



# **ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ**

## **9<sup>ο</sup> ΜΑΘΗΜΑ: ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ Π.Μ. (μέρος 1<sup>ο</sup>)**

**Β. ΜΑΡΙΝΟΣ, Επ. Καθηγητής**  
**(Συντονιστής μαθήματος)**

**Χ.ΣΑΡΟΓΛΟΥ, Δρ. Ε.ΔΙ.Π.**

ΔΟΜΗ  
ΔΙΑΛΕΞΕΩΝ  
«ΓΕΩΛΟΓΙΑ  
ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ»

1<sup>η</sup>

Εισαγωγικό μάθημα:  
Η Γεωλογία στην υπηρεσία έργων Π.Μ. -  
Αστοχίες έργων Π.Μ. από γεωλογικά αίτια.

2<sup>η</sup>

Εισαγωγή σε Γεωλογικές έννοιες Ι.  
Το γεωυλικό: Έδαφος και Βράχος.

3<sup>η</sup>

Εισαγωγή σε Γεωλογικές έννοιες ΙΙ. Γεωλογικές διεργασίες,  
Γεωλογικά Περιβάλλοντα – Δομές που συσχετίζονται με την α) γεωμετρία,  
β) ποιότητα και γ) συμπεριφορά των γεωυλικών για τα έργα Π.Μ.

4<sup>η</sup>

Τεχνικά χαρακτηριστικά Ορυκτών και Εδαφών:  
Ποιότητα και συμπεριφορά. Εφαρμογές σε έργα ΠΜ και  
παραδείγματα από παρουσία τους στην Ελλάδα

5<sup>η</sup>

Τεχνικά χαρακτηριστικά Ιζηματογενών πετρωμάτων:  
Ποιότητα και συμπεριφορά. Εφαρμογές σε έργα ΠΜ και  
παραδείγματα από παρουσία τους στην Ελλάδα

6<sup>η</sup>

Τεχνικά χαρακτηριστικά Πυριγενών πετρωμάτων  
(Ηφαιστειακών & Πλουτωνικών): Ποιότητα και συμπεριφορά. Εφαρμογές  
σε έργα ΠΜ και παραδείγματα από παρουσία τους στην Ελλάδα

7<sup>η</sup>

Τεχνικά χαρακτηριστικά Μεταμορφωμένων πετρωμάτων:  
Ποιότητα και συμπεριφορά. Εφαρμογές σε έργα ΠΜ και  
παραδείγματα από παρουσία τους στην Ελλάδα

8<sup>η</sup>

Εργαλεία γεωλογικής έρευνας για την μελέτη έργων Π.Μ.:  
Τοπογραφικοί και Γεωλογικοί χάρτες, Γεωτρήσεις, εργαστηριακές  
και επιτόπου δοκιμές, γεωμηχανική παρακολούθηση κ.α

9<sup>η</sup>

Γεωλογία και χαρακτηριστικά Τεχνικών Έργων:  
Χαρακτηριστικά Τεχνητών Ορυγμάτων, Σηράγγων-υπογείων έργων, Θεμελιώσεων  
(κτιριακών, γεφυρών, επιχωμάτων), συγκοινωνιακών και υδραυλικών έργων

10<sup>η</sup>

Γεωκίνδυνοι και έργα Π.Μ.: Σεισμικός κίνδυνος

11<sup>η</sup>

Γεωκίνδυνοι και έργα Π.Μ.: Κατολισθήσεις

12<sup>η</sup>

Άλλοι Γεωκίνδυνοι και έργα Π.Μ.:  
Καθιζήσεις, Πλημμυρικός και Ηφαιστειακός κίνδυνος

# ΣΗΡΑΓΓΕΣ – ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ



- Αλλαγή ισορροπίας μέσα στο βουνό
- Ανάλογα με την ποιότητα των γεωυλικών η σήραγγα έχει ορισμένο χρόνο να αυτουποστηριχθεί μέχρι να έχει καταπτώσεις – αστοχίες
- Πόσο εύκολα σκάβεται ένα πέτρωμα;
- Θέλει ισχυρή ή ελαφριά υποστήριξη το πέτρωμα – βραχόμαζα που σκάβουμε;
- Θα υπάρχουν εισροές υδάτων μέσα στη σήραγγα;

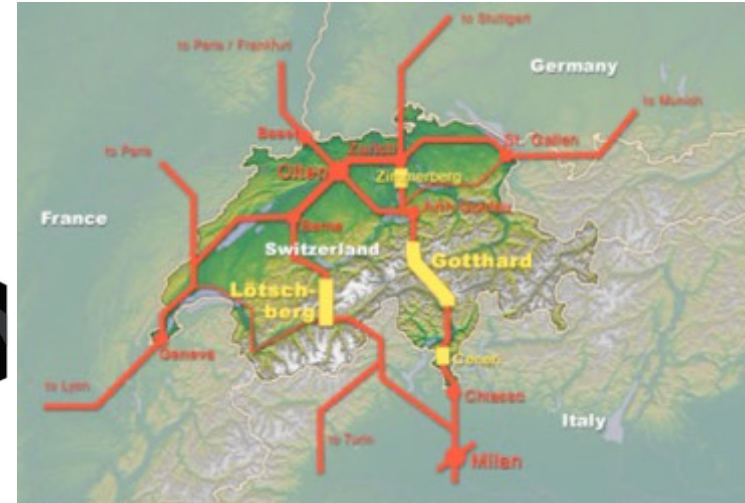
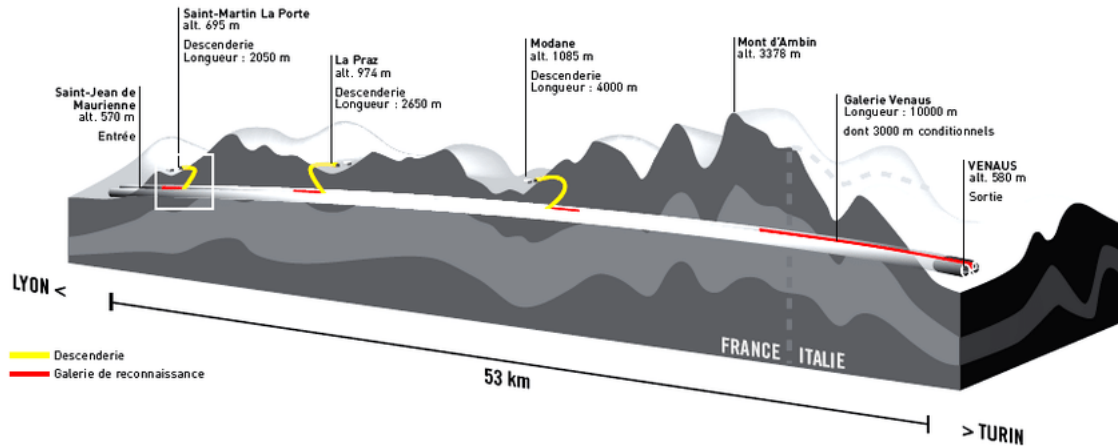
Εγνατία Οδός



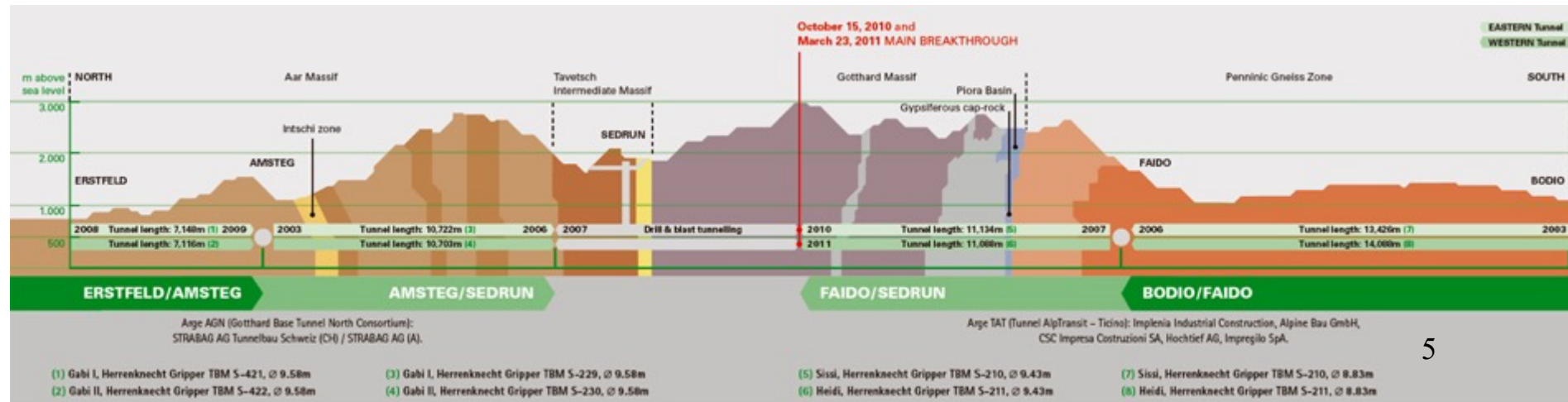
Νέος Σιδηρόδρομος



# Σήμερα! Σήραγγες Βάσεως των Άλπεων



Μεγάλες προκλήσεις: Μεγάλα υπερκείμενα (έως 2-3km) σε πλήθος γεωλογικών καταστάσεων (σκληρά και μαλακά πετρώματα)



