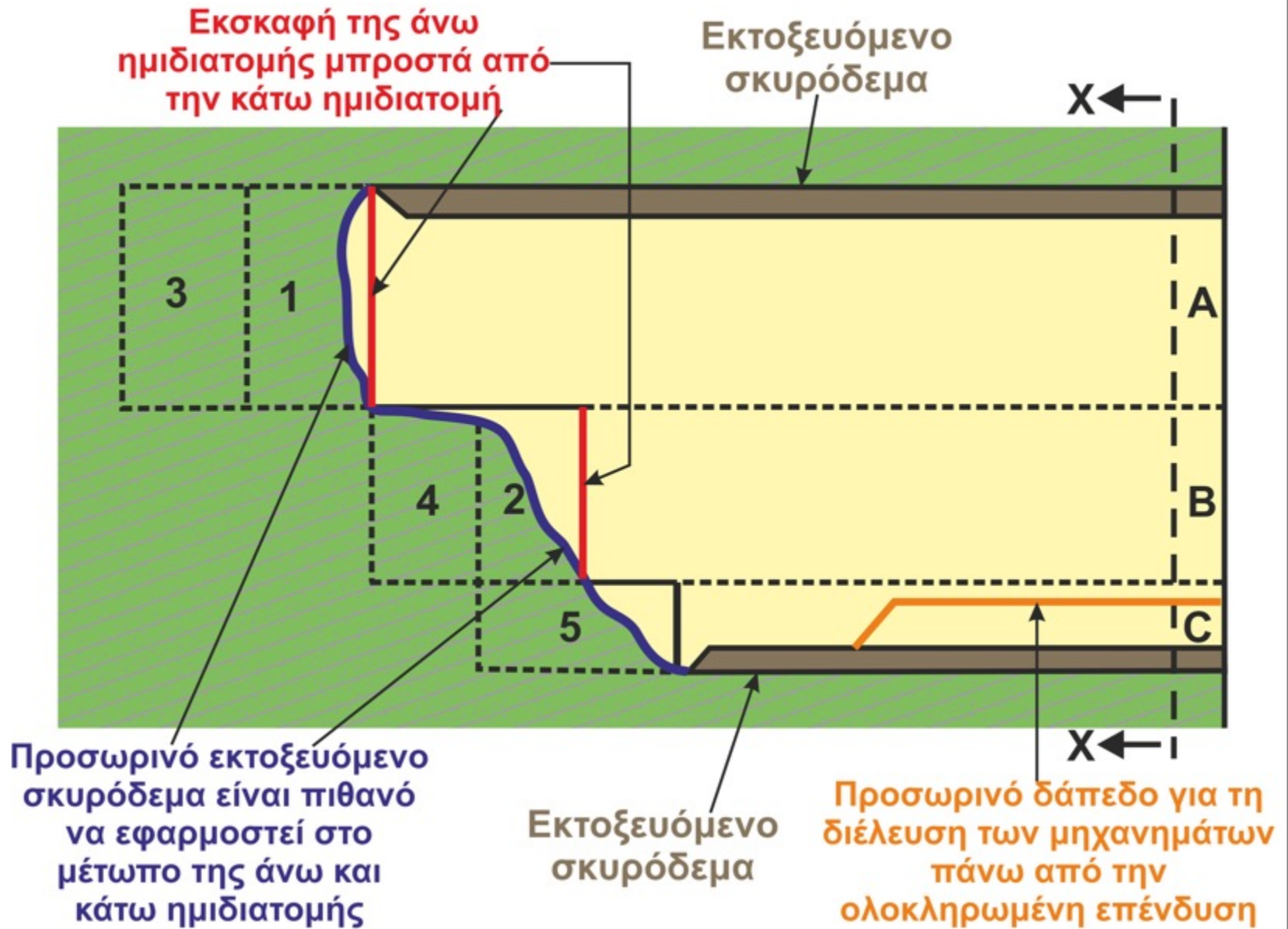
◆ **Εκσκαφή βαθμίδας (Bench).** Γίνεται εκσκαφή του κάτω τμήματος της σήραγγας. Συνήθως οι δύο φάσεις απέχουν μεταξύ τους κατά μία συγκεκριμένη απόσταση.

Συμβατική μέθοδος διάνοιξης

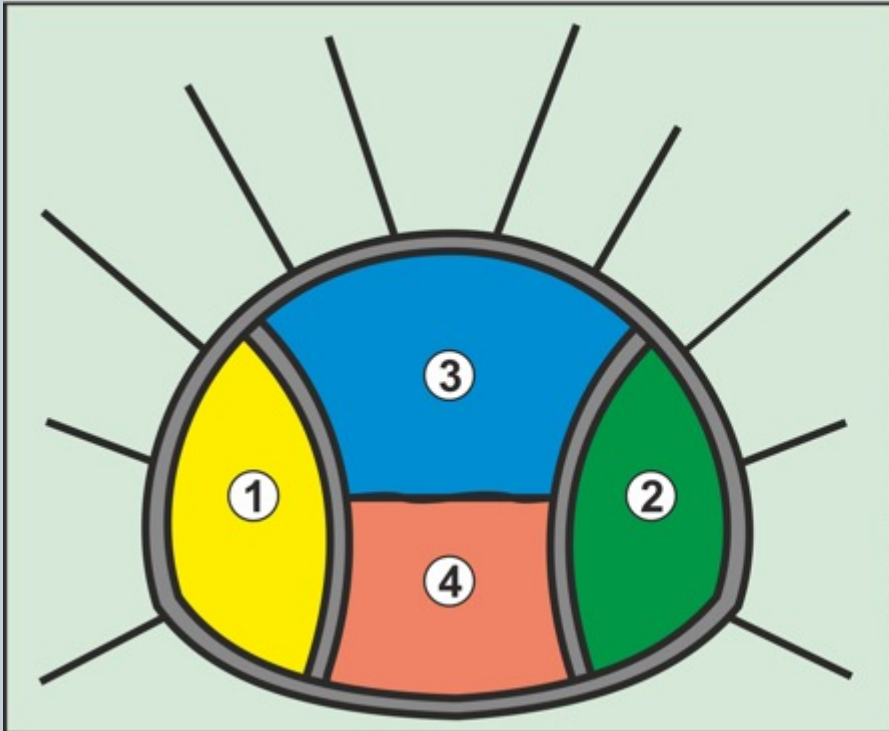
Η εφαρμογή της μεθόδου

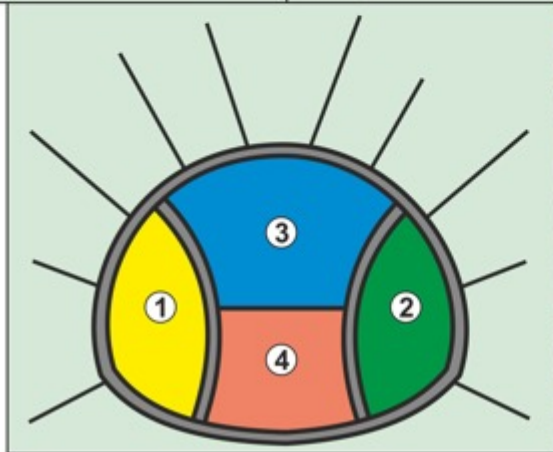
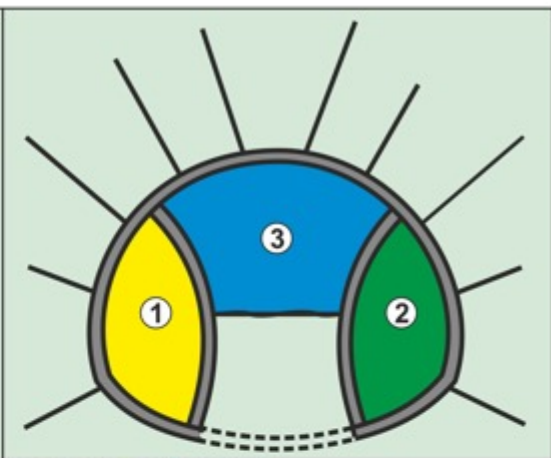
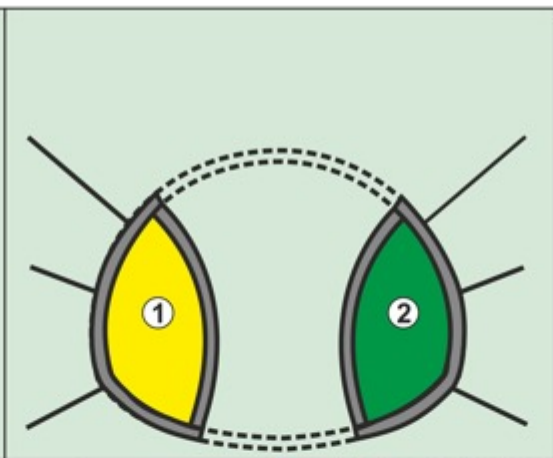
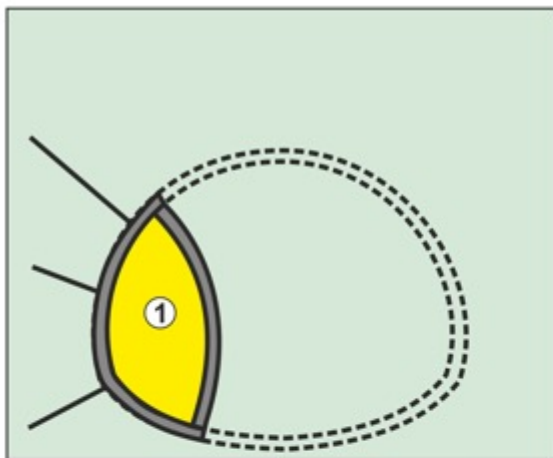


ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ



(από Καββαδάς, 2000)

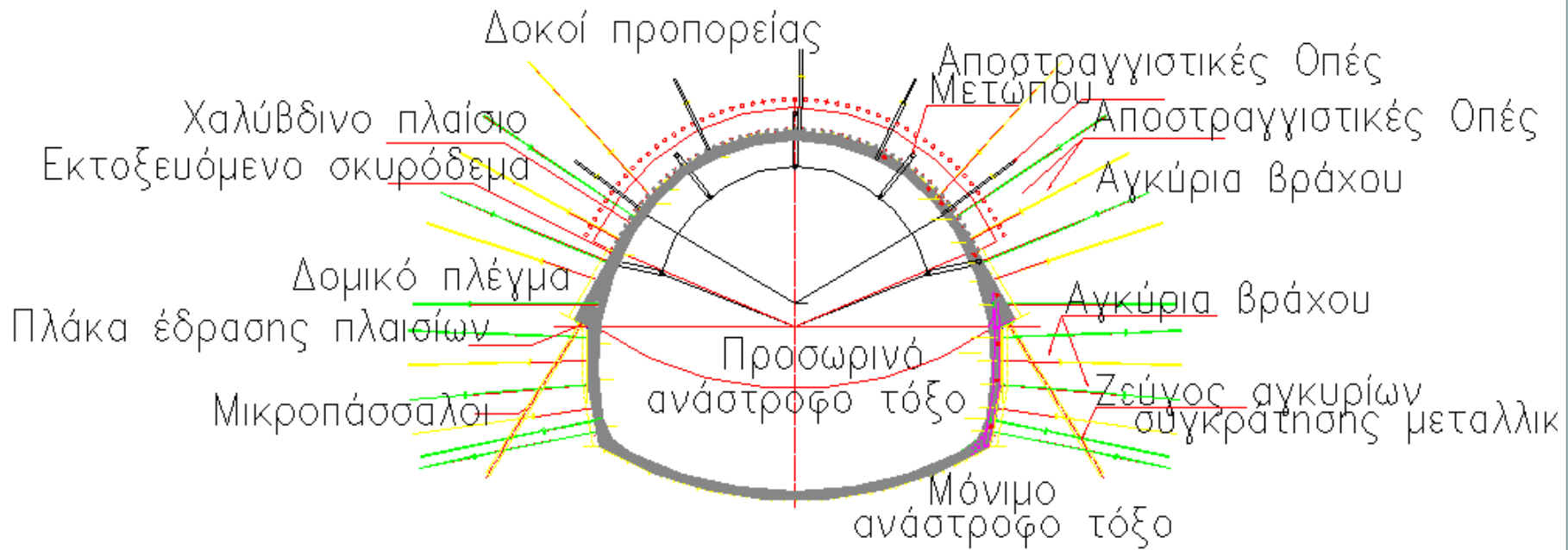




Μέτρα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας

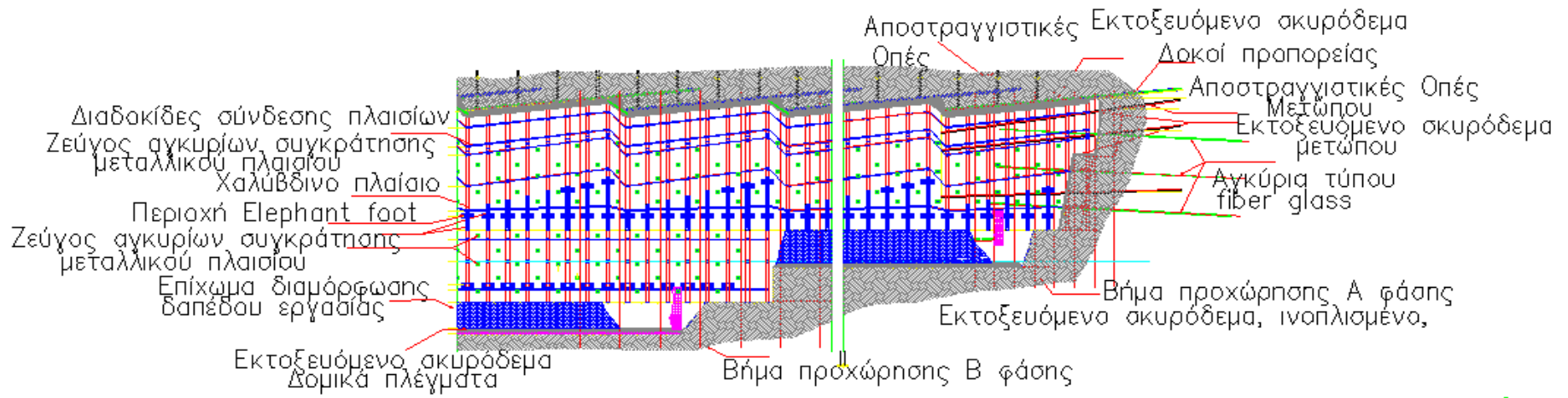
- ◆ Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (μαζί με μεταλλικό πλέγμα και μεταλλικές ίνες οπλισμού).
- ◆ Αγκύρια βράχου
- ◆ Μεταλλικά πλαίσια
- ◆ Μέτρα βελτίωσης των συνθηκών έδρασης του κελύφους
- ◆ Ελαφρά βλήτρα προτοπείας (Spiles)
- ◆ Ομπρέλα βαριών δοκών προτοπείας (Forepole umbrella)
- ◆ Αγκύρια μετώπου – κυρίως Υαλόκαρφα (fiberglass)
- ◆ Προσωρινό ανάστροφο τόξο
- ◆ Μόνιμο ανάστροφο τόξο
- ◆ Ολισθαίνουσα (ενδίδουσα) υποστήριξη
- ◆ Βελτίωση γεωυλικού με χρήση ενέματος (Grouting)
- ◆ Αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές

Μέτρα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας



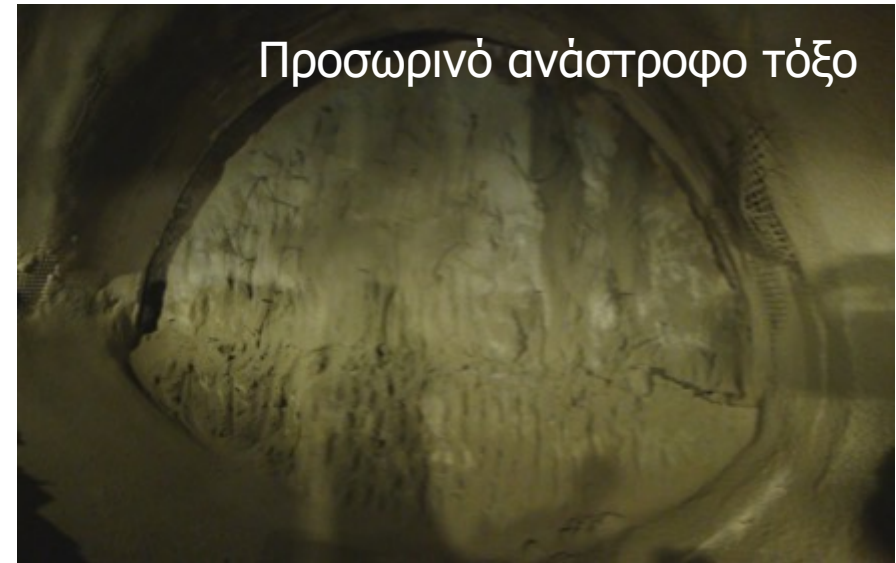
Χαρακτηριστική διατομή μέτρων προσωρινής υποστήριξης για ασθενή βραχώμαζα με κατασκευή σε 2 οριζόντιες ημιδιατομές. Η ανάγκη, τα μεγέθη, οι ποσότητες και ο συνδυασμός των διαφόρων στοιχείων προκύπτει από αριθμητική ανάλυση και από βελτιστοποιήσεις με ενόργανη, αξιόπιστη, παρακολούθηση. Το βήμα προχώρησης εδώ δύσκολα ξεπερνά το 1m την ημέρα.

Μέτρα προσωρινής υποστήριξης σήραγγας

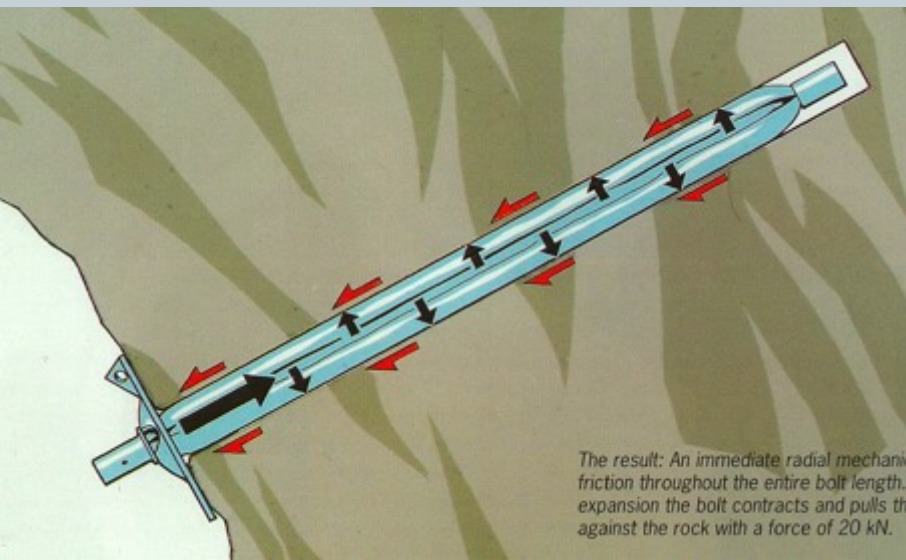


Διαμήκης τομή σήραγγας υπό διάνοιξη υποστήριξης για ασθενή βραχώμαζα με κατασκευή σε 2 οριζόντιες ημιδιατομές

Μέτρα άμεσης υποστήριξης – Αγκύρια βράχου



Μέτρα άμεσης υποστήριξης – Αγκύρια βράχου



Αγκύριο τύπου Swellex (Atlas Copco)

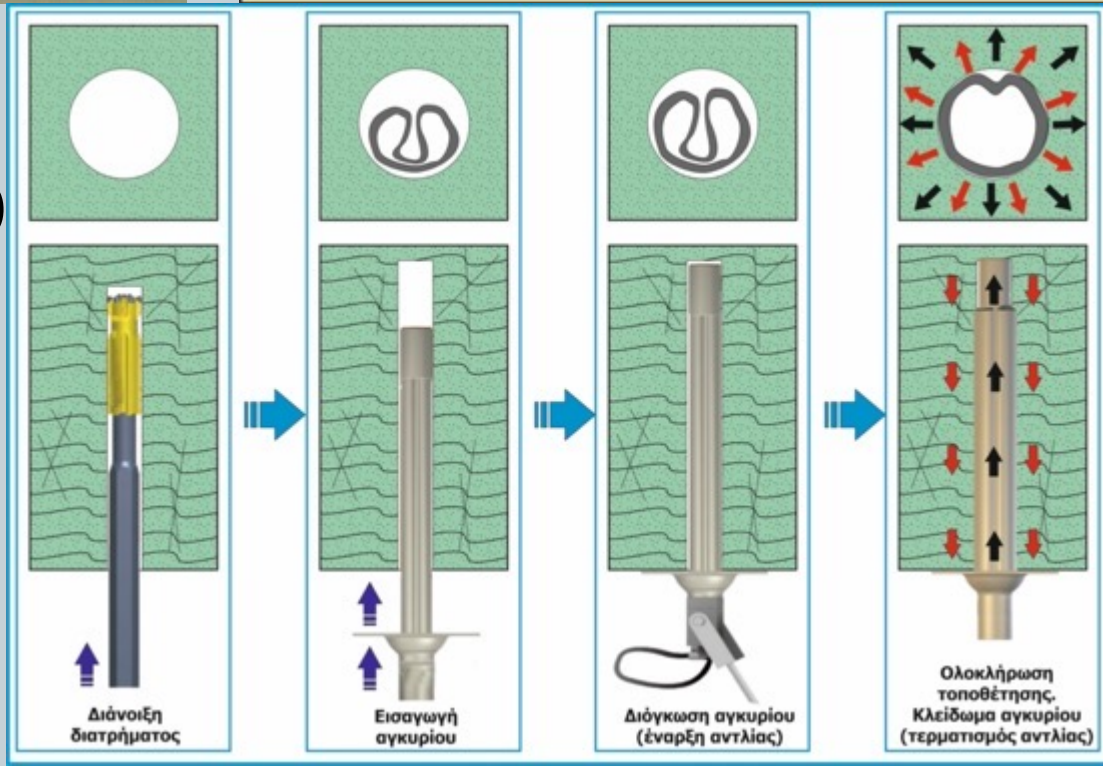
Αγκύριο εντός διατρήματος
σε διαστολή



Αγκύριο εντός διατρήματος
σε συστολή



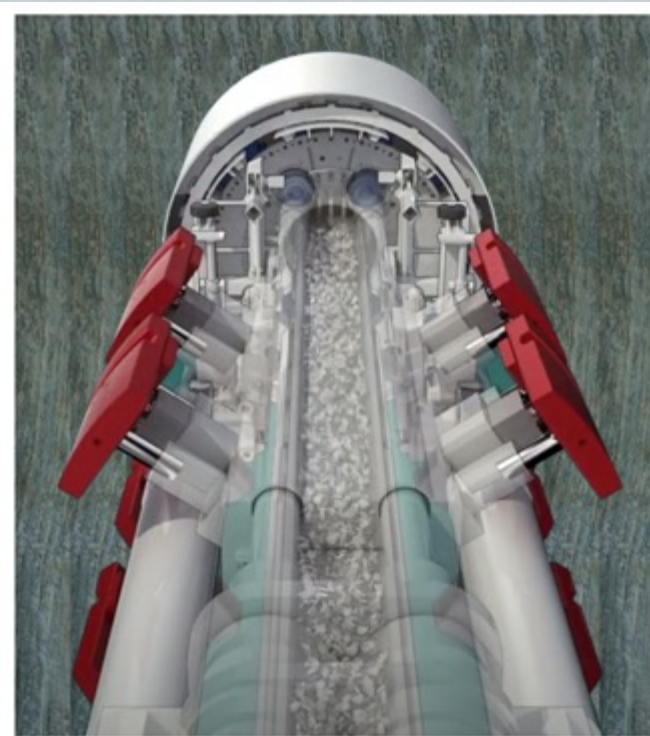
Αγκύρια τύπου Swellex (100 kN) (από Atlas Copco)





Περισσότερα για τα μέτρα άμεσης
υποστήριξης σε σχετικό μάθημα

ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ Tunnel Boring Machines (TBM)





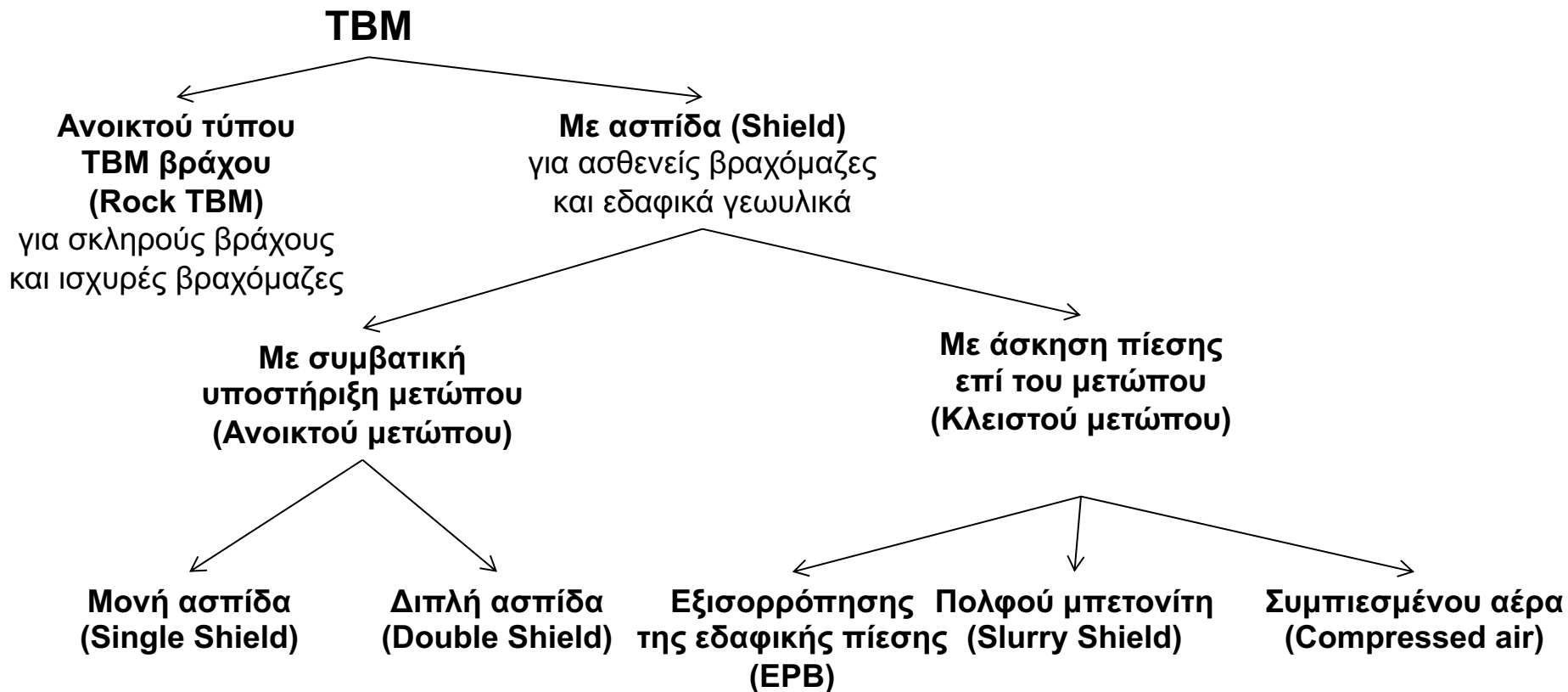
«Ξετρύπημα» TBM στο σταθμό Νομαρχία (Μετρό Θεσσαλονίκης)



«Ξετρύπημα» TBM στο σταθμό Καλαμαριά
(Μετρό Θεσσαλονίκης)

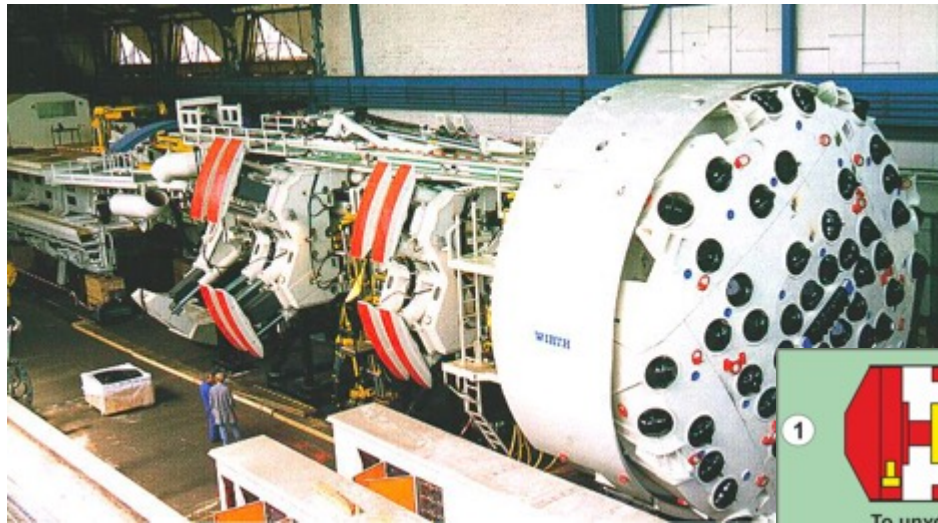
Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



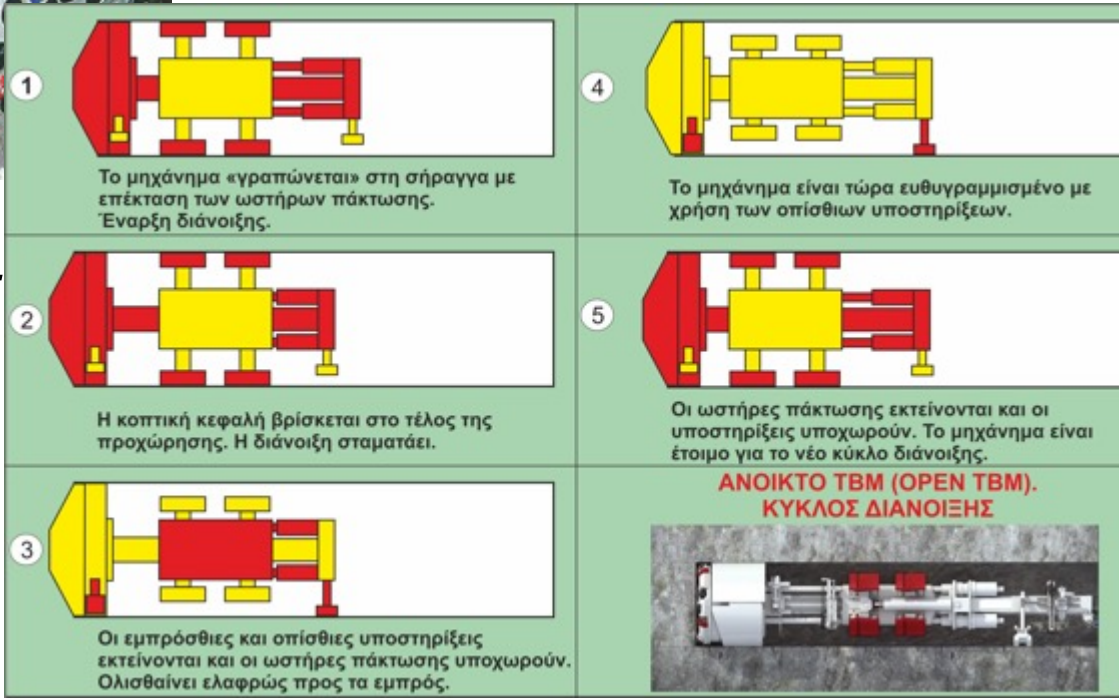
Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



Σε σκληρούς βράχους

*Ανοικτό TBM (open TBM)-
Φάσεις λειτουργίας*



Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

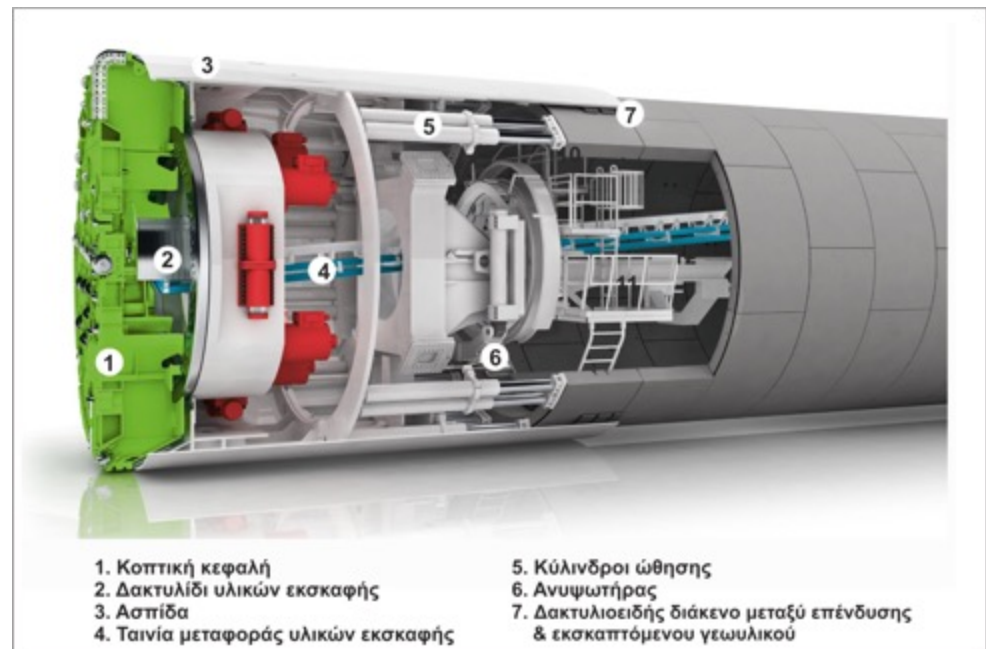
Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



