



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9  
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

# ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Διδάσκων:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

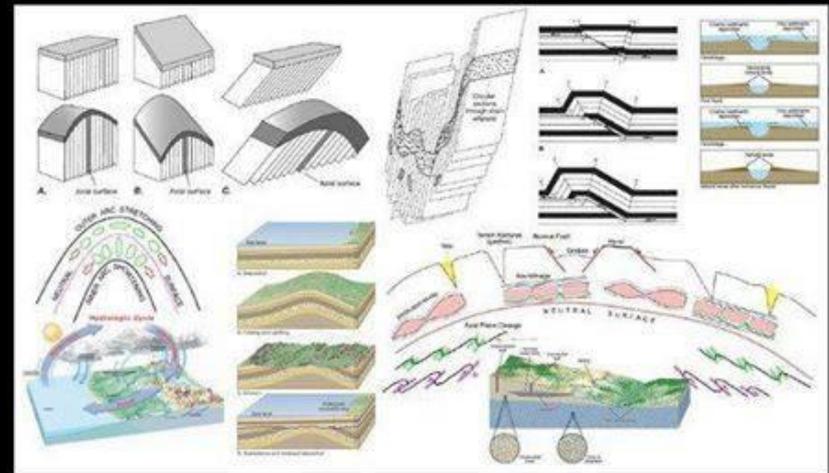
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

# ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ

What you see



What a geologist sees



# ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Τεκτονική ή Δομική Γεωλογία (Structural geology, Tektonik) είναι ο κλάδος της γεωλογικής επιστήμης που εξετάζει τη δομή του φλοιού της γης, καθώς και τις κινήσεις και τις δυνάμεις, που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν τη δομή αυτή.

Σύμφωνα με τον Cloos (1936) η Τεκτονική βλέπει νεκρές μορφές και δομές ως έκφραση ζωντανών κινήσεων και ορατές κινήσεις ως έκφραση μη ορατών δυνάμεων.

Κατά την εκπόνηση μιας τεκτονικής μελέτης πρέπει να εξετάζονται:

- α) Η στατική ανάλυση των τεκτονικών δομών, δηλαδή η καθαρά γεωμετρική περιγραφή τους.
- β) Η κινητική ανάλυση των τεκτονικών δομών, δηλαδή η μελέτη του τρόπου και χρόνου δράσης και εξέλιξης των τεκτονικών κινήσεων.
- γ) Η δυναμική ανάλυση των τεκτονικών δομών, δηλαδή η μελέτη των δυνάμεων που έδρασαν για τη δημιουργία των δομών αυτών, μέσα στο γεωλογικό χρόνο.

# ΡΗΞΙΓΕΝΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Αντικείμενο έρευνας της ρηξιγενούς τεκτονικής είναι τα **ρήγματα** και οι **διακλάσεις**.

Εκτός από τα ρήγματα και τις διακλάσεις, άλλες ασυνέχειες που τέμνουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι:

- Οι επιφάνειες στρώσης
- Οι επιφάνειες σχιστότητας
- Οι επιφάνειες σχισμού και
- Οι ρωγμές

Οι ασυνέχειες μπορούν να διακριθούν σε αυτές που συνδέονται με τη γένεση του πετρώματος (στρώσεις, σχιστότητα, σχισμός) και στις δευτερογενείς που προκύπτουν από την τεκτονική ή άλλη καταπόνηση του πετρώματος (ρήγματα, διακλάσεις, ρωγμές).

- Οι επιφάνειες στρώσης δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της ιζηματογένεσης.
- Οι επιφάνειες σχιστότητας προκαλούνται κατά τη μεταμόρφωση του πετρώματος.
- Ο σχισμός σχετίζεται με τη δομή των ορυκτών συστατικών του πετρώματος.
- Τα ρήγματα είναι τεκτονικές δομές κατά μήκος των οποίων λαμβάνει χώρα μετατόπιση.
- Οι διακλάσεις είναι τεκτονικές δομές κατά μήκος των οποίων δε λαμβάνει χώρα μετατόπιση.
- Οι ρωγμές είναι ασυνέχειες που σχετίζονται με την καταπόνηση της βραχομάζας από τάσεις άσχετες των τεκτονικών, π.χ. συστολοδιαστολή λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, κατολισθήσεις, εκρήξεις κ.α.

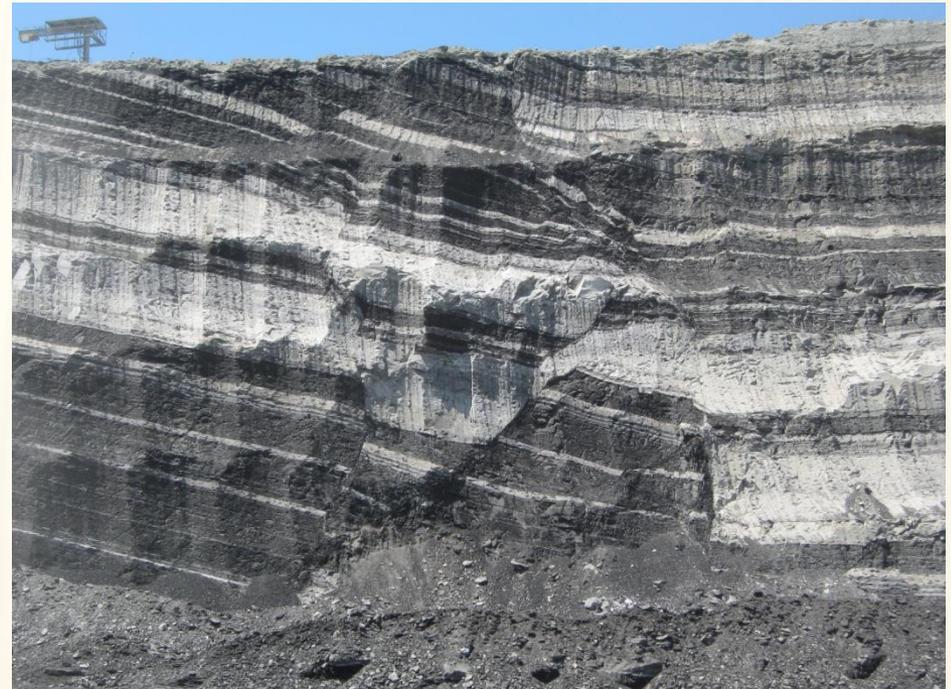


Στον πτυχωμένο ασβεστόλιθο διακρίνονται οι επιφάνειες στρώσης



Επιφάνειες στρώσης και  
συστήματα διακλάσεων σε  
ασβεστόλιθους

Ρήγματα σε στιφρές μάρμες





Ρωγμές σε θέση ανατίναξης  
εκρηκτικών

Επιφάνεια ρήγματος στο μέτωπο  
του πρανούς. Διακρίνονται  
επιφάνειες στρώσης και  
συστήματα διακλάσεων.



# ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ

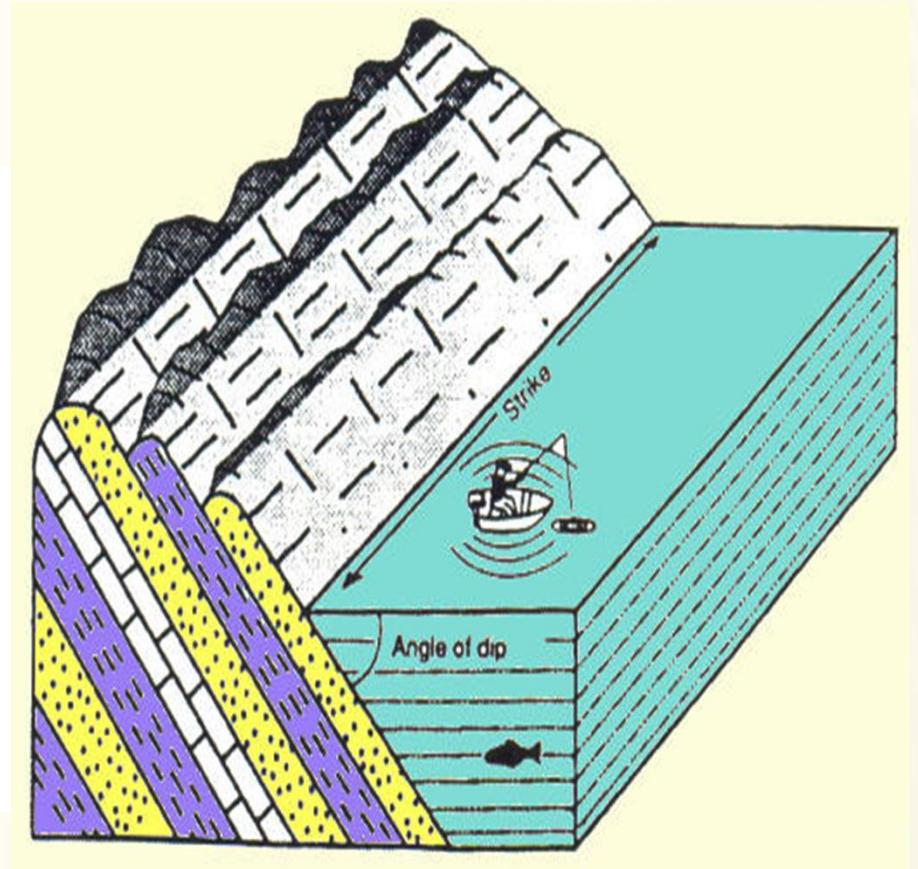
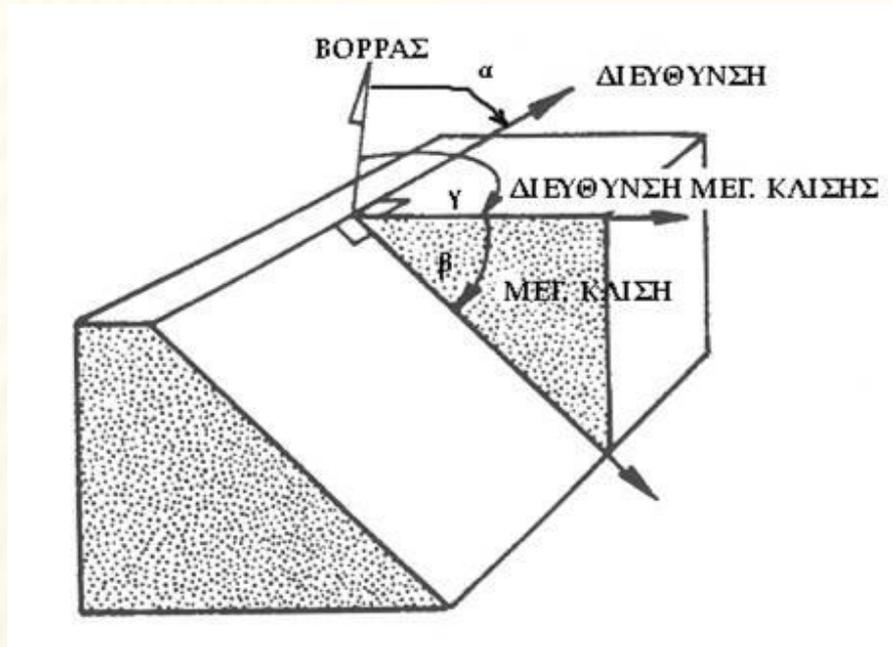
Αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κυρίως σε ότι αφορά την ευστάθεια πρανών και εκσκαφών.

Αν και οι ασυνέχειες δεν είναι επίπεδες επιφάνειες, πρακτικά θεωρούνται έτσι για την καταγραφή του προσανατολισμού τους στο χώρο.

Τα κύρια στοιχεία προσανατολισμού που καταγράφονται είναι τα ακόλουθα:

- Η διεύθυνση της ασυνέχειας (Strike), η γωνία που σχηματίζει με το βορρά η τομή του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο.
- Η μέγιστη κλίση (Dip), δηλαδή η μέγιστη γωνία που σχηματίζει το επίπεδο της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο.
- Η διεύθυνση (φορά) μέγιστης κλίσης (dip direction), η γωνία που σχηματίζει με το βορρά η τομή του επιπέδου της μέγιστης κλίσης με το οριζόντιο επίπεδο.

Με τις πυξίδες clar καταγράφονται η διεύθυνση μέγιστης κλίσης και η μέγιστη κλίση (π.χ. 140°/35°).



Απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων προσανατολισμού ασυνεχειών.

# ΠΥΞΙΔΑ CLAR



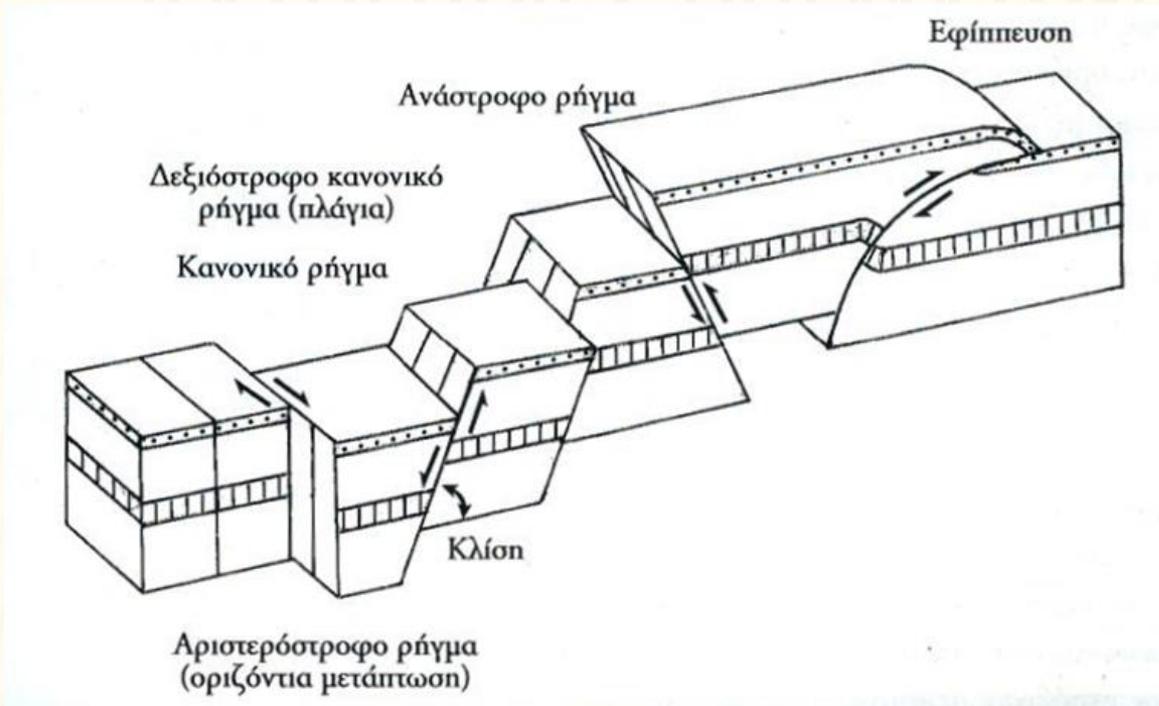
# ΡΗΓΜΑΤΑ

Κάθε ρηξιγενή δομή εκατέρωθεν της οποίας παρατηρούνται μετακινήσεις των επί μέρους τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού που παραμορφώνεται χαρακτηρίζεται ως Ρήγμα. Οι όποιες μετατοπίσεις μπορεί να είναι της τάξης μεγέθους από 1 cm μέχρι και πάνω από 1000 m ενώ η επιφανειακή εξάπλωση ενός ρήγματος είναι δυνατόν να φθάνει σε μήκος πολλών χιλιομέτρων.

Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα **συνιζηματογενή ρήγματα**, όπου ο σχηματισμός των ρηγμάτων μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης. Τα ρήγματα αυτά έχουν μεγάλη σημασία καθώς επιτρέπουν τη σχετική χρονολόγηση τεκτονικών συμβάντων.



# ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΗΓΜΑΤΩΝ



- α) Ανάστροφα ρήγματα (εφίππεύσεις, επωθήσεις, λεπιώσεις και τεκτονικά καλύμματα).
- β) Κανονικά ρήγματα. (τεκτονικές τάφροι)
- γ) Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης.

Οι κυριότεροι τύποι των ρηγμάτων.

A. κανονικό ρήγμα,

B. πλάγιο κανονικό ρήγμα αριστερόστροφο,

C. πλάγιο κανονικό ρήγμα δεξιόστροφο,

D. ανάστροφο ρήγμα.

E. πλάγιο ανάστροφο ρήγμα αριστερόστροφο.

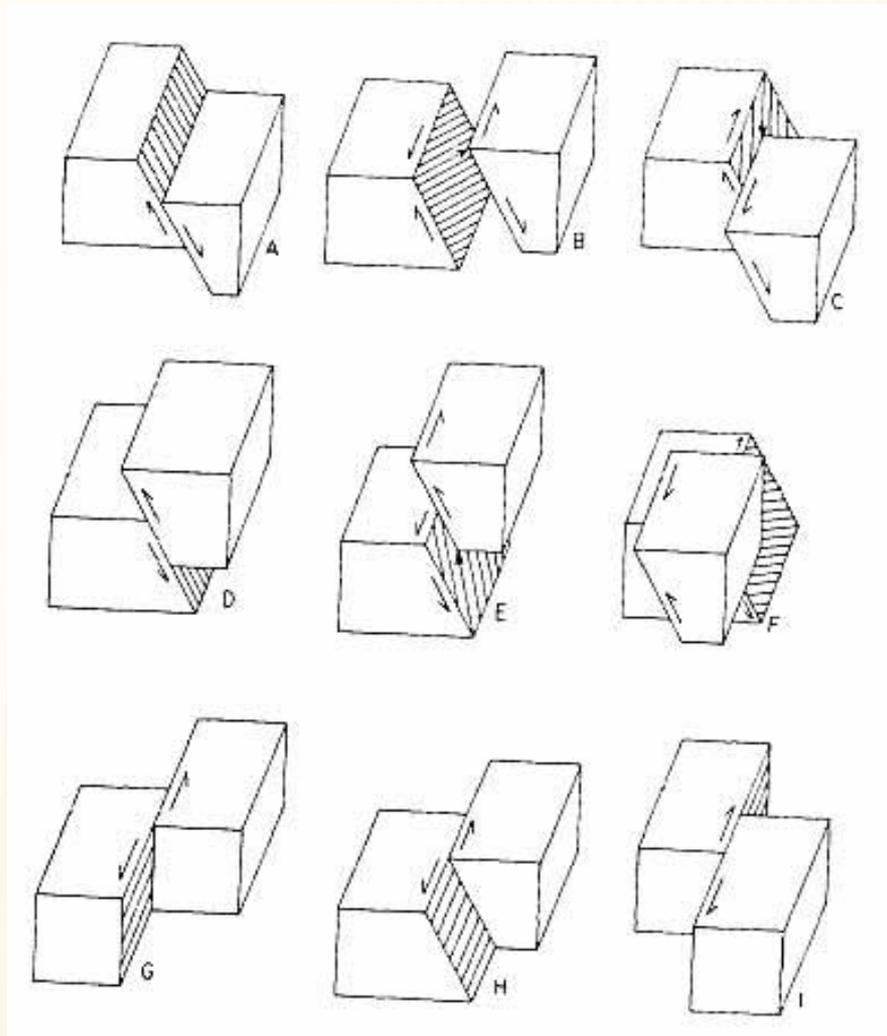
F. πλάγιο ανάστροφο ρήγμα δεξιόστροφο,

G. ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με κατακόρυφη ρηξιγενή επιφάνεια αριστερόστροφο,

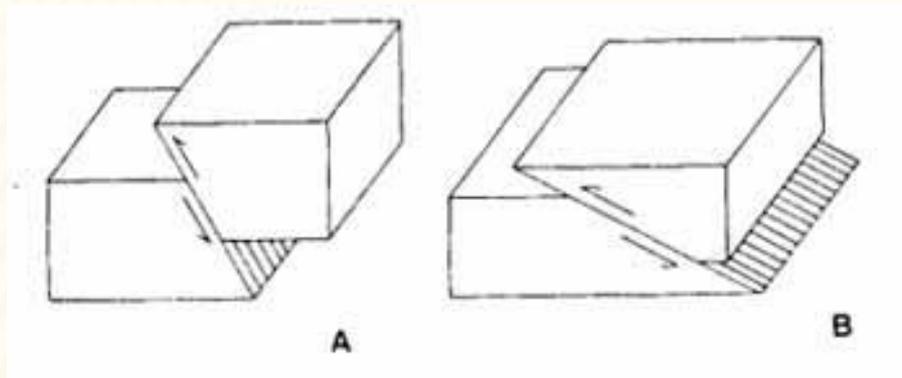
H. ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με κεκλιμένη ρηξιγενή επιφάνεια αριστερόστροφο,

I. ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με κατακόρυφη ρηξιγενή επιφάνεια δεξιόστροφο.

(κατά C.T.H. 16, 1978).



# ΕΦΙΠΠΕΥΣΕΙΣ - ΕΠΩΘΗΣΕΙΣ



A. Επίπλευση ( $> 45^\circ$ ).  
B. Επώθηση ( $< 45^\circ$ )  
(C.T.H. 16, 1978).

Αλληπάλληλες επιπλεύσεις ή επωθήσεις σχηματίζουν μια ζώνη που ονομάζεται **ζώνη λεπιώσεων**. Στα διάφορα **λέπια** που σχηματίζονται μεταξύ των ανάστροφων ρηγμάτων εμφανίζονται συχνά, σχεδόν οι ίδιες εναλλαγές των γεωλογικών σχηματισμών ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις παλιότερης ηλικίας ή και υψηλότερης μεταμόρφωσης πετρώματα, τοποθετούνται πάνω σε νεότερα ή χαμηλότερης μεταμόρφωσης πετρώματα.

# ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ

Οι εκτεταμένες ζώνες λεπιώσεων δημιουργούν **τεκτονικά καλύμματα**. Στα **τεκτονικά καλύμματα** οι γεωλογικοί σχηματισμοί, αποχωρίζονται από την πρωταρχική τους θέση και τοποθετούνται τεκτονικά, πάνω σε κάποιον άλλο γεωλογικό σχηματισμό.