# Διάνοιξη σηράγγων

1. Διάτρηση (με μηχανήματα TBM ή συμβατικά)
2. Εκσκαφή και Επανεπίχωση (Cut and Cover)
3. Υποστήριξη και Εκσκαφή (Cover and Cut)

# Μέθοδοι διάτρησης σηράγγων

## ◆ Συμβατική μέθοδος διάνοιξης

- Με μέσα ανατίναξης
- Με απλά μέσα μηχανικής εκσκαφής



## ◆ Διάνοιξη με μηχανοποιημένη όρυξη (μηχάνημα ολομέτωπης κοπής -TBM)



# Σήραγγες με διάτρηση



Διάτρηση με «τσάπα» (μηχανική εκσκαφή)



# Σήραγγες με διάτρηση



Διάτρηση με εκρηκτικά

# 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)



# Συμβατική μέθοδος διάνοιξης

## Η εφαρμογή της μεθόδου

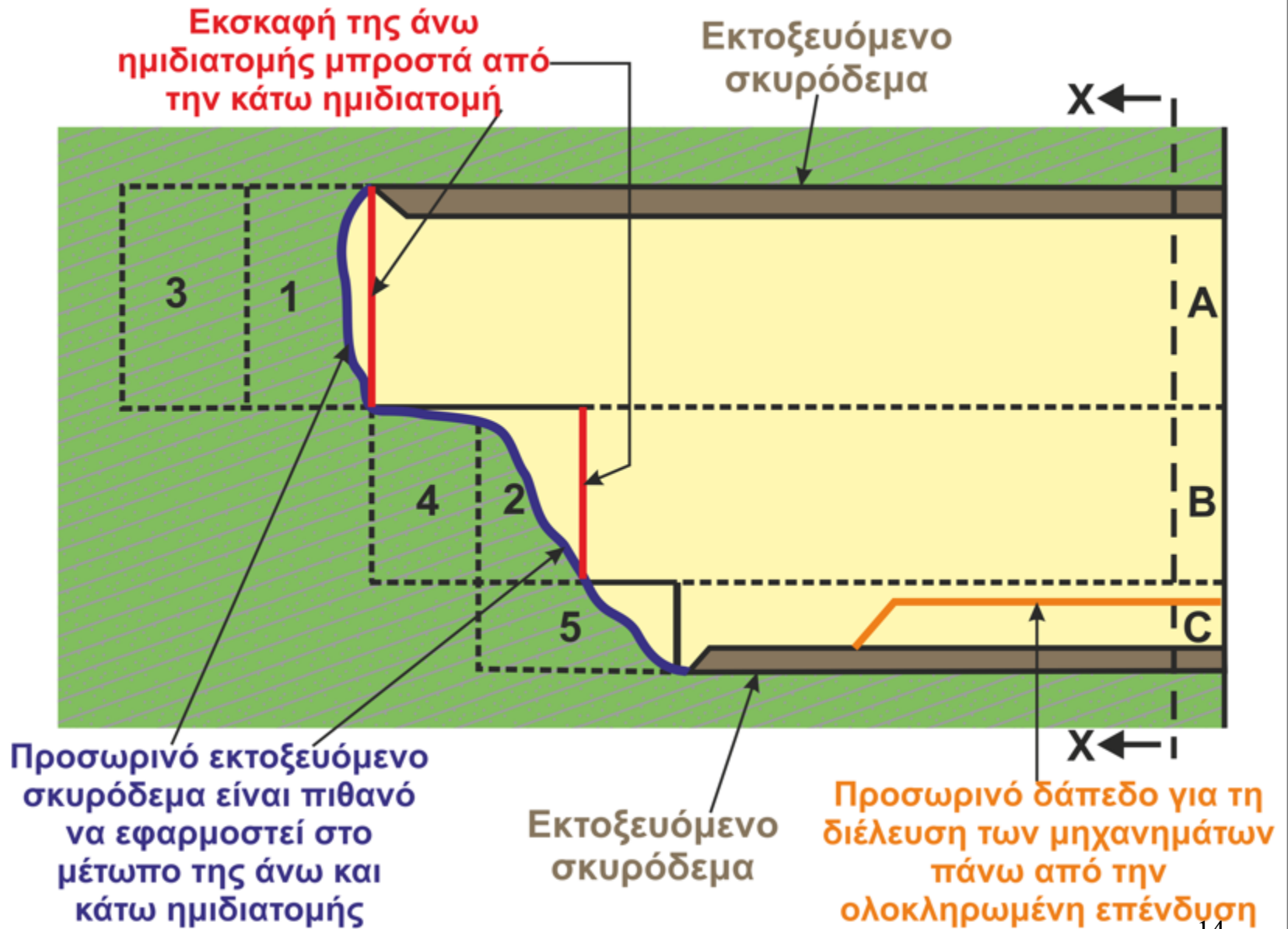
Για την αντιμετώπιση των ασταθειών στη συμβατική μέθοδο χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση διάφοροι τρόποι εκσκαφής :

- ❑ 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 σηράγγων.

# Συμβατική μέθοδος διάνοιξης Εκσκαφή της διατομής σε φάσεις.



# ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ



# Τύποι Τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχόμαζας

## Ευστάθεια Σήραγγας

- 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:
  - μεγάλες συγκλίσεις
  - αστοχία με μορφή σφηνών
  - κατάπτωση τύπου καμινάδας
  - καταρροή της βραχόμαζας
- Αστάθεια μετώπου:
  - βραχόμαζες με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά
  - βραχόμαζες με ασυνέχειες, δυσμενούς προσανατολισμού και αντοχής

# Μηχανισμοί αστοχίας

## Παραδείγματα

Καταρροή εδάφους



Σφηνοειδείς αποκολλήσεις  
– ολισθήσεις





# Μηχανισμοί αστοχίας

## Παραδείγματα

Σύνθλιψη εδάφους  
Υπερφόρτιση κελύφους -  
«λυγισμένα» πλαίσια



Σύνθλιψη εδάφους  
κάτω από υπερκείμενα 1200m  
σε γραφιτικό σχιστόλιθο



(Hoek, 2007)

Αριστερά: Χαρακτηριστική εικόνα έντονης σύνθλιψης στη σήραγγα Yacambu-Quibor. Διακρίνονται οι επισκευές της σήραγγας σε τμήμα που υπέφερε από μεγάλες παραμορφώσεις κάτω από υπερκείμενα 1200m σε γραφιτικούς φυλλίτες (Hoek, notes from the internet, 2007).