Χαρακτηριστικά:

1. Προστασία της κεφαλής έναντι καταπτώσεων της οροφής
2. Η προώθηση γίνεται με πίεση επί της τοποθετημένης επένδυσης
3. Η τοποθέτηση της επένδυσης καθυστερεί την εκσκαφή

Μηχάνημα Μονής Ασπίδας (Single Shield TBM)



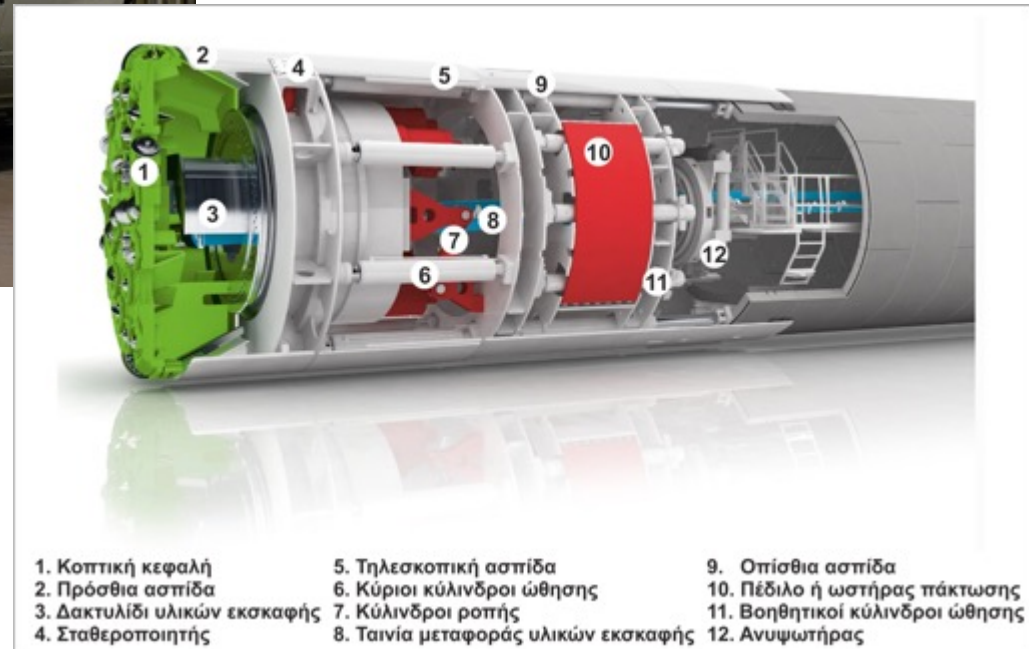
1. Κοπτική κεφαλή
2. Δακτυλίδι υλικών εκσκαφής
3. Ασπίδα
4. Ταινία μεταφοράς υλικών εκσκαφής
5. Κύλινδροι ώθησης
6. Ανυψωτήρας
7. Δακτυλιοειδής διάκενο μεταξύ επένδυσης & εκσκαπτόμενου γεωυλικού

Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών

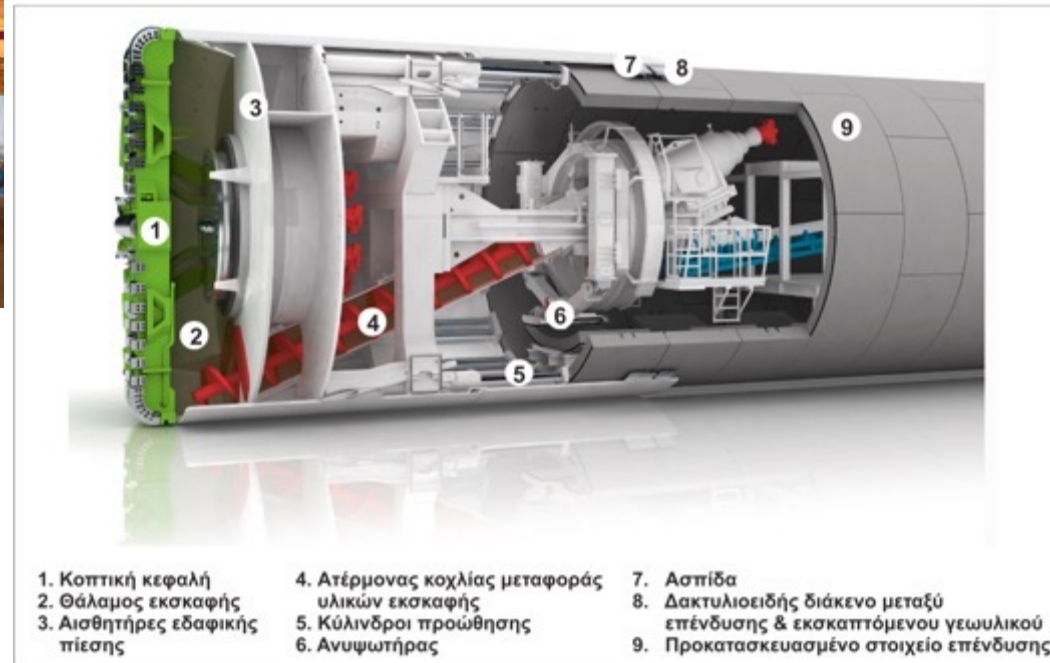


Μηχάνημα Διπλής
Ασπίδας
(Double Shield TBM)



Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών

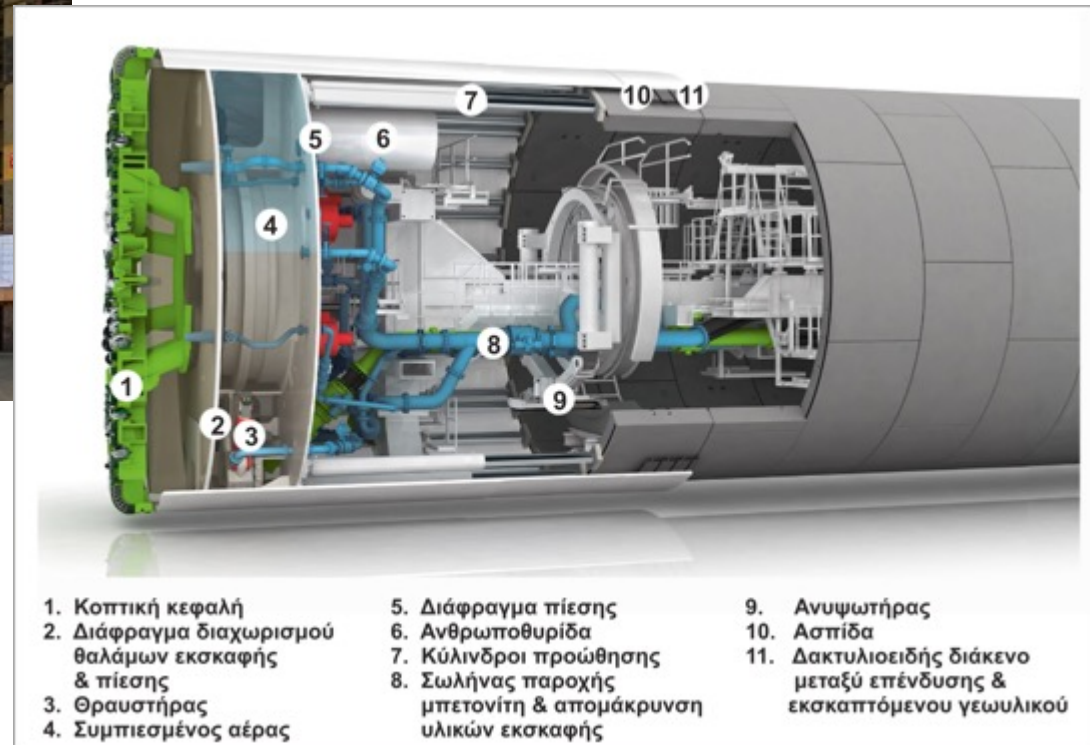


- | | | |
|-------------------------------|--|--|
| 1. Κοπτική κεφαλή | 4. Ατέρμονας κοχλίας μεταφοράς υλικών εκσκαφής | 7. Ασπίδα |
| 2. Θάλαμος εκσκαφής | 5. Κύλινδροι προώθησης | 8. Δακτυλιοειδής διάκενο μεταξύ επένδυσης & εκσκαπόμενου γεωυλικού |
| 3. Αισθητήρες εδαφικής πίεσης | 6. Ανυψωτήρας | 9. Προκατασκευασμένο στοιχείο επένδυσης |

Μηχάνημα Εξισορρόπησης Εδαφικής Πίεσης Πολφού (EPB TBM)

Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

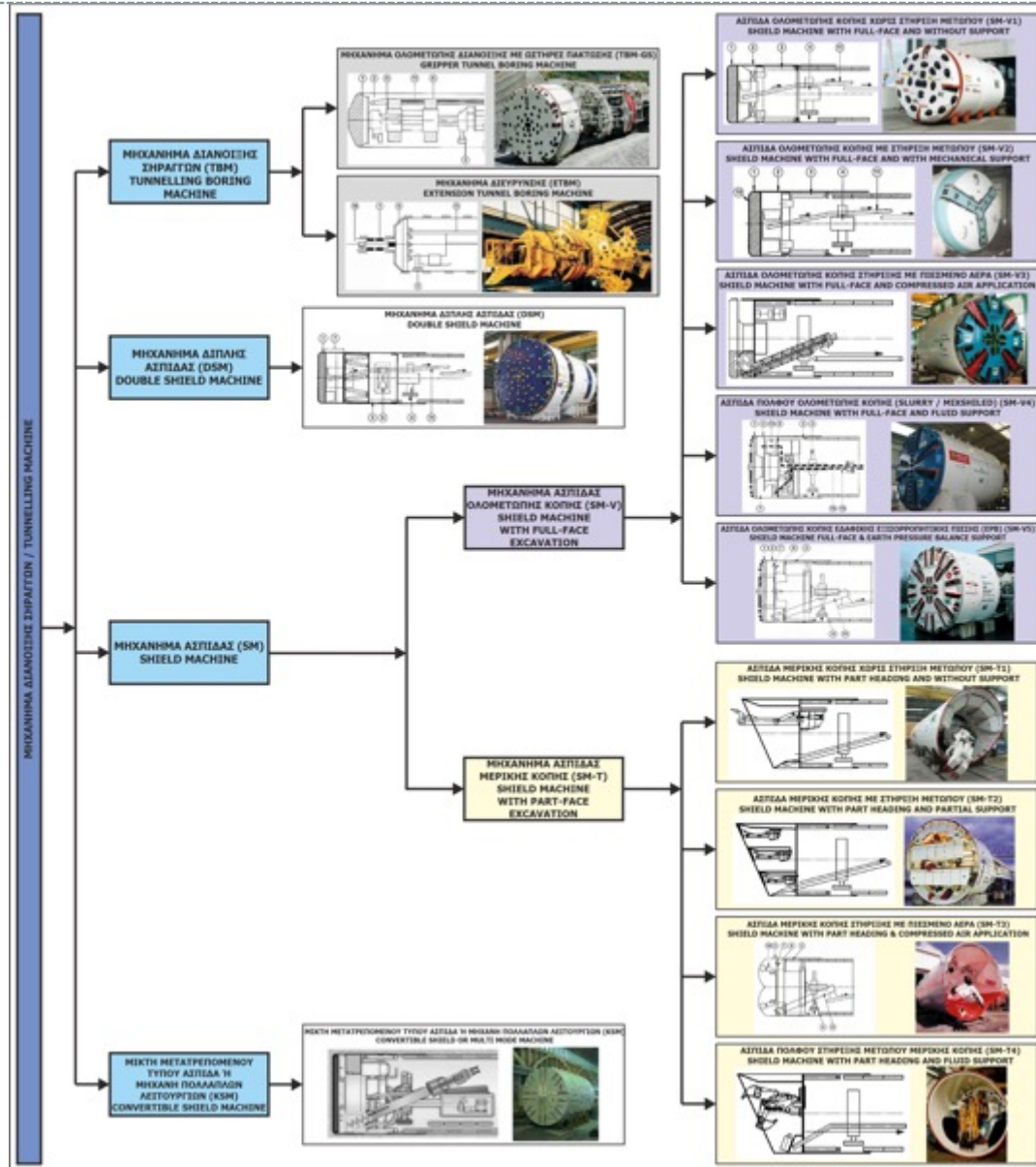
Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



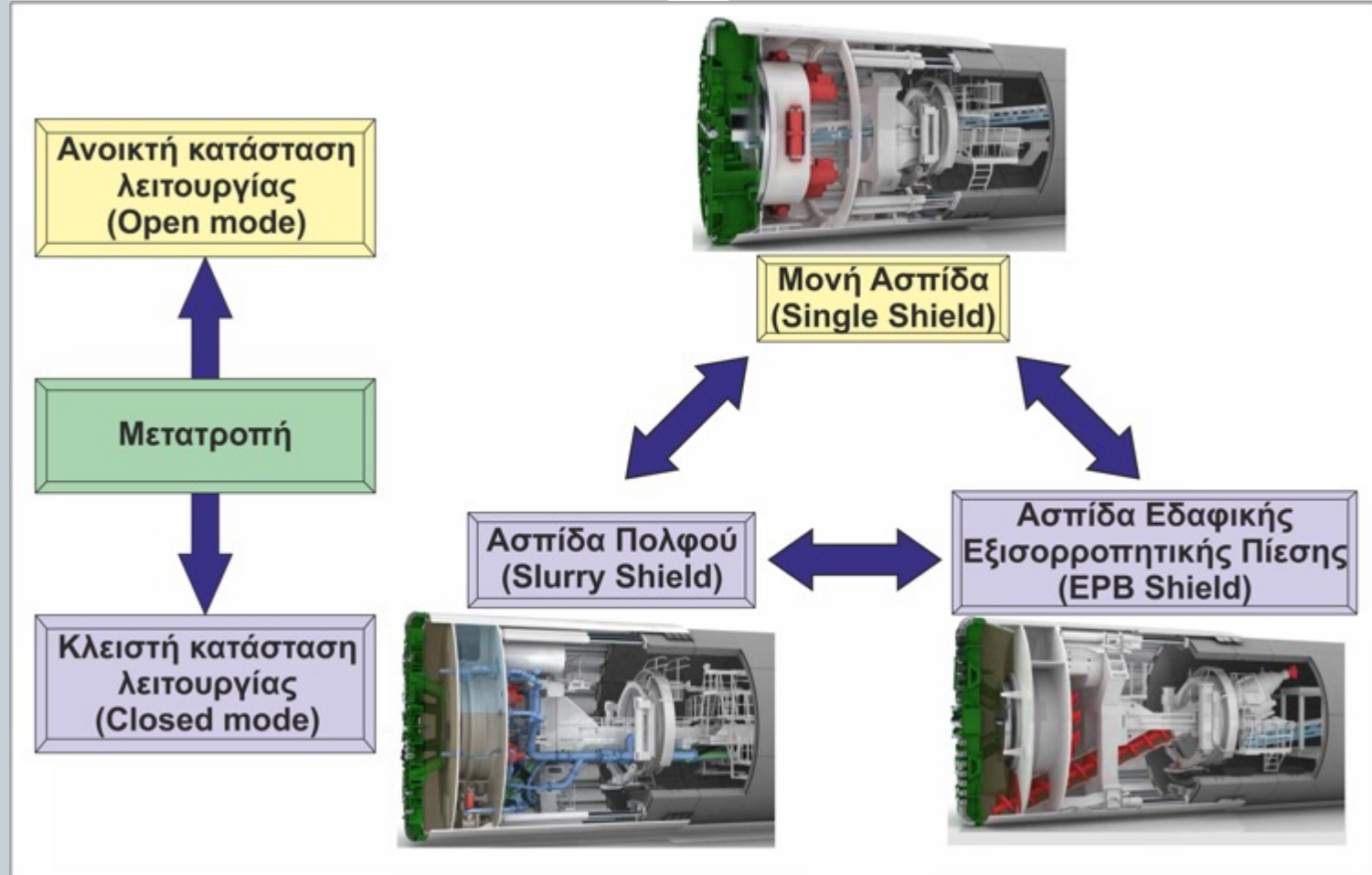
Μηχάνημα Ασπίδας Πολφού (Slurry Shield TBM)

Tunnel Boring Machines (TBM)

ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

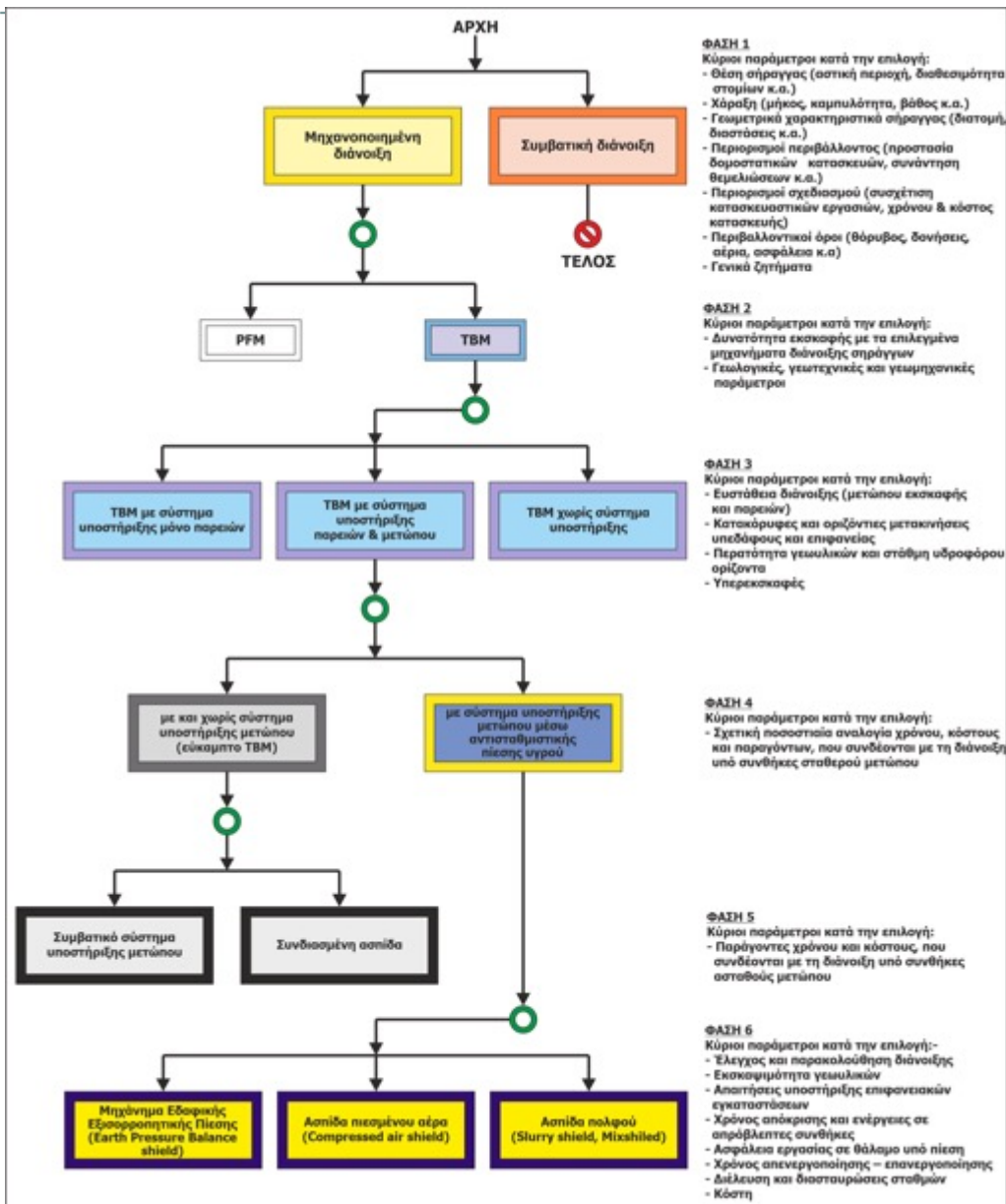


Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



TBM's

Δενδροδιάγραμμα επιλογής μηχανήματος



NATM vs TBM



Πλεονεκτήματα της NATM σε σχέση με τις εναλλακτικές μεθόδους:

- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες. Συνεπώς δύσκολα αποτυγχάνει ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι παραδοχές της μελέτης διαφέρουν σημαντικά από τις επιτόπου συνθήκες
- Πλεονεκτεί σε περιπτώσεις έντονα διογκούμενων εδαφών όπου η μηχανική διάνοιξη (μπορεί να αποτύχει πλήρως)
- Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής (π.χ. διευρύνσεις της διατομής)
- Πλεονεκτεί σε διατομές μεγάλου μεγέθους (πολλαπλές φάσεις)
- Μπορεί να εφαρμοσθεί στη διάνοιξη μη κυκλικών διατομών
- Επιτρέπει ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη (που τοποθετείται μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης)
- Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικώς μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους
- Δεν απαιτεί μεγάλη αρχική οικονομική επένδυση, αλλά έχει υψηλό κόστος προσωπικού

TBM vs NATM



Πλεονεκτήματα των μεθόδων μηχανικής εκσκαφής σε σχέση με τη μέθοδο NATM

- Σε ομοιογενείς γεωτεχνικές συνθήκες επιτυγχάνουν ταχύτερους ρυθμούς διάνοιξης
- Υπάρχουν κατάλληλα μηχανήματα πρακτικώς για όλους τους τύπους των εδαφών. Υπάρχει μεγάλο πρόβλημα σε περιπτώσεις μεταβαλλόμενων γεωτεχνικών συνθηκών
- Σε ομοιογενείς γεωτεχνικές συνθήκες και σήραγγες μεγάλου μήκους επιτυγχάνουν μικρότερο λειτουργικό κόστος έχουν μικρό κόστος προσωπικού, αλλά υψηλή αρχική επένδυση
- Ελέγχουν καλύτερα το μέτωπο εκσκαφής σε περιπτώσεις αστάθειας (π.χ. εδάφη μικρής αντοχής, άμμοι) ή λόγω έντονης εισροής νερού μέσω της εφαρμογής αντι πίεσης (EPB ή slurry) και της "κεφαλής"



Περισσότερα για τα TBMs
σε επόμενο μάθημα

Θέματα Στομίων

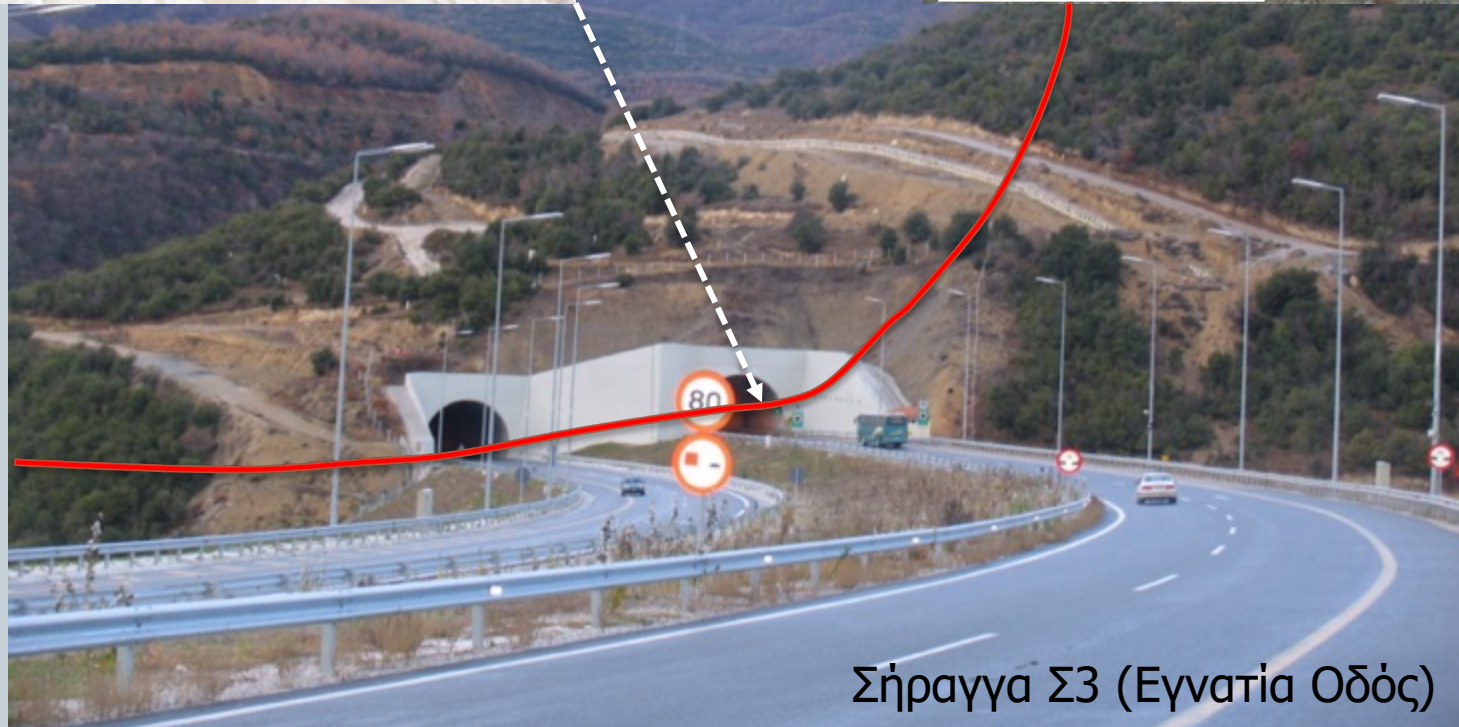
Πολύ μικρές καμπυλότητες σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή. Άρα:

- Δεν προσαρμόζονται εύκολα στις απαιτήσεις των γεωτεχνικών συνθηκών, γεωμετρία ρηγμάτων, κλπ
- Οι κατά μήκος κλίσεις είναι συχνά δυσμενείς για τη διάνοιξη (κατωφέρεια)
- Τα στόμια συχνά διαμορφώνονται δυσμενώς ως προς το φυσικό πρανές (δηλαδή λοξά ως προς τις ισοϋψείς), με συνέπεια κινδύνους αστοχίας των στομίων



Οδική σήραγγα Παράκαμψης Πάτρας

Θέματα Στομίων



Σήραγγα Σ3 (Εγνατία Οδός)

Μέθοδοι Διαστασιολόγησης και Ανάλυσης της Προσωρινής Υποστήριξης



Κατηγορίες μεθόδων:

- Εμπειρικές
- Ημιεμπειρικές
- Αναλυτικές
- Αριθμητικές

Εμπειρικές μέθοδοι



Περιλαμβάνουν τα εξής:

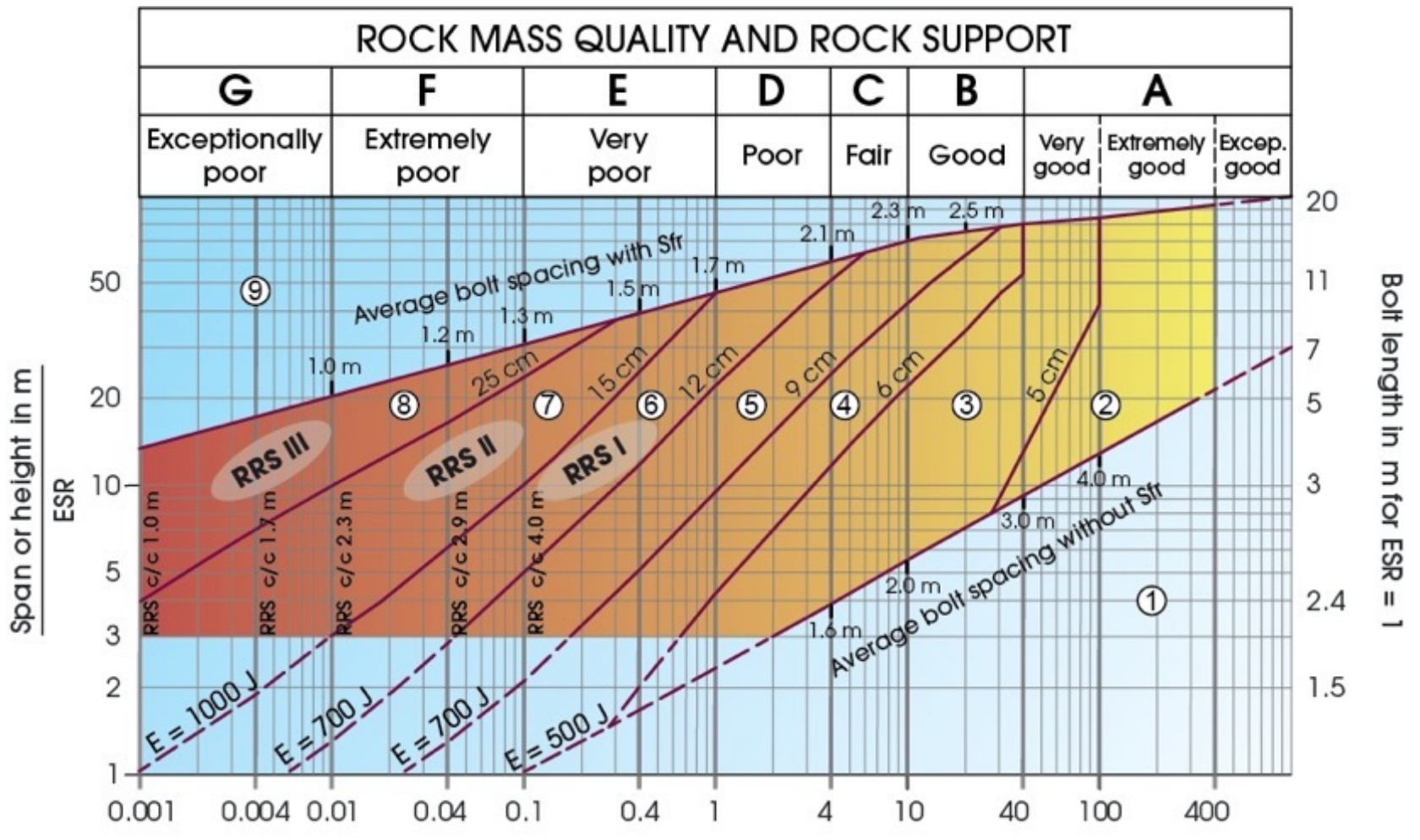
- Γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχώμαζας
- Επιλογή και διαστασιολόγηση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης με βάση την ταξινόμηση της βραχώμαζας και τη γεωμετρία της σήραγγας

Παράδειγμα: μέθοδος Q (NGI), RMR (Bieniawski)

Πλεονεκτήματα: Απλότητα, ευχρηστικότητα, ταχύτητα

Μειονεκτήματα: Αγνόηση ειδικών γεωτεχνικών συνθηκών, ή θεώρησή τους μέσω σημαντικής απλοποίησης

Επιλογή μέτρων προσωρινής υποστήριξης κατά το σύστημα Q (NGI)



$$\text{Rock mass quality } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Ημι-εμπειρικές μέθοδοι



Περιλαμβάνουν τα εξής:

- Γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχώμαζας
- Επιλογή των μέτρων υποστήριξης με βάση την ταξινόμηση της βραχώμαζας και κάποια εμπειρική μέθοδο (π.χ. Bieniawski 1989)
- Εκτίμηση των φορτίων της βραχώμαζας στην υποστήριξη με κάποια εμπειρική μέθοδο (π.χ. Terzaghi, Bieniawski, Protodyakonov, κλπ)
- Έλεγχος επάρκειας των μέτρων υποστήριξης με στατική ανάλυση

Πλεονεκτήματα: Σχετικώς απλές, επίφραση ανάλυσης και υπολογισμών

Μειονεκτήματα: Τα θεωρούμενα φορτία εκ της βραχώμαζας συνήθως αναφέρονται σε διαφορετικές συνθήκες και συνεπώς δεν είναι ορθά. Π.χ.:

- Protodyakonov: Για σήραγγες του Μετρό της Μόσχας (μικρά βάθη). Σε βαθύτερες σήραγγες τα υπολογιζόμενα φορτία είναι πολύ μικρά.
- Bieniawski: Για σχετικώς καλής ποιότητας βραχώμαζες ($RMR > 50$). Για βραχώμαζες με $RMR < 50$, τα υπολογιζόμενα φορτία είναι πολύ μικρά.
- Terzaghi: Για σήραγγες εύρους 4-6m, υποστηριζόμενες με ξύλινα στοιχεία και λιθοδομή. Για σήραγγες NATM εύρους 10-15m, τα υπολογιζόμενα φορτία είναι πολύ μεγάλα.