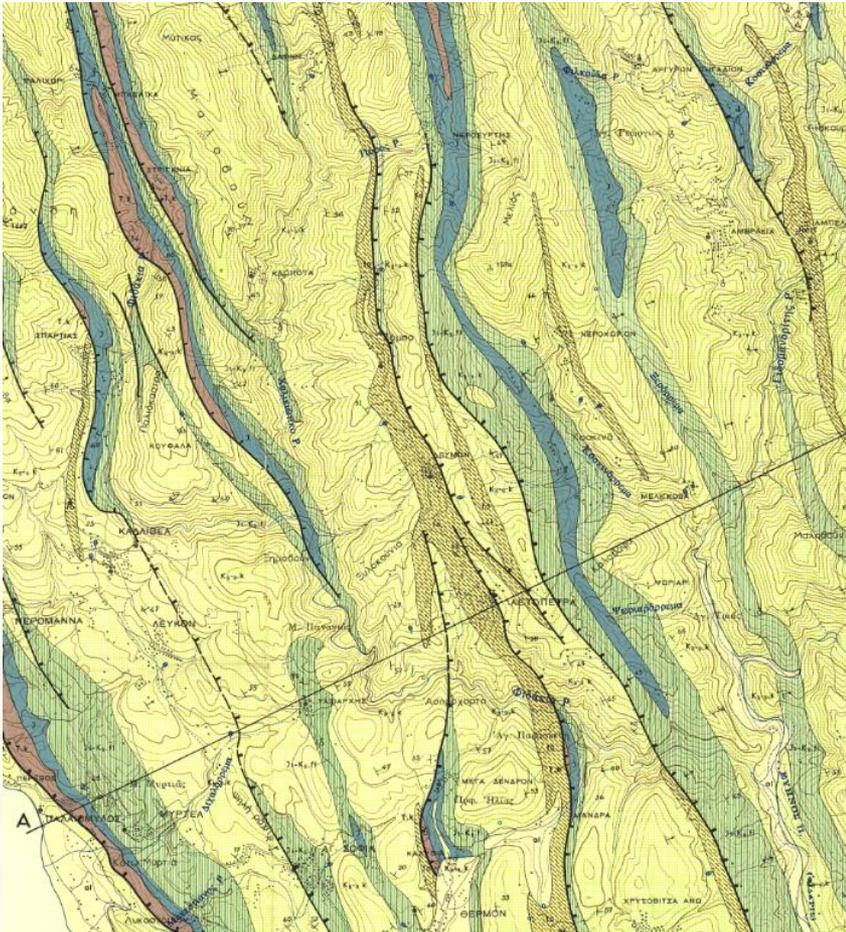
Το τεκτονικό κάλυμμα αποτελεί τον **αλλόχθονο** γεωλογικό σχηματισμό, ενώ ο γεωλογικός σχηματισμός πάνω στον οποίο επωθείται το τεκτονικό κάλυμμα, αποτελεί τον **αυτόχθονο**.

Σε κάθε τεκτονικό κάλυμμα, διακρίνουμε τα εξής επί μέρους τμήματα:

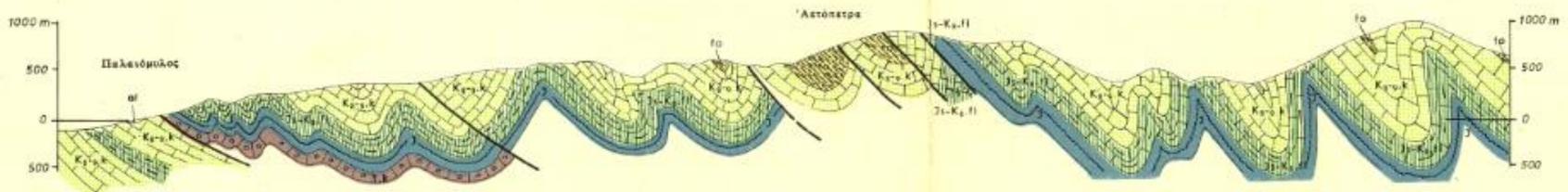
- **Βασικό σώμα:** Πρόκειται για τον κύριο όγκο του τεκτονικού καλύμματος.
- **Μέτωπο τεκτονικού καλύμματος:** Είναι το μπροστινό τμήμα του βασικού σώματος.
- **Ράχη τεκτονικού καλύμματος:** Αποτελεί την οροφή του βασικού σώματος.
- **Ρίζα του τεκτονικού καλύμματος:** Πρόκειται για το σημείο, απ' όπου ξεκινάει το τεκτονικό κάλυμμα.
- **Τεκτονικό ράκος ή απομονωμένο τεκτονικό κάλυμμα:** ένα εντελώς ανεξάρτητο και απομονωμένο μικρών διαστάσεων, τις περισσότερες φορές, τεκτονικό κάλυμμα το οποίο έχει αποκοπεί από τον κύριο όγκο του βασικού σώματος.
- **Βάση του τεκτονικού καλύμματος:** Πρόκειται για το κάτω μέρος του βασικού σώματος, με το οποίο έρχεται σε επαφή με το αυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων.

## Απόσπασμα Φύλλου Θερμών

Η γένεση ενός τεκτονικού καλύμματος δεν οφείλεται πάντοτε μόνο στην παρουσία ανάστροφων ρηγμάτων. Πτυχώσεις μεγάλων διαστάσεων ή και συνδυασμός πύκνωσης και ανάστροφου ρήγματος, προκαλούν επίσης την γένεση τεκτονικών καλυμμάτων.



ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ  
CROSS SECTION A A<sub>1</sub>

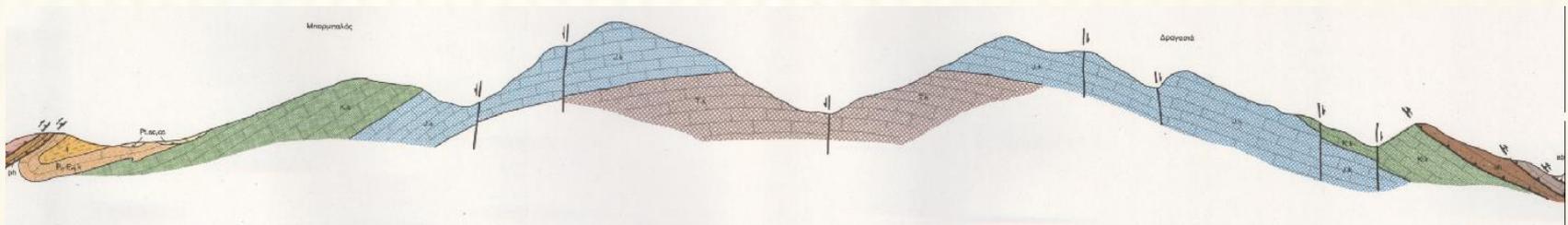


# ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ

Τα τεκτονικά παράθυρα είναι δομές στις οποίες αποκαλύπτονται μέλη του υποκείμενου αυτόχθονου συστήματος, εξαιτίας της απομάκρυνσης των υπερκείμενων μελών του τεκτονικού καλύμματος.

Η δημιουργία τους είναι αποτέλεσμα της έντονης διάβρωσης ενός τμήματος του τεκτονικού καλύμματος, αλλά και της μετα-συμπιεστικής εφελκυστικής τεκτονικής και διαφυγής των τεκτονικών καλυμμάτων. Στα τεκτονικά παράθυρα οι αυτόχθονοι σχηματισμοί αποκαλύπτονται στα μορφολογικά κατώτερα κατά κανόνα σημεία (π.χ. χαραδρώσεις), ή και με τη μορφή αναθολωμένων δόμων.