# Μηχανισμοί αστοχίας

## Παραδείγματα

Κατάπτωση τύπου  
«καμινάδας» - υπερεσκαφή



Κατάπτωση τύπου  
«καμινάδας» - υπερεσκαφή



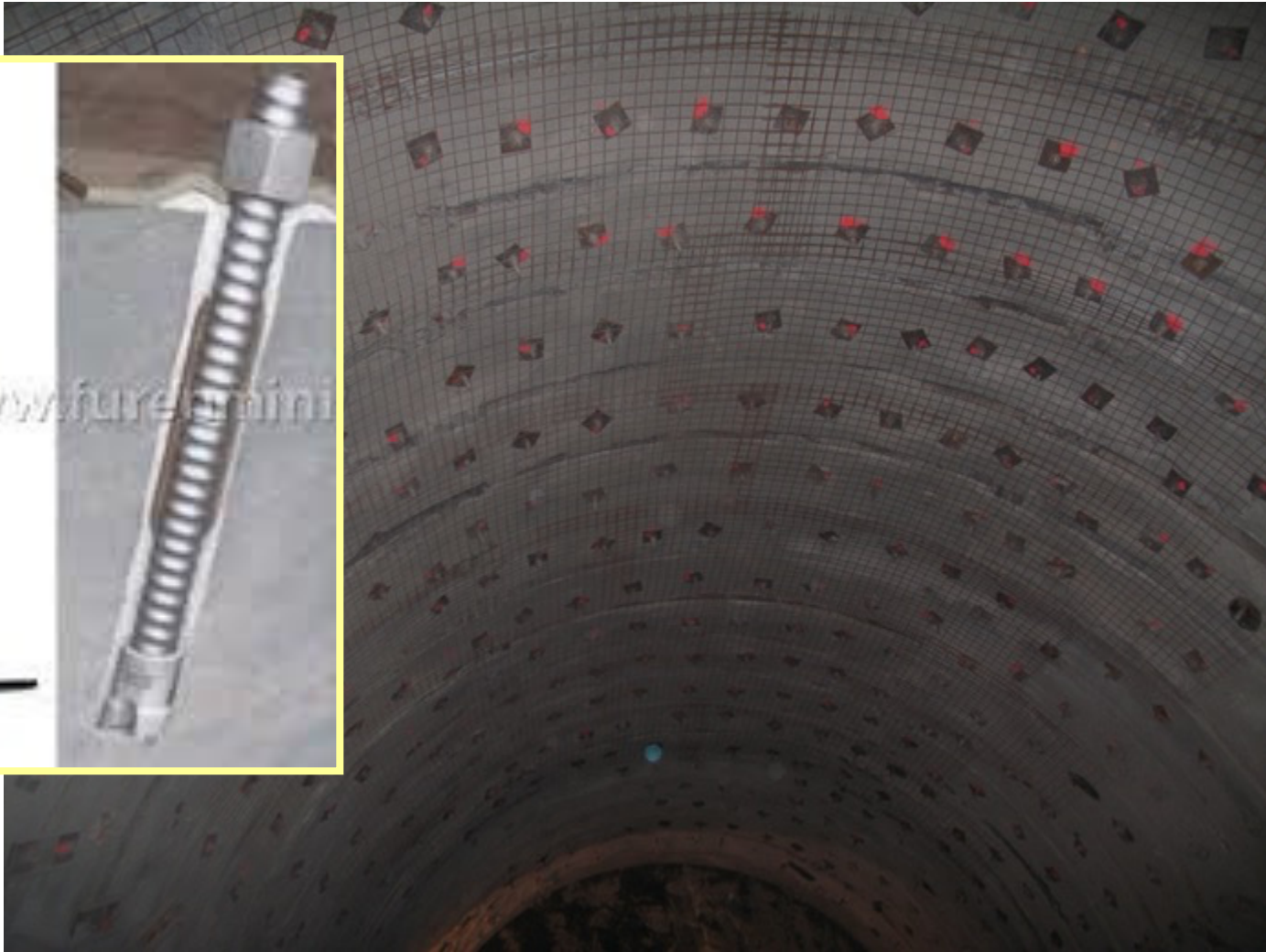
# Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα



# Μεταλλικά πλαίσια τύπου ΗΕΒ

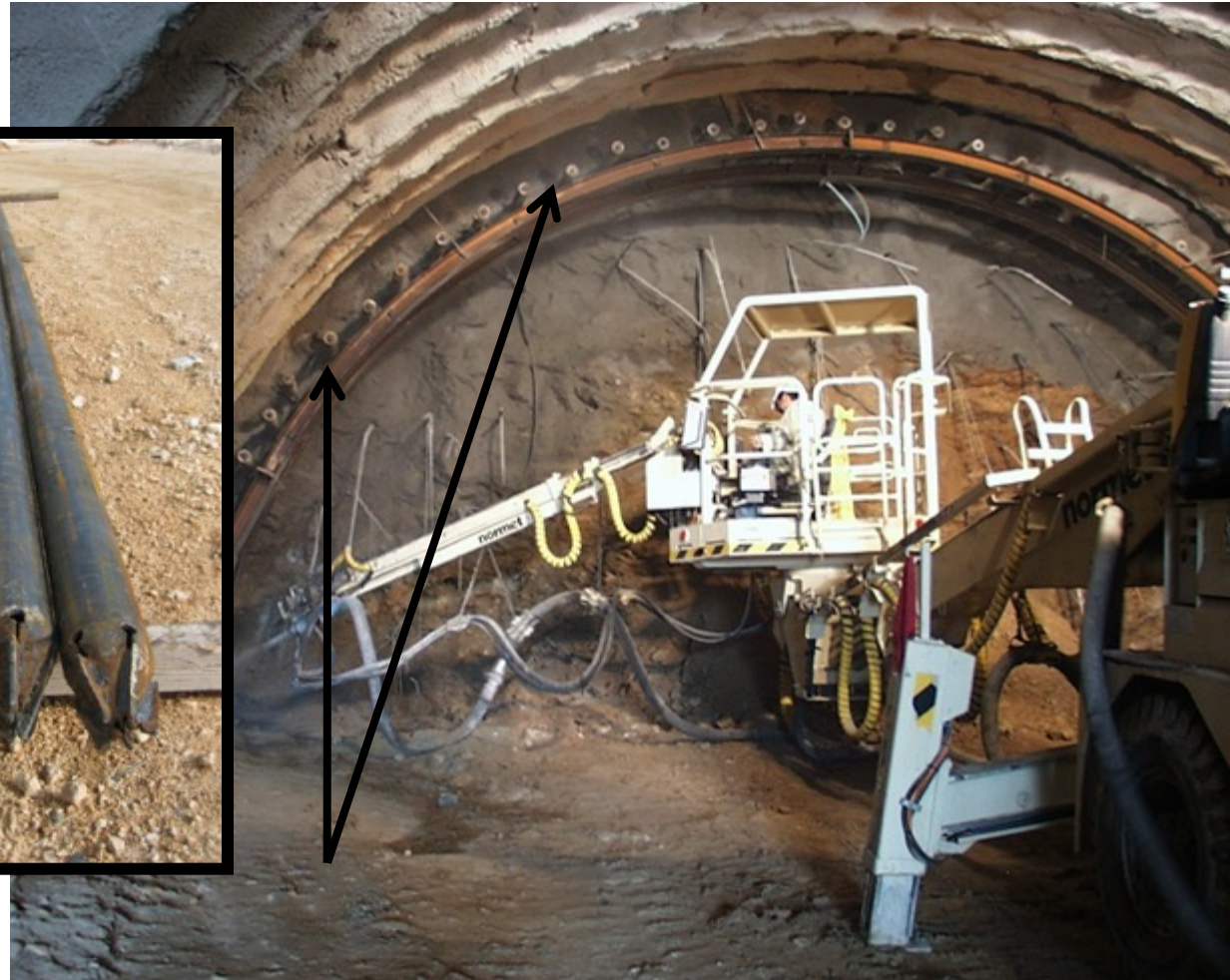


# Αγκύρια βράχου



**Κάνναβος αγκυρίων για την ενίσχυση της πίεσης υποστήριξης του κελύφους**

# Ομπρέλα βαριών δοκών προπορείας (Forepole umbrella)



Ομπρέλα δοκών προπορείας

# Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

## A. Κριτήρια επιλογής μηχανημάτων εκσκαφής

### Γεωλογικά και γεωτεχνικά κριτήρια

- Οι γεωμορφολογικές συνθήκες στο χώρο της σήραγγας.
- Τα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών
- Το καθεστώς των υπογείων νερών

**Το Γεωλογικό  
Μοντέλο**

Οι παράγοντες αυτοί συνδέονται άμεσα με:

- Την ευστάθεια του μετώπου εκσκαφής
- Την ευστάθεια των τοιχωμάτων της σήραγγας
- Τον έλεγχο των καθιζήσεων

# Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

## A. Κριτήρια επιλογής μηχανημάτων εκσκαφής

### Άλλα κριτήρια

- Η τοποθεσία της σήραγγας σε αστικό περιβάλλον
- Η αλληλεπίδραση της με υφιστάμενες κατασκευές
- Το χρονοδιάγραμμα του τεχνικού έργου
- Περιβαλλοντικές παράμετροι (θόρυβος, δονήσεις κλπ)

# Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

## Β. Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



*Μηχάνημα Μονής Ασπίδας (Single Shield TBM)*



# Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

## Β. Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



Μηχάνημα Διπλής Ασπίδας (*Double Shield TBM*)

# Η μηχανοποιημένη μέθοδος διάνοιξης σηράγγων

## Β. Τύποι μηχανημάτων TBM βάσει των προς εκσκαφή γεωυλικών



*Μηχάνημα Ασπίδας Πολφού (Slurry Shield TBM)*

# ΦΡΑΓΜΑΤΑ



**Αντοχή γεωυλικού ?  
Στεγανότητα πετρώματος ?**

- Είναι τα πετρώματα στεγανά (δεν επιτρέπουν την ροή νερού μέσα στην μάζα τους);
- Αντοχή πετρώματος που είναι στην βάση του φράγματος (Θραύση παραμορφώσεις—καθιζήσεις)
- Είναι οι πλαγιές σταθερές ή κατολισθαίνουν;

# Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
2. Άρδευση καλλιεργούμενων εδαφών
3. Ύδρευση πόλεων, οικισμών ή βιομηχανικών μονάδων
4. Αντιπλημμυρική προστασία
5. Εμπλουτισμός του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα
6. Άλλα (συνδυαστικά): Ναυσιπλοΐα, Τουριστική αξιοποίηση, Βελτίωση του περιβάλλοντα χώρου, Αθλητισμός, Ιχθυοκαλλιέργεια

# Κριτήρια επιλογής της θέσης ενός φράγματος

## ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Η μορφολογία μιας κοιλάδας έχει μεγάλη σημασία στην κατασκευή φραγμάτων. Ιδανική περίπτωση κοιλάδας είναι εκείνη που στη θέση του φράγματος στενεύει και αμέσως ανάντη διευρύνεται .

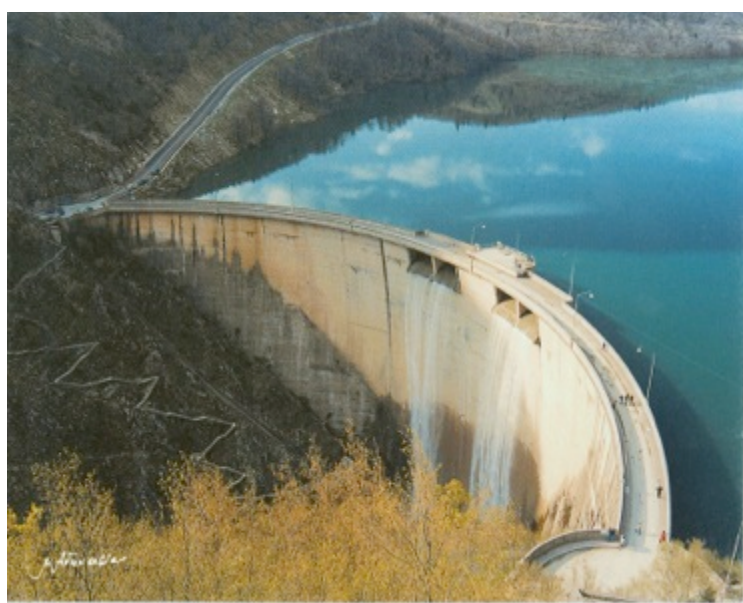
## ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Είναι εκείνα που αν δε ληφθούν υπόψη μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχίες :

- 1) ύπαρξη των ικανών και αναγκαίων ποσοτήτων νερού
- 2) εξασφάλιση στεγανότητας του ταμιευτήρα
- 3) στεγανότητα στη ζώνη του φράγματος
- 4) ευστάθεια των πρανών
- 5) παρουσία πετρωμάτων με ικανοποιητική αντοχή

# ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΓΝΩΣΗ

## Α. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



1. Ευστάθεια της περιοχής θεμελιώσεως (παραμορφώσεις, αντοχές, διάβρωση)
2. Ευστάθεια των γειτονικών πρανών (αλλαγές στην πιεζομετρία)
3. Στεγανότητα της θεμελιώσεως και των αντερεισμάτων
4. Ευστάθεια συμπαραομαρτούντων έργων (υπερχειλιστής, σήραγγα εκτροπής, σήραγγες και έργα υδροληψίας κλπ.)
5. Εντοπισμός ειδικών γεωλογικών κινδύνων (π.χ. παρουσία ενεργού ρήγματος)
6. Σεισμική μελέτη (σεισμική απόκριση)

# ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΓΝΩΣΗ

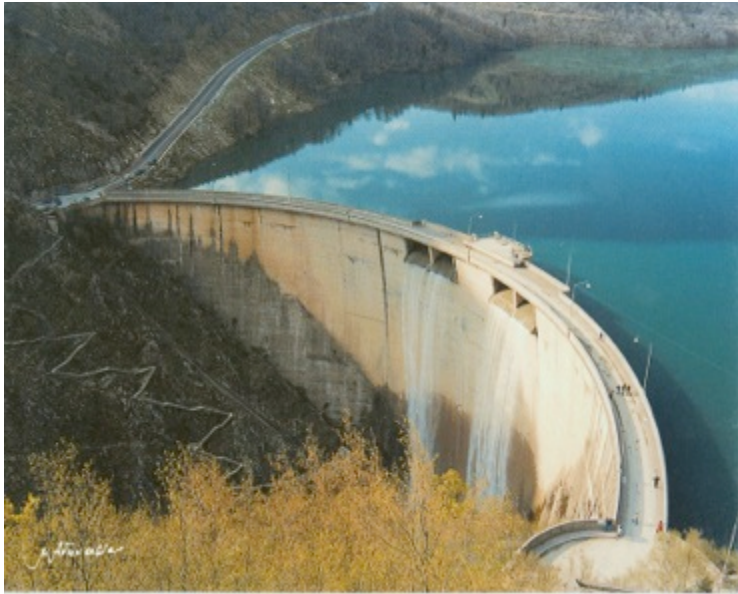
## Β. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ



1. Στεγανότητα περιοχής που θα κατακλυστεί (ή “εν πάσει περιπτώσει” εκτίμηση των ποσοτήτων που θα διαφεύγουν γιατί μπορεί ενδεχομένως να είναι μικρές)
2. Ευστάθεια κλιτύων γύρω από τον ταμιευτήρα (κίνδυνος μεγάλων κατολισθήσεων, σε κλίμακα πλαγιάς)
3. Κίνδυνος κατολισθήσεων από την λειτουργία του ταμιευτήρα (άνοδος – κάθοδος στάθμης)
4. Καθεστώς φερτών υλών (εξαρτάται από την φύση των πετρωμάτων – κλίσεις πρανών – βροχοπτώσεις – φυτοκάλυψη<sup>31</sup>)

# ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΓΝΩΣΗ

## Α. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



**ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥ  
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**



Αναζήτηση δανειοθαλάμων  
για τα υλικά κατασκευής



**ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥ  
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**





# ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

- Χωμάτινο ή Λιθόριπτο φράγμα
- Φράγμα Βαρύτητας
- Τοξωτό Φράγμα
- Αντηριδωτά φράγματα

# ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΦΡΑΓΜΑ

Αργιλικός πυρήνας  
για την στεγανότητα του έργου



Αμμοχάλικα στο κέλυφος  
στήριξης του φράγματος  
(για την ευστάθεια του έργου)