Επιλογή μέτρων προσωρινής υποστήριξης κατά το σύστημα RMR (Bieniawski, 1989)

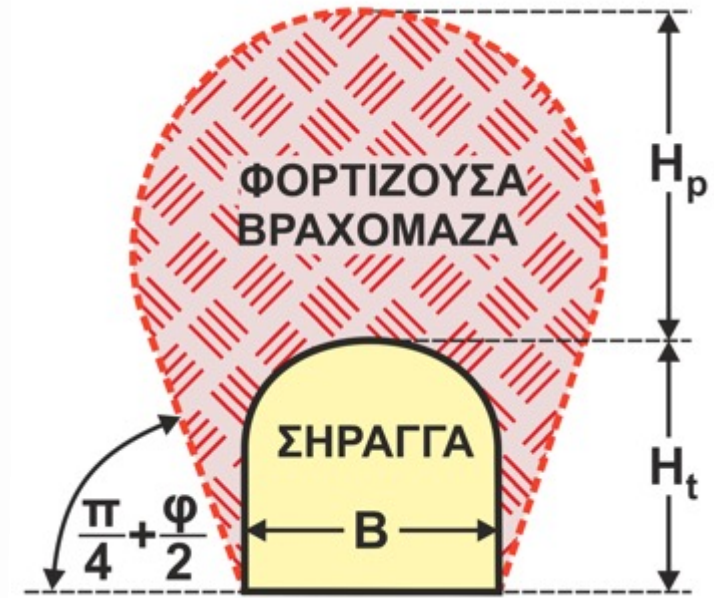
Rock mass class	Excavation	Support		
		Rock bolts (20 mm diam., fully bonded)	Shotcrete	Steel sets
1. Very good rock RMR: 81-100	Full face: 3 m advance	Generally no support required except for occasional spot bolting		
2. Good rock RMR: 61-80	Full face: 1.0-1.5 m advance; Complete support 20 m from face	Locally bolts in crown, 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh	50 mm in crown where required	None
3. Fair rock RMR: 41-60	Top heading and bench: 1.5-3 m advance in top heading; Commence support after each blast; Commence support 10 m from face	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5-2 m in crown and walls with wire mesh in crown	50-100 mm in crown, and 30 mm in sides	None
4. Poor rock RMR: 21-40	Top heading and bench: 1.0-1.5 m advance in top heading; Install support concurrently with excavation - 10 m from face	Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh	100-150 mm in crown and 100 mm in sides	Light ribs spaced 1.5 m where required
5. Very poor rock RMR < 21	Multiple drifts: 0.5-1.5 m advance in top heading; Install support concurrently with excavation; shotcrete as soon as possible after blasting	Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert	150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert

Shape: horseshoe; Width: 10 m; Vertical stress: below 25 MPa; Excavation by drill & blast

Φορτία βραχόμαζας κατά Terzaghi (1946), τροποποίηση κατά Deere (1970) και Rose, 1982

Κατηγορία	Κατάσταση πετρώματος	Ύψος φορτιζοντος πετρώματος σε μέτρα
I	Σκληρό και άνεπαφο	0
II	Σκληρό στρωσιγενές ή σχιστώδες	0 – 0,5 B
III	Συμπαγές, μέτρια διακλασμένο	0 – 0,25 B
IV	Μέτρια διακλασμένο με λεπτές δευτερογενείς συνδέσεις	0,25 – 0,35 (B+H)
V	Πολύ διακλασμένο με δευτερογενείς συνδέσεις	0,35 – 1,10 (B+H)
VI	Τελείως θραυσμένο αλλά χημικά άνεπαφο	1,10 (B+H)
VII	Συμπιεστό πέτρωμα σε μέσο βάθος	(1,10 – 2,10) (B+H)
VIII	Συμπιεστό πέτρωμα σε μεγάλο βάθος	(2,10–4,50) (B+H)
IX	Διογκούμενο πέτρωμα	Μέχρι 85 μέτρα ανεξάρτητα του συντελεστού (B+H).

B και H είναι αντίστοιχα το πλάτος και το ύψος της διατομής της σήραγγας, ή οποία υποτίθεται ότι βρίσκεται μόνιμα κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Εάν η σήραग्ga βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα το ύψος φορτιζοντος πετρώματος για τις κατηγορίες IV έως VI μειώνονται κατά 50% περίπου.



Σήραग्ga εύρους B και ύψους H_t
 H_p = ύψος φορτιζουσας βραχόμαζας

Rock condition	RQD	Ground load height H_p (m)	Remarks
1. Hard and intact	95~100	0	Light lining required only if spalling or popping occurs
2. Hard stratified or schistose	90~99	0~0.5 B	Light support, mainly for protection against spalls. Load may change erratically from point to point
3. Massive, moderately jointed	85~95	0~0.25 B	-
4. Moderately blocky and seamy	75~85	0.25 B~0.20 (B+H _t)	Types 4, 5, and 6 reduced by about 50% from Terzaghi value because water table has little effect on rock load(Terzaghi, 1946: Brekke 1968)
5. Very blocky and seamy	30~75	(0.20~0.60) (B+H _t)	
6. Completely crushed but chemically intact	3~30	(0.60~1.10) (B+H _t)	
6a. Sand and gravel	0~3	(1.10~1.40) (B+H _t)	
7. Squeezing rock, moderate depth	NA	(1.10~2.10) (B+H _t)	Heavy side pressure invert struts required Circular ribs are recommended
8. Squeezing rock, great depth	NA	(2.10~4.50) (B+H _t)	-
9. Swelling rock	NA	Up to 250ft irrespective of value of (B+H _t)	Circular ribs required In extreme cases, use yielding support

Αναλυτικές μέθοδοι



Περιλαμβάνουν τα εξής:

- Γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχώμαζας
- Επιλογή των μέτρων υποστήριξης με βάση την ταξινόμηση της βραχώμαζας και κάποια εμπειρική μέθοδο (π.χ. Q, Bieniawski 1989) ή την εμπειρία του μελετητή από ανάλογα έργα
- Εκτίμηση των φορτίων της βραχώμαζας στην υποστήριξη με αναλυτική μέθοδο (συνήθως τη μέθοδο σύγκλισης αποτόνωσης ή τη μέθοδο Rabcewicz)
- Έλεγχος επάρκειας των μέτρων υποστήριξης με στατική ανάλυση

CHILE: Continuous, Homogenous, Isotropic, Linear Elastic Behaviour

Πλεονεκτήματα: Συνδυάζουν απλότητα και επάρκεια υπολογισμών για προμελέτες σηράγγων

Μειονεκτήματα: Αγνόηση ειδικών γεωτεχνικών συνθηκών (π.χ. κεκλιμένες στρώσεις βράχου, αποσφηνώσεις, κλπ), ή θεώρησή τους μέσω σημαντικής απλοποίησης

Αριθμητικές μέθοδοι



Περιλαμβάνουν τα εξής:

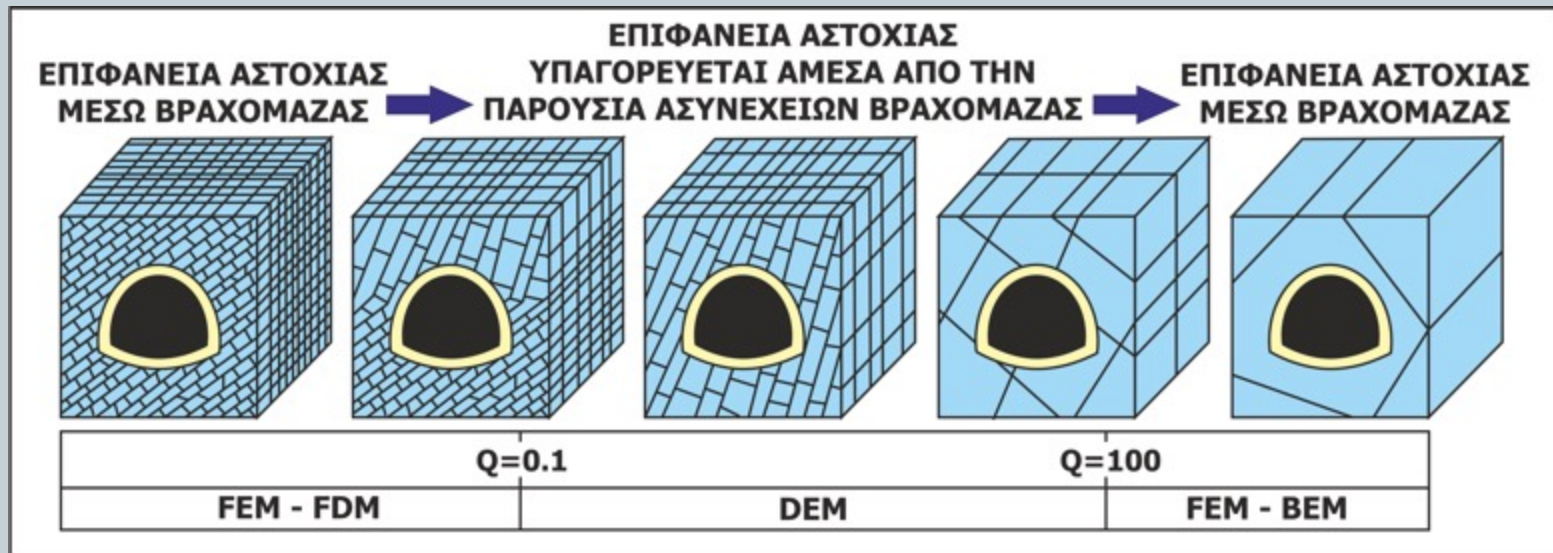
Τάσεις {σ}
Παραμορφώσεις {ε}
Μετακινήσεις {u}

- Γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχόμαζας
- Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων της βραχόμαζας με βάση την ταξινόμηση
- Επιλογή των μέτρων υποστήριξης με βάση την εμπειρία του μελετητή από ανάλογα έργα ή ακόμα και την ταξινόμηση της βραχόμαζας και κάποια εμπειρική μέθοδο (π.χ. Q, Bieniawski 1989)
- Έλεγχος επάρκειας των μέτρων υποστήριξης με ανάλυση της αλληλεπίδρασης βραχόμαζας υποστήριξης με αριθμητική μέθοδο (συνήθως με πεπερασμένα στοιχεία)

Πλεονεκτήματα: Η ακριβέστερη μέθοδος (εφόσον οι παραδοχές είναι ορθές)

Μειονεκτήματα: Σχετικώς σύνθετη ανάλυση. Η ακρίβεια των προβλέψεων επηρεάζεται από παραδοχές για τις οποίες συχνά δεν υπάρχουν δεδομένα (π.χ. ακριβής στρωματογραφία και μηχανικές παράμετροι). Συνεπώς, συχνά η ακρίβεια των υπολογισμών δεν αντιστοιχεί με ακρίβεια προβλέψεων.

Συμπεριφορά βραχομάζας και ανάλυσή της



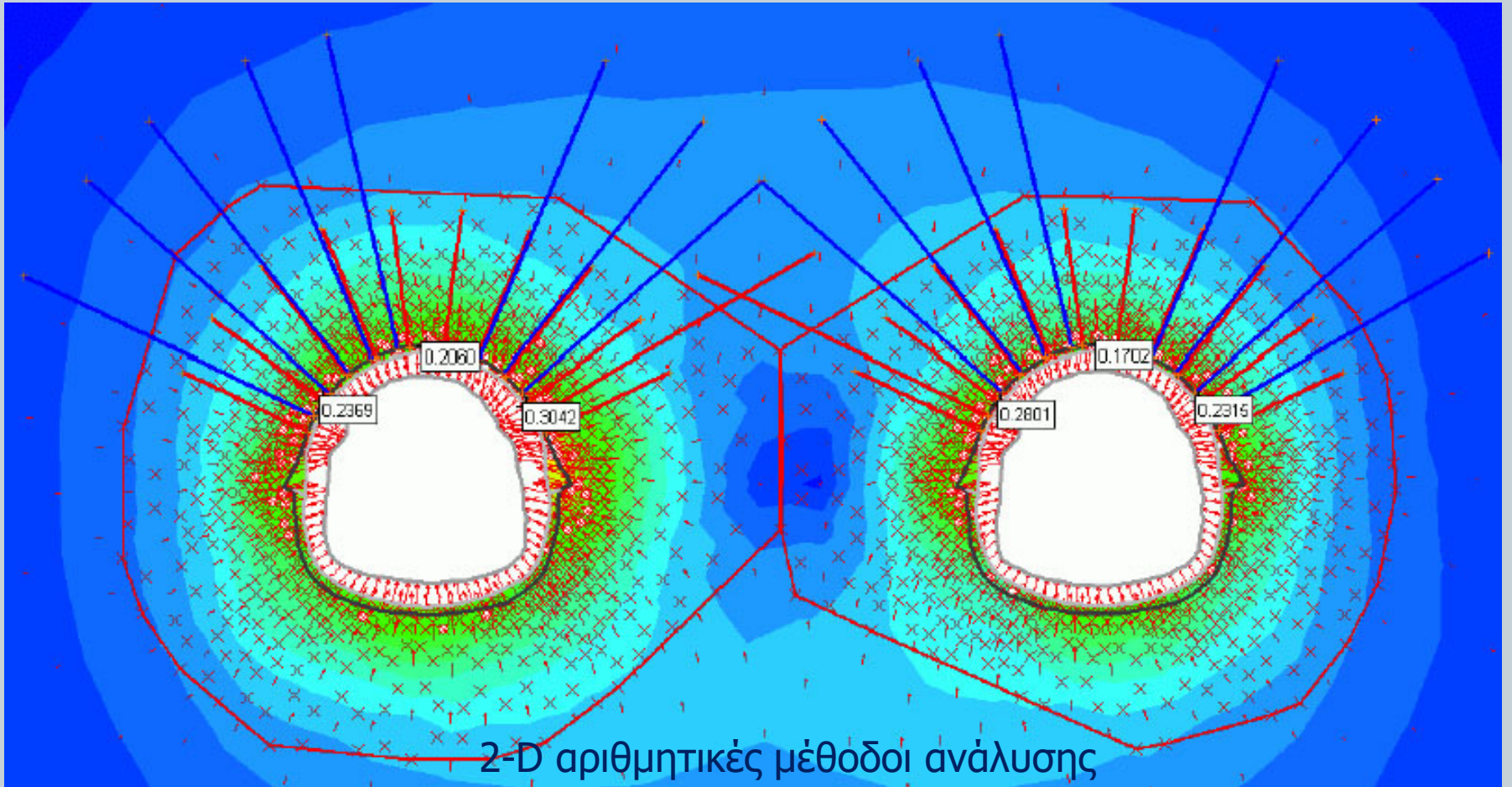
FEM: Finite Element Method (π.χ. RS2-RS3)

FDM: Finite Difference Method (π.χ. FLAC)

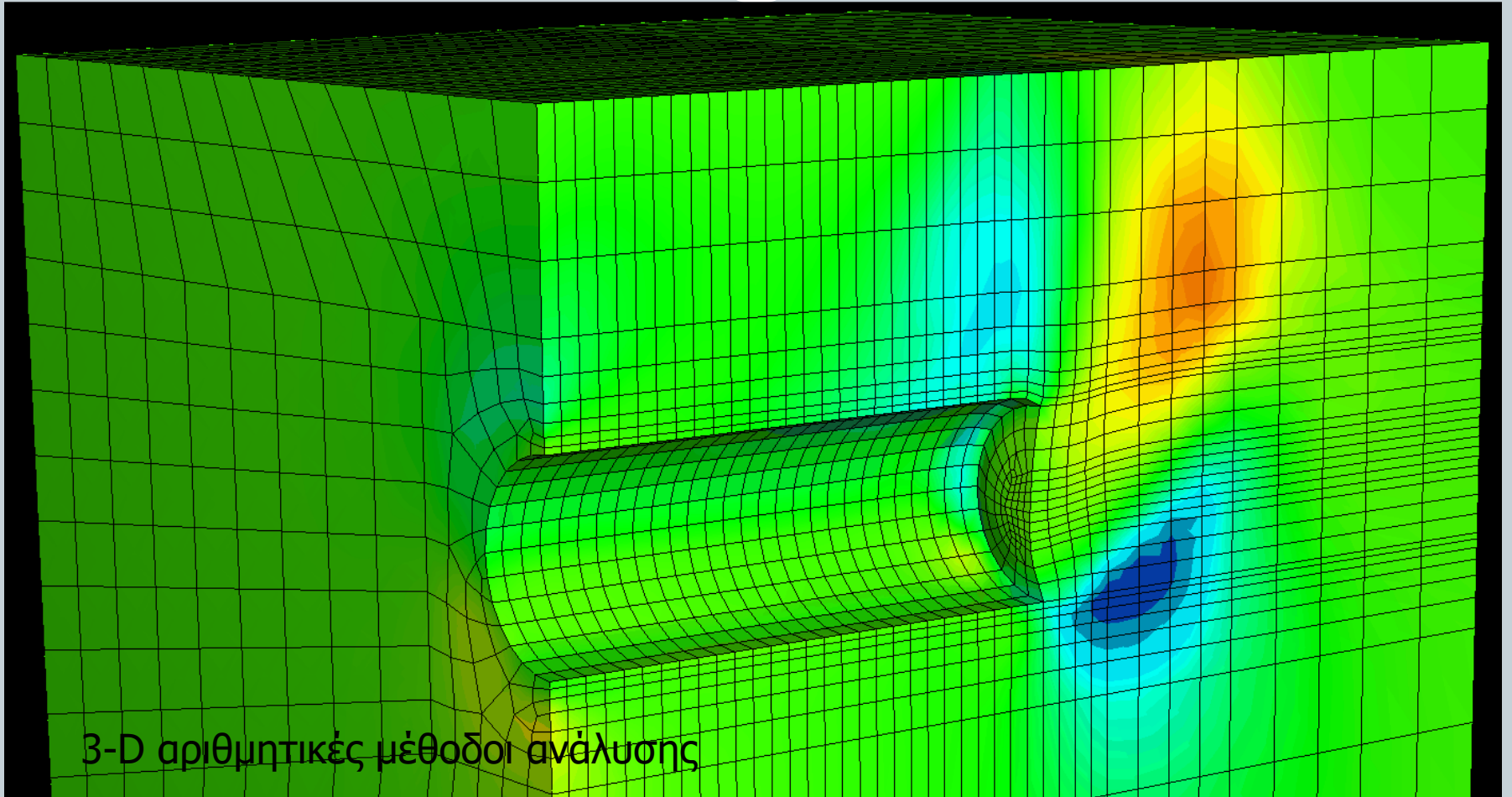
DEM: Distinct Element Method (π.χ. UDEC)

BEM: Boundary Element Method

Αριθμητικές μέθοδοι



Αριθμητικές μέθοδοι



Η Ολοκλήρωση μιας σπουδαίας δουλειάς



Μετρό Αθηνών. Ξετρύπημα
στον Ευαγγελισμό, 1999

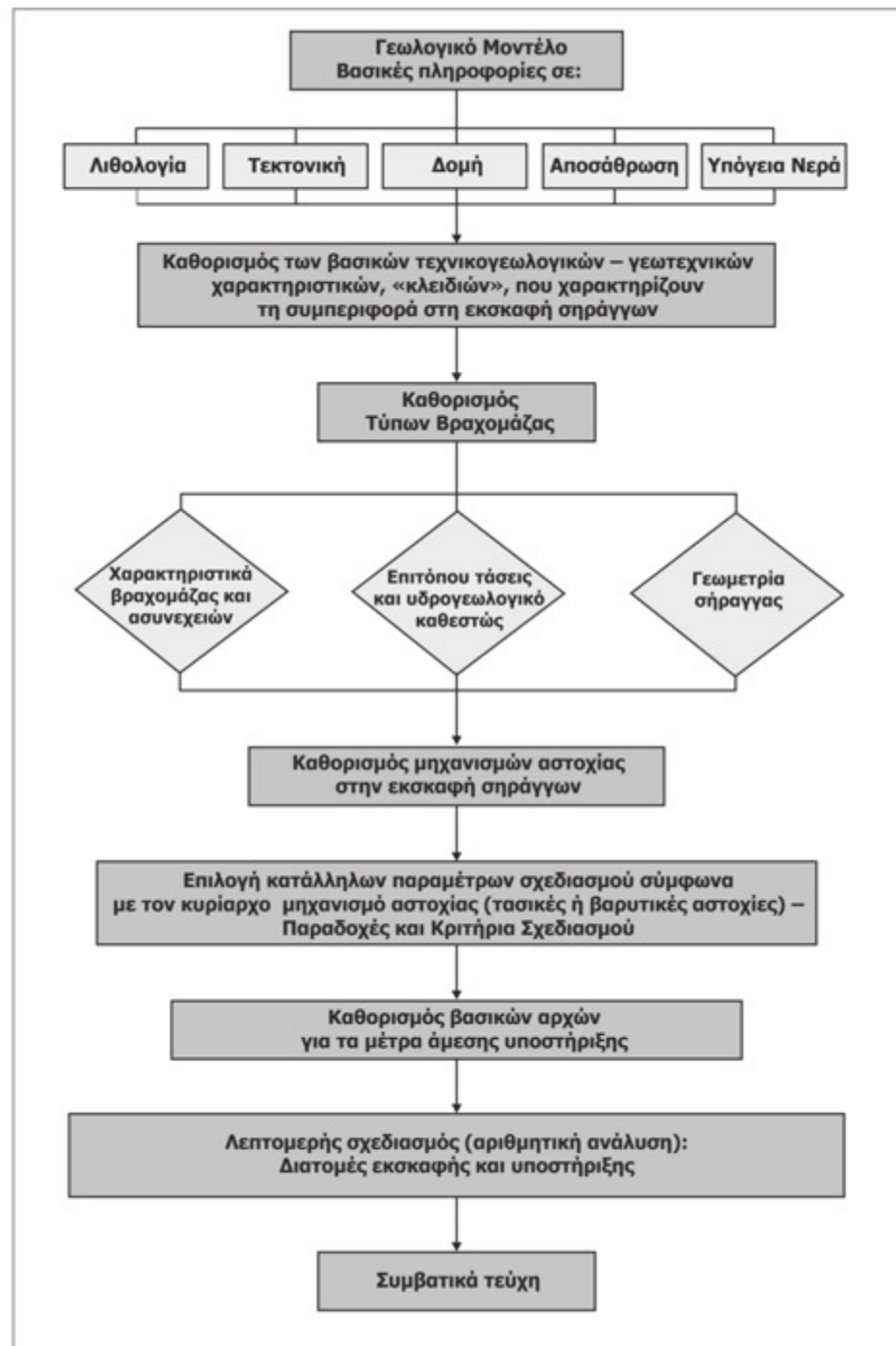


Ξετρύπημα στην Σήραग्ga
Loetschberg, 2004 Ελβετία

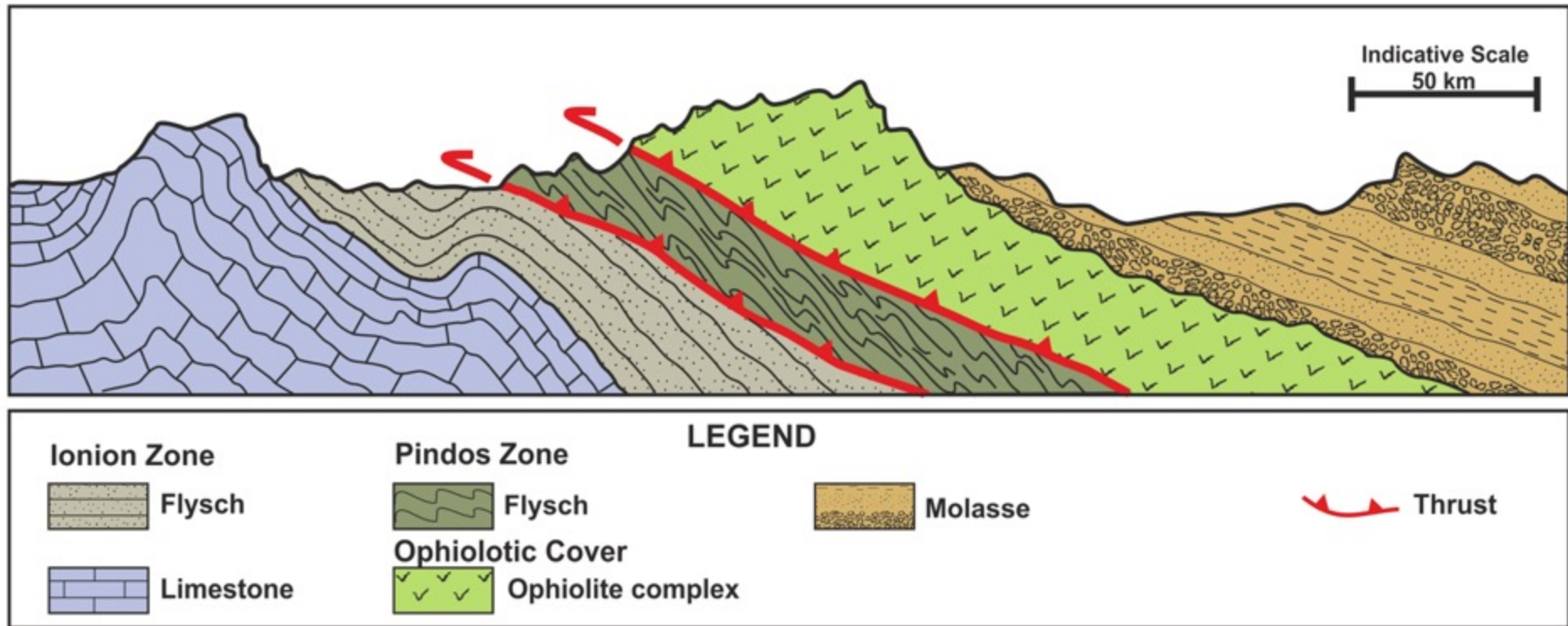
Βήματα τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης για το γεωτεχνικό σχεδιασμό των σηράγγων

Ειδική έμφαση στον
μηχανισμό αστοχίας

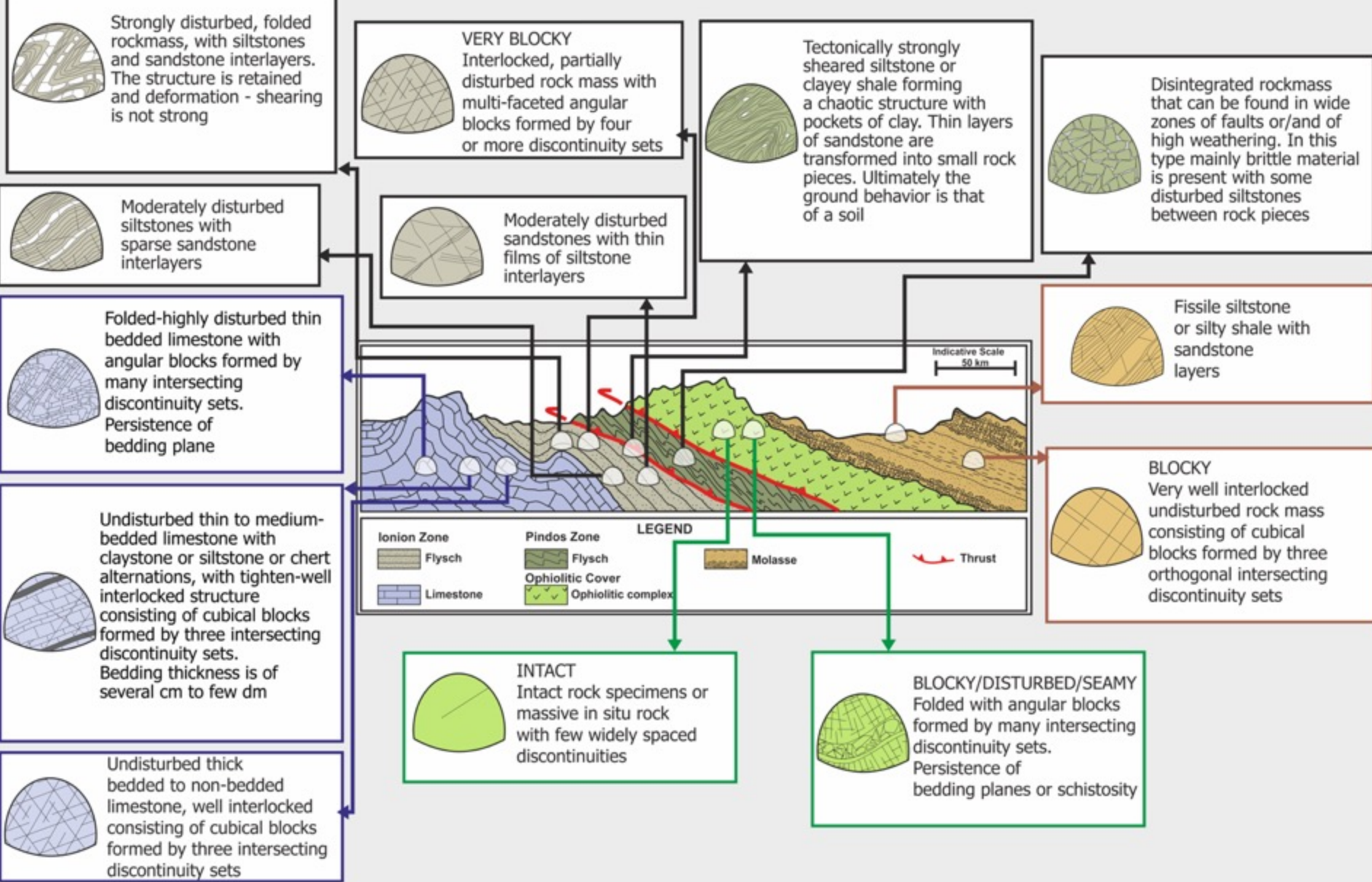
(Τροποποιημένο από
Austrian Society of
Geomechanics, 2010
version 2.1)



Από το γεωλογικό μοντέλο στο μοντέλο της βραχομάζας



Από το γεωλογικό μοντέλο (κλίμακα km) στο μοντέλο της βραχομάζας (κλίμακα m)



Προσδιορισμός των τύπων βραχόμαζας

- ◆ Πρέπει να βασιστεί στην οριοθέτηση των παραμέτρων (αντοχής και παραμορφωσιμότητας) εκείνων όπου καθορίζουν τη συμπεριφορά της βραχόμαζας και επηρεάζουν τη μέθοδο διάνοιξης, το χρόνο και το κόστος
- ◆ Έτσι ένας τύπος βραχόμαζας είναι ένα σύνολο γεωυλικών με όμοιες μηχανικές, φυσικές ή και υδραυλικές ιδιότητες και όχι απαραίτητα ίδιων λιθολογιών.
- ◆ Ο αριθμός των τύπων αυτών εξαρτάται από τις επιτόπου συνθήκες γεωλογίας.

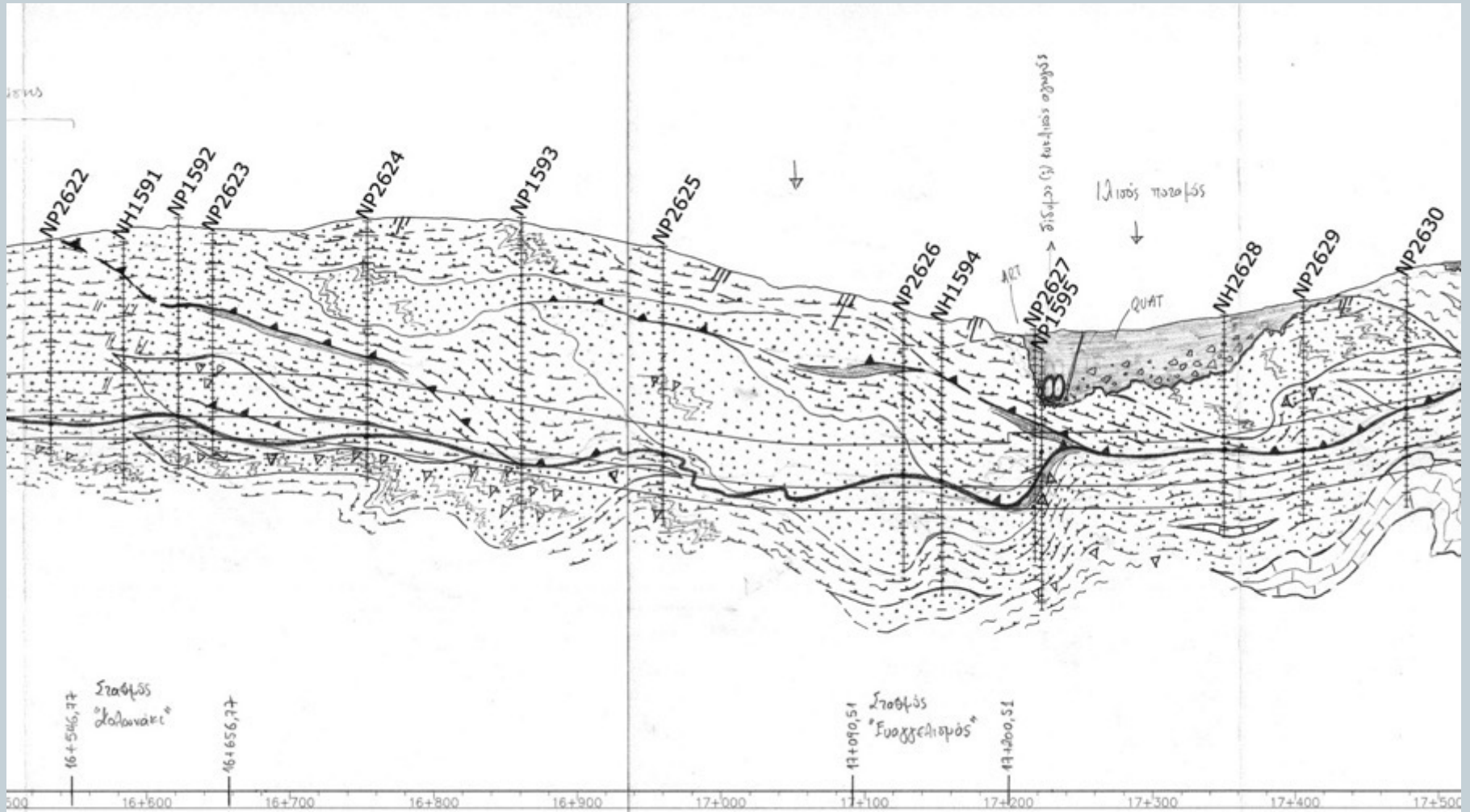
Τύποι βραχομάζας

**Αντοχή – παραμορφωσιμότητα του
άρρηκτου βράχου**

**Ποιότητα βραχομάζας –
Δομή**

Ποιότητα Ασυνεχειών

Καθορισμός τύπων βραχομάζας



Από Αττικό Μετρό Α.Ε.