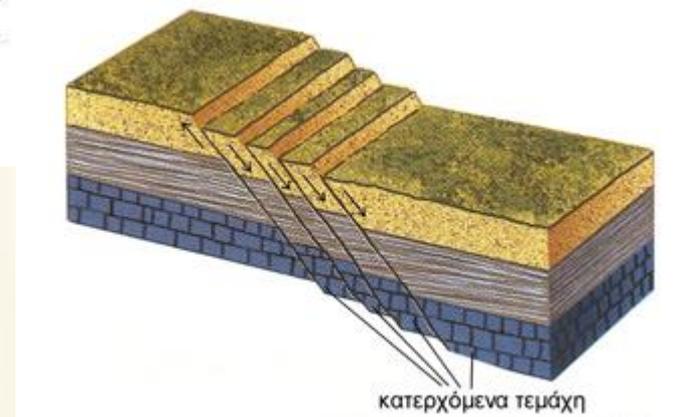
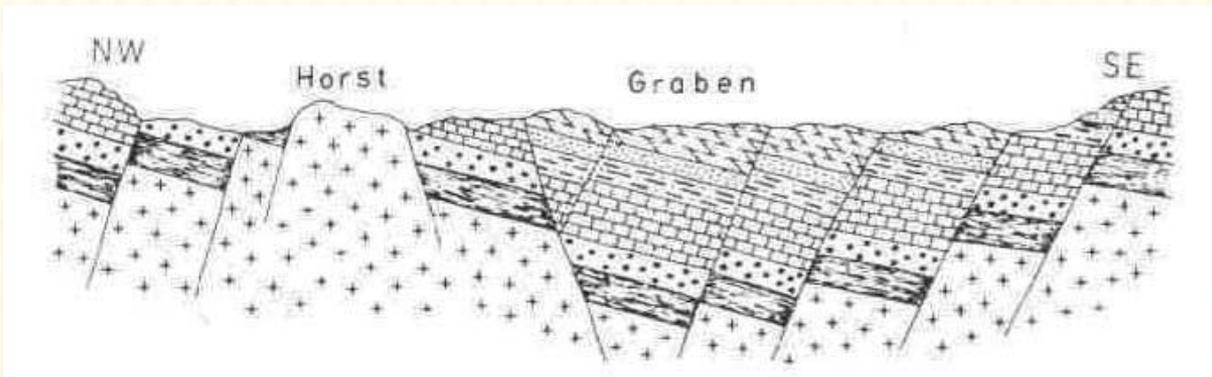
Τεκτονικά παράθυρα στον Ελληνικό χώρο, αναφέρονται στις περιοχές του Ολύμπου, της Όσσας, των ΒΑ Πιερίων κ.ά.



Τεκτονικό παράθυρο Ολύμπου. Απόσπασμα φύλλου χάρτη Κονταριότση.

# ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΕΡΑΤΑ -ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΦΡΟΙ

Το τεκτονικό κέρασ προκύπτει από τη δράση μιας ομάδας κανονικών ρηγμάτων με αντίθετες μεταξύ τους διευθύνσεις κλίσεων. Αντιθέτως μια ομάδα κανονικών ρηγμάτων με ομόρροπες κλίσεις οδηγεί στη δημιουργία μιας τεκτονικής τάφρου.



# ΡΗΞΙΓΕΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Οι ρηξιγενείς επιφάνειες εμφανίζονται συνήθως στιλπνές και λείες και χαρακτηρίζονται ως «καθρέπτης ρήγματος» ή ως κατοπτρικές επιφάνειες.

Πάνω στον «καθρέπτη» του ρήγματος, εφ' όσον δεν έχει επιδράσει σε μεγάλο βαθμό η διάβρωση, παρατηρούνται οι γραμμές ολίσθησης. Πρόκειται για «νυχιές» πάνω στη ρηξιγενή επιφάνεια που σχηματίζονται από την τριβή σκληρών υλικών (κόκκων χαλαζία, κροκάλων κ.ά). Πρόκειται για σημαντικές γραμμώσεις που αποτυπώνουν τη διεύθυνση της τελευταίας κίνησης.

Η φορά της κίνησης αποτυπώνεται στα **steps**, κλιμακωτές δομές με μια ελαφρά κλίνουσα και μια απότομα κλίνουσα πλευρά. Η απότομα κλίνουσα πλευρά αποτυπώνει τη φορά κίνησης του τεμαχίου που βρίσκεται από τη μεριά του παρατηρητή.



**Κατοπτρική επιφάνεια του  
ρήγματος της Αρκίτσας**



# ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ - ΜΥΛΩΝΙΤΕΣ

Μέσα στα ρήγματα ή σε ζώνες ρηγμάτων συνήθως παρατηρούνται ισχυρά τεκτονισμένα μέλη των πετρωμάτων που παραμορφώνονται και τα οποία συνοδεύονται από υλικά που αποθέτει το νερό που κυκλοφορεί στο ρήγμα (ασβεστίτη, χαλαζία, άργιλο κ.ά). Τα υλικά αυτά αποτελούν τα **υλικά πλήρωσης** των ρηξιγενών δομών.

Από την ισχυρή τριβή που αναπτύσσεται στις επιφάνειες των ρηγμάτων δημιουργείται αρχικά ένα **τεκτονικό λατυποπαγές**. Αυτό αποτελεί συνήθως ένα συνεκτικό κατακλασμένο υλικό που αποτελείται από συνδετική ύλη και γωνιώδη θραύσματα των γειτονικών πετρωμάτων.

Με την αύξηση της παραμόρφωσης είναι δυνατόν το τεκτονικό λατυποπαγές να μετατραπεί κατά θέσεις τουλάχιστον, σε **μυλωνίτη**. Ο μυλωνίτης είναι ένας εντελώς λεπτόκοκκος, μέχρι τη μορφή σκόνης, κονιορτοποιημένος σχηματισμός. Συχνά μέσα στο μυλωνιτωμένο υλικό πλήρωσης των ρηγμάτων, ανευρίσκονται επίσης, τεκτονικά αποστρογγυλωμένες κροκάλες, ως υπολείμματα συμπαγέστερων υλικών των πετρωμάτων που μυλωνιτιώθηκαν.

# ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΓΜΑΤΑ

Το ρήγμα Neodani που προκάλεσε το μεγάλο σεισμό του Nobi το 1891. Στην τάφρο διακρίνεται η κατακόρυφη μετατόπιση των 6m.



# ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ

- Ένα ρήγμα είναι ενεργό (Capable or Active Fault) όταν: Παρουσιάζει κίνηση (σεισμική ή ασεισμική ολίσθηση) στα τελευταία 35.000 χρόνια (κυρίως Ολόκαινο) και περισσότερο από μια φορά στα τελευταία 500.000 χρόνια ή είναι συνδεδεμένο με ένα άλλο γνωστό ενεργό ρήγμα ή συνδέεται με δύο και περισσότερα σεισμικά συμβάντα καταγεγραμμένα με σειсмоγράφους έντασης III MM και μεγαλύτερης. (U.S. Nuclear Regulatory Commission).
- Ένα ρήγμα μπορεί να θεωρηθεί ενεργό αν παρουσιάζει τεκμήρια κίνησης στο ύστερο Τεταρτογενές, παρουσιάζει τοπογραφικές αποδείξεις για πρόσφατη επιφανειακή διάρρηξη, αν συνδέεται άμεσα με σεισμούς καταγεγραμμένους με σεισμολογικά όργανα, αν παρουσιάζει ασεισμική ολίσθηση ή έχει μια αποδεδειγμένα δομική σχέση μ' ένα γνωστό ενεργό ρήγμα, έτσι ώστε η κίνηση του ενός, μπορεί να προκαλέσει την κίνηση του άλλου. (International Atomic Energy Commission)
- Ως ενεργά ρήγματα χαρακτηρίζονται τα ρήγματα που παρουσιάζουν ολίσθηση κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς (τελευταία 1 έως 2 εκατομμύρια χρόνια), (Research Group of Active Faults in Japan).
- Ενεργά ρήγματα είναι αυτά που παρουσιάζουν αποδείξεις τεκτονικών κινήσεων στο Ολόκαινο κυρίως, αλλά και ενδείξεις για το χρονικό διάστημα του Τεταρτογενούς με έμφαση τα 100.000 χρόνια (Ρωσία - Trifonov 1993).