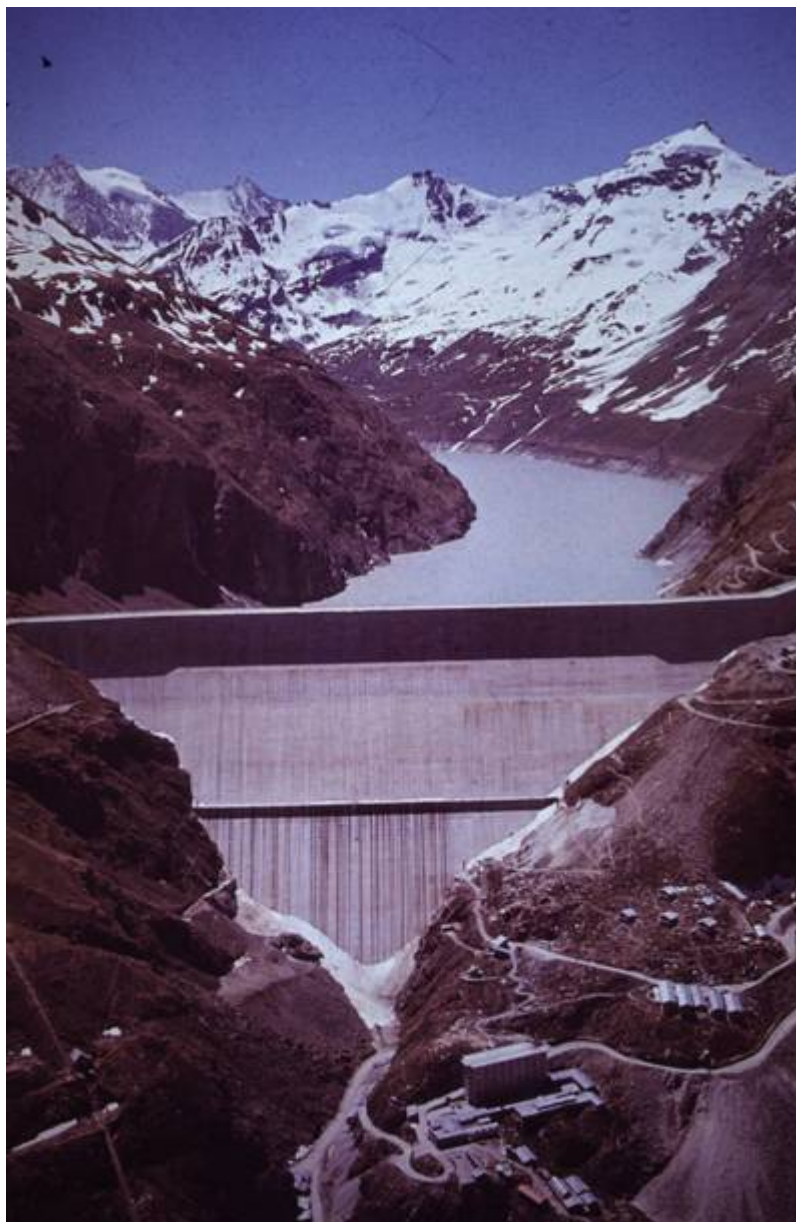


# Φράγμα Ιλαρίωνα, Αλιάκμονας 2005

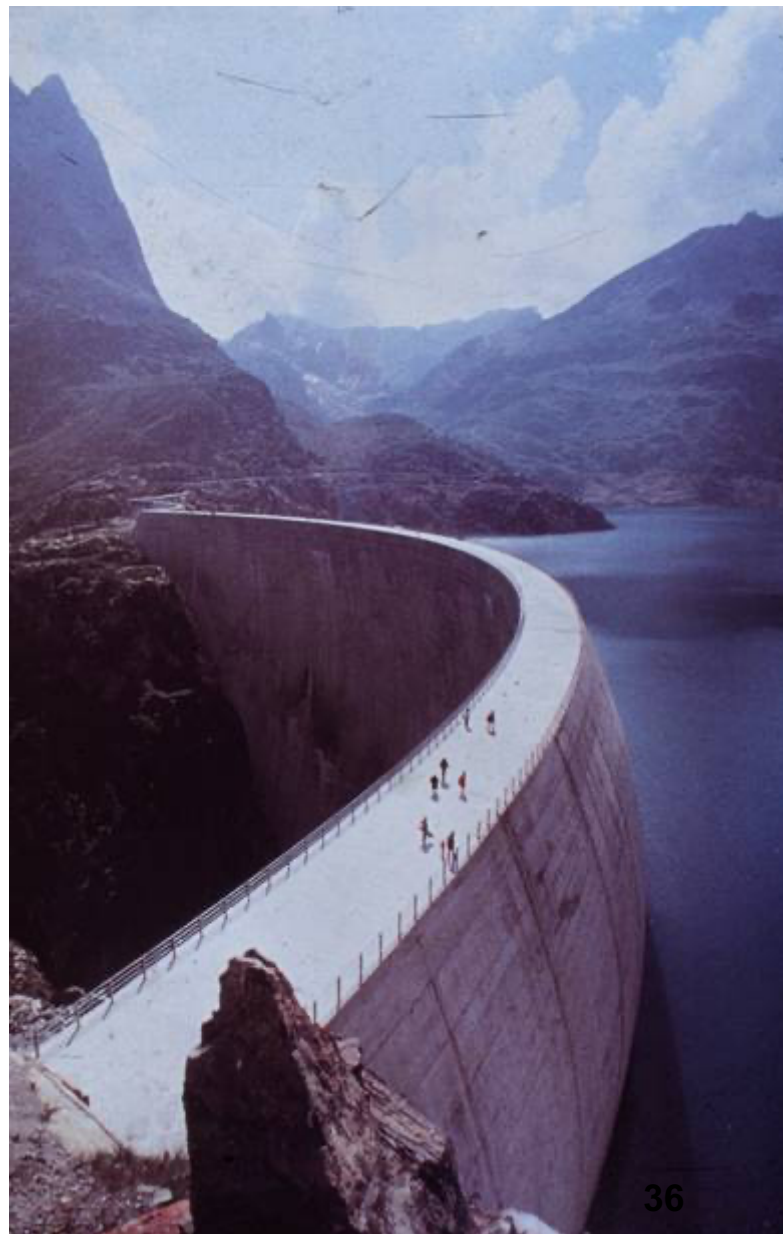


Βραχώμαζα  
θεμελίωσης:  
φυλλιτικοί  
σχιστόλιθοι

## ΦΡΑΓΜΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

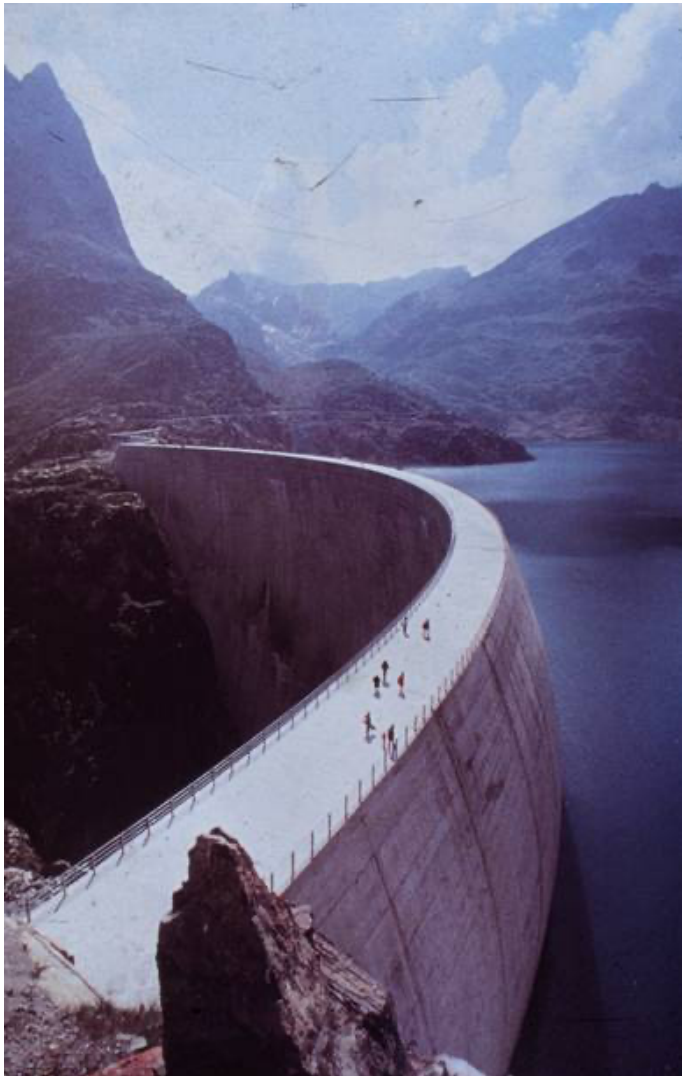


## ΤΟΞΩΤΟ ΦΡΑΓΜΑ



# ΘΕΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

## ΤΟΞΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



⇒ Βραχώμαζα πολύ καλής ποιότητας, ομοιογενής με μικρή ρωγμάτωση ιδιαίτερα στα αντερείσματα: Απαιτεί **Υψηλές αντοχές**