Καθορισμός τύπων βραχομάζας

Ποιότητα Βραχομάζας

A. Καθορισμός δομής – Γεωτεχνική Ταξινόμηση με το GSI



25m-27.8m

Type VII

GSI = 35-40



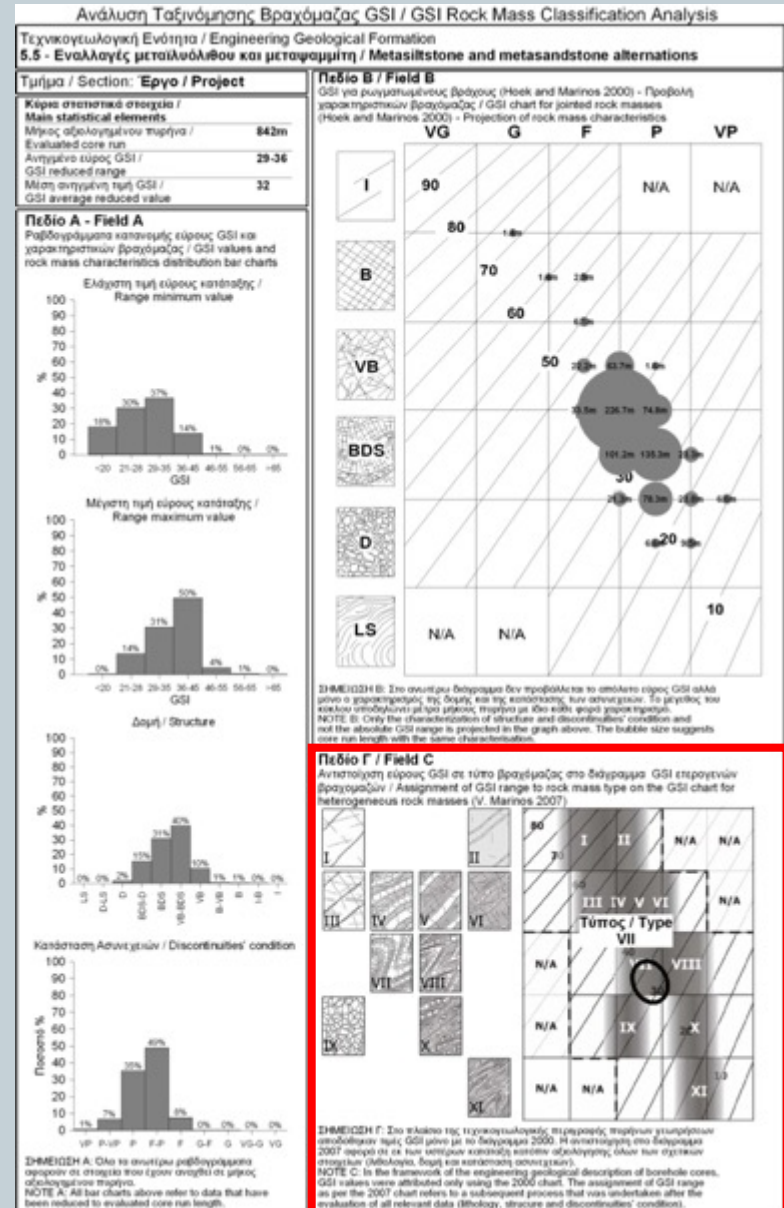
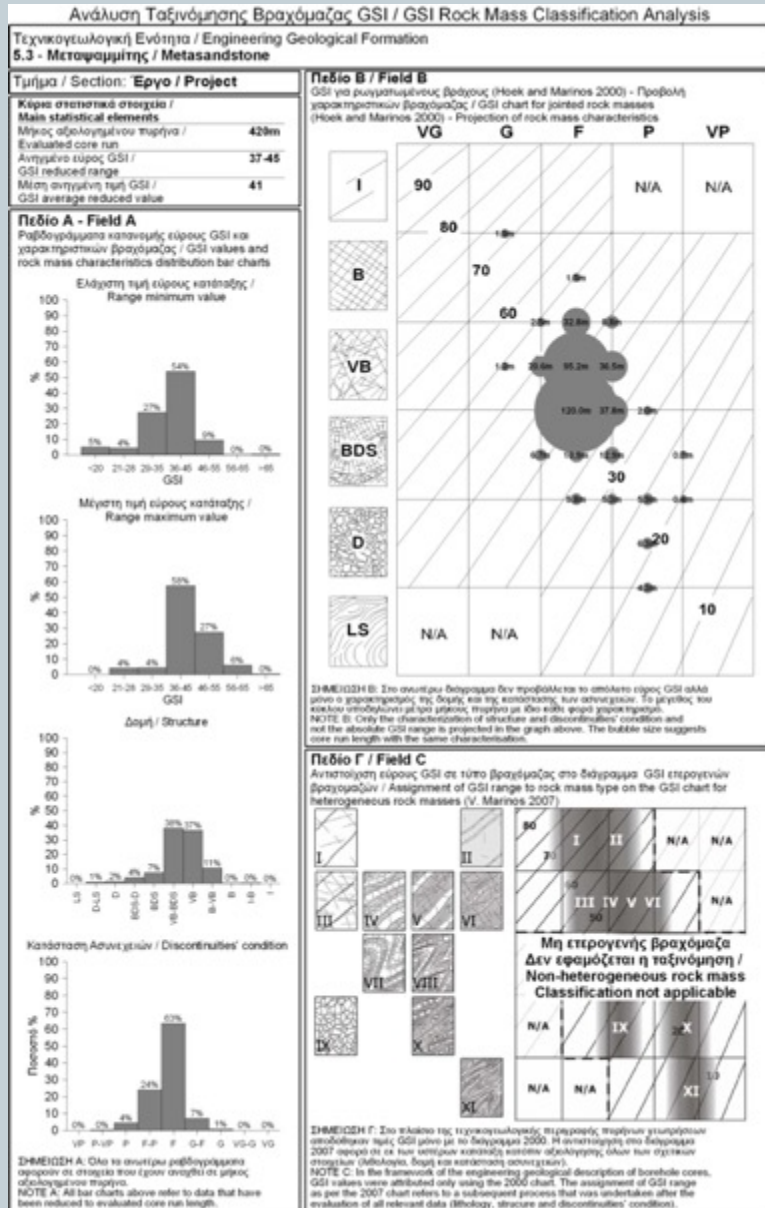
27.8m-30.8m

Type X

GSI = 12-18

Ποιότητα Βραχομάζας

Καθορισμός δομής – Γεωτεχνική Ταξινόμηση με το GSI



Ποιότητα Βραχομάζας

Β. Αντοχή άρρηκτου βράχου – ασυνεχειών

Λιθολογικοί τύποι Γεωλογικοί σχηματισμοί

Τεχνικογεωλογικοί τύποι

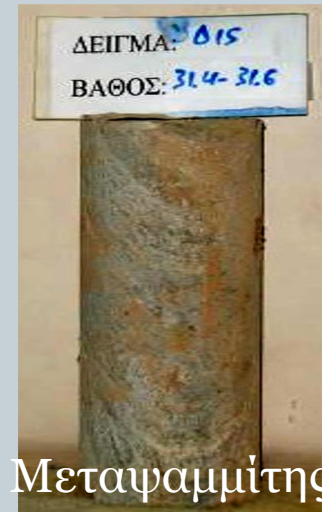


Αλλουβιακές αποθέσεις

Μεταψαμμίτης

Μεταιλυόλιθος με ενδιαστρώσεις μεταψαμμίτη

Μεταψαμμίτης με εναλλαγές μεταιλυολίθου



ΔΕΙΓΜΑ: 015
ΒΑΘΟΣ: 31.4-31.6

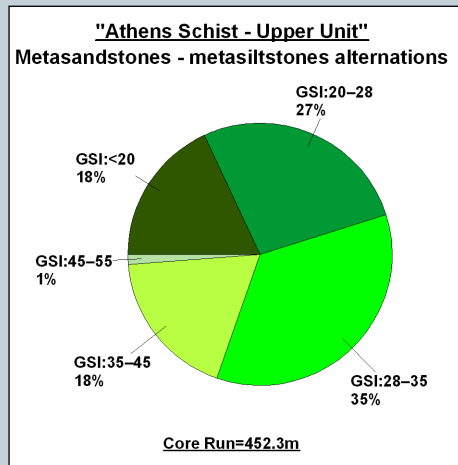
Μεταψαμμίτης

Ποιότητα Βραχομάζας

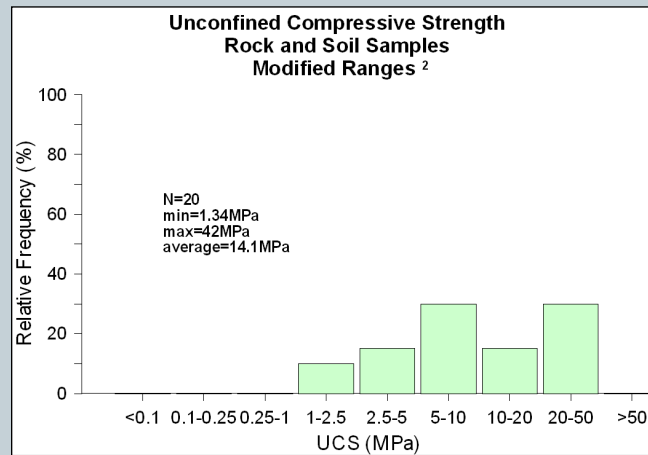
Μηχανικά χαρακτηριστικά άρρηκτου βράχου-Γεωτεχνική Ταξινόμηση με το GSI

- Όλες οι Εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές αντιστοιχούν σε έναν από τους προσδιορισμένους τύπους της βραχομάζας και αξιολογούνται σύμφωνα με τη φύση του καθενός

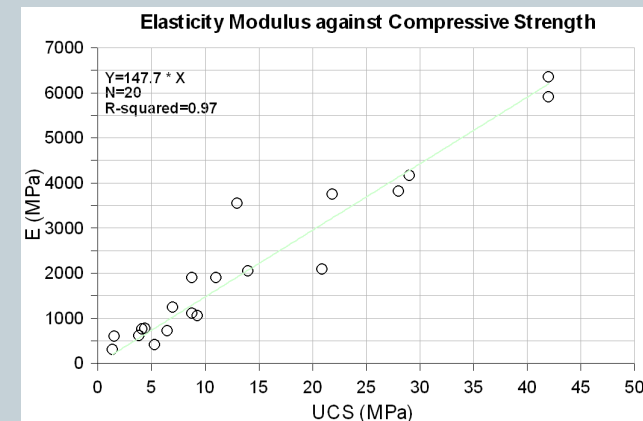
Εδώ οι βραχώδεις σχηματισμοί ταξινομούνται γεωτεχνικά χρησιμοποιώντας το GSI σε συνδυασμό με το UCS



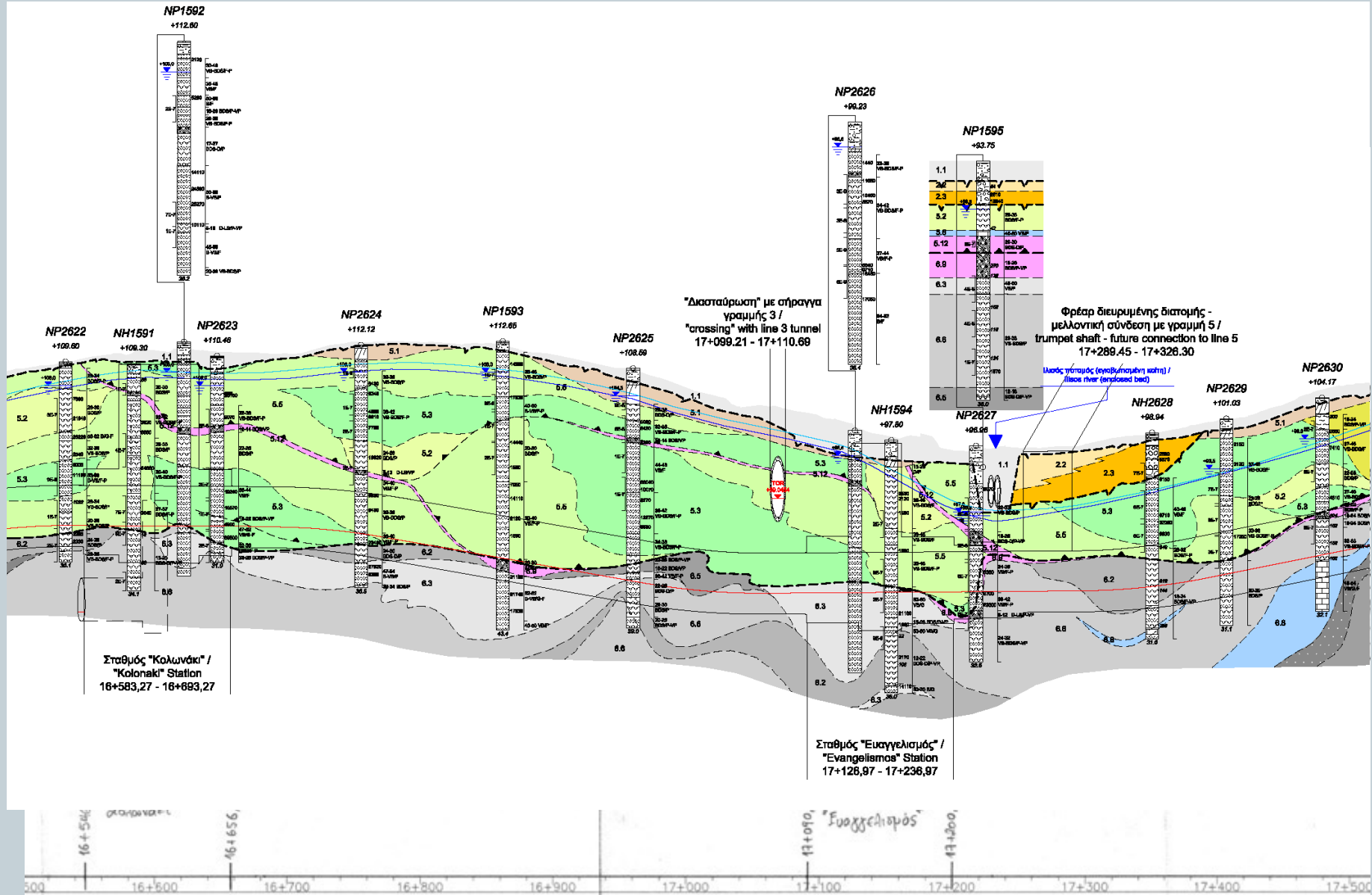
Τιμές GSI για τις βραχομάζες που βαθμομομήθηκαν κατά μήκος του έργου



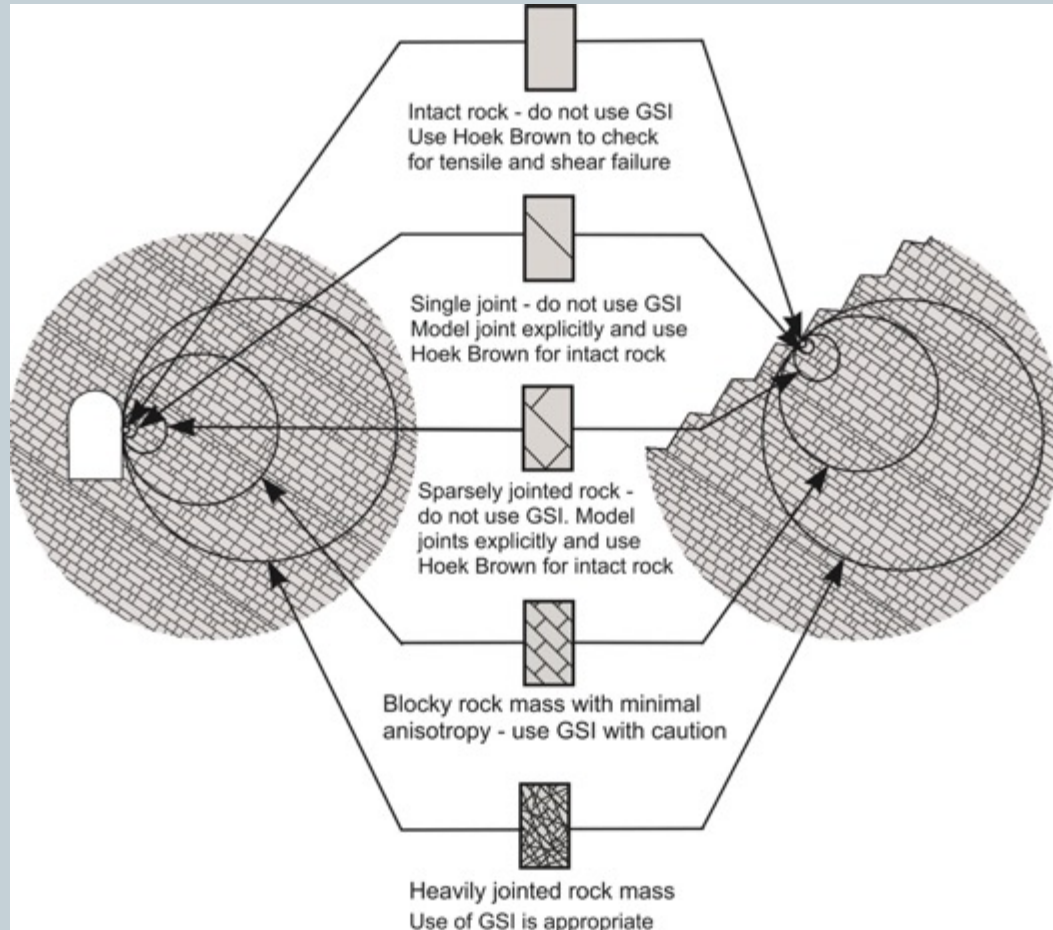
Τιμές εργαστηριακών δοκιμών μονοαξονικής θλίψης UCS για τα γεωλικά που συναντήθηκαν κατά μήκος του έργου



Συσχέτιση του Μέτρου Παραμορφωσιμότητας E_i και του UCS για τα γεωλικά που συναντήθηκαν κατά μήκος του έργου



Επιλογή τύπου βραχομάζας και σε σχέση με την κλίμακα του έργου



Εμπειρική σχέση υπολογισμού παραμέτρων βραχομάζας χρησιμοποιώντας ταξινομήσεις βραχομάζας

1. Κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown (Hoek *et al*, 2002)

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

σ_1' , σ_3' = μέγιστες κύριες ενεργές τάσεις στην αστοχία

σ_{ci} = Μονοαξονική θλιπτική αντοχή άρρηκτου βράχου

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

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

D: Βαθμός διατάραξης της βραχομάζας λόγω της εκσκαφής ή χαλάρωσης (0-1)

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

Εφαρμόζεται μόνο για ισότροπη συμπεριφορά βραχομάζας

Ταυτότητα τύπου Βραχομάζας

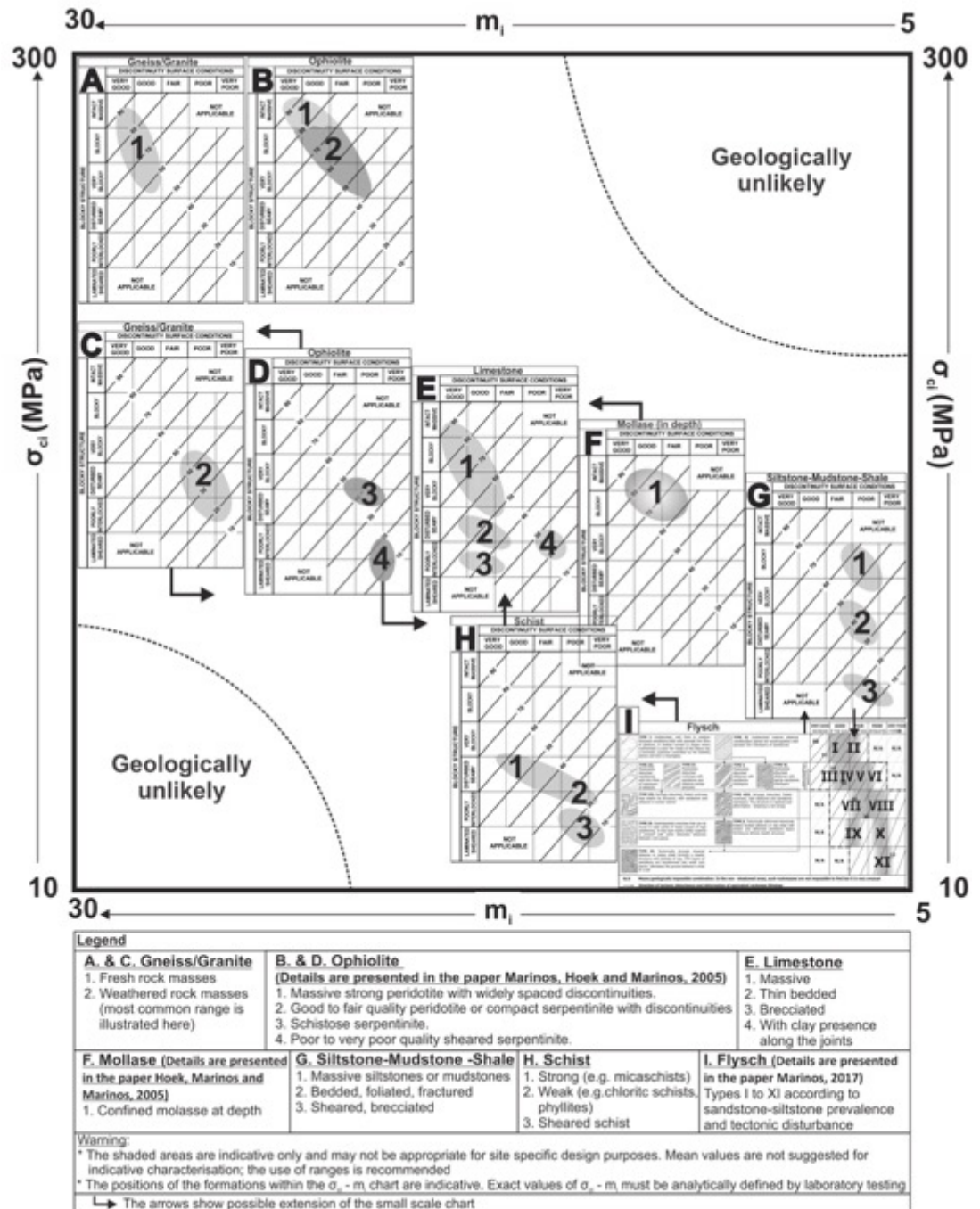
- **GSI**
- σ_{ci}
- m_i
-περατότητα σχηματισμών, αντοχή και γεωμετρία ασυνεχειών, άλλα χαρ/κα

Παράμετροι H-B για διάφορους τύπους βραχομάζας

GSI

σ_{ci}
 m_i

Οι συνήθεις προβολές – τιμές GSI για τυπικά πετρώματα - σχηματισμούς σε συνδυασμό με τα εύρη παραμέτρων Hoek and Brown, σταθεράς m_i και αντοχής σ_{ci} .



Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού μέτρο παραμορφωσιμότητας E_m

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

Hoek et al, 2002

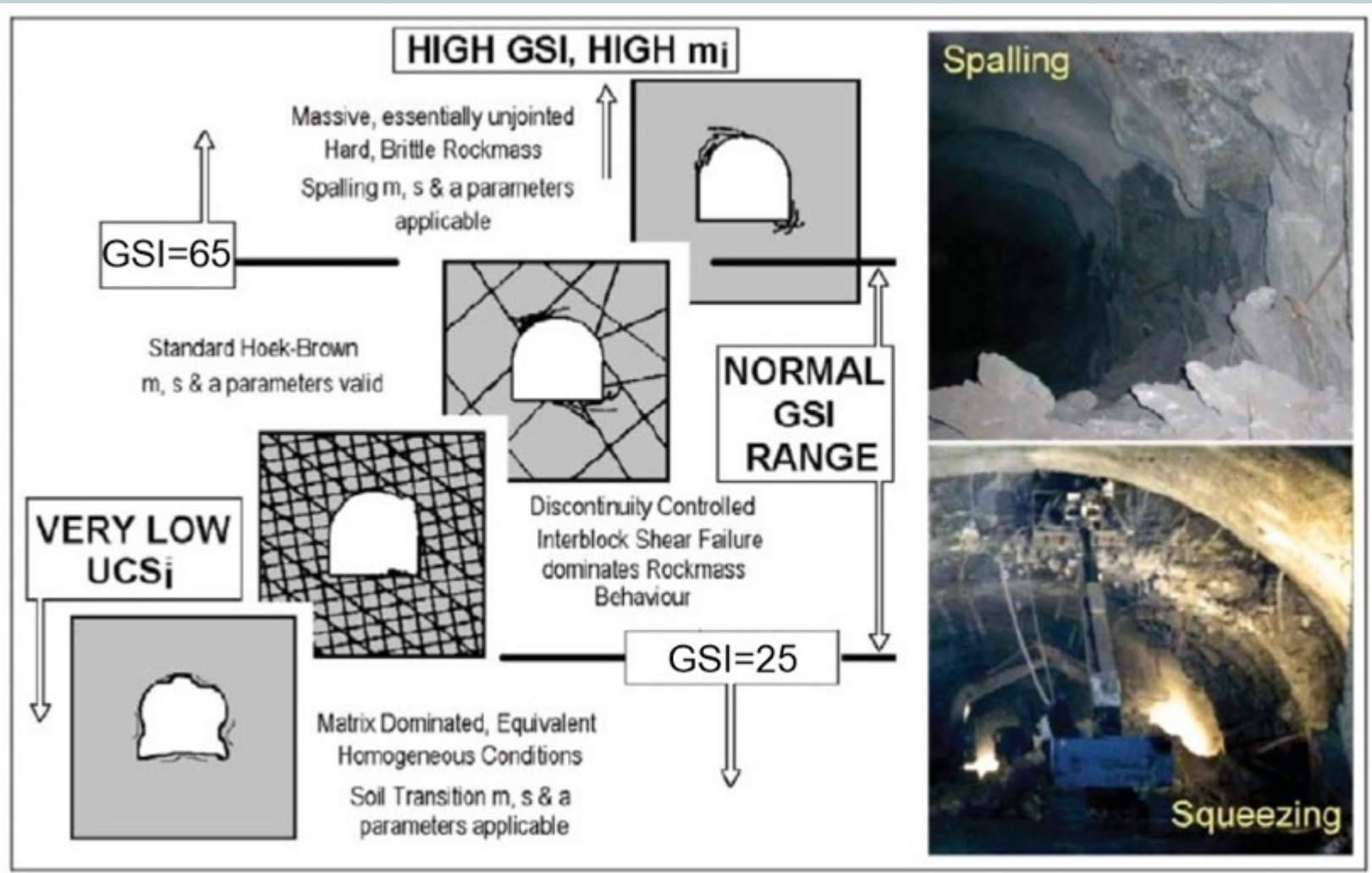
$$E_m = E_i \left[0.02 + \frac{1 - D / 2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right]$$

Hoek & Diederichs , 2006

E_m = Μέτρο παραμορφωσιμότητας
βραχομάζας

σ_{cm} = Μονοαξονική αντοχή βραχομάζας

σ_{ci} = Μονοαξονική αντοχή άρρηκτου βράχου



Zones of applicability of GSI and conventional Hoek-Brown equations with relation to transitions to brittle spalling criterion (top right) and (lower left) to Mohr-Coulomb criterion (with potential in tunnelling for squeezing, (photo, courtesy E. Hoek, from Carter et al. 2008).

Περιγραφή βραχομάζας

Κερματισμένη με πτωχή ποιότητα ασυνεχειών (ολισθηρές επιφάνειες) υπό χαμηλά υπερκείμενα

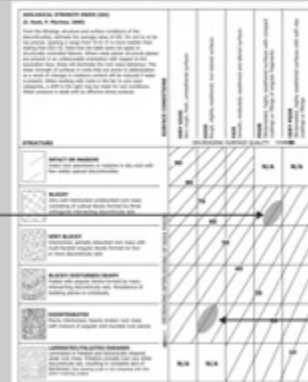


Κατακερματισμένη με καλή ποιότητα ασυνεχειών (τραχείες επιφάνειες) υπό χαμηλά υπερκείμενα



Ταξινόμηση με το γεωτεχνικό σύστημα GSI (Hoek and Marinos, 2000)

GSI=40
Δομή: Τεμαχώδης
Ποιότητα Ασυνεχειών: Πτωχή



GSI=40
Δομή: Αποδιοργανωμένη
Ποιότητα Ασυνεχειών: Καλή

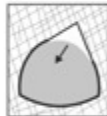
Τίση τιμή GSI
Τίση επτόπου συνθήκη τάσεων
Τίση τύπος βράχου
Τίση αντίστοιχες διατημητικές σατοχίες

Table showing RMR classification criteria: i) Αντοχή άρρηκτου βράχου, ii) RQD, iii) Απόσταση ασυνεχειών, iv) Ποιότητα Ασυνεχειών, v) Υδατικές συνθήκες. It also shows RMR values for different rock mass conditions and the resulting RMR score of 47.

Όμοια κατηγορία RMR: III (RMR=41-60)
Όμοια προτάσεις για μέτρα υποστήριξης
Συστάσεις μέτρων υποστήριξης (από το RMR):
- Βήμα εκσκαφής: 1,5-3m
- Αγκυρώσεις: 4m μήκος, 1,5-2m (σε τμή) X 1,5-3m (διαμήκος)
- Εκτοξευμένο σκυρόδεμα: 50-100mm (βάθος) 30mm (πλάτος)
- Χωρίς πλάισα

Πραγματικός μηχανισμός σατοχίας και αρχές άμεσης υποστήριξης

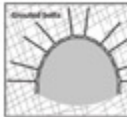
Σφηγνοειδής ολίσθηση:
Αστοχία τεμάχου κατά μήκος των ολισθηρών επιφανειών



Ροή εδάφους:
Καταρροή εδάφους με ροή νερού



Αρχές μέτρων άμεσης υποστήριξης (παράδειγμα):
Περιορισμός και συγκράτηση διακριτών τεμαχίων.
- Άμεση εφαρμογή εκτοξευμένου σκυρόδεματος.
- Εφαρμογή αγκυριών άμεσης ενέργειας (n.x. Sweillex ή τύπου split) ώστε να στηρίξει άμεσα τις σφήνες (πτωχή ποιότητα ασυνεχειών).
- Βήμα εκσκαφής: 2-3m στην άνω βαθμίδα.
- Εκτ. Σκυρόδεμα: 5-10 cm.
- Μέτρα κέννοβο αγκυριών (e.g. 3m x 3m) μήκος και αντοχή ανάλογα με τον όγκο και το βάρος των τεμαχίων.
- Πλάισα ανάλογα με τον κερματισμό της βραχομάζας.



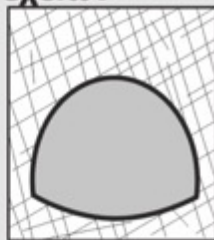
Αρχές μέτρων άμεσης υποστήριξης (παράδειγμα):
Προ-υποστήριξη ή μικρό βήμα εκσκαφής ώστε να διατηρηθεί ο περιορισμός της βραχομάζας και μην υπάρξει ευρύτερη καταρροή.
- Άμεση εφαρμογή εκτοξευμένου σκυρόδεματος για το σφράγιση της βραχομάζας και περιορισμό από καταρροή.
- Εφαρμογή αυτοδιατηρούμενων αγκυριών.
- Δεν υπάρχει ανάγκη για βαρύ κέλυφος αν διατηρηθεί ο περιορισμός της βραχομάζας.
- Βήμα εκσκαφής: 1-1,5m άνω βαθμίδα (μεγαλύτερο αν τοποθετηθούν δοκοί προπορείας)
- Εκτ. Σκυρόδεμα: 20-25cm.
- Πυκνό κέννοβο αγκυριών (πχ. 1.5m x 1.5), πλήρους ενεμότητας.
- Πλάισα ανάλογα με τον κερματισμό της βραχομάζας.
- Προστασία μετώπου: Δοκοί προπορείας ελαφρού τύπου (Spiles)
- Ενεμύτωση μέσω των δοκών προπορείας.
- Αποστράγγιση πριν την εκσκαφή.