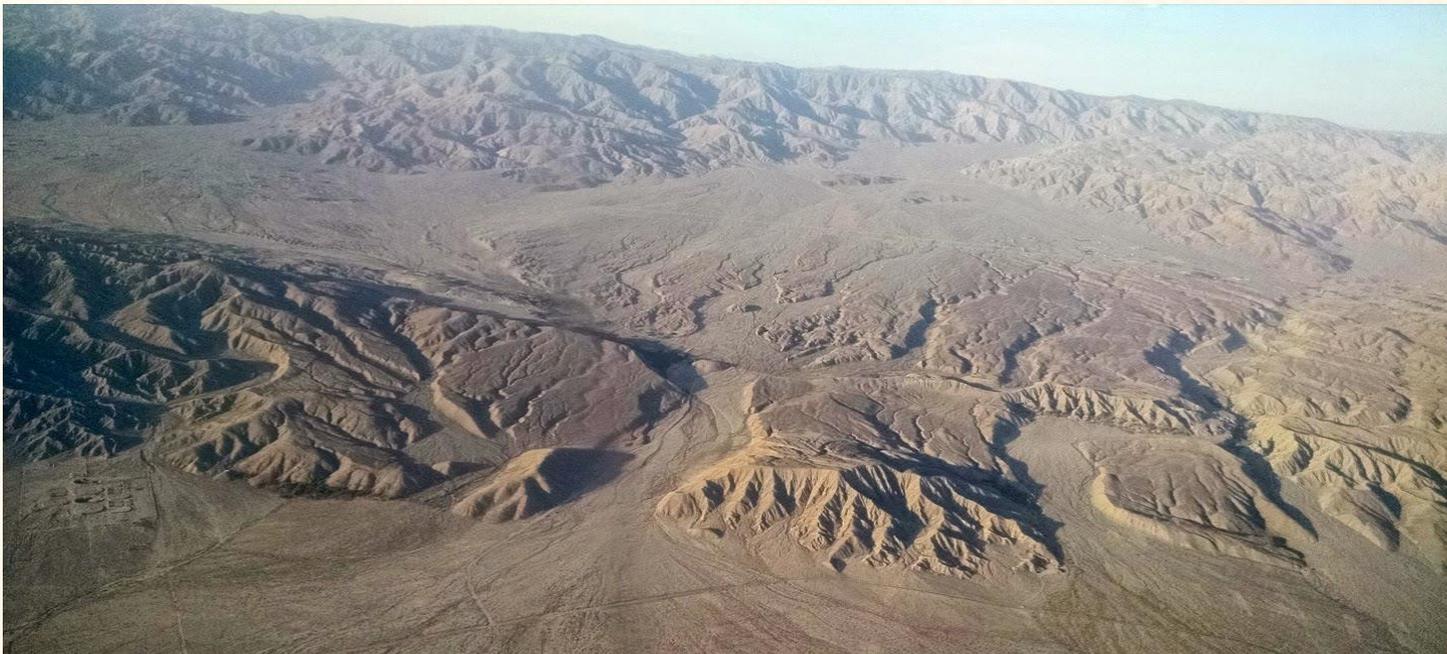
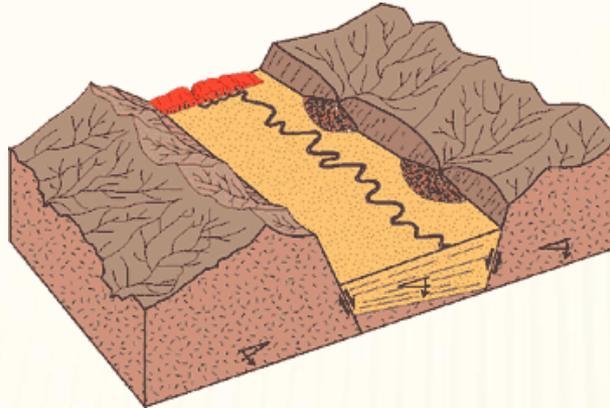
# ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΩΝ

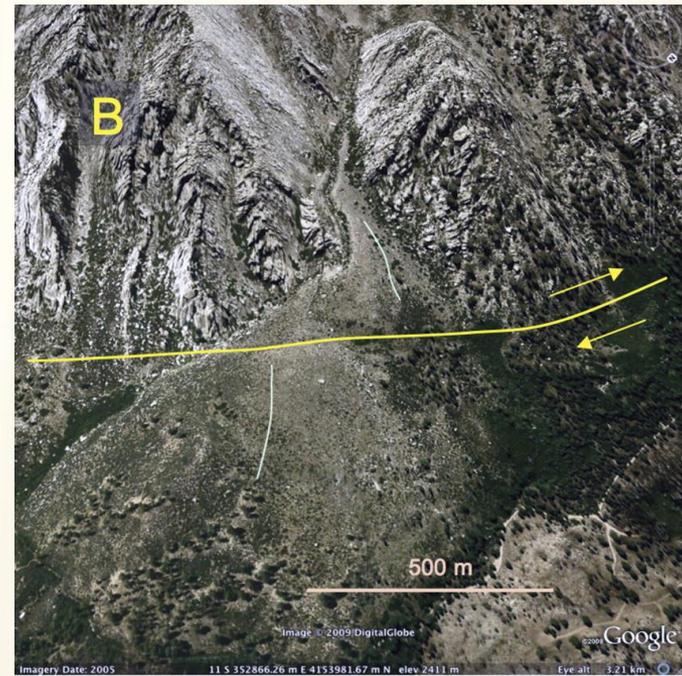
Τα κριτήρια για τον εντοπισμό των ρηξιγενών νεοτεκτονικών δομών και το χαρακτηρισμό τους ως ενεργών χωρίζονται σε 4 κατηγορίες (Παυλίδης 2008, Παπαζάχος 2004, Παυλίδης 2003, Ambraseys 1998):

- *Γεωλογικά κριτήρια:* Ένα ρήγμα μπορεί να χαρακτηριστεί γεωλογικά ενεργό όταν αποδεδειγμένα δραστηριοποιήθηκε ή επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν (Άνω Πλειστόκαινο). Η διαπίστωση πραγματοποιείται με κριτήρια γεωμορφολογικά – μορφοτεκτονικά, στρωματογραφικά, παλαιοσεισμολογικά, υδρογεωλογικά και γεωχημικά. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα μετακινήσεων ένα ρήγμα θεωρείται σεισμικά ενεργό όταν παρουσιάζει μέσο ρυθμό ολίσθησης τουλάχιστον 1mm/y.
- *Ιστορικά κριτήρια:* Πληροφορίες από ιστορικές πηγές για μεγάλους επιφανειακούς σεισμούς και σχετιζόμενων μετακινήσεων εδαφών, κατολισθήσεων, αλλαγών της ροής χειμάρρων ή παροχών πηγών κ.α.
- *Γεωφυσικά κριτήρια:* Πληροφορίες από γεωφυσικές διασκοπίσεις, όπως βαρυτομετρικές ανωμαλίες, συμβάλλουν ουσιαστικά στην κατανόηση της ενεργού τεκτονικής.
- *Σεισμολογικά κριτήρια:* Μεγάλοι ή ακόμη και μικροί σεισμοί και σεισμικές ακολουθίες, μπορούν να ορίσουν τη θέση ενεργών ρηγμάτων.