---

• Οικονομία σκυροδέματος σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας 50-85%

---

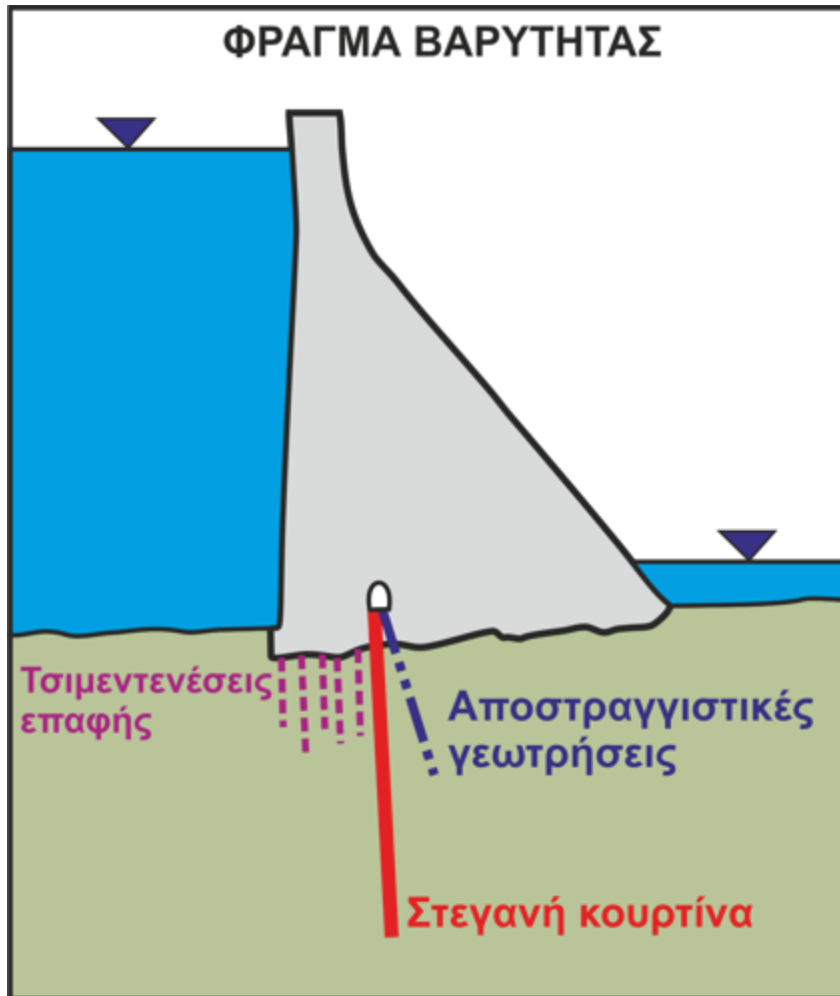
• Περιορισμοί γεωμορφολογικοί:  
- **ύψος φράγματος προς μήκος στέψης >1:5**  
-- **ασυμμετρία κοιλάδας: σημαντική επίδραση**

ΦΡΑΓΜΑ ΠΛΑΣΤΗΡΑ, ΥΨΟΣ 83m



# ΘΕΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

## ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ



- Ευαίσθητα σε καθιζήσεις, διαφορικές καθιζήσεις:

Βραχόμαζα καλής ποιότητας, ομοιογενής

- Ευαίσθητα σε υποπιέσεις:

Μεγάλη φροντίδα στη στεγανή κουρτίνα και στην αποστράγγιση της θεμελίωσης

- Μορφολογία κοιλάδος σχεδόν χωρίς επίδραση στην επιλογή

# ΘΕΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

## ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΧΩΜΑΤΙΝΑ ή ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ



- Κατάλληλα και για φτωχή βραχώμαζα ή σε θέσεις με έντονη ετερογένεια.

---

- Ευαίσθητα σε εσωτερικές διαβρώσεις

---

- Προσεκτική επιλογή στην επιλογή του υπερχειλιστή, στα πρανή δίπλα από το φράγμα (περιπτώσεις υπερχειλιστού σε σήραγγα αν τα πρανή είναι ασταθή)

---

- Τοπογραφία: ύψος φράγματος προς μήκος στέψης  $> 1:2$



# ΘΕΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

## ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΧΩΜΑΤΙΝΑ ή ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ



Θέματα ποικιλίας και καταλληλότητας υλικών κατασκευής από το άμεσο περιβάλλον του έργου: αδιαπέρατο υλικό για τον πυρήνα του φράγματος: αργιλικά εδαφικά υλικά, υλικά για τα σώματα στηρίξεως του πυρήνα (κελύφη: αμμοχάλικα ποταμού ή λιθορριπή από λατομείο) και υλικά φίλτρων και στραγγιστηρίων (διαβαθμισμένα αμμοχάλικα)

# Κατασκευή Φράγματος Γαδουρά, Ρόδος 2004

Σώμα στήριξης

Σώμα στήριξης

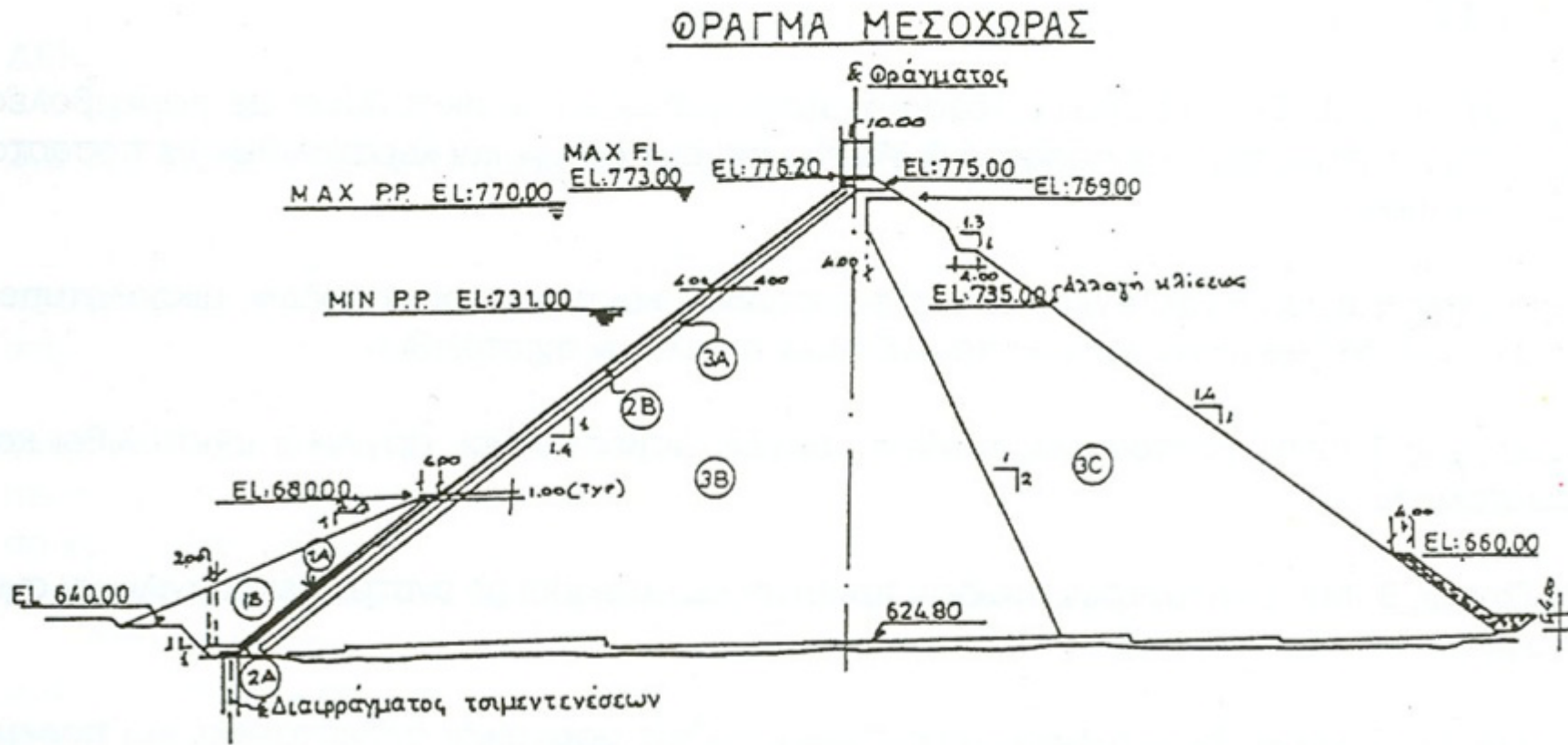
Φίλτρο

Στραγγιστήρι

Αργιλικός πυρήνας

Φίλτρο

# ΦΡΑΓΜΑ ΜΕΣΟΧΩΡΑΣ ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΟ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