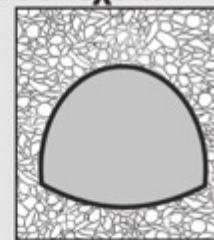
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕ ΙΔΙΑ ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Περιγραφή βραχομάζας

Κερματισμένη με πτωχή ποιότητα ασυνεχειών
(ολισθηρές επιφάνειες)
υπό χαμηλά υπερκείμενα



Κατακερματισμένη με καλή ποιότητα ασυνεχειών
(τραχείες επιφάνειες)
υπό χαμηλά υπερκείμενα



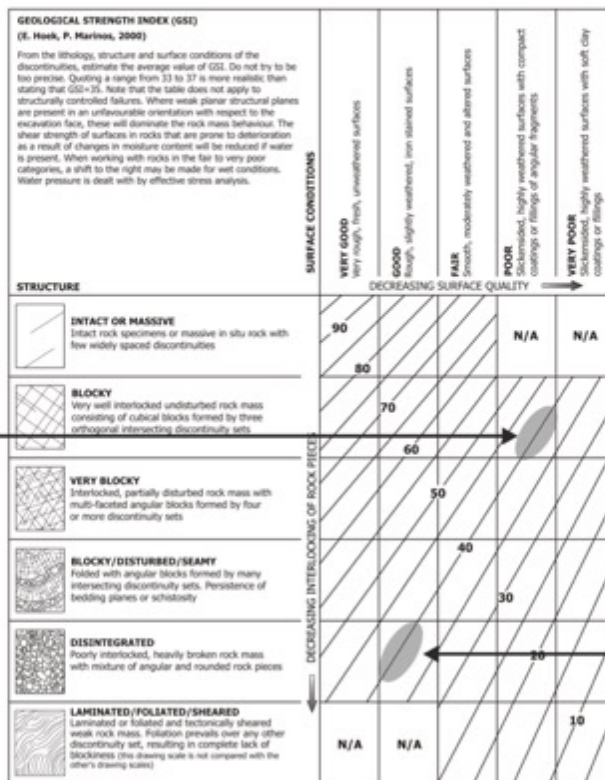
Ταξινόμηση με το γεωτεχνικό σύστημα GSI (Hoek and Marinos, 2000)

GSI=40

Δομή: Τεμαχώδης
Ποιότητα Ασυνεχειών: Πτωχή

GSI=40

Δομή: Αποδιοργανωμένη
Ποιότητα Ασυνεχειών: Καλή



Ίδια τιμή GSI

Ίδιες επιτόπου συνθήκες τάσεων

Ίδιος τύπος βράχου
(ίδιες παράμετροι άρρηκτου βράχου σ_{cr} , m_i)

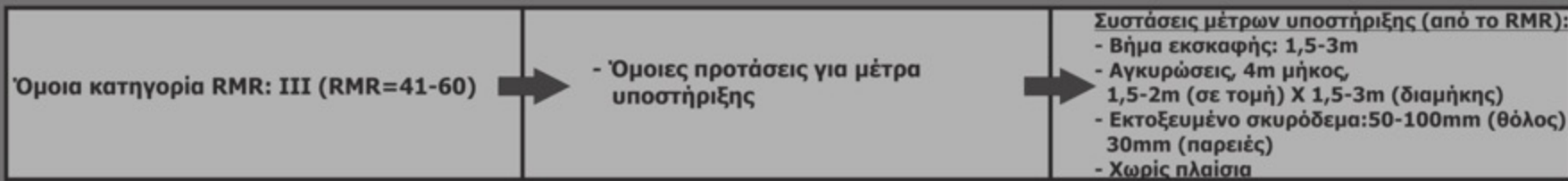
- Ίδια αντοχή βραχομάζας
(συνοχή c , γωνία τριβής ϕ) και
μέτρο παραμορφωσιμότητας (E_m)
- Αντίστοιχες διατμητικές αστοχίες

- Ίδια ανάλυση για τις δύο βραχομάζες
αν δεν ληφθεί υπόψη η δομή αλλά
μόνο η τιμή ταξινόμησης

Ταξινόμηση με το γεωτεχνικό σύστημα RMR (Bieniawski, 1976)

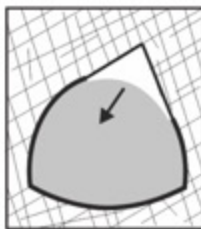
i) Αντοχή άρρηκτου βράχου:	50 -100	→	7
ii) RQD:	50 - 75	→	13
iii) Απόσταση ασυνεχειών:	0.6 - 0.2	→	15
iv) Ποιότητα Ασυνεχειών:	Λείες ή ολισθηρές υλικό πλήρωσης 1-5 mm	→	10
v) Υδατικές συνθήκες:	Ροή	→	4
RMR:			49

I) Αντοχή άρρηκτου βράχου:	50 -100	→	7
ii) RQD:	<25	→	3
iii) Απόσταση ασυνεχειών:	<0.06	→	5
iv) Ποιότητα Ασυνεχειών:	Ελαφρά τραχεία	→	25
v) Υδατικές συνθήκες:	Υγρή-Ροή	→	7
RMR:			47

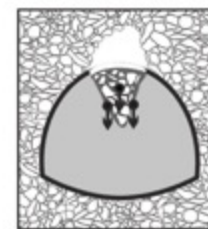


Πραγματικός μηχανισμός αστοχίας και αρχές άμεσης υποστήριξης

Σφηνοειδής ολισθηση:
Αστοχία τεμάχους κατά μήκος των ολισθηρών επιφανειών

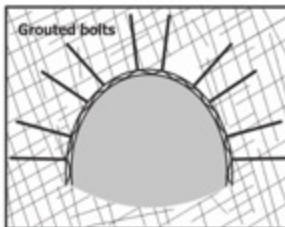


Ροή εδάφους:
Καταρροή εδάφους με ροή νερού



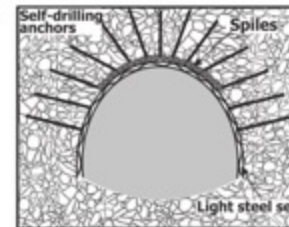
Αρχές μέτρων άμεσης υποστήριξης (παράδειγμα):

- Περιορισμός και συγκράτηση διακριτών τεμαχών.
- Άμεση εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος.
 - Εφαρμογή αγκυριών άμεσης ενέργειας (π.χ. Swellex ή τύπου split) ώστε να στηρίξει άμεσα τις σφήνες (πτωχή ποιότητα ασυνεχειών)
 - Βήμα εκσκαφής: 2-3m στην άνω βαθμίδα.
 - Εκτ. Σκυρόδεμα: 5-10 cm.
 - Μέτριο κάνναβο αγκυριών (e.g. 3m x 3m) μήκος και αντοχή ανάλογα με τον όγκο και το βάρος των τεμαχών.
 - Πλαίσια ανάλογα με τον κερματισμό της βραχομάζας.



Αρχές μέτρων άμεσης υποστήριξης (παράδειγμα):

- Προ-υποστήριξη ή μικρό βήμα εκσκαφής ώστε να διατηρηθεί ο περιορισμός της βραχομάζας και μην υπάρξει ευρύτερη καταρροή.
- Άμεση εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος για το σφράγισμα της βραχομάζας και περιορισμό από καταρροή.
 - Εφαρμογή αυτοδιατρυώμενων αγκυριών.
 - Δεν υπάρχει ανάγκη για βαρύ κέλυφος αν διατηρηθεί ο περιορισμός της βραχομάζας.
 - Βήμα εκσκαφής: 1-1.5m άνω βαθμίδα (μεγαλύτερο αν τοποθετηθούν δοκοί προπορείας)
 - Εκτ. Σκυρόδεμα: 20-25cm.
 - Πυκνός κάνναβος αγκυριών (πχ. 1.5m x 1.5), πλήρους ενεμάτωσης.
 - Πλαίσια ανάλογα με τον κερματισμό της βραχομάζας.
 - Προστασία μετώπου: Δοκοί προπορείας ελαφρού τύπου (Spiles)
 - Ενεμάτωση μέσω των δοκών προπορείας.
 - Αποστράγγιση πριν την εκσκαφή.



Τύποι Τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας

- Στην φάση της εκσκαφής σκοπός της άμεσης υποστήριξης είναι η ευστάθεια του μετώπου και του δακτυλίου της σήραγγας μέχρι την εφαρμογή των μέτρων της τελικής επένδυσης.
- Αστάθεια δακτυλίου:
 - αστοχία με μεγάλες συγκλίσεις
 - με μορφή σφηνών
 - κατάπτωση τύπου καμινάδας
 - καταρροή της βραχόμαζας
- Αστάθεια μετώπου:
 - Έκθλιψη μετώπου σε βραχόμαζες με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά
 - Ολίσθηση τεμάχους βράχου από ασυνέχειες, δυσμενούς προσανατολισμού και αντοχής

Κυρίαρχοι μηχανισμοί αστοχίας κατά την εκσκαφή σηράγγων

Η συμπεριφορά της βραχόμαζας, εδώ, ορίζεται ως η αντίδρασή της στην εκσκαφή σε ένα υπόγειο άνοιγμα χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη οι διαδικασίες υποστήριξης και αλληλεπίδρασης με άλλες φάσεις.

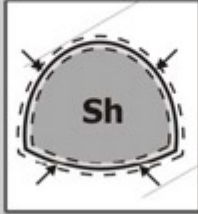

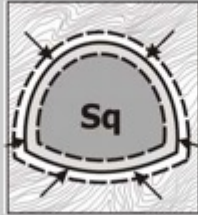



Σχηματική παρουσίαση των κατηγοριών τεchnικογεωλογικής συμπεριφοράς γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΗΣ			ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΘΙΣΤΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΤΗΜΕΝΗ ΣΗΡΑΓΓΙΑ
St	Ευσταθής διάτομή με τοπικές μόνο βαρυτικές αστοχίες. Η βραχόμαζα είναι ομογενής με περιορισμένες ασυνέχειες.		
Br	Ψαθυρή βράση ή εκτίναξη σχισμού βράσου σε πολύ μεγάλο βάθος.		
Wg	Σφηνωδείς αλιεθίσεις ή πτώσεις πετρωτών λόγω βαρύτητας. Ασήμαντες παραμορφώσεις. Η βραχόμαζα είναι μέτρια έως αρκετά κερματισμένη εφάπτοντας μολικ προς ελαστική πτώση ή αλιεθίση. Η ευστάθεια ελέγχεται από τα γεωμετρικά των συνενταξιών όπως η αντοχή των συνενταξιών, η οποία εκαρδύεται από την κλίση (φ) και τη συνολική (c), και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά όπως η κλίση, η φερό κλίση, η εμμονή και η απόσταση τους. Ο λόγος της αντοχής της βραχόμαζας προς τις επιπέδου τάσεις (σ_{\perp}/ρ) είναι μεγάλος ($>0.6-0.7$) και δεν δημιουργούνται ασήμαντες παραμορφώσεις ($\epsilon < 1\%$).		
Ch	Κατάπτωση τύπου καμινάδας. Η βραχόμαζα είναι έντονα κερματισμένη διατηρώντας τις περιοσώτερες φορές τη δομή της (ή τουλάχιστον η βραχόμαζα κερματισμένη αυτή). Έχει συνήθως ανοικτή δομή μακριά από αλληλοκλεισίματα και σε συνδυασμό πολλές φορές με τις μικρές πλευρικές τάσεις μπορεί να οδηγήσει σε καταπτώσεις που προοδικτικά αναπτύσσονται και δημιουργούν υπερασκαφές τύπου καμινάδας η οποία μπορεί ή όχι να γεφυρώνεται (εξαρτάται από τις επιπέδου συνθήκες) πάνω από τη σήραγγα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και περιπτώσεις πλήρους αποδιοργανωμένης βραχόμαζας ακόμα και σε μεγάλα υπερέμβαση με μεγάλες πλευρικές τάσεις.		
Rv	Καταρροή βραχόμαζας. Η βραχόμαζα είναι αποδιοργανωμένη και αντετραμμένη ή φυλλοποιημένη με μερική πρακτική συνολική και εξαρτάται από το βαθμό αλληλοκλεισίματος (ανοικτή ή κλειστή δομή) των έρρογκων πετρωτών (περίπτωση Rv1) αλλά και πιθανών δειπυρογενών υλικών, π.χ. αρμύλου (περίπτωση Rv2), μπορεί να προκαλέσει άμεση γενική καταρροή της βραχόμαζας στο εσωτερικό και στο μέγιστο της σήραγγας. Η διαφορά σε σχέση με την κατάπτωση τύπου καμινάδας (Ch) έγκειται στο μέγεθος των πετρωτών όπου εδώ είναι πολύ μικρό, στο χρόνο κατάπτωσης, όπου εδώ εκδηλώνεται άμεσα, και πολλές φορές στην έκταση της αστοχίας όπου εδώ μπορεί να είναι μεγαλύτερη λόγω αδυναμίας εύρεσης βραχόμαζας με καλύτερο αλληλοκλεισίματα για να γεφυρώσει σχετικά άμεσα πάνω από τη σήραγγα.		
FI	Ροή βραχόμαζας με έντονη παρουσία νερού. Η βραχόμαζα είναι κατακεραματισμένη και αποδιοργανωμένη με μηδενική συνολική, με έντονη παρουσία υποπίεσης νερού, ανάμεσα στο πελάτη, προκαλεί άμεση ροή βραχόμαζας και νερού στο εσωτερικό της σήραγγας.		
Sh	Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις, με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε ζώνη μικρή έκτασης κερματισμό της σήραγγας. Η βραχόμαζα αποτελείται από τεμάχια άσχημου βράσου μικρής αντοχής (συνήθως $\sigma_{\perp} < 15 \text{ MPa}$) ενώ η δομή της βραχόμαζας, μέσω του GSI, μείναι περσιότερη την αντοχή αυτή. Το βάρος των υπερασκαφών για την εκδήλωση των παραμορφώσεων είναι είτε μικρό έως μέτρο (πλησίον 50t) στην περίπτωση πτωχής ποιότητας διατμημένης βραχόμαζας, είτε μεγαλύτερο για καλύτερης ποιότητας βραχόμαζας. Ο λόγος του σ_{\perp}/ρ στην περίπτωση αυτή είναι μικρός ($0.3 < \sigma_{\perp}/\rho < 0.6$) και αναμένονται ή παρατηρούνται μέτριες παραμορφώσεις (1-2.5%).		
Sq	Σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερέμβασης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε εκτεταμένη ζώνη κερματισμού της σήραγγας. Η βραχόμαζα αποτελείται από τεμάχια άσχημου βράσου μικρής αντοχής ($\sigma_{\perp} < 15 \text{ MPa}$) ενώ η δομή της βραχόμαζας, μέσω του GSI, μείναι περσιότερη την αντοχή αυτή. Ο λόγος του σ_{\perp}/ρ στην περίπτωση αυτή είναι μικρός ($\sigma_{\perp}/\rho < 0.3$) και αναμένονται ή παρατηρούνται παραμορφώσεις $> 2.5\%$, ενώ μπορεί να εκδηλώνονται και παραμορφώσεις και στο μέγιστο προκαλώντας πλέον ένα πρόβλημα τριών διαστάσεων.		
Sw	Διογκούμενο έδαφος. Η βραχόμαζα αποτελείται από σημαντική παρουσία διογκούμενων ορυκτών όπως μοντηρενίτης, αμαθίτης, ανυδρίτης κ.α. τα οποία με την παρουσία νερού, ακόμα και της υγρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος της σήραγγας, διογκώνονται και μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές παραμορφώσεις (π.χ. η αναπόδοση διογκώσεως του ανυδρίτη το 60%). Αυτές εκδηλώνονται κυρίως στο δάπεδο της σήραγγας (όταν αυτό δεν είναι κλειστό).		

Κατηγορίες Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΝΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΛΟΓΗΣ
ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ
ΥΠΟΣΤΗΡΙΓΜΕΝΗ
ΣΗΡΑΓΓΑ

Sh	<p>Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις, με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε ζώνη μικρή έκτασης περιμετρικά της σήραγγας. Η βραχώμαζα αποτελείται από τεμάχια άρρηκτου βράχου μικρής αντοχής (συνήθως $\sigma_{ci} < 15$ MPa) ενώ η δομή της βραχώμαζας, μέσω του GSI, μειώνει περαιτέρω την αντοχή αυτή. Το βάρος των υπερκειμένων για την εκδήλωση των παραμορφώσεων είναι είτε μικρό έως μέτριο (περί τα 50m) στην περίπτωση πτωχής ποιότητας διατμημένης βραχώμαζας, είτε μεγαλύτερο για καλύτερης ποιότητας βραχώμαζες. Ο λόγος του σ_{cm}/ρ_0 στην περίπτωση αυτή είναι μικρός ($0.3 < \sigma_{cm}/\rho_0 < 0.6$) και αναμένονται ή παρατηρούνται μέτριες παραμορφώσεις (1-2.5%).</p>		
Sq	<p>Σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερφόρτισης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε εκτεταμένη ζώνη περιμετρικά της σήραγγας. Η βραχώμαζα αποτελείται από τεμάχια άρρηκτου βράχου μικρής αντοχής ($\sigma_{ci} < 15$ MPa) ενώ η δομή της βραχώμαζας, μέσω του GSI, μειώνει περαιτέρω την αντοχή αυτή. Ο λόγος του σ_{cm}/ρ_0 στην περίπτωση αυτή είναι μικρός ($\sigma_{cm}/\rho_0 < 0.3$) και αναμένονται ή παρατηρούνται παραμορφώσεις $> 2.5\%$, ενώ μπορεί να εκδηλώνονται και παραμορφώσεις και στο μέτωπο προκαλώντας πλέον ένα πρόβλημα τριών διαστάσεων</p>		
Sw	<p>Διογκούμενο έδαφος. Η βραχώμαζα αποτελείται από σημαντική παρουσία διογκούμενων ορυκτών όπως μοντμοριλονίτης, σμεκτίτης, ανυδρίτης κ.α. τα οποία με την παρουσία νερού, ακόμα και της υγρασίας του εσωτερικού περιβάλλοντος της σήραγγας, διογκώνονται και μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές παραμορφώσεις (π.χ. η ανεμπόδιστη διόγκωση του ανυδρίτη τα 60%). Αυτές εκδηλώνονται κυρίως στο δάπεδο της σήραγγας όταν αυτό δεν είναι κλειστό.</p>		

Μηχανισμοί αστοχίας

Παραδείγματα

Καταρροή εδάφους



Σφηνοειδείς αποκολλήσεις
– ολισθήσεις



Μηχανισμοί αστοχίας

Παραδείγματα

Κατάπτωση τύπου
«καμινάδας» - υπερεσκαφή



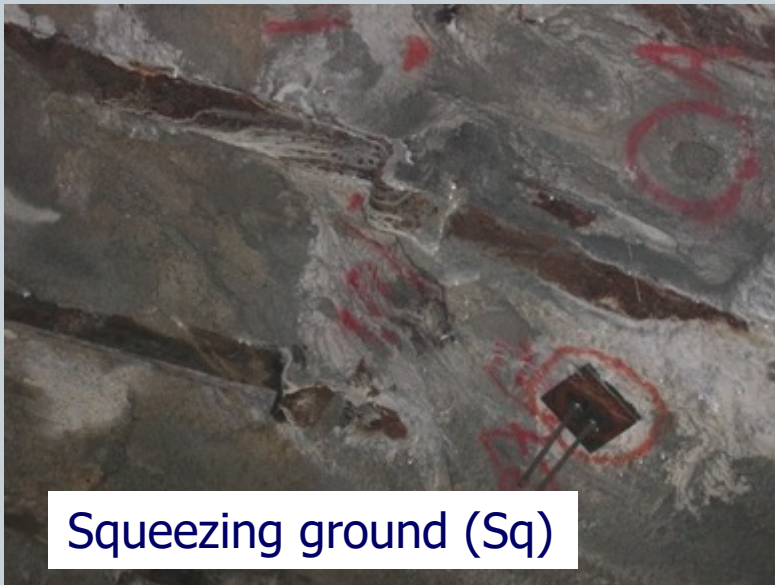
Κατάπτωση τύπου
«καμινάδας» - υπερεσκαφή



Μηχανισμοί αστοχίας

Παραδείγματα

Σύνθλιψη εδάφους
Υπερφόρτιση κελύφους -
«λυγισμένα» πλαίσια

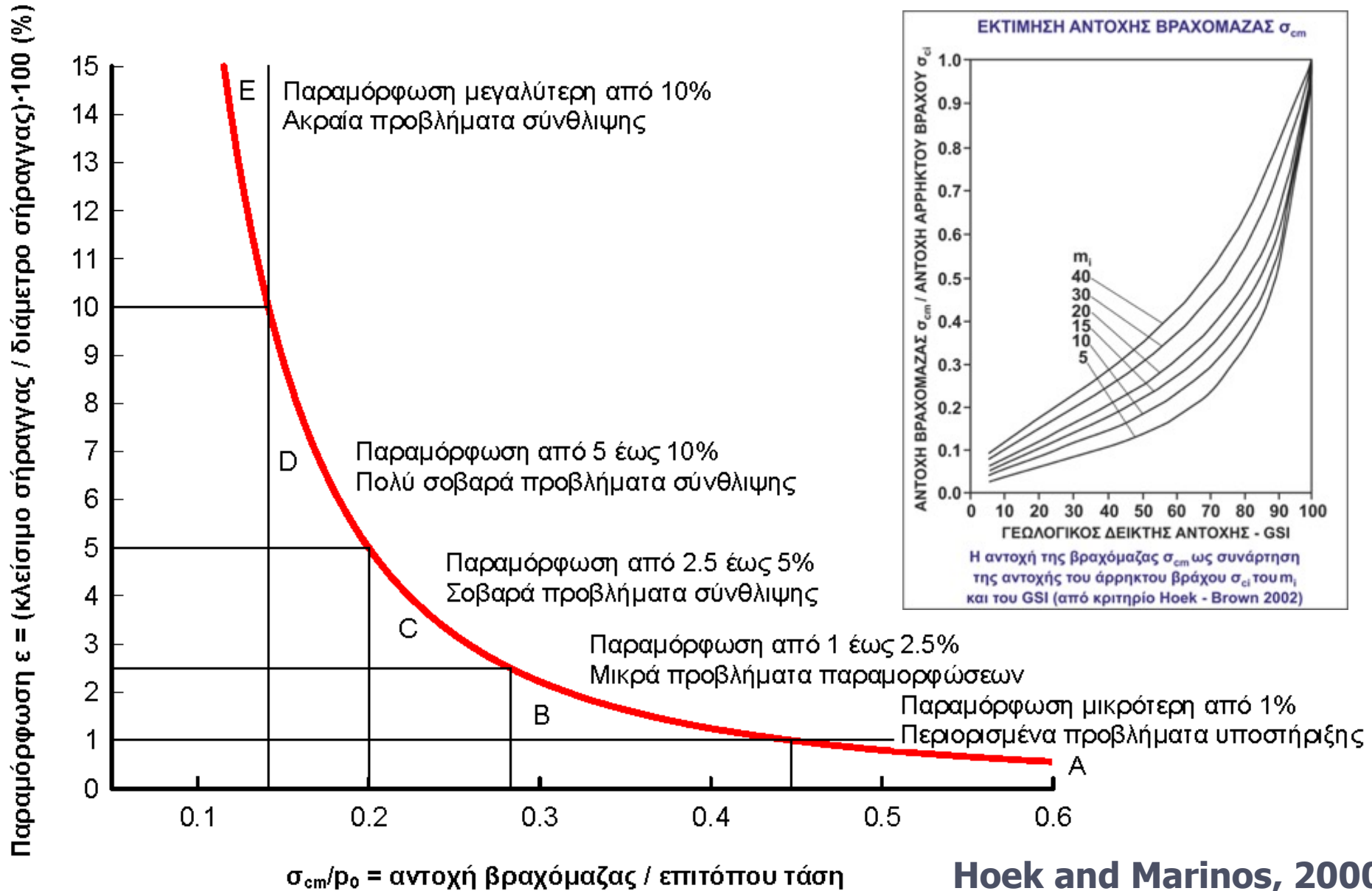


Σύνθλιψη εδάφους
κάτω από υπερκείμενα 1200m
σε γραφιτικό σχιστόλιθο

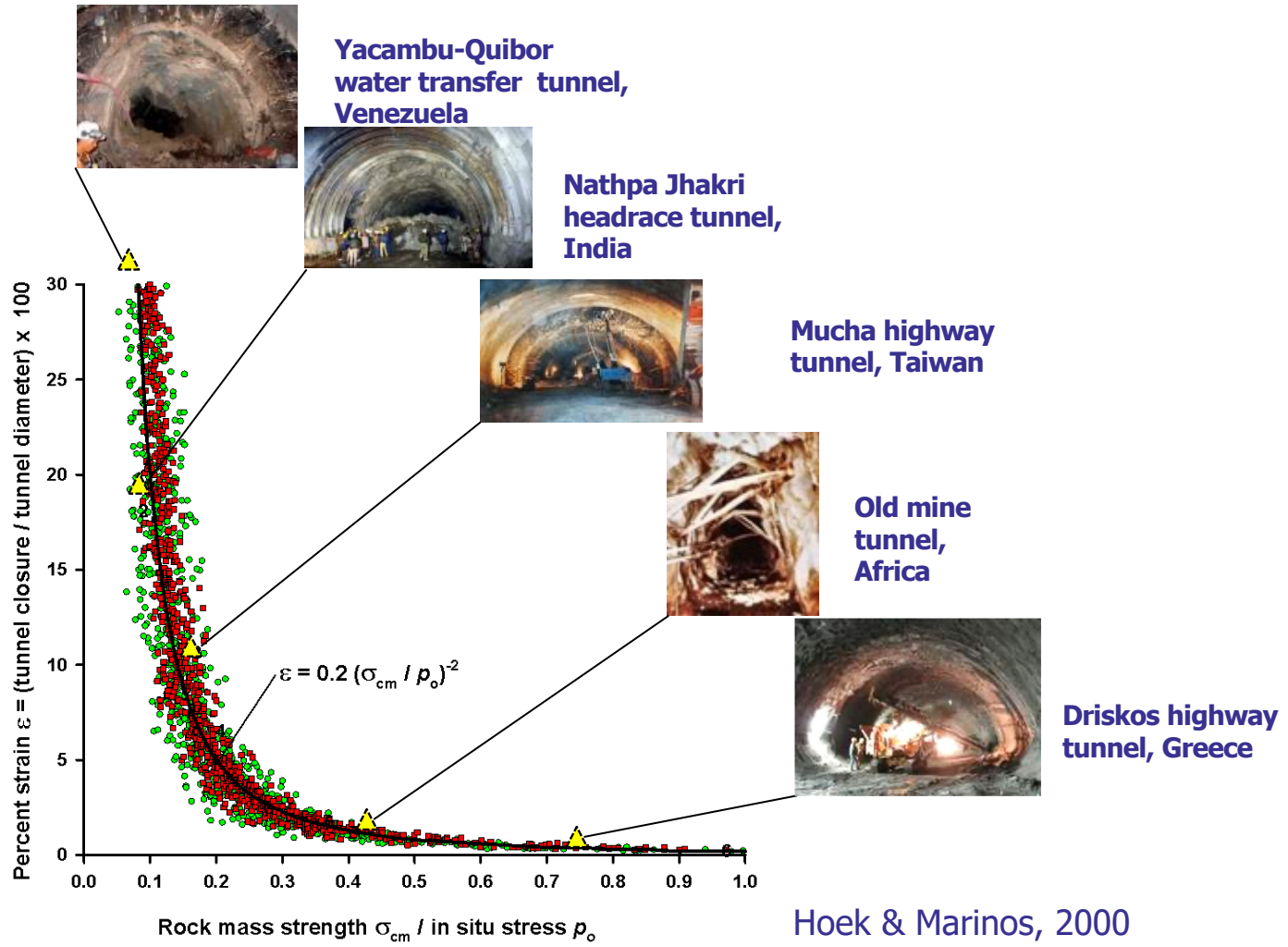


(Hoek, 2007)

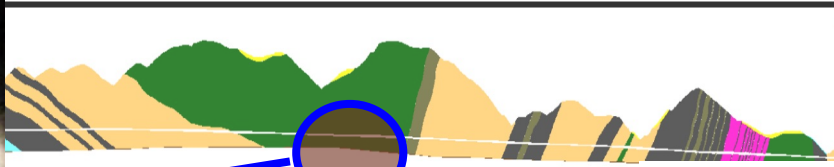
Πρόβλεψη φαινομένων σύνθλιψης. Μία αρχική προσέγγιση



Πρόβλεψη φαινομένων σύνθλιψης σε ασθενείς βραχομάζες. Μία αρχική προσέγγιση



Hoek & Marinos, 2000

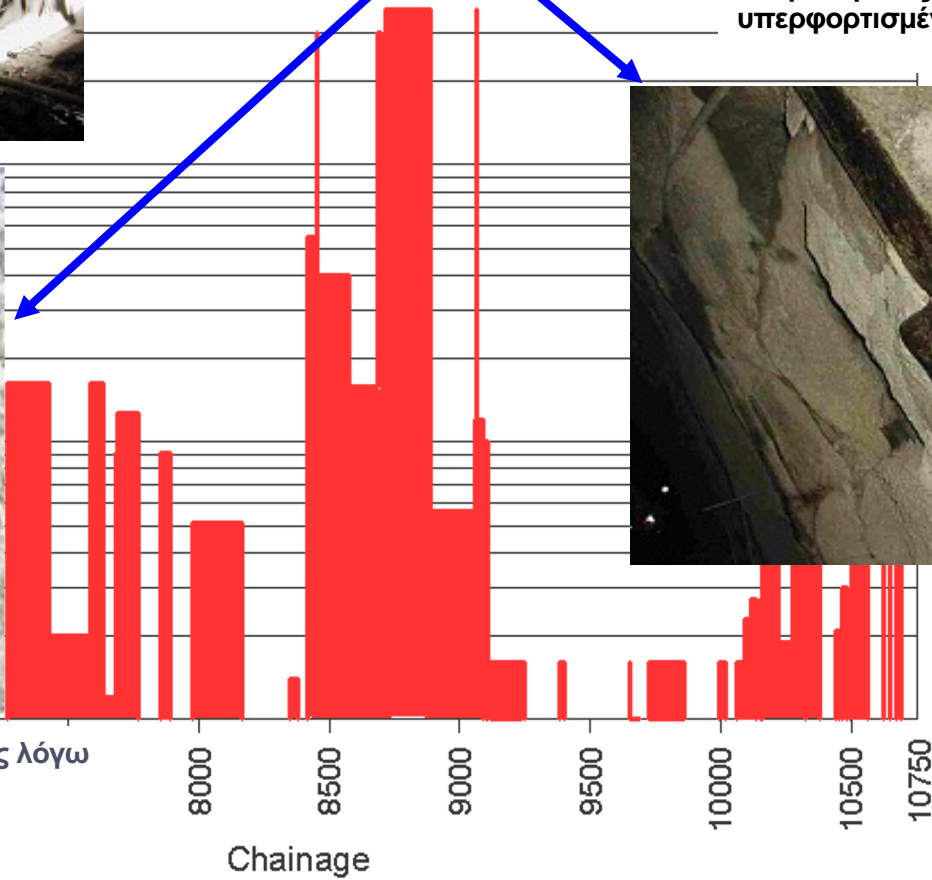


Σήραγγα Δρίσκου

Αστοχία εκτοξευμένου
σκυροδέματος γύρω από ένα
υπερφορτισμένο πλαίσιο



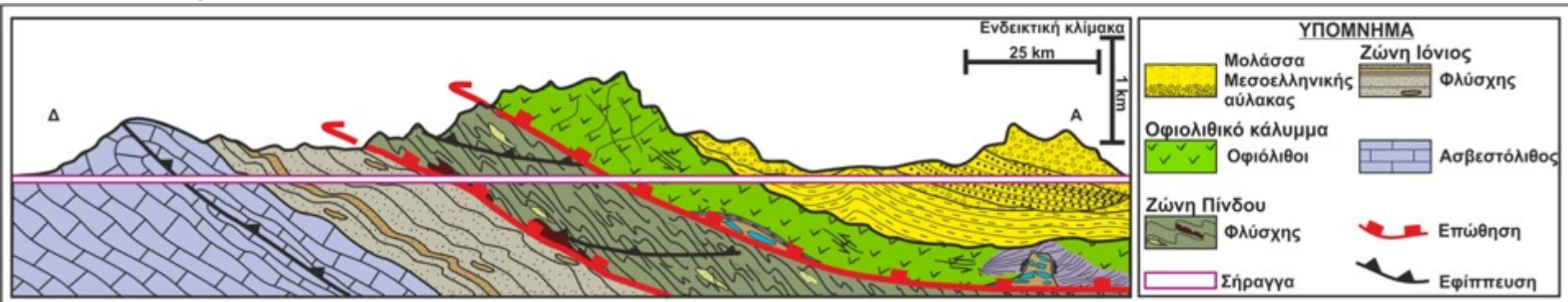
Παραμορφωμένη πλάκα αγκύρωσης λόγω
υπερφόρτισης του κελύφους της
προσωρινής υποστήριξης