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ – ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

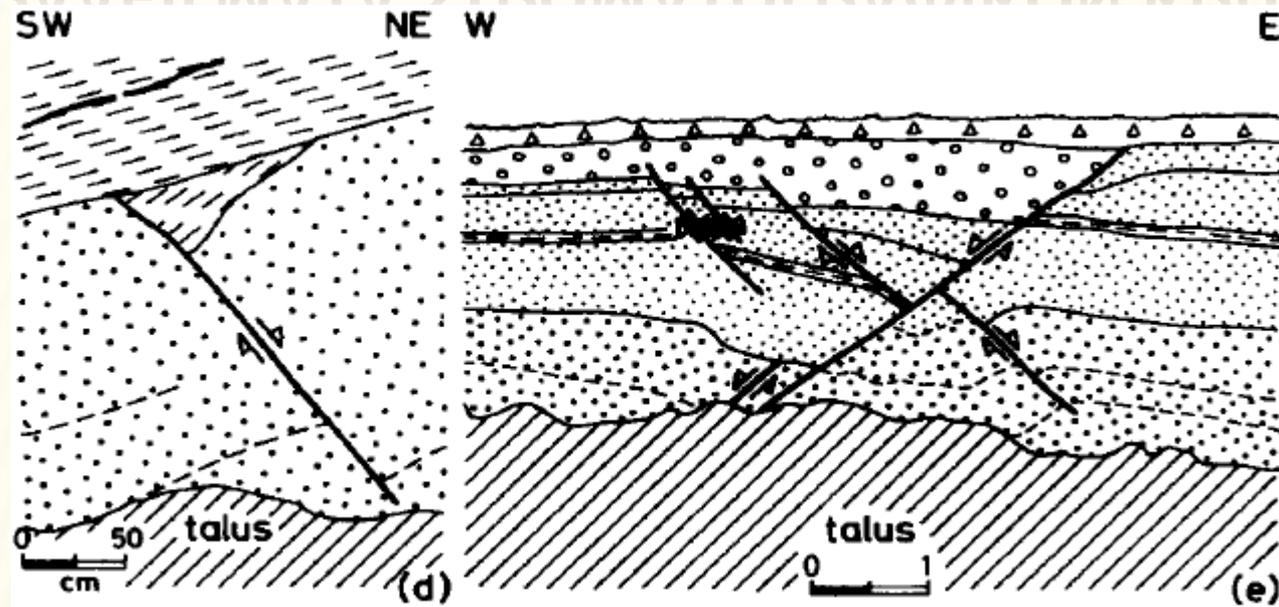
---





Ορεινοί όγκοι κοντά στο Mammoth Lake, Καλιφόρνια

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ



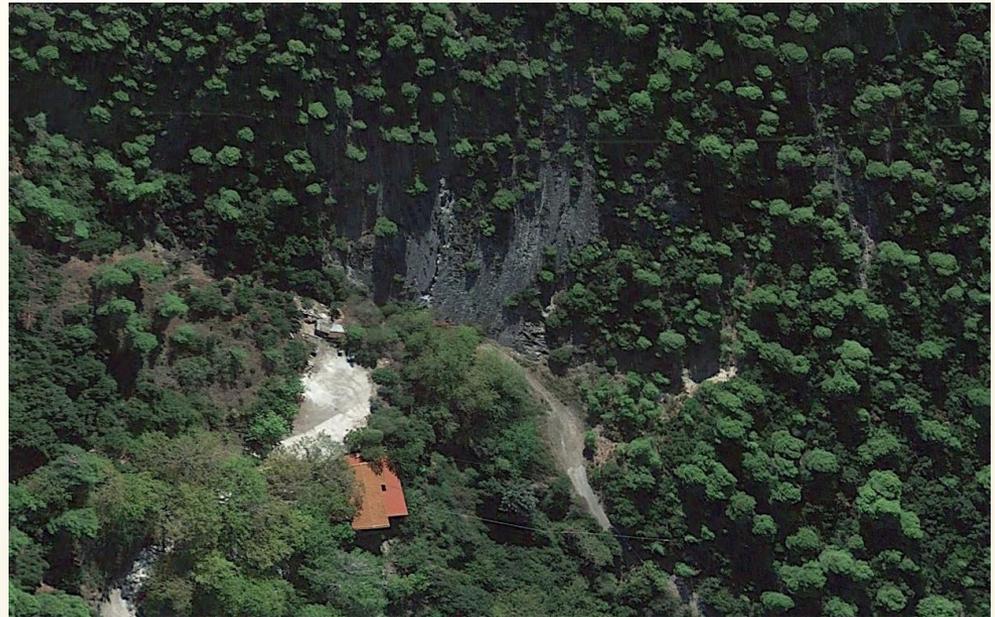
Στο αριστερό σκαρίφημα το μικρό κανονικό ρήγμα αφήνει ανεπηρέαστη την υπερκείμενη μάργα άρα συνέβη πριν από την απόθεσή της. Επειδή άργιλος και μάργα βρίσκονται σε συμφωνία, συμπεραίνεται ότι πρόκειται για συνιζηματογενές ρήγμα που δημιουργήθηκε στη διάρκεια απόθεσης της αργίλου. Στη δεξιά εικόνα φαίνεται μια ομάδα δύο συστημάτων συναποθετικών συζυγών μικρορηγμάτων που επηρεάζει το σύνολο σχεδόν των ιζηματογενών στρωμάτων, εκτός από τις επιφανειακές αλλουβιακές αποθέσεις (Hancock & Barka 1981).

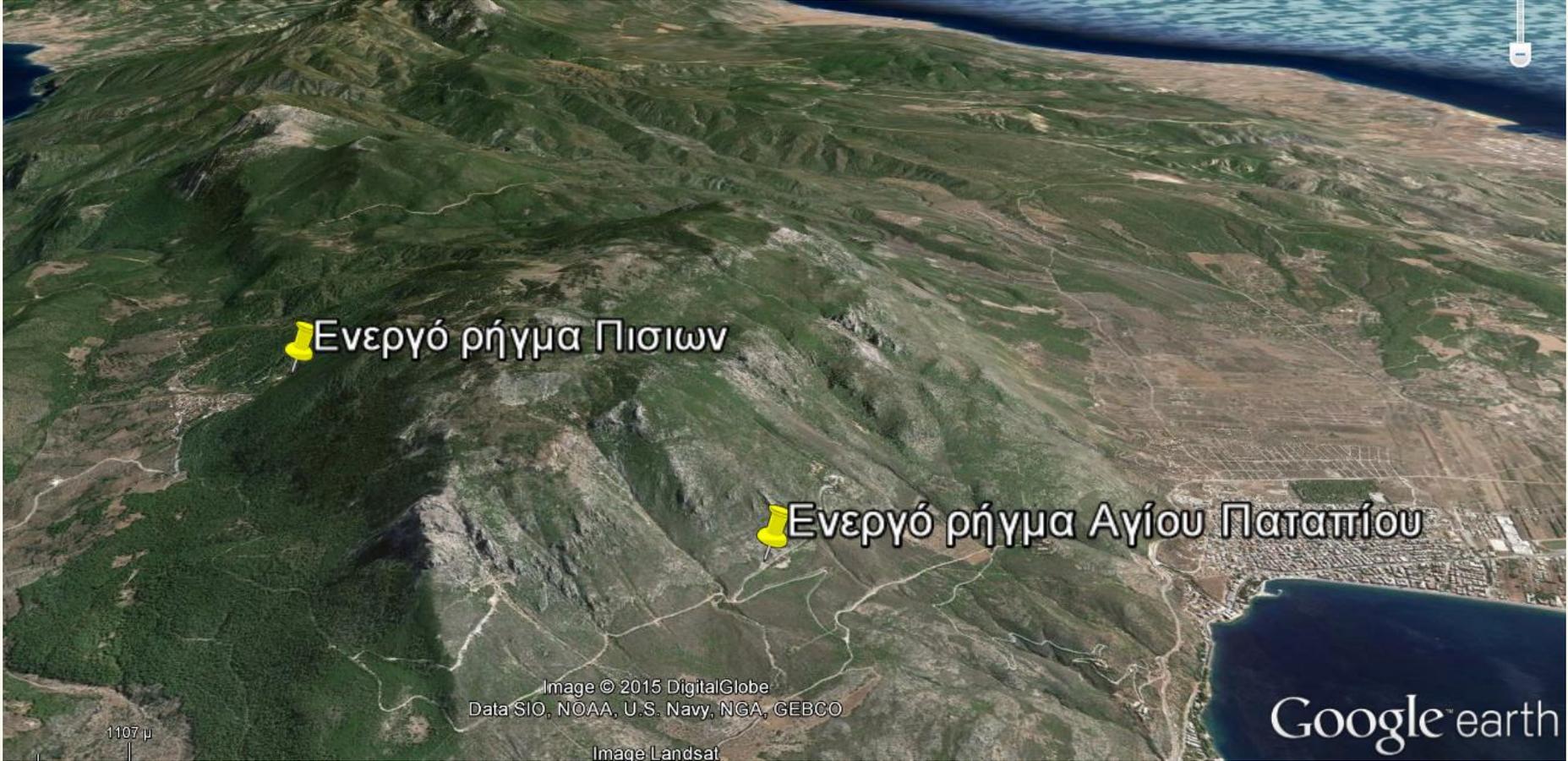


### Ρήγμα Πισίων, Κορινθιακός

Διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ, κλίση και μετάπτωση προς Βορρά. Μήκος περίπου 15km.