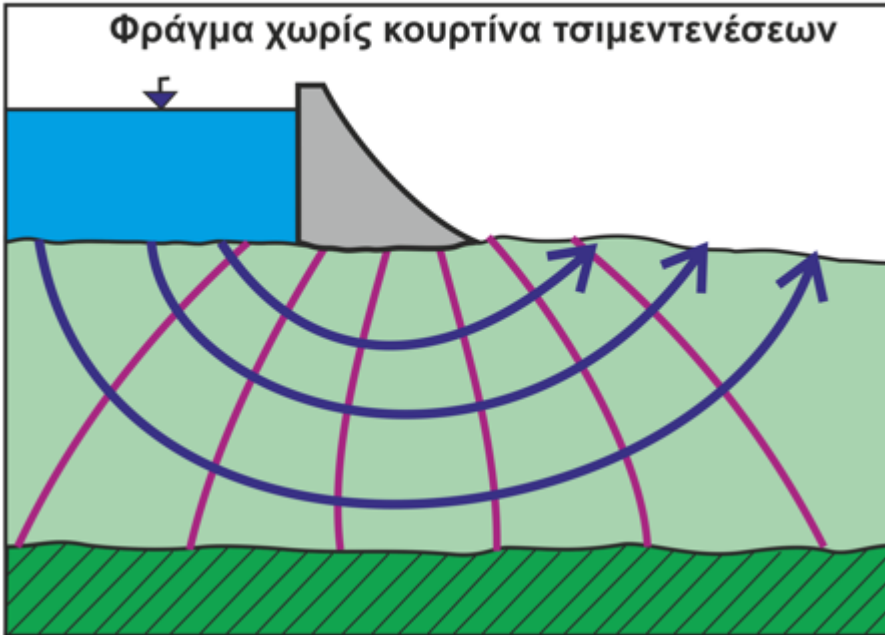
# ΤΟ ΘΕΜΑ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΦΡΑΓΜΑ

- Απώλειες νερού (Διαφυγές)  
(Σε μεγάλης περατότητας πετρώματα)
- Ανάπτυξη υποπιέσεων  
(και σε πετρώματα μικρής περατότητας)
- Διάβρωση πετρώματος θεμελίωσης  
(αν είναι διαβρώσιμο)

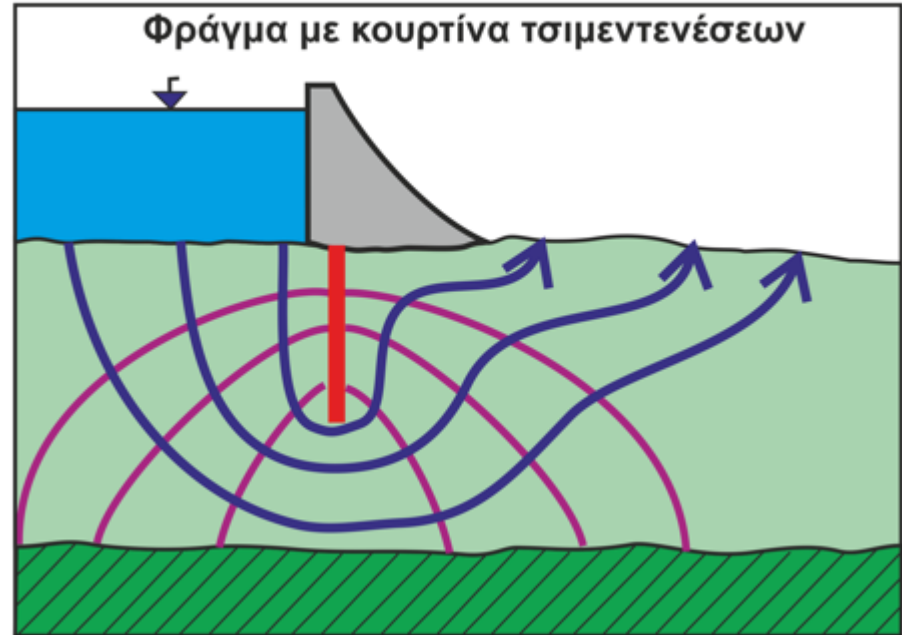
# Θέματα στεγανότητας φράγματος

## ΔΙΚΤΥΟ ΡΟΗΣ

Φράγμα χωρίς κουρτίνα τσιμεντενέσεων



Φράγμα με κουρτίνα τσιμεντενέσεων

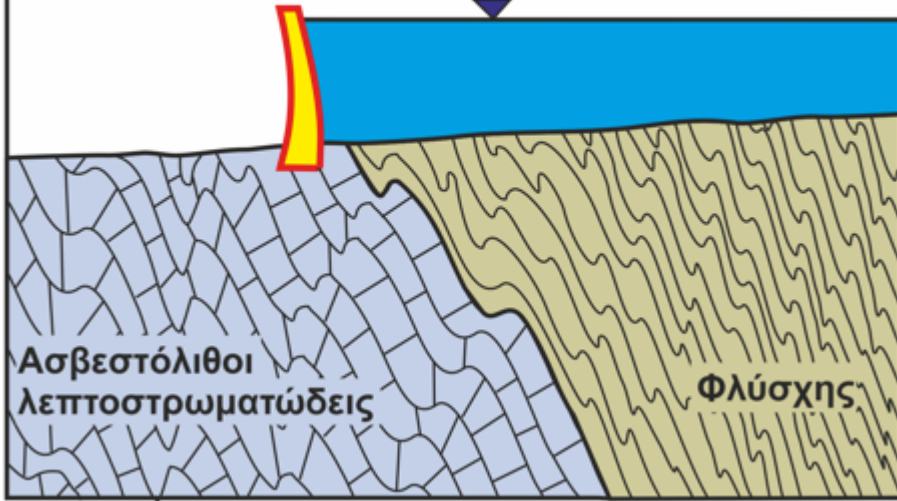


Κριτήρια για τη στεγανοποίηση:

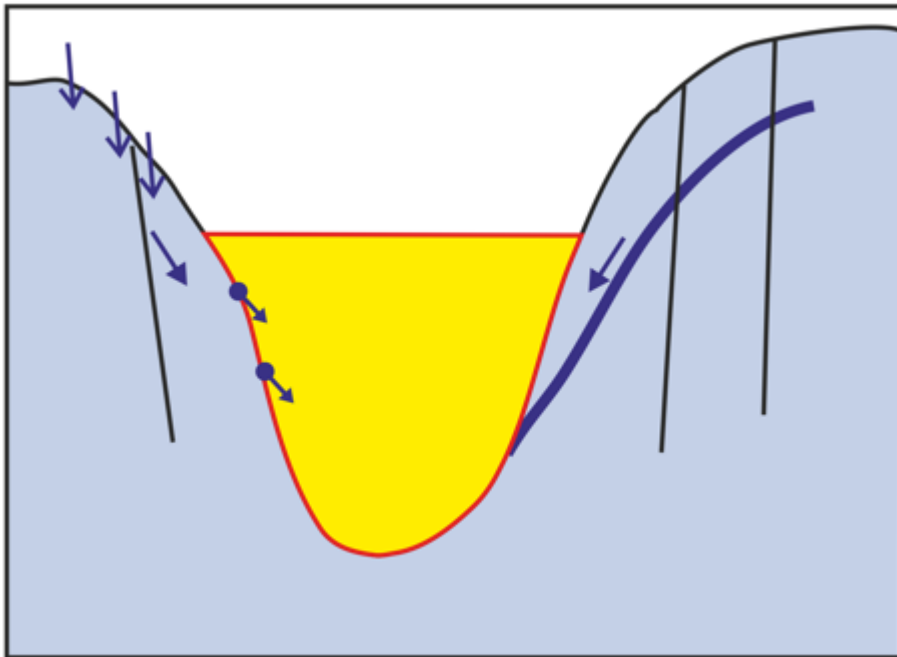
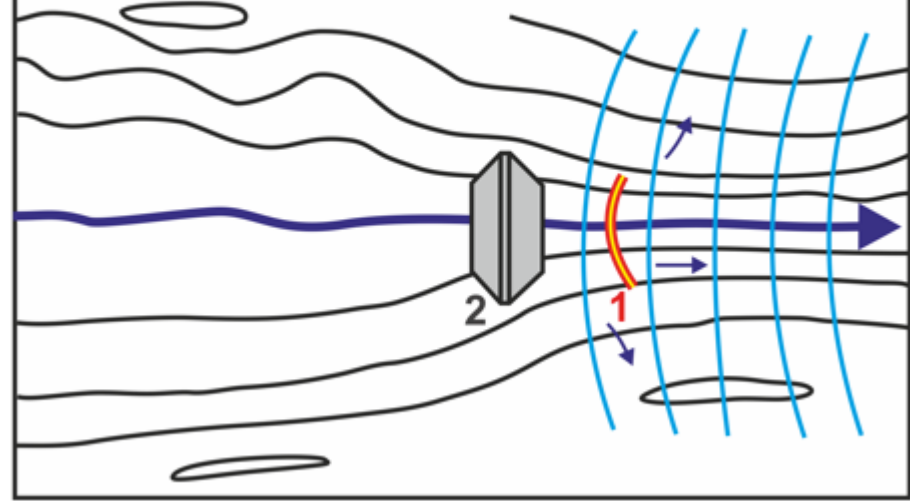
- Ομοιογένεια στην περατότητα: Χρήση δικτύων ροής ( $k$ ).
- Ανομοιογένεια: ασυνέχεια στην περατότητα: κριτήριο Lugeon ή άλλα.

# ΦΡΑΓΜΑ ΠΛΑΣΤΗΡΑ - ΜΕΓΔΟΒΑ

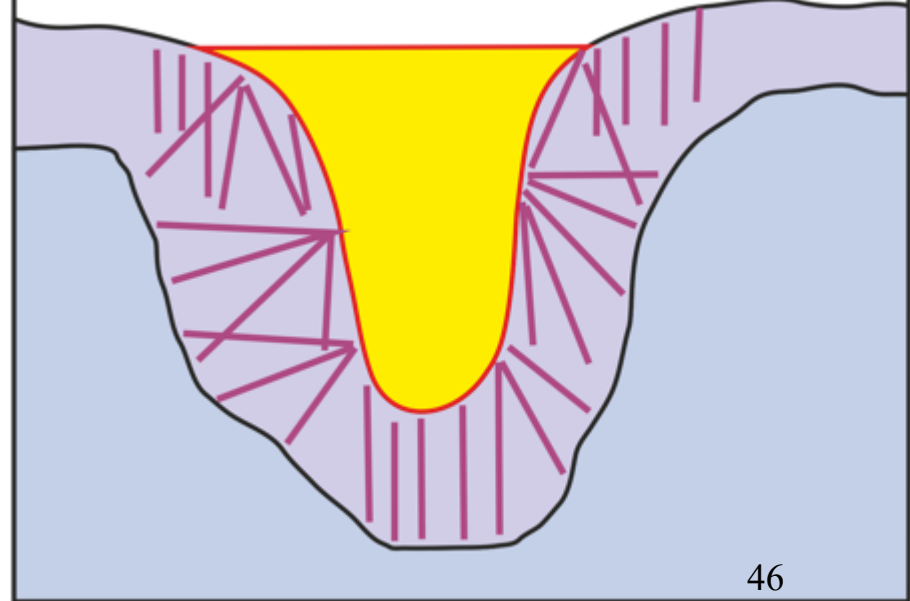
## ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ



## ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ



## ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

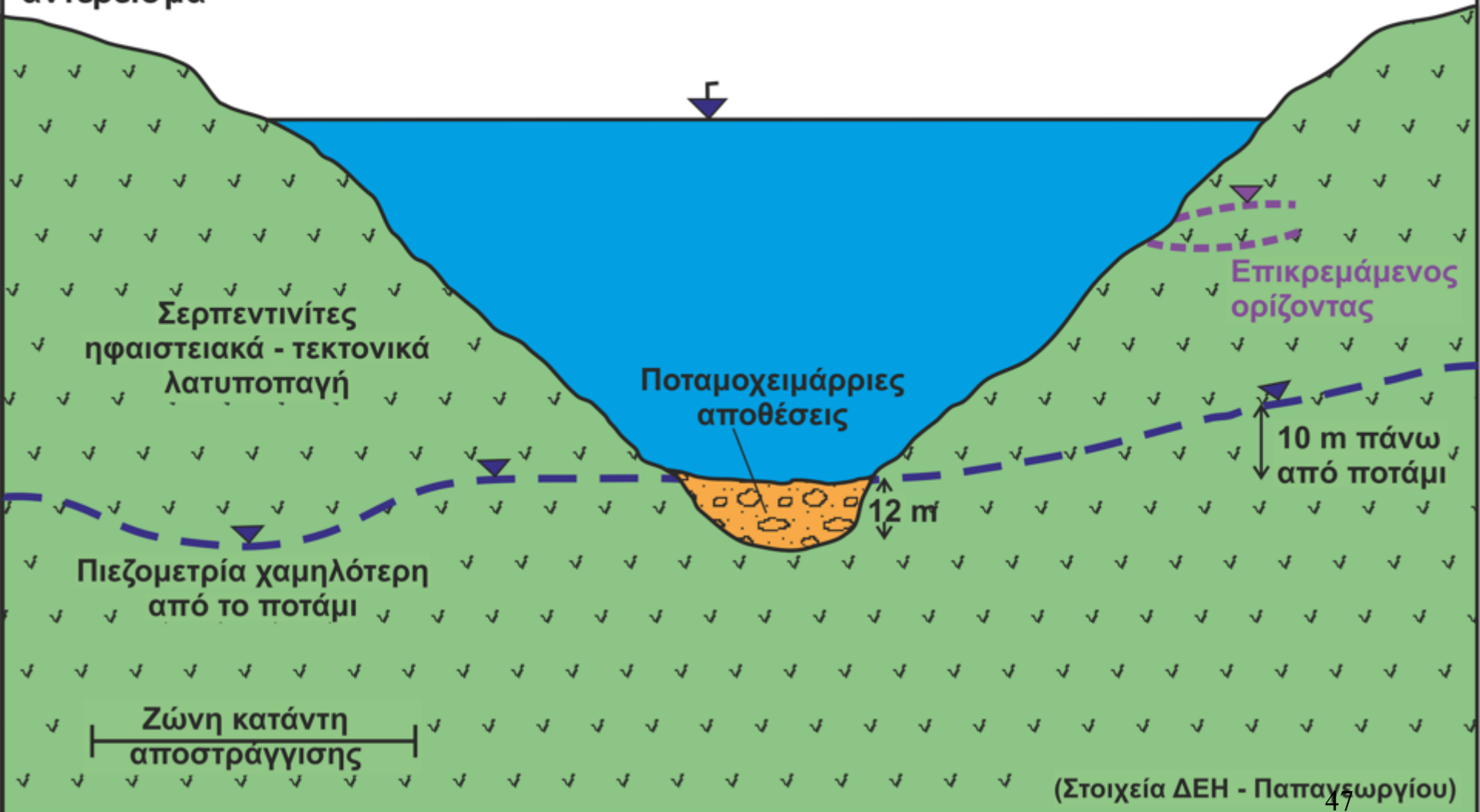


# ΦΡΑΓΜΑ ΑΣΩΜΑΤΩΝ

Αριστερό  
αντέρεισμα

κ: Ακατάστατο σε σχέση με βάθος ή  
απόσταση από πρηνές με μεγάλη διακύμανση

Δεξιό  
αντέρεισμα



# ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑ ΘΕΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

## ■ Περίπτωση: Πέτρωμα Θεμελίωσης Περατό

Εκλεκτική έντονη  
ρωγμάτωση –  
προνομιακοί αγωγοί

- Ρηγμάτων
- Επιφανειών επωθήσεων
- Εκλεκτικής  
καρστικοποίησης  
κροκαλοπαγών ψαμμιτών
- Λάβας