Προβλεφθείσες συγκλίσεις με βάση το σ_{cm} και το υπερκείμενο p_0

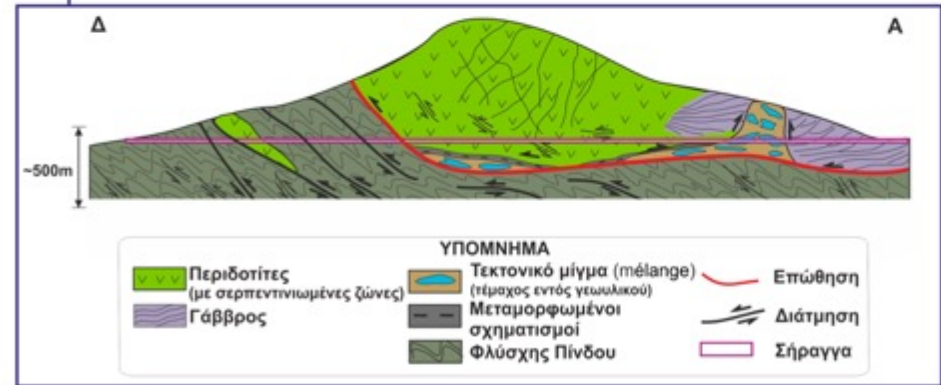
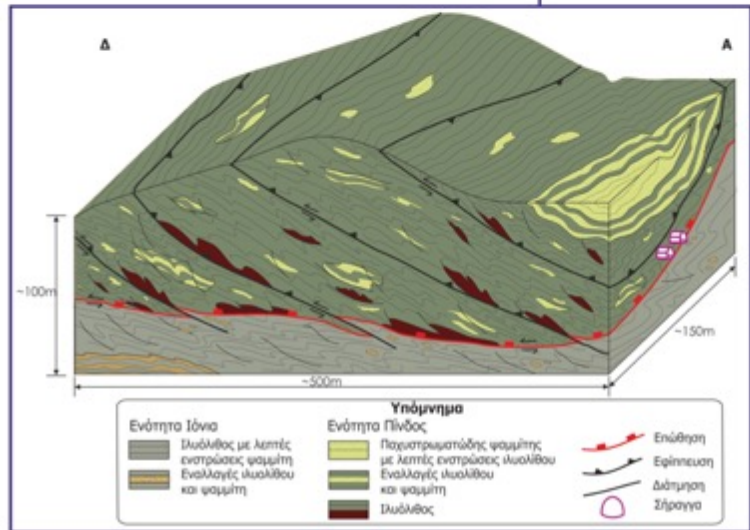
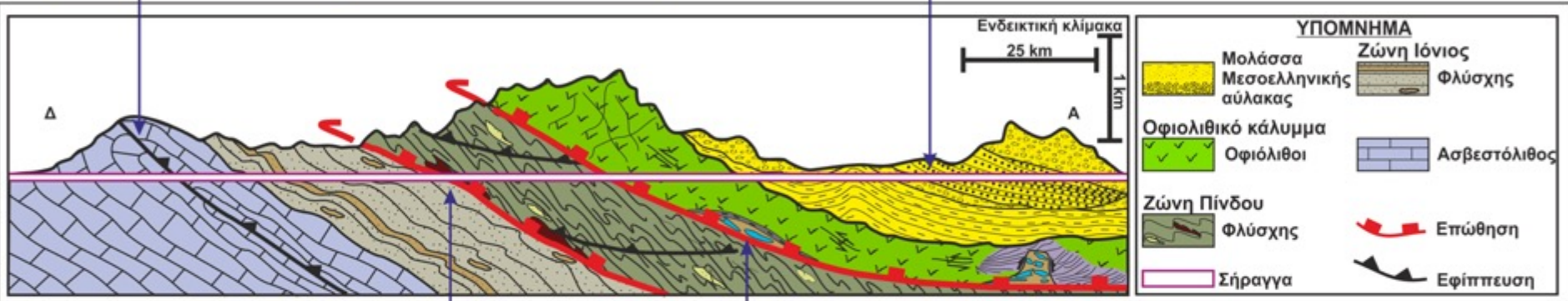
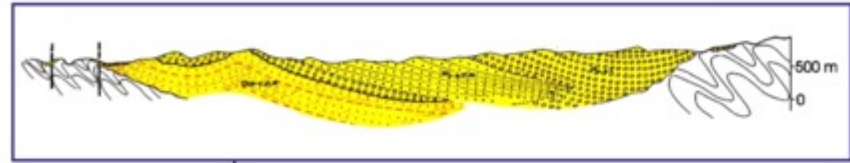
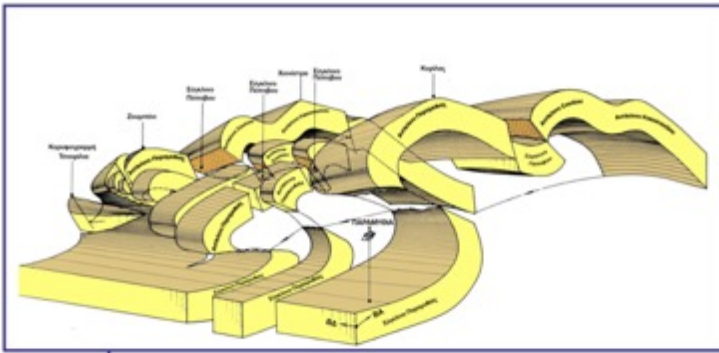
Βήματα τεχνικογεωλογικής - γεωτεχνικής αξιολόγησης σήραγγας

1. Σύνταξη τεχνικογεωλογικής μηκοτομής
2. Προσδιορισμός των τύπων βραχώμαζας
3. Εκτίμηση της συμπεριφοράς των βραχομαζών αυτών στο υπόγειο

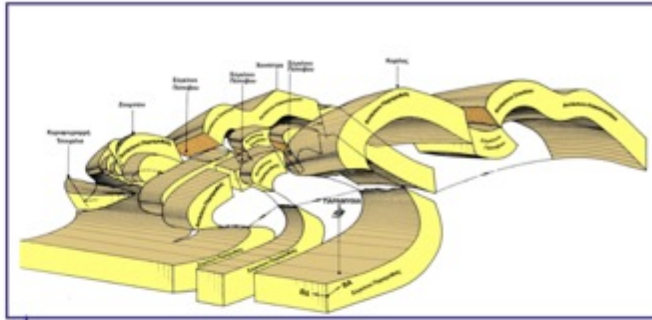


4. Καθορισμός αρχών συστήματος εκσκαφής και υποστήριξης βασισμένο σε τύπους συμπεριφοράς
5. Διακριτοποίηση περιοχών με κοινά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις εκσκαφής και υποστήριξης
6. Καθορισμός των κατηγοριών εκσκαφής και υποστήριξης σε όρους οικονομικούς, αλλά και χρόνου (Τεύχη Δημοπράτησης)

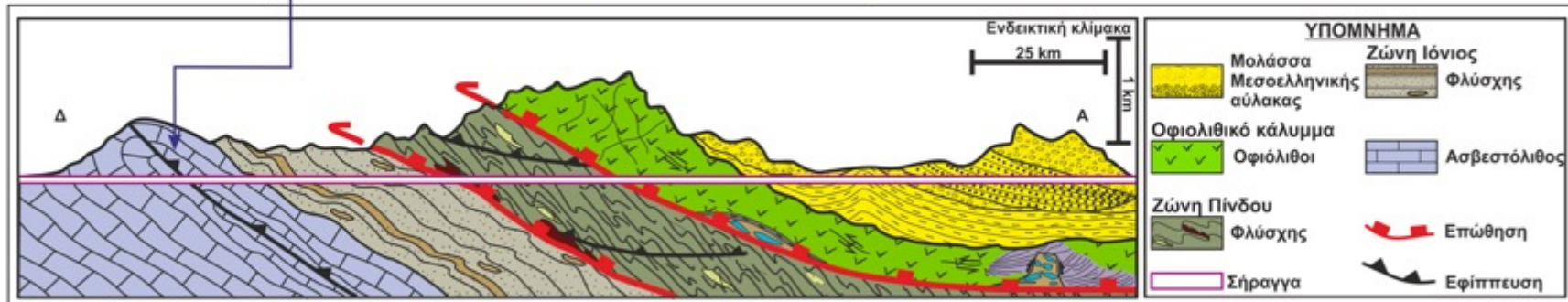
Παράδειγμα τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης σήραγγας



Παράδειγμα τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης σήραγγας



Τεχνικογεωλογικό πρότυπο σε περιβάλλον ασβεστόλιθου



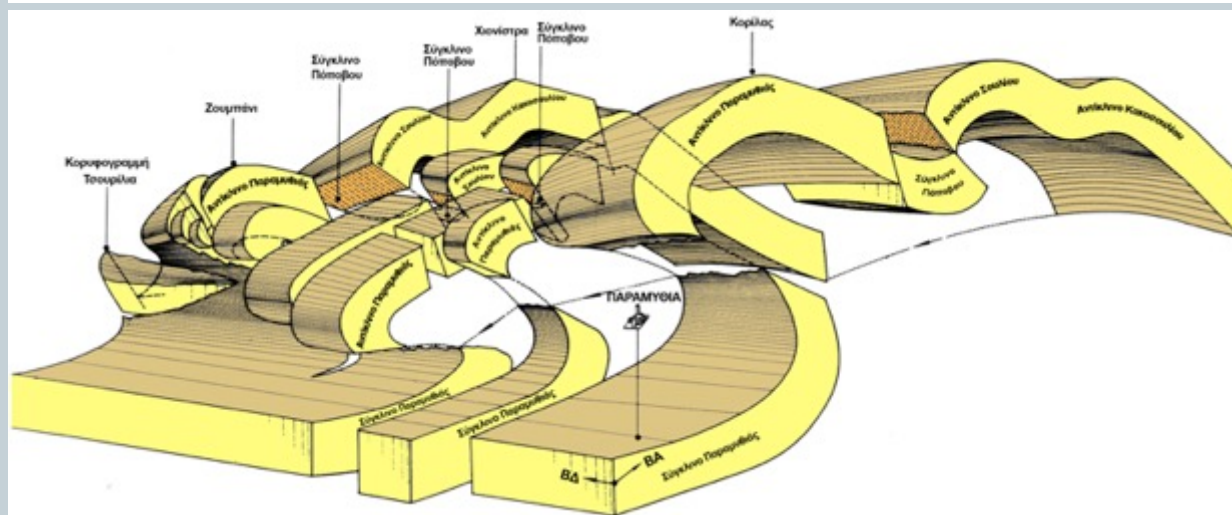
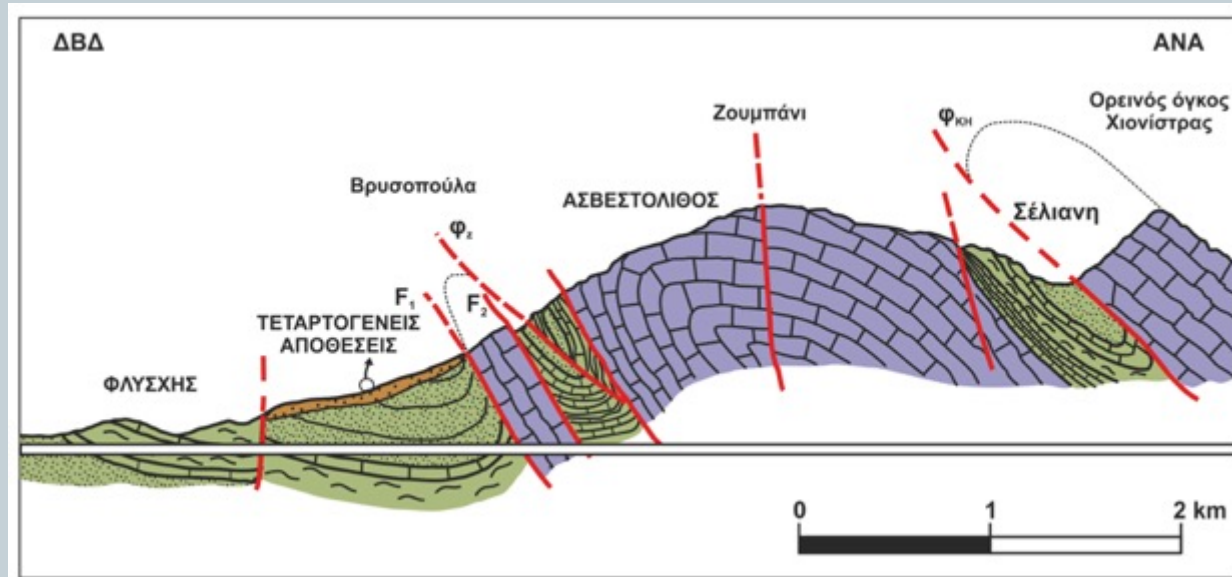
Γεωλογικές συνθήκες

Τεχνικογεωλογικοί τύποι

Συμπεριφορά βραχομαζών

Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Διασχίζοντας επιφipeύσεις σε ψαθυρά υλικά (εδώ ασβεστολίθους):
Παράδειγμα - Εγνατία Οδός, Παραμυθιά



Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου



Η βραχώμαζα είναι έντονα κερματισμένη και αποδιοργανωμένη από επιππευτικές κινήσεις και τεκτονικά ράκη

Κατακερματισμένος ασβεστόλιθος σε κλίμακες «ράχεων» και όχι μεμονωμένων ζωνών.



Τεχνικογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου



Χαρακτηριστικά Βραχόμαζας:

- Μικρή γενικά συνεκτικότητα
- Υψηλή γενικά αντοχή
- Μεγάλη γωνία τριβής (ανάλογα και με το αλληλοκλείδωμα)
- Καλή έως πτωχή αλληλεμπλοκή των τεμαχών του. Το σφικτό κλείδωμα των τεμαχών περιορίζει τη βραχόμαζα και της προσδίδει ευστάθεια ενώ το πτωχό δημιουργεί συνθήκες «επέκτασης» και ευκολότερης περιστροφής των τεμαχών που χωρίς άμεσο περιορισμό σε μία σήραγγα «απελευθερώνονται» και καταρρέουν.
- Πιθανή εμφάνιση αργιλικών υλικών ανάμεσα στα τεμάχια που μειώνουν την τριβή και διευκολύνουν την περιστροφή τους.

Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

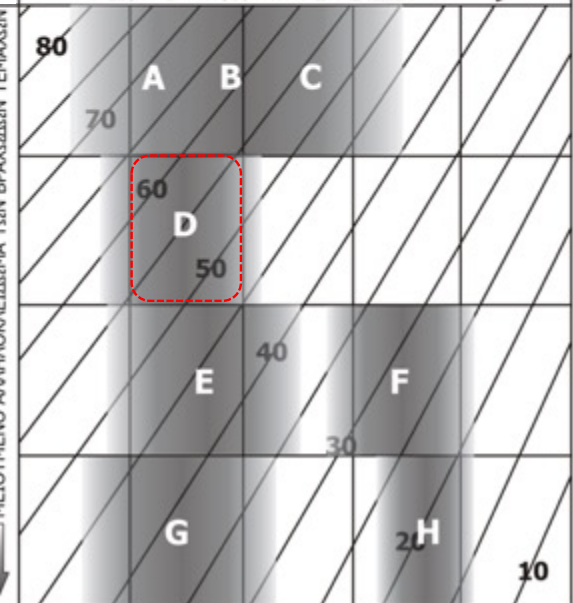
Τεχνηογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολλή τραχειές, υγείες, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχειές, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίου αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
---	--	--	---	---

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →

↑ ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΛΙΚΕΙΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ↓



<p>ΤΥΠΟΣ Α. Αδιάτακτος παχυστρωματώδης έως άστρωτος ασβεστόλιθος με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες</p>	<p>ΤΥΠΟΣ Β. Αδιάτακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις (μια) με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm</p>	<p>ΤΥΠΟΣ Γ. Αδιάτακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλιθών ή πυριτιθιτών με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις (μια) με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm</p>
<p>ΤΥΠΟΣ Δ. Μερικώς διαταραγμένος ασβεστόλιθος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχιών</p>	<p>ΤΥΠΟΣ Ε. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Εμμονή της στρώσης</p>	<p>ΤΥΠΟΣ ΣΤ. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλιθών ή/και πυριτιθιτών αποτελούμενος από γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Δομή ανοικτή λόγω της μη αλληλεμπλοκής των τεμαχίων και περιορισμένη εμμονή</p>
<p>ΤΥΠΟΣ Ζ. Ισχυρά κερματισμένος ασβεστόλιθος με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιών και αποστρωγγυλωμένων τεμαχίων</p>	<p>ΤΥΠΟΣ Η. Κατακερματισμένος - αποδιοργανωμένος ασβεστόλιθος με έντονη παρουσία αργιλικού υλικού πλήρωσης στις ασυνεχίες του. Τα ασβεστολιθικά τεμάχια δεν έρχονται πάντα σε επαφή μεταξύ τους με αποτέλεσμα το αλληλοκλείδωμα να είναι πολύ πτωχό. Η βραχώδεια αυτή απαντάται συνήθως σε ζώνες μικρού πάχους σε περιοχές επιπεδύσεων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)</p>	

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνηκογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)			
	Small overburden		Large overburden	
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa	
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	3 Sh	4 St
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 Wg	6 Wg	7 Sh-Wg	8 St-Wg
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	11 Sh	12 Wg
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg	15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17 Sh-Rv	18 Rv	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch	23 Sq	24 Sq

OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m (rows 1-4)
OVERBURDEN (H) LIMIT: ~100 m (rows 5-12)
OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m (rows 13-24)

Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνηογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές

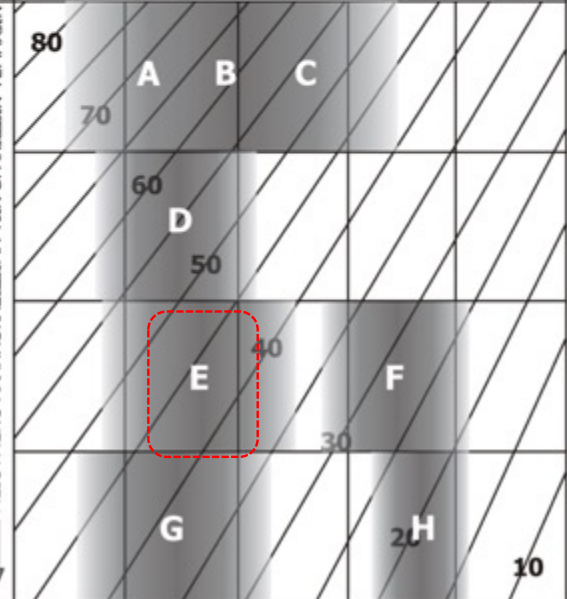


ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελοιφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίου αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
--	---	--	---	---

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΙΩΣΝ →

<p>ΤΥΠΟΣ Α. Αδιάτακτος παχιστρωματώδης έως άστρωτος ασβεστόλιθος με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρείς ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες</p>	<p>ΤΥΠΟΣ Β. Αδιάτακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρείς (μολ με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχρών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm</p>	<p>ΤΥΠΟΣ C. Αδιάτακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλιθών ή ιμολιθών και πυριτολιθών με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρείς (μολ με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχρών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm</p>
<p>ΤΥΠΟΣ D. Μερικώς διαταραγμένος ασβεστόλιθος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχρών</p>	<p>ΤΥΠΟΣ E. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχρών. Εμμονή της στρώσης</p>	<p>ΤΥΠΟΣ F. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλιθών ή/και πυριτολιθών αποτελούμενος από γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχρών. Δομή ανοικτή λόγω της μη αλληλεμπλοκής των τεμαχίων και περιορισμένη εμμονή</p>
<p>ΤΥΠΟΣ G. Ίσχυρά κερματισμένος ασβεστόλιθος με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιών και αποστρωγγυλωμένων τεμαχίων</p>	<p>ΤΥΠΟΣ H. Κατακερματισμένος - αποδιοργανωμένος ασβεστόλιθος με έντονη παρουσία αργιλικού υλικού πλήρωσης στις ασυνέχειες του. Τα ασβεστολιθικά τεμάχια δεν έρχονται πάντα σε επαφή μεταξύ τους με αποτέλεσμα το αλληλοκλείδωμα να είναι πολύ πτωχό. Η βραχώδεια αυτή απαντάται συνήθως σε ζώνες μικρού πάχους σε περιοχές επιπεδύσεων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)</p>	

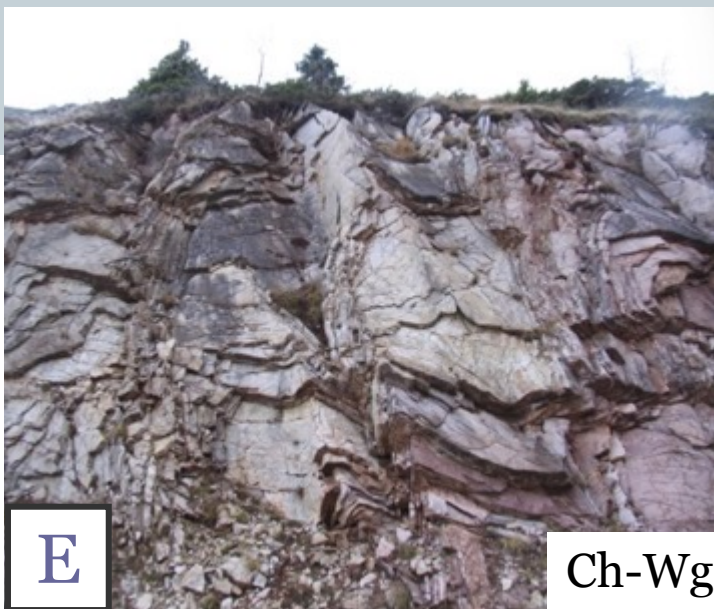
↑ ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΛΙΚΕΙΔΙΣΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ↓



Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνηκογεωλογικό Πρότυπο

Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



E

Ch-Wg

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*

(Rock masses for up to several hundreds metres**)

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H)				
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m	3 Sh	4 St
	5 Wg	6 Wg		7 Sh-Wg	8 St-Wg
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	9 Wg-Ch-Sh	10 Wg-Ch	H LIMIT: ~100 m	11 Sh	12 Wg
	13 Ch-Wg-Sh	14 Ch-Wg		15 S(Sh-Sq)-Ch	16 Ch-Sh
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	17 Sh-Rv	18 Rv	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch		23 Sq	24 Sq
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)					

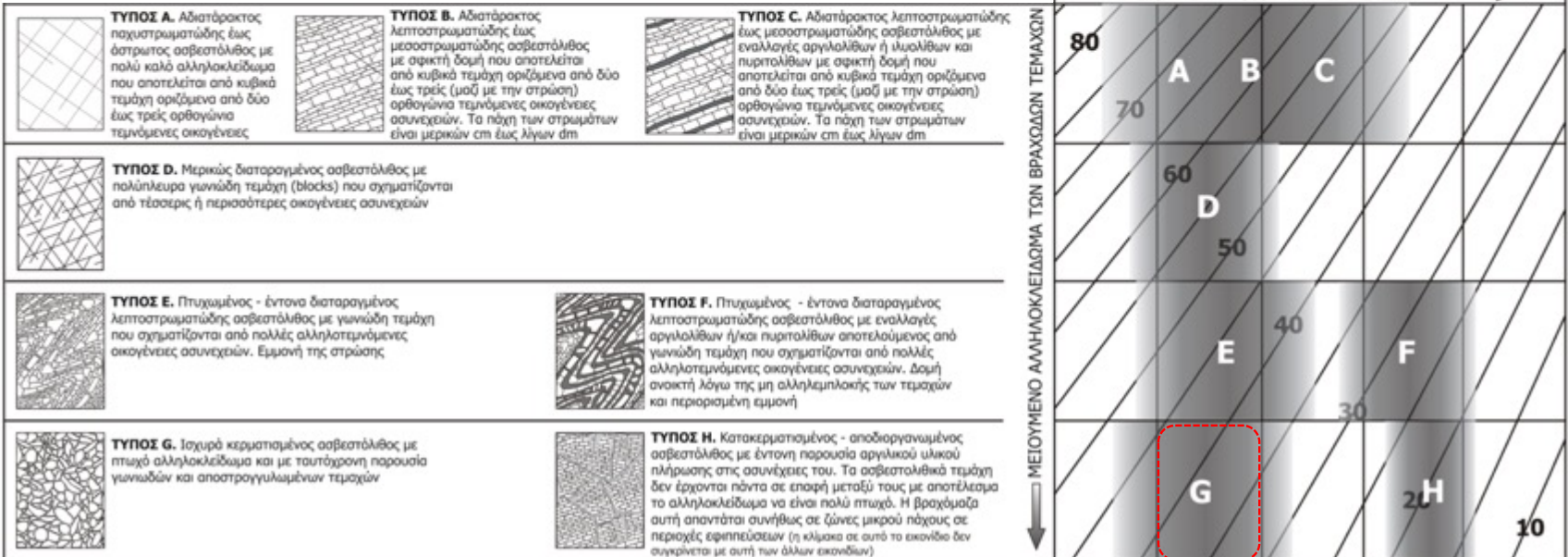
Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνηογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγείες, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσθρωμμένες 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 αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
---	---	---	---	---

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →



ΤΥΠΟΣ Α. Αδιατάρακτος παχυστρωματώδης έως άστρωτος ασβεστόλιθος με πολύ καλό αλληλοκλειδώμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες



ΤΥΠΟΣ Β. Αδιατάρακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις (μαζί με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm



ΤΥΠΟΣ C. Αδιατάρακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλολίθων ή υλολίθων και πυριτολίθων με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις (μαζί με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm



ΤΥΠΟΣ D. Μερικώς διαταραγμένος ασβεστόλιθος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχιών



ΤΥΠΟΣ E. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Εμμόνη της στρώσης



ΤΥΠΟΣ F. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλολίθων ή/και πυριτολίθων αποτελούμενος από γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Δομή ανοικτή λόγω της μη αλληλεμπλοκής των τεμαχίων και περιορισμένη εμμόνη



ΤΥΠΟΣ G. Ισχυρά κερματισμένος ασβεστόλιθος με πτωχό αλληλοκλειδώμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιαδών και αποστρωγγυλαμένων τεμαχίων



ΤΥΠΟΣ H. Κατακερματισμένος - αποδιοργανωμένος ασβεστόλιθος με έντονη παρουσία αργιλικού υλικού πλήρωσης στις ασυνέχειες του. Τα ασβεστολιθικά τεμάχια δεν έρχονται πάντα σε επαφή μεταξύ τους με αποτέλεσμα το αλληλοκλειδώμα να είναι πολύ πτωχό. Η βραχώδεια αυτή απαντάται συνήθως σε ζώνες μικρού πάχους σε περιοχές επιφειδύσεων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)

Τεχνογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου



Rv

G

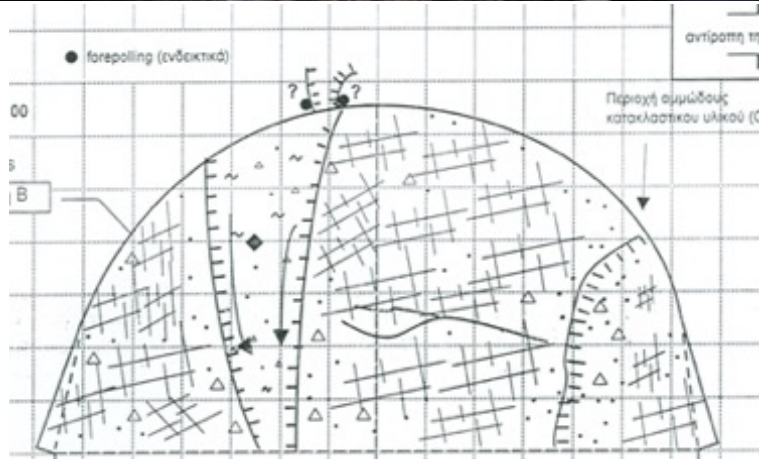
Τεχνογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m	3 Sh	4 St
	5 Wg	6 Wg		7 Sh-Wg	8 St-Wg
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	H LIMIT: ~100 m	11 Sh	12 Wg
	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg		15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	17 Sh-Rv	18 Rv	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch		23 Sq	24 Sq
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)					

Τεχνογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

Τεχνογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές



TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*					
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa		
	Low σ_{ci}	High σ_{ci}	Low σ_{ci}	High σ_{ci}	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	3 Sh	4 St	
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 Wg	6 Wg	7 Sh-Wg	8 St-Wg	
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 Wg-Ch-Sh	10 Wg-Ch	11 Sh	12 Wg	
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	13 Ch-Wg-Sh	14 Ch-Wg	15 S(Sh-Sq)-Ch	16 Ch-Sh	
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17 Sh-Rv	18 Rv	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh	
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch	23 Sq	24 Sq	

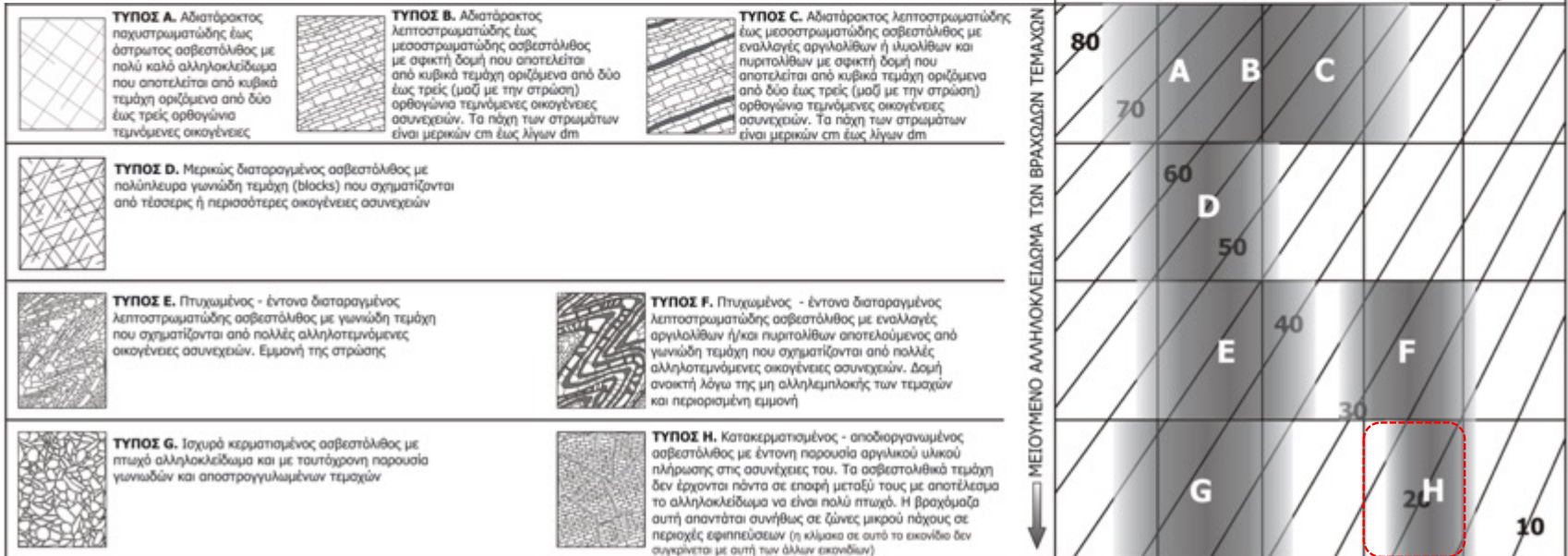
Τεχνηογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου



Τεχνηογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές

ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσθρωμμένες 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 αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
--	--	---	---	---

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →



ΤΥΠΟΣ Α. Αδιάτακτος παχυστρωματώδης έως άστρωτος ασβεστόλιθος με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες



ΤΥΠΟΣ Β. Αδιάτακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις (μια ή με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm



ΤΥΠΟΣ Γ. Αδιάτακτος λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλολίθων ή υλολίθων και πυριτολίθων με σφικτή δομή που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από δύο έως τρεις (μια ή με την στρώση) ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Τα πάχη των στρωμάτων είναι μερικών cm έως λίγων dm



ΤΥΠΟΣ Δ. Μερικώς διαταραγμένος ασβεστόλιθος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχιών



ΤΥΠΟΣ Ε. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Ερμηνή της στρώσης



ΤΥΠΟΣ ΣΤ. Πτυχωμένος - έντονα διαταραγμένος λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος με εναλλαγές αργιλολίθων ή/και πυριτολίθων αποτελούμενος από γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχιών. Δομή ανοικτή λόγω της μη αλληλεμπλοκής των τεμαχίων και περιορισμένη ερμηνή



ΤΥΠΟΣ Ζ. Ισχυρά κρυσταλισμένος ασβεστόλιθος με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγγυλωμένων τεμαχίων



ΤΥΠΟΣ Η. Κατακρυσταλισμένος - αποδιοργανωμένος ασβεστόλιθος με έντονη παρουσία αργιλικού υλικού πλήρωσης στις ασυνεχείες του. Τα ασβεστολιθικά τεμάχια δεν έρχονται πάντα σε επαφή μεταξύ τους με αποτέλεσμα το αλληλοκλείδωμα να είναι πολύ πτωχό. Η βραχώδεια αυτή απαντάται συνήθως σε ζώνες μικρού πάχους σε περιοχές επιφειύσεων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)

Τεχνικογεωλογικοί τύποι Ασβεστολίθου

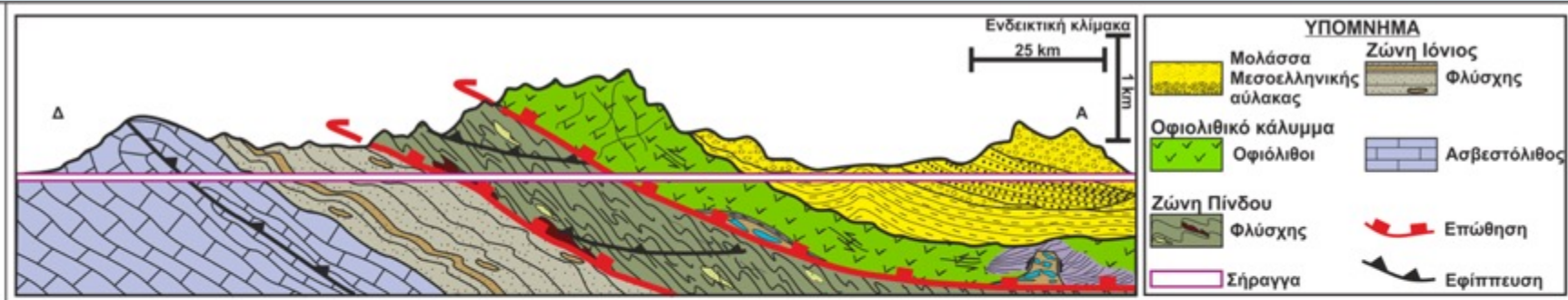


Τεχνικογεωλογικό Πρότυπο Σύστημα Ταξινόμησης GSI για Ασβεστολίθους με ή χωρίς εναλλαγές

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinós)*

ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinós, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c) Indicative limit: $\sigma_c \sim 15$ Mpa		
	Low σ_c	High σ_c	Low σ_c	High σ_c	
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m	3 Sh	4 St
	5 Wg	6 Wg		7 Sh-Wg	8 St-Wg
BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	H LIMIT: ~100 m	11 Sh	12 Wg
	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg		15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	17 Sh-Rv	18 Rv	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~70 m	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
	21 Sh-Ch	22 Sh-Ch		23 Sq	24 Sq
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)					

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι και συμπεριφορά βραχομαζών Ασβεστολίθου



Γεωλογικές συνθήκες	Ασβεστόλιθος	Φλύσχης Ιόνιας	Φλύσχης Πίνδου	Οφιολίθοι	Μολάσσα
Τεχνηκογεωλογικοί τύποι	Τύπος D (L1)	Τύπος E (L2)	Τύπος G (L3)	Τύπος H (L4)	
Συμπεριφορά βραχομαζών	Wg	Ch - Wg	Rv	Ch	

Τεχνηογεωλογικοί τύποι Φλύσχη

Το υπό διάνοιξη γεωυλικό είναι γενικά αδιαπέρατο. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας πάνω από το επίπεδο της σήραγγας, γεγονός το οποίο προφανώς επηρεάζει τη γεωτεχνική συμπεριφορά των ασθενών σχηματισμών, ενώ δεν δημιουργούνται προβλήματα εισροών.



Στη διάνοιξη σηράγγων μέσα από μεγάλες τεκτονικές γραμμές, έστω και κάθετα σε αυτές, η βραχομάζα είναι πολύ διαταραγμένη σε ευρεία κλίμακα λόγω κυρίως των δορυφόρων επιππεύσεων και διατμήσεων.



Γεωυλικά με έντονη παραμόρφωση αλλά με διατήρηση της δομής τους

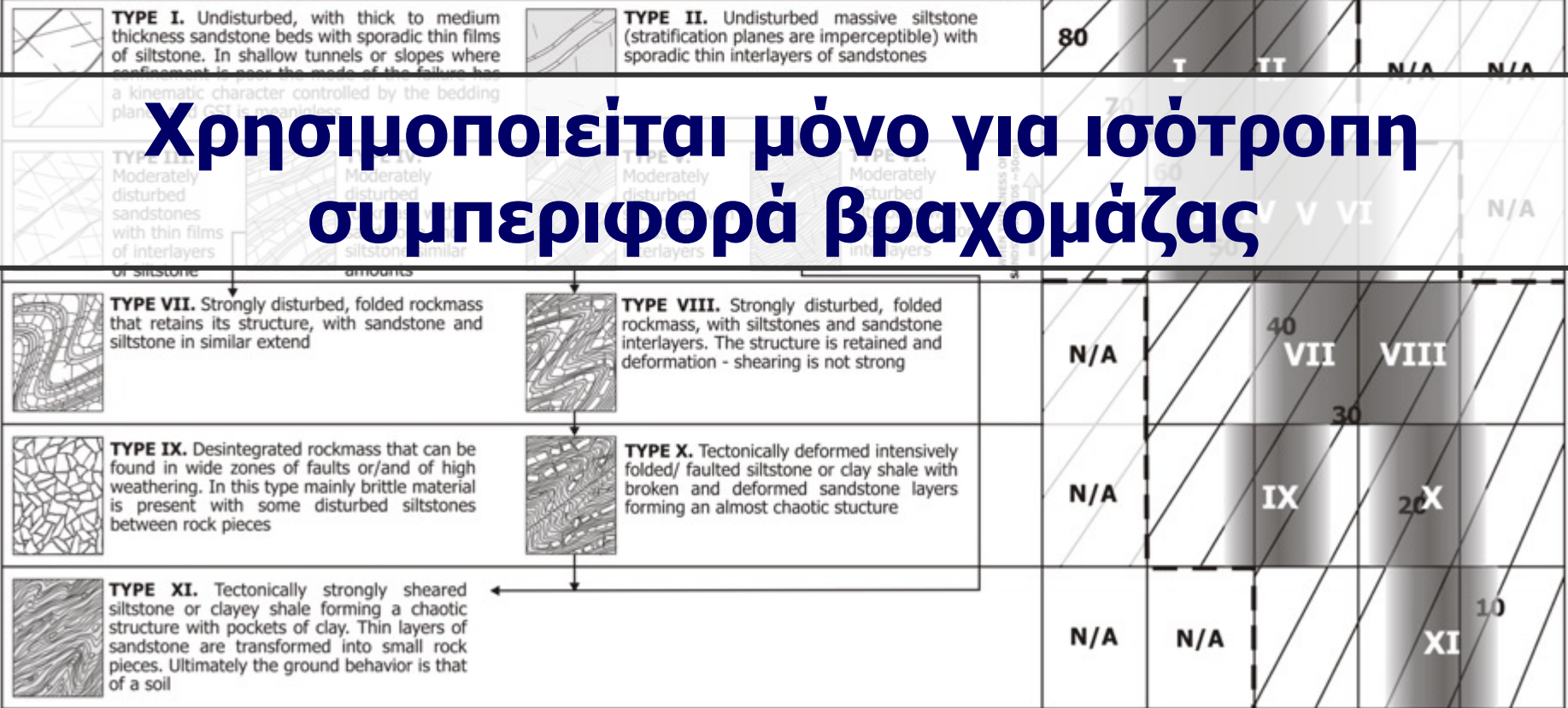
Διάγραμμα GSI για ετερογενείς βραχομάζες

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS ELYSCH

(V. Marinos, 2007)

based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION



Χρησιμοποιείται μόνο για ισότροπη συμπεριφορά βραχομάζας

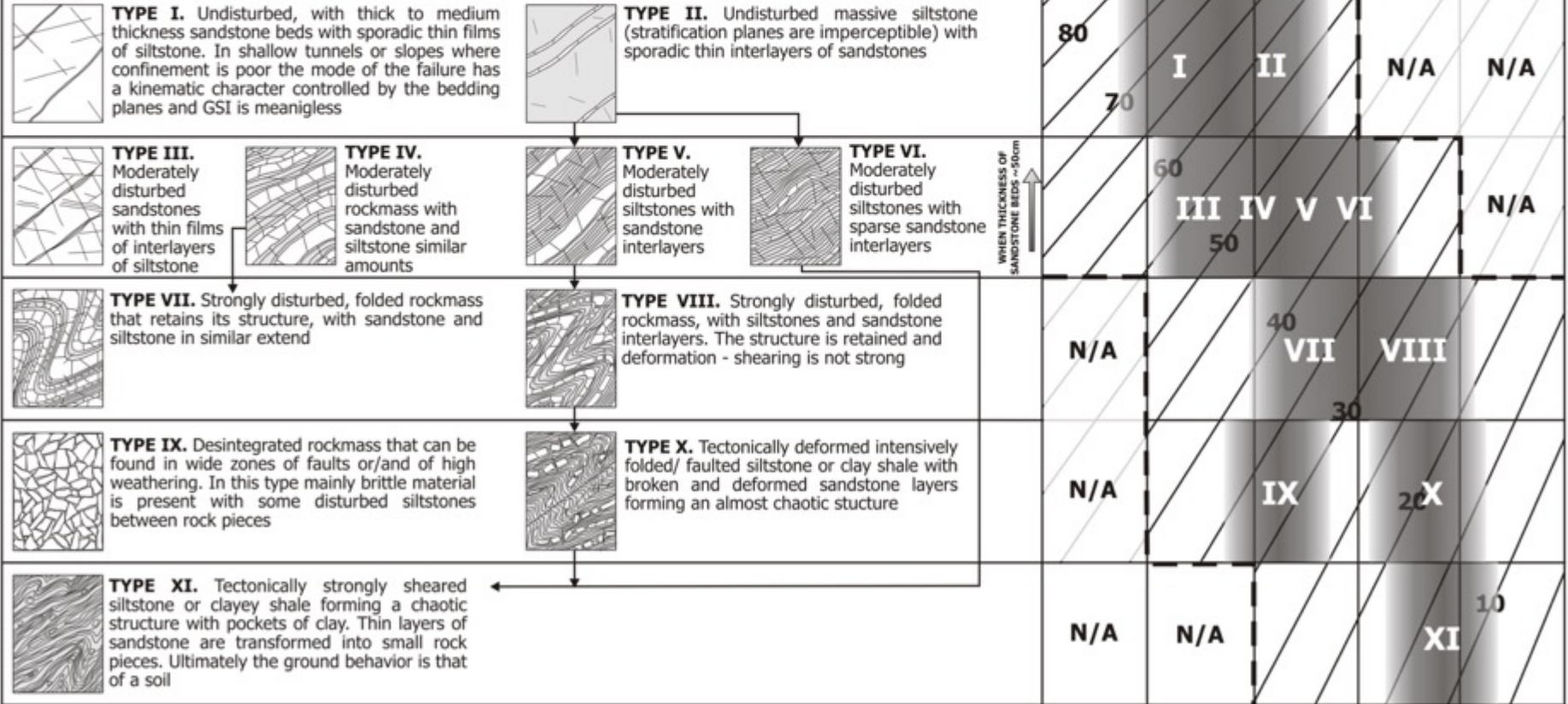
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION



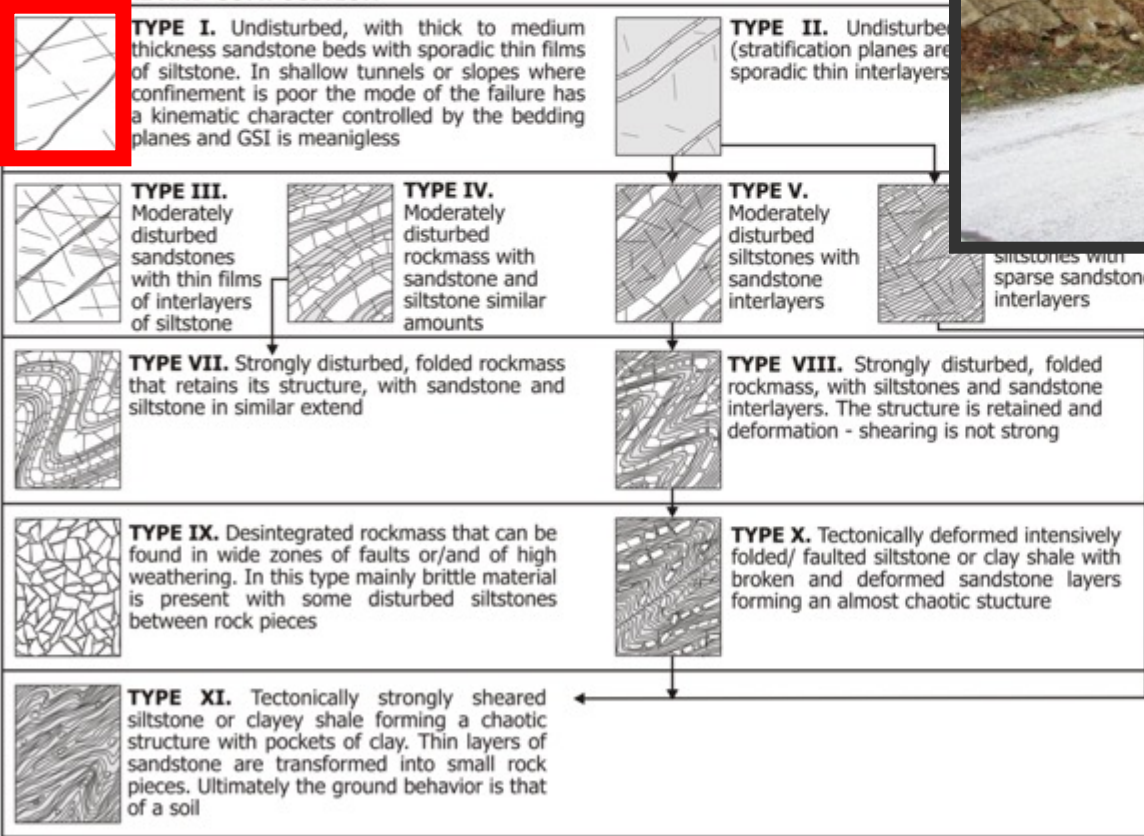
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are between sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and structural discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure is based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded or sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratified siltstone layers.** In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are parallel to the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average GSI value. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between type I and XI. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourable continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of the rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the chart. In poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress.

STRUCTURE AND COMPOSITION



Structure and Composition	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
TYPE I		50							
TYPE II									
TYPE III									
TYPE IV									
TYPE V									
TYPE VI									
TYPE VII	N/A	40	VII	VIII					
TYPE VIII									
TYPE IX	N/A		30	IX	X				
TYPE X									
TYPE XI	N/A	N/A						20	10

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual
 → Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are between sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and structural discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure is based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded or sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification siltstone layers.** In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are parallel to the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average GSI value from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between type I and XI. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourable continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of the rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the chart. In poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress.



STRUCTURE AND COMPOSITION

TYPE I. Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless

TYPE II. Undisturbed (stratification planes are parallel to the siltstone mass) with sporadic thin interlayers of siltstone

TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone

TYPE IV. Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts

TYPE V. Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers

TYPE VI. Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers

TYPE VII. Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend

TYPE VIII. Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong

TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces

TYPE X. Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure

TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil

↑ WHEN THICKNESS OF SANDSTONE BEDS ~ 50cm	60	III	IV	V	VI	N/A
	50	N/A	VII	VIII	N/A	N/A
	40	N/A	IX	X	N/A	N/A
	30	N/A	N/A	XI	N/A	N/A
	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

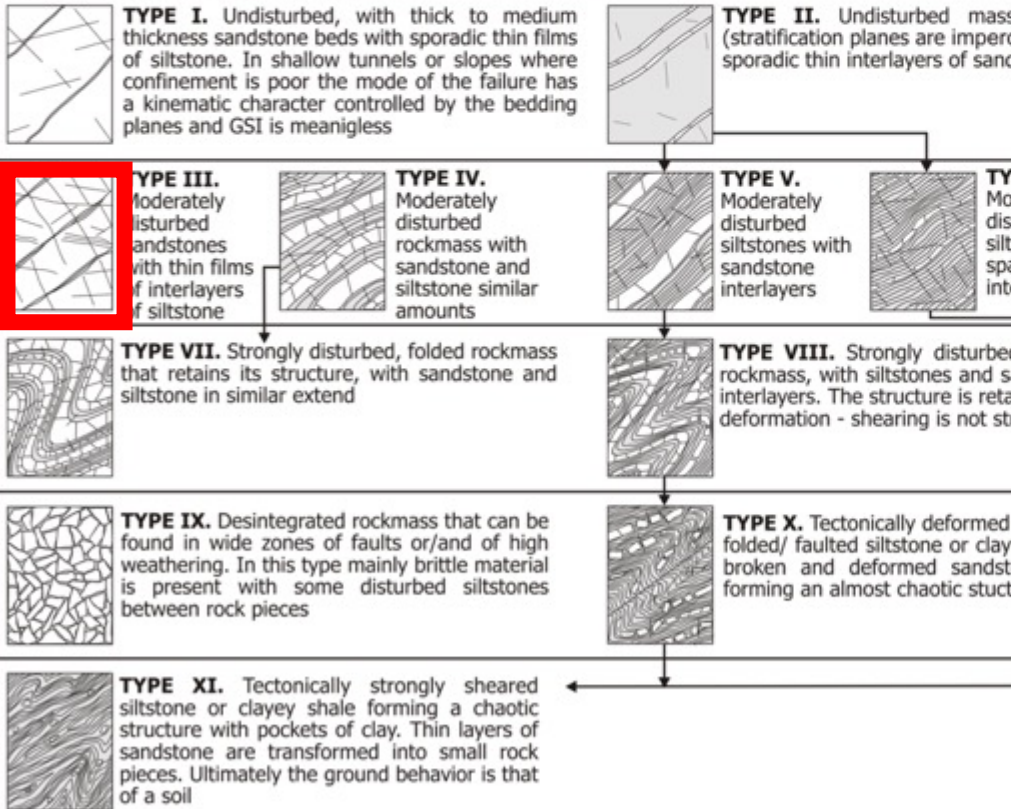
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure is based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification in siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase in GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible in the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value of the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent contours. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the column for poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress.

STRUCTURE AND COMPOSITION



Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings

DISCONTINUITIES	Bed surfaces	Weathered	Bed and	Slickensided surfaces or fillings	
					N/A
					N/A
					10
	N/A	N/A		XI	

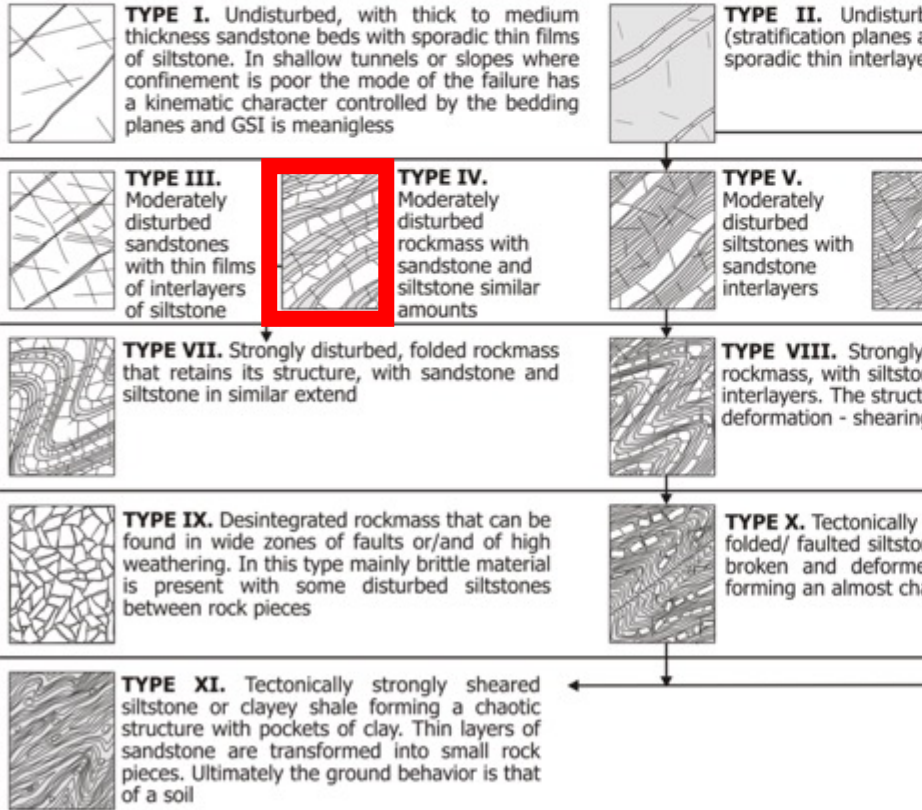
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where uncontinuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the chart. In poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress.

STRUCTURE AND COMPOSITION



CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (bedding planes)	fresh unweathered surfaces	slightly weathered or oxydised	moderately weathered and desintegrated	occasionally slickensided compact coatings or fillings fragments	highly slickensided or highly irregular surfaces with soft clay coating
	N/A	N/A	IX	X	X
	N/A	N/A		XI	10



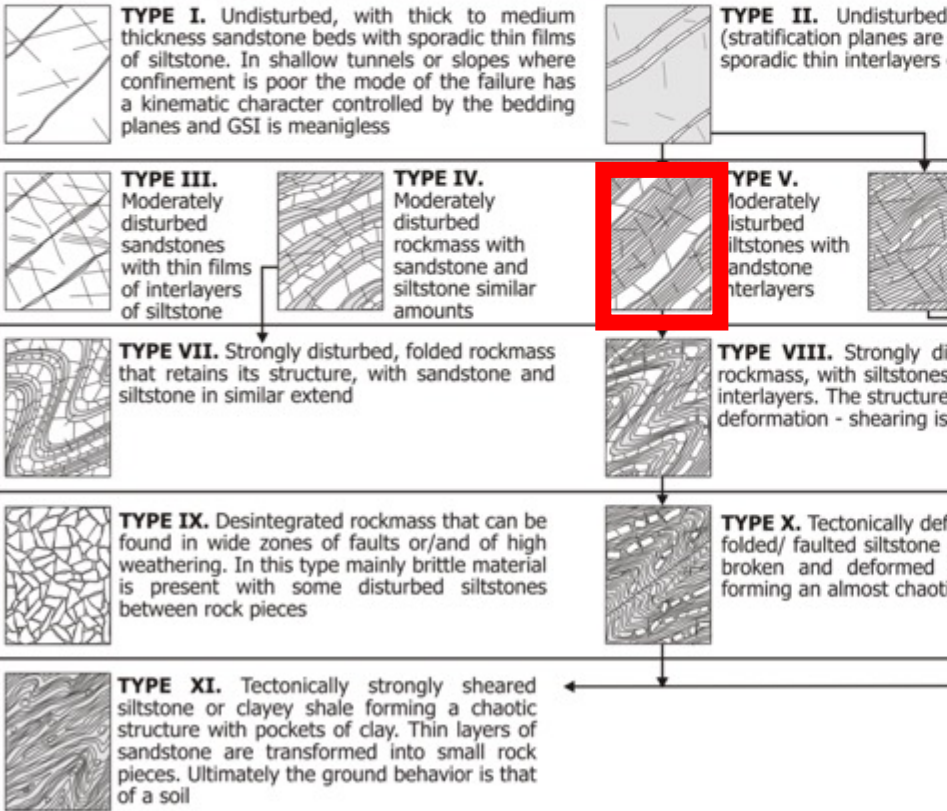
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinis, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure is based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification planes.** In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perpendicular to the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavorable continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective

STRUCTURE AND COMPOSITION



N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

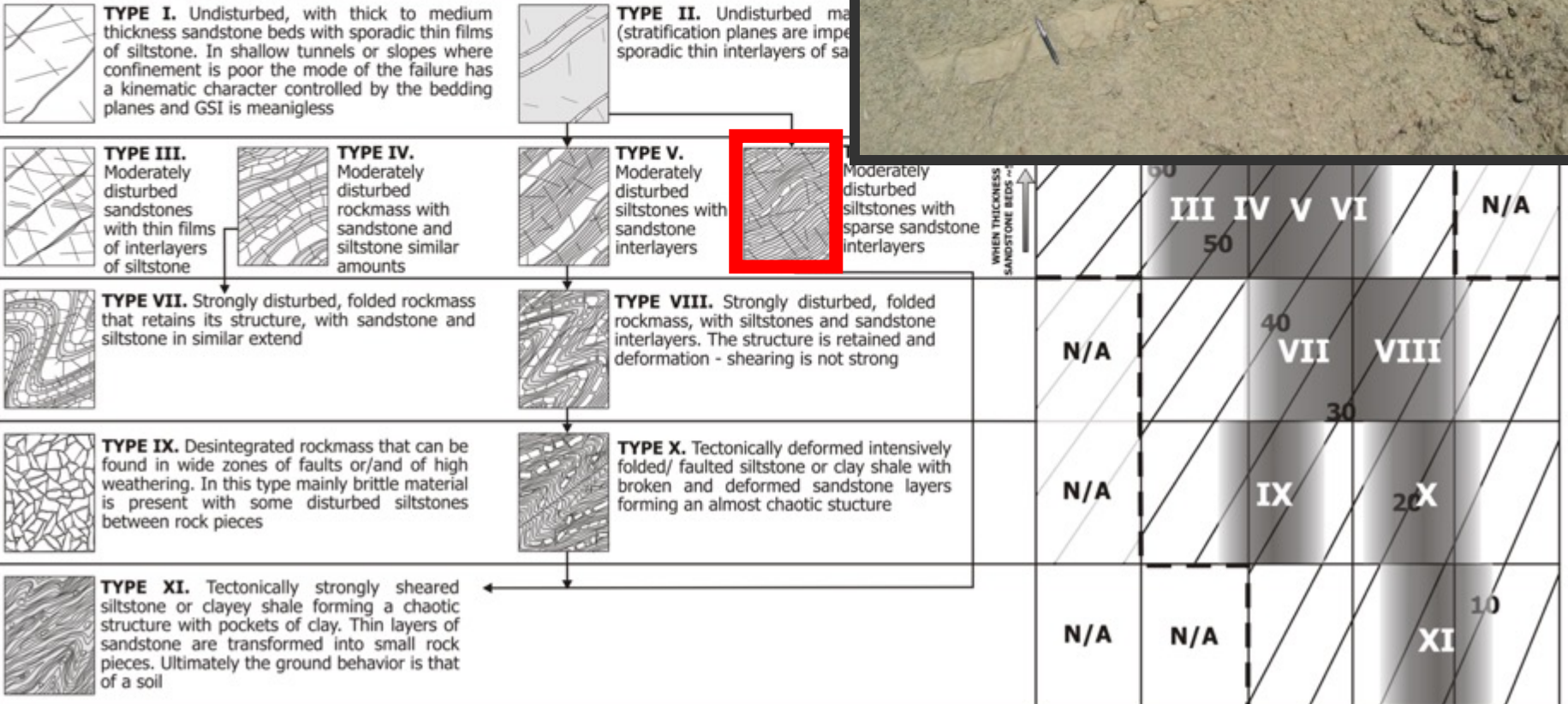
—→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase in GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceived as the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value between the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent contours. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourable continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the colour scale in poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress.



STRUCTURE AND COMPOSITION



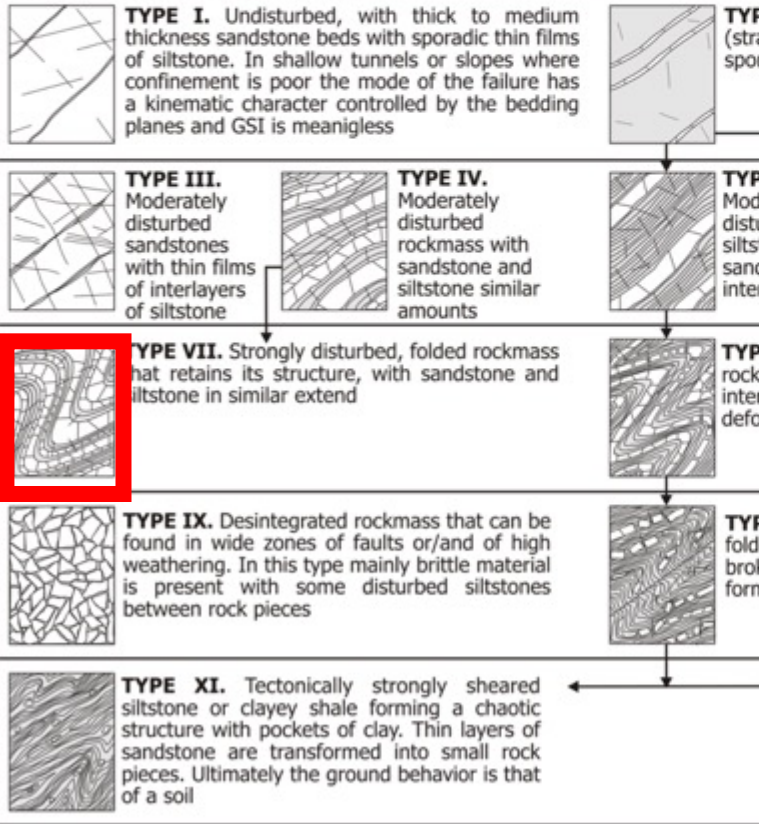
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION



SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces
	GOOD Rough, slightly weathered or oxydised surfaces
	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces
	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments
	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings

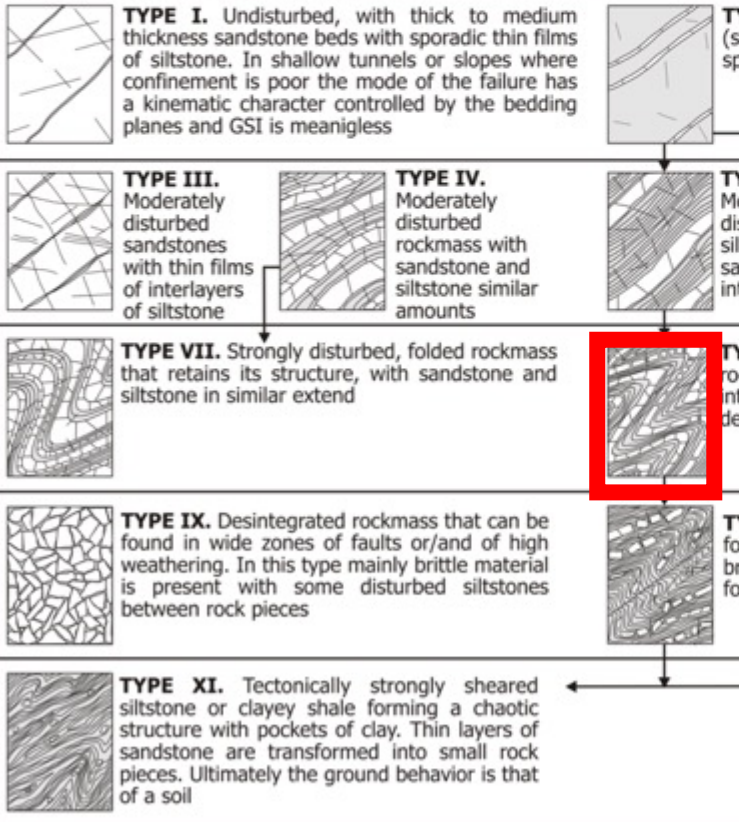
DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES →

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual
 → Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION



SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)

VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered or oxydised surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings
--	---	--	---	---

DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES →



N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the GSI value by 5 is suggested for the siltstone mass.** Look at the contours. The determination of the GSI value is based on the contours. Note that the Hoek - continuous weak planar discontinuities in heterogeneous rock masses is reduced by the poor and very poor conditions of the discontinuities.

STRUCTURE AND CONTINUITY OF DISCONTINUITIES

TYPE I. Undisturbed rockmass with thickness of siltstone layers greater than 10 cm and a kinematic structure of bedding planes and siltstone layers.

TYPE III. Moderately disturbed rockmass with thin layers of siltstone interbedded with sandstone.

TYPE VII. Rockmass that retains some siltstone interbedding.

TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle materials are present with some disturbed siltstones between rock pieces.

TYPE X. Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure.

TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil.



DISCONTINUITIES (planes)	athered surfaces	red or oxyllised	athered and	DISCONTINUITIES	DISCONTINUITIES
				POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings
				N/A	N/A
				VI	N/A
				VII	VIII
				IX	X
				N/A	10
				N/A	N/A

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH

(V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology and their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, alternating layers of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology and bedding discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. The selection is based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the exposure of siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds is similar to the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities is based on the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled discontinuities. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled discontinuities. If continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rockmass. The GSI value for type IV is suggested. From type IV and the following types, the structure of the rockmass is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight reduction in GSI in very poor and poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is not

STRUCTURE AND COMPOSITION

TYPE I. Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless

TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone

TYPE IV. Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts

TYPE VII. Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend

TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces

TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil

TYPE X. Tectonically deformed intensely folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure



		IES				IES			ng
		N/A		VII	VIII				
		N/A		IX	X				
		N/A			XI				

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure is based on the Hoek - Brown criterion of rock mass classification. Note that the Hoek - Brown criterion of rock mass classification for continuous weak planar discontinuities are present in rock masses is reduced by the presence of ground water in poor and very poor conditions. Water pressure

STRUCTURE AND COMPOSITION

TYPE I. Undisturbed, with thickness sandstone beds with thin films of siltstone. In shallow tunnels confinement is poor the mass has a kinematic character controlled by bedding planes and GSI is meaningless

TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone

TYPE VII. Strongly disturbed that retains its structure, with siltstone in similar extent

TYPE IX. Desintegrated rock mass found in wide zones of fault zones and weathering. In this type mass is present with some discontinuities between rock pieces

TYPE XI. Tectonically disturbed siltstone or clayey shale formation structure with pockets of clay sandstone are transformed into small pieces. Ultimately the ground is covered by a soil



DISCONTINUITIES (bedding planes)	fresh unweathered surfaces	weathered or oxydised	slightly weathered and	occasionally slickensided compact coatings or fillings fragments	Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings
					N/A
					N/A
					0

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

Τεχνηκογεωλογικοί τύποι Φλύση

Παράμετροι άρρηκτου βράχου

ΤΥΠΟΣ ΦΛΥΣΧΗ	GSI	σ_{ci} MPa	m_i	E_i GPa	σ_{cm} MPa	E_m (2006) GPa
I	65	40	17	10	12	7
II	60	15	7	3	3	1,5
III	55	40	17	9	10	3,5
IV	50	23	10	5,5	4	1,5
V	45	18	8	4	2,5	0,9
VI	40	15	7	3	1,7	0,5
VII	35	23	10	5,5	2,5	0,6
VIII	25	18	8	4	1,5	0,25
IX	30	22	9,5	5,2	2	0,4
X	20	15	7	3,3	1	0,15
XI	15	<10	6	2	0,5	0,08



Είναι εξαιρετικά δύσκολη η λήψη δείγματος «άρρηκτου» πυρήνα και αντιπροσωπευτικού δείγματος πετρώματος καθώς επίσης και η προετοιμασία εργαστηριακών δοκιμίων.



Τοπικός λυγισμός μεταλλικού πλαισίου λόγω υπερφόρτισης του κελύφους της άνω ημιδιατομής



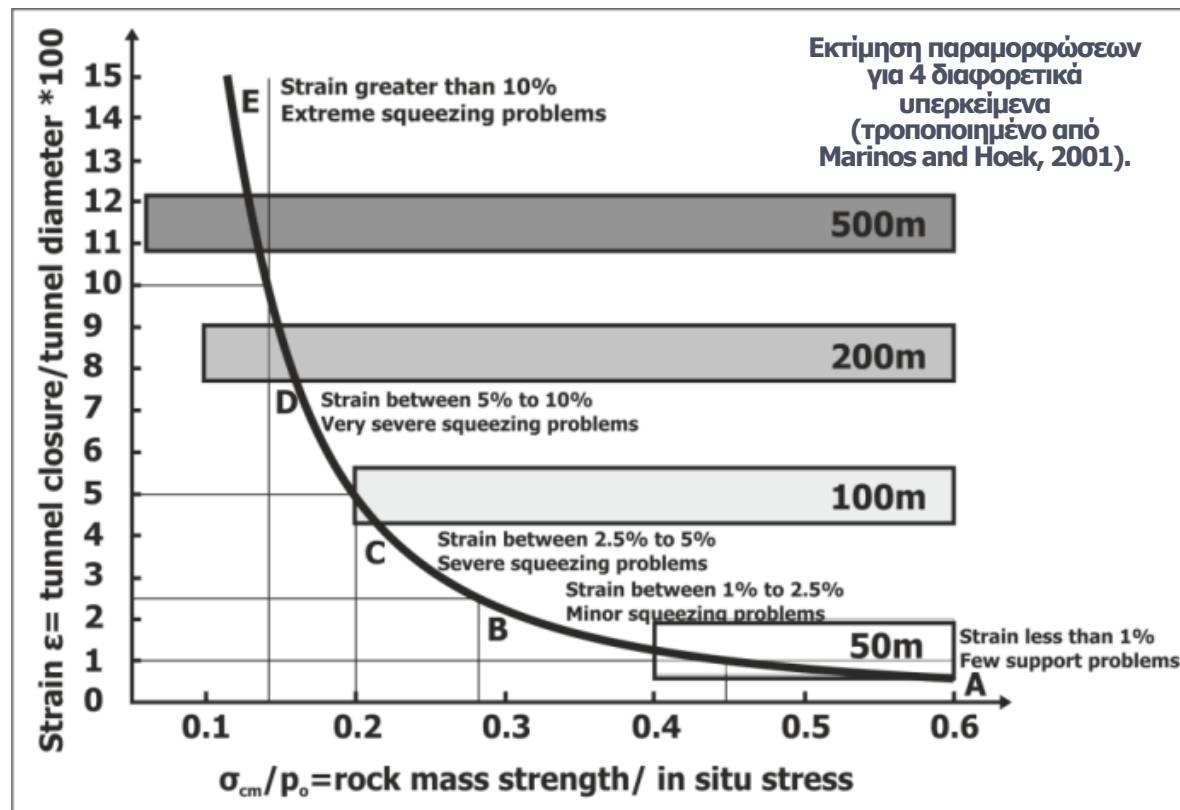
Θραύση του εκτ. σκυροδέματος στη θέση του προσωρινού ανάστροφο τόξου



Θραύση του εκτ. σκυροδέματος



Λυγισμός δικτυωτών πλαισίων

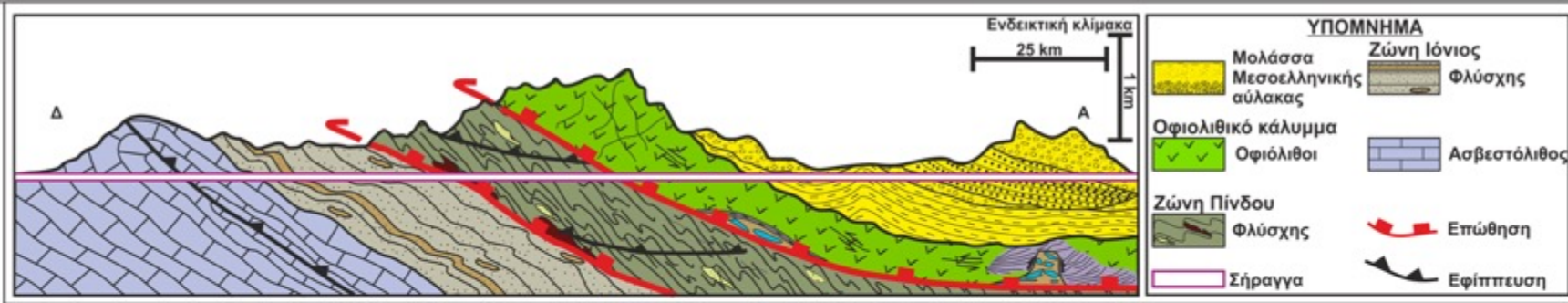


Από το γεωλογικό μοντέλο

Μοντέλο της βραχομάζας (Τύποι)

Συμπεριφορά της βραχομάζας

Αρχές Υποστήριξης

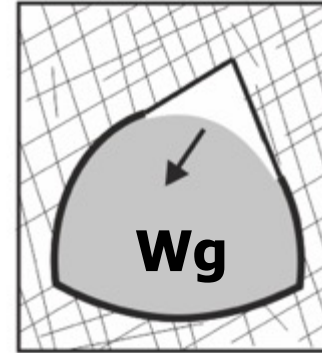


Γεωλογικές συνθήκες	Ασβεστόλιθος				Φλύσχης Ιονίας		Φλύσχης Πίνδου		Οφιόλιθοι			Μολάσσα		
Τεχνικογεωλογικοί τύποι	L1	L2	L3	L4	F1	F2	F3	F4	O4	O2	O3	M2	M1	M3
Συμπεριφορά βραχομαζών	Wg	Ch	Rv	Ch	St	Wg	San	Sq	Sq	Wg	Ch	St	Ch-Wg	Ch-Wg
		Rv			Wg				Ch	Sh		Wg	Sh	

Αστάθεια λόγω δομικών ασυνεχειών – σφήνες

Συμπεριφορά βραχόμαζας:

Αστάθεια λόγω δομικών ασυνεχειών, π.χ σφήνες (σε χαμηλές - μέσες τάσεις)

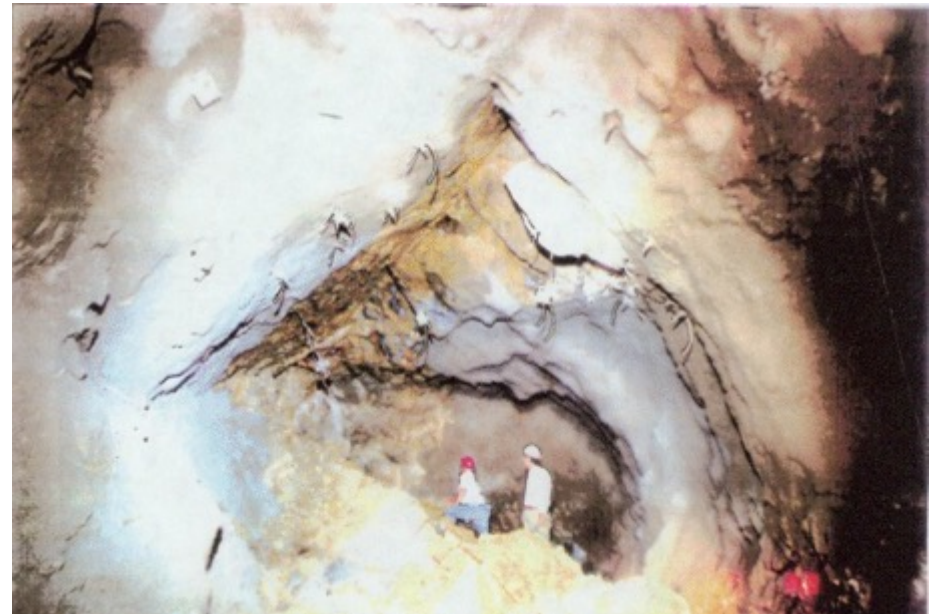


Αρχές αντιμετώπισης:

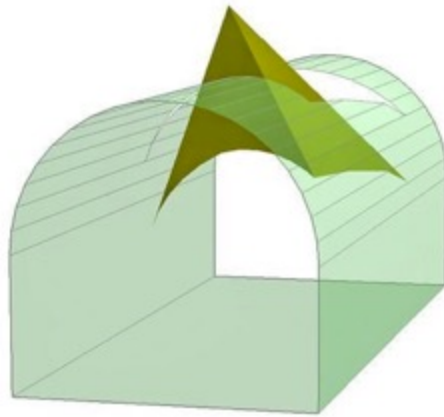
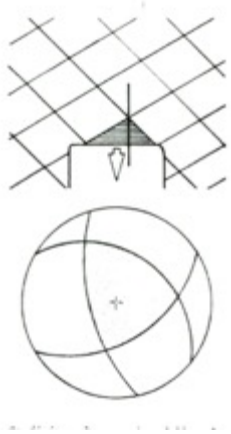
Περιορισμός χαλάρωσης και αποδιοργάνωσης της μάζας. Συγκράτηση διακριτών ασταθών τεμαχών

Σχεδιασμός:

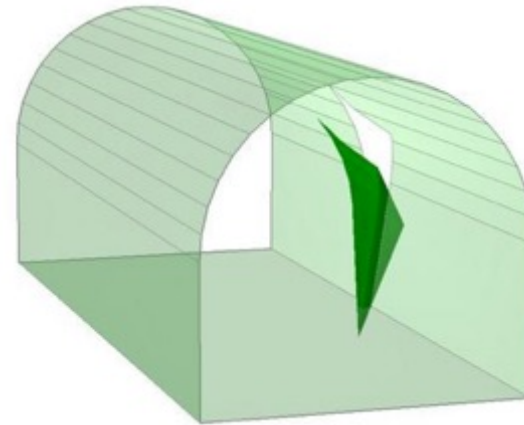
Ανάλυση σφηνών



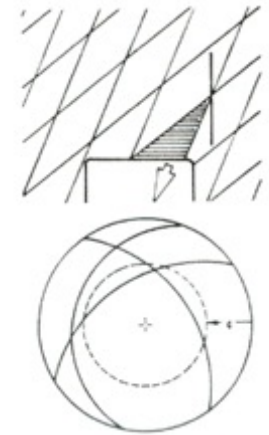
Δυσμενής δομική διάταξη ασυνεχειών: Σφήνες



Πτώση σφήνας

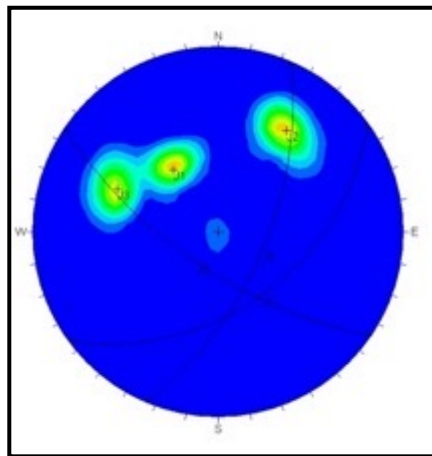
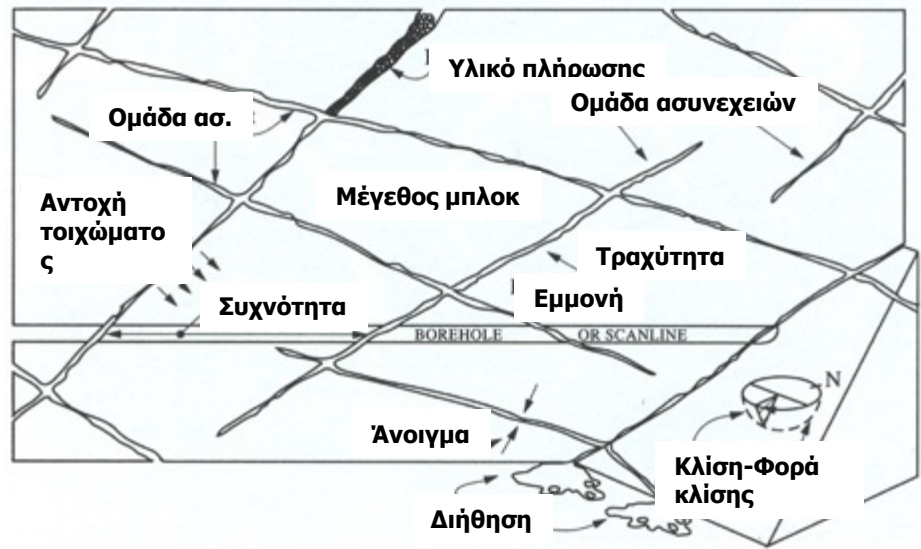


Ολίσθηση σφήνας

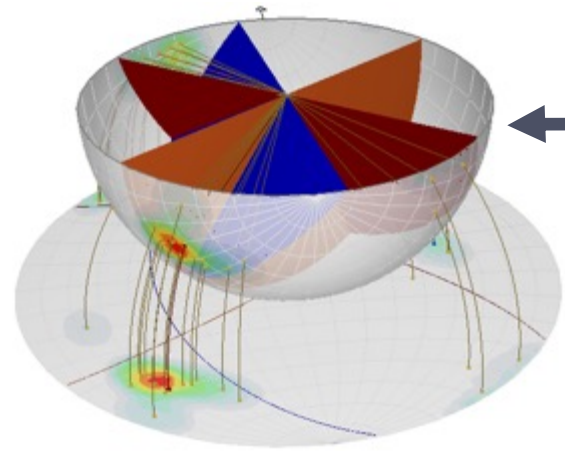


Τα απαραίτητα για την αντιμετώπιση:

1. Αναζήτηση και μετρήσεις του προσανατολισμού των σημαντικών ασυνεχειών που παρουσιάζουν και εμμόνη – Υπολογισμός της διατμητικής αντοχής ασυνεχειών
2. Προσδιορισμός των δυνητικών σφηνών που μπορούν να πέσουν ελεύθερα ή να ολισθήσουν από την οροφή ή τα τοιχώματα
3. Υπολογισμός του συντελεστού ασφαλείας αυτών των σφηνών ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας
4. Υπολογισμός της αναγκαίας υποστήριξης ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να βρεθεί στα παραδεκτά επίπεδα



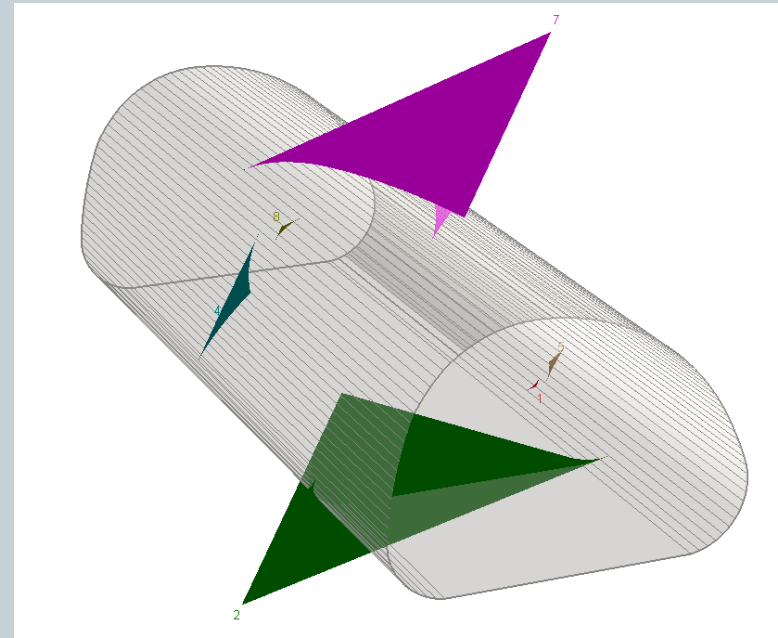
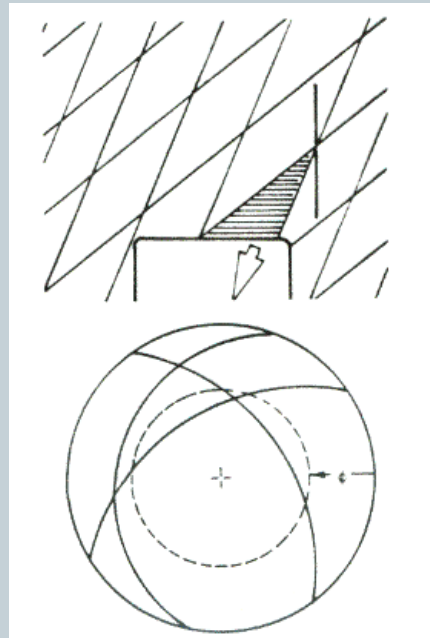
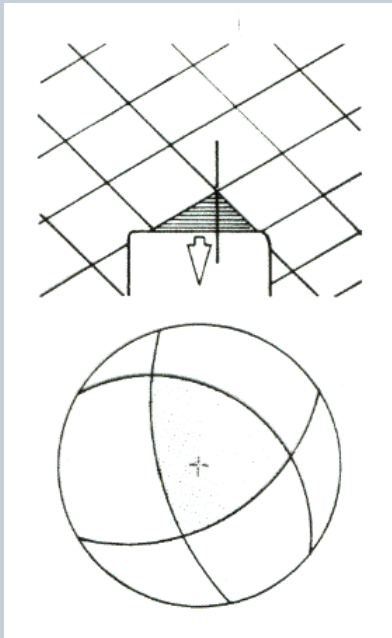
Προσδιορισμός των ασυνεχειών και τομών



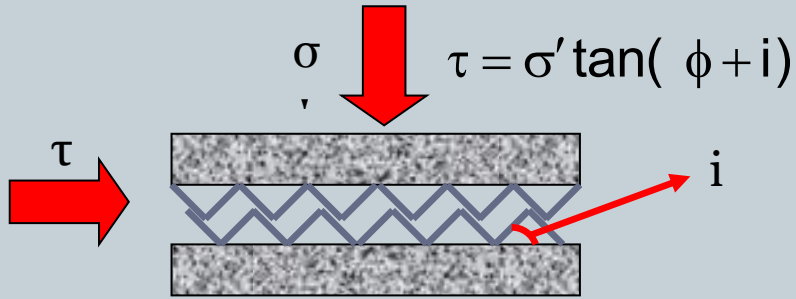
Σtereογραφική προβολή ασυνεχειών βράχου μέσω των πόλων



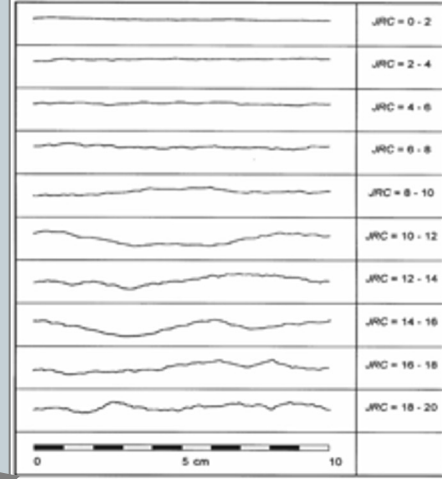
2. Προσδιορισμός των δυνητικών σφηνών που μπορούν να πέσουν ελεύθερα ή να ολισθήσουν από την οροφή ή τα τοιχώματα



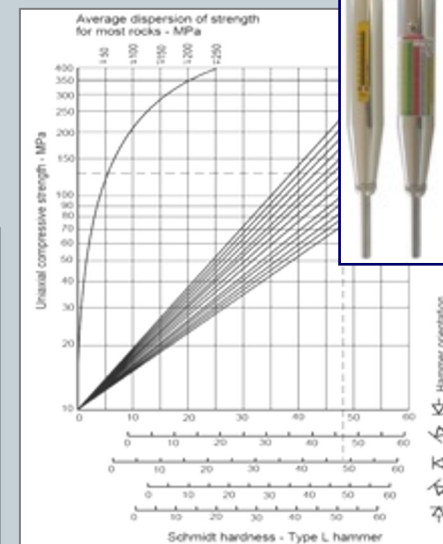
Διατμητική αντοχή ασυνεχειών



JRC

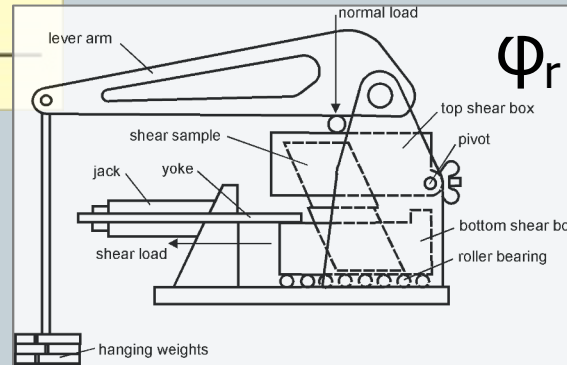
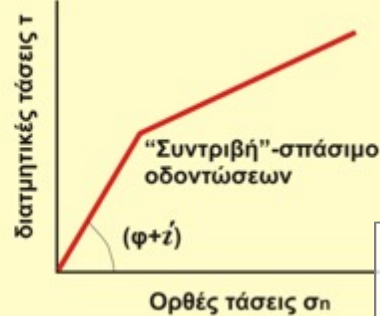
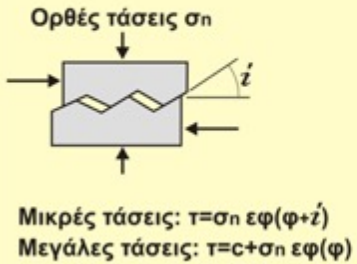


JCS

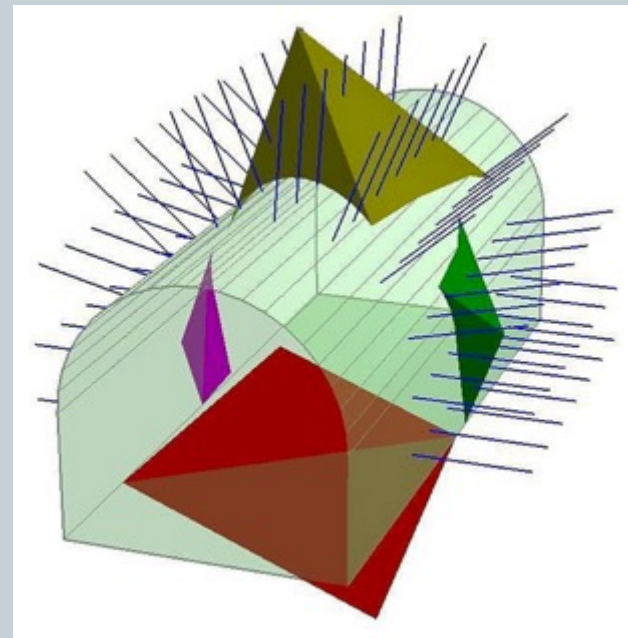
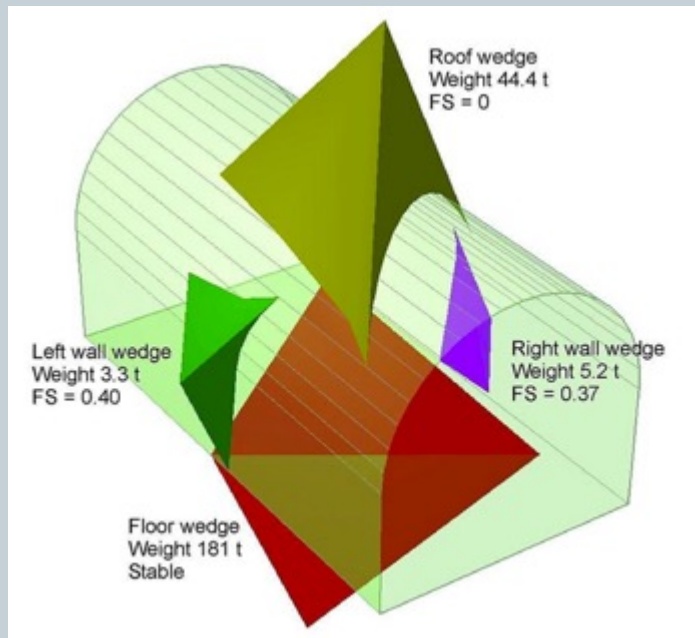


$$\tau = \tan \left\{ \phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right\}$$

PATTON



3. Υπολογισμός του συντελεστού ασφαλείας αυτών των σφηνών ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας
4. Υπολογισμός της αναγκαίας υποστήριξης ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να βρεθεί στα παραδεκτά επίπεδα



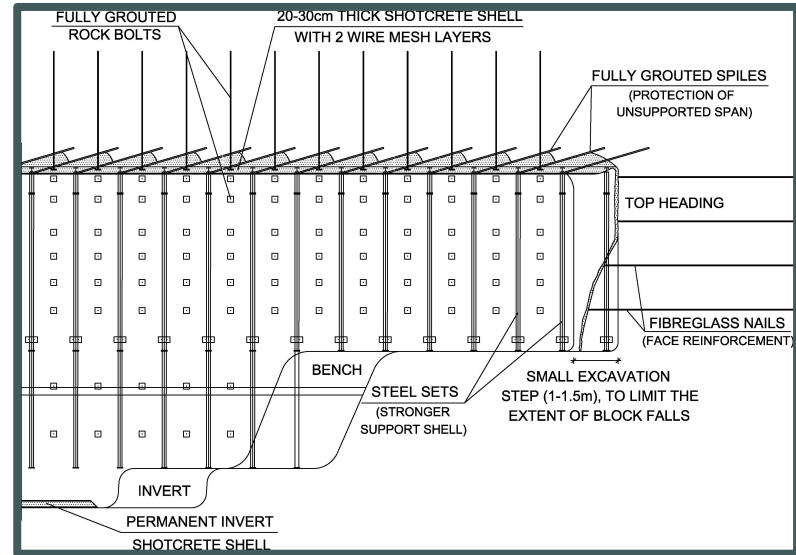
Αρχές υποστήριξης -καταπτώσεις τύπου καμινάδας (Ch)

Αφορά:

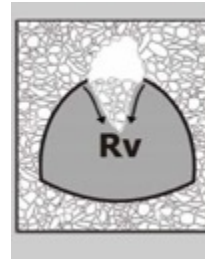
- περιοχές στομίων
- περιοχές υπερκειμένων μικρών
- Ζώνες ρηγμάτων

Εκτός από εκτ. σκυρόδεμα και αγκύρια , ελαφρού τύπου πλαίσια μπορεί να απαιτηθούν

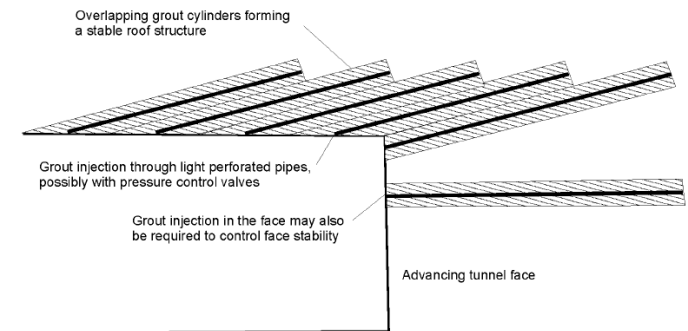
Βήμα εκσκαφής περιορισμένο (~2m) για την αποφυγή βαρυτικών ασταθειών και τον έλεγχο παραμορφώσεων στα μεγάλα βάθη



Αρχές υποστήριξης σε καταρρέοντα εδάφη (Rv)



	<p>Σταθεροποιημένη σήραγγα από την προηγούμενη προχώρηση</p>
	<p>Βήμα 1: Εκσκαφή περιμετρικής εγκοπής με υδραυλικό σφυρί βάθους 1-1,5m. Αφήνετε φυσική αντηρίδα στο κέντρο του μετώπου για να διατηρήσει τον περιορισμό της βραχώμαζας</p>
	<p>Βήμα 2: Αμέσως μετά την εκσκαφή της εγκοπής, εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος στην εκτεθείσα βραχώμαζα της εγκοπής για την συγκράτηση των μικρών τεμαχίων. Εκτοξευμένο σκυρόδεμα και στην αντηρίδα είναι συνήθως απαραίτητο.</p>
	<p>Βήμα 3: Εγκατάσταση νέων βλήτρων (επικαλυπτομένων με τα προηγούμενα) και νέων αγκυρίων αμέσως πίσω από το μέτωπο. Αφαίρεση της αντηρίδας. Η διατομή είναι τώρα έτοιμη για την νέα φάση εκσκαφής</p>

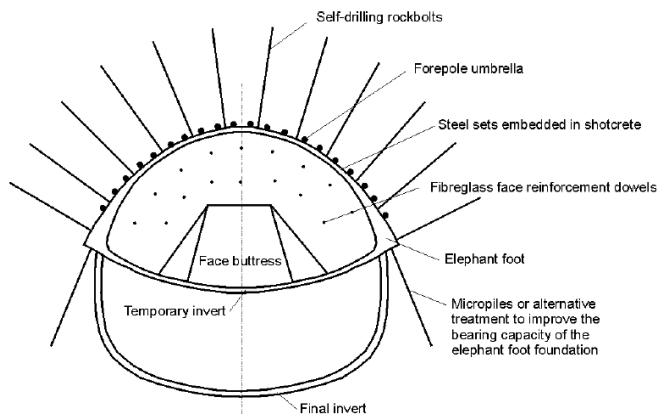


Σταθεροποίηση καταρρέουσας βραχώμαζας με ομπρέλα τσιμεντενέσεων (επίσης σταθεροποίηση και του μετώπου)

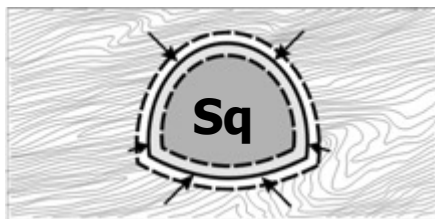
Υποστήριξη σε συνθλίβοντα εδάφη (Sq)

Άκαμπτη

Βαρύ κέλυφος

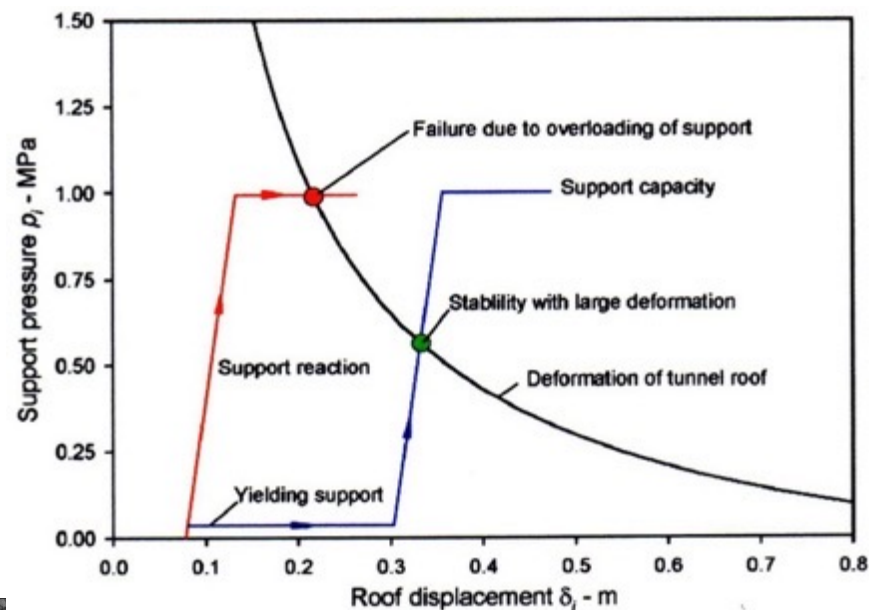


Not to scale - final lining not shown



Εύκαμπτη

Υπερεκσκαφή + Σχισμές σύνθλιψης στο κέλυφος



Δοκοί προπορείας, ενίσχυση μετώπου



Tunnel Faído

Ολισθαινοντα πλαίσια