Το ρήγμα αυτό ανέδρασε με τους σεισμούς του Κορινθιακού κόλπου το 1981.





Ενεργό ρήγμα Πισίων

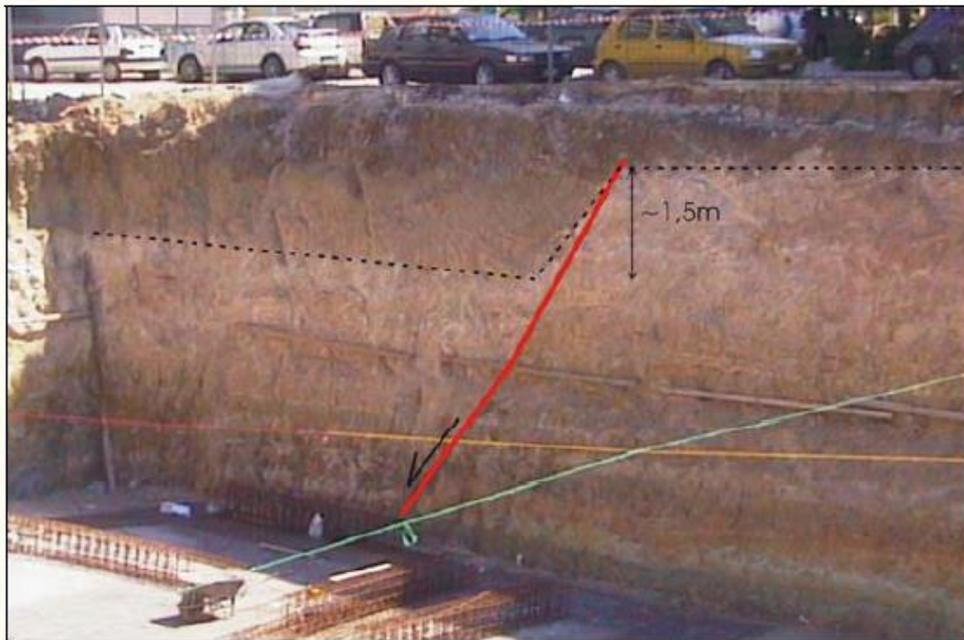
Ενεργό ρήγμα Αγίου Παταπίου

Image © 2015 DigitalGlobe  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Image Landsat

Google™ earth

1107 μ



### Ρήγμα Καλαμαριάς, Θεσσαλονίκη

Διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ, παράταξη Β100-110 και μετάπτωση προς Βορρά. Μήκος περίπου 1km και άλμα 1,5m.

Ραδιοχρονολόγηση το 2005 αποκάλυψε ηλικίες 1.750 και 2.500ΥΒΡ. Άρα το ρήγμα φαίνεται να έχει δραστηριοποιηθεί τελευταία πριν από περίπου δύο χιλιάδες χρόνια (Ζερβοπούλου Α. 2010).

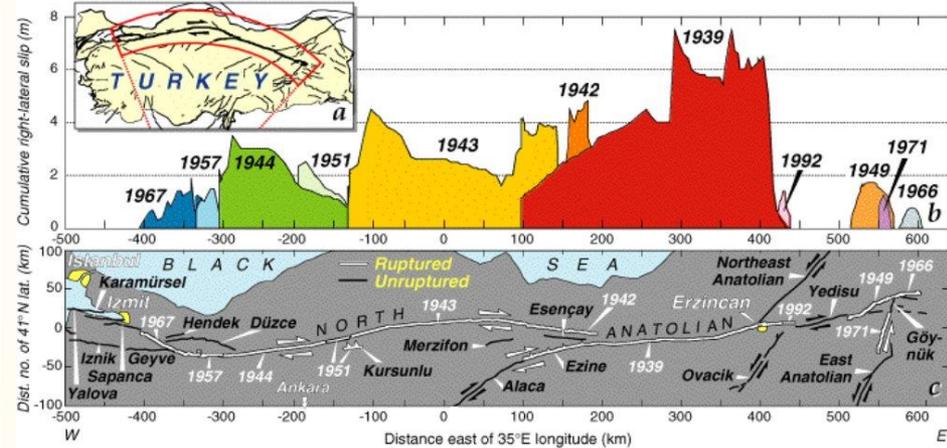
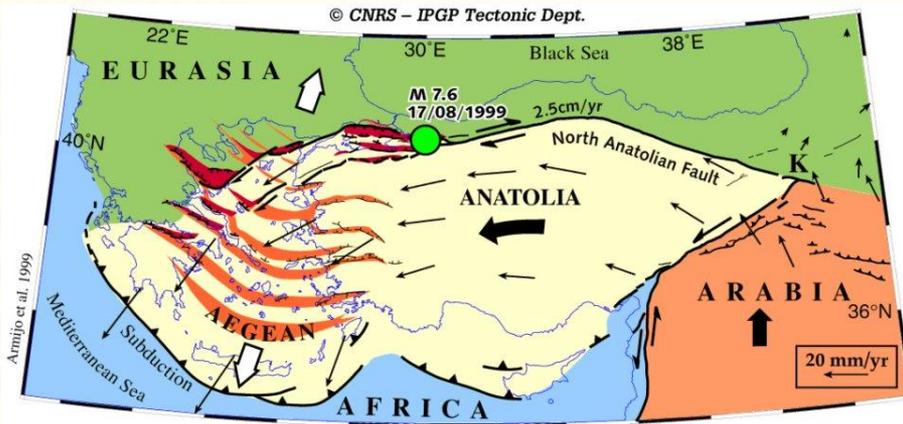




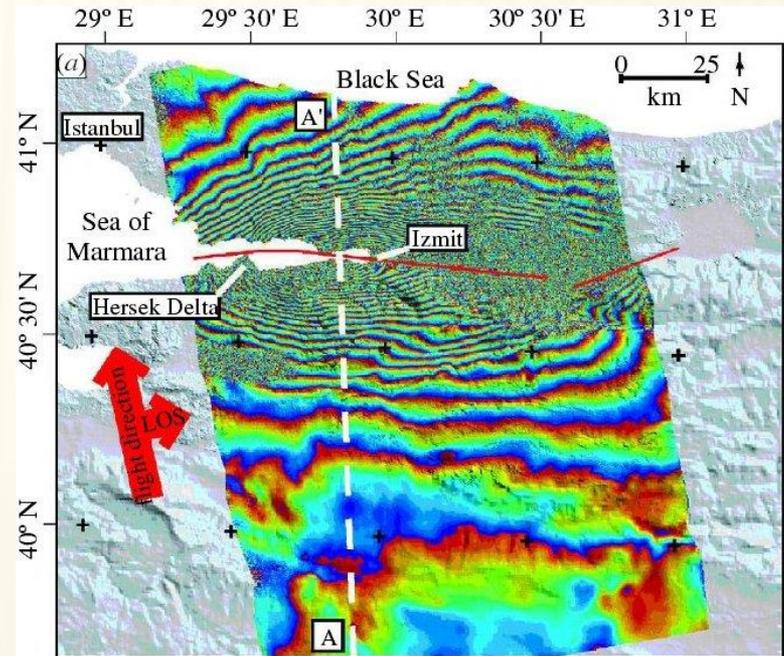
Ενεργό ρήγμα στη θέση Μάγειρα,  
Δήμου Γέρας, Νήσου Λέσβου.



# ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

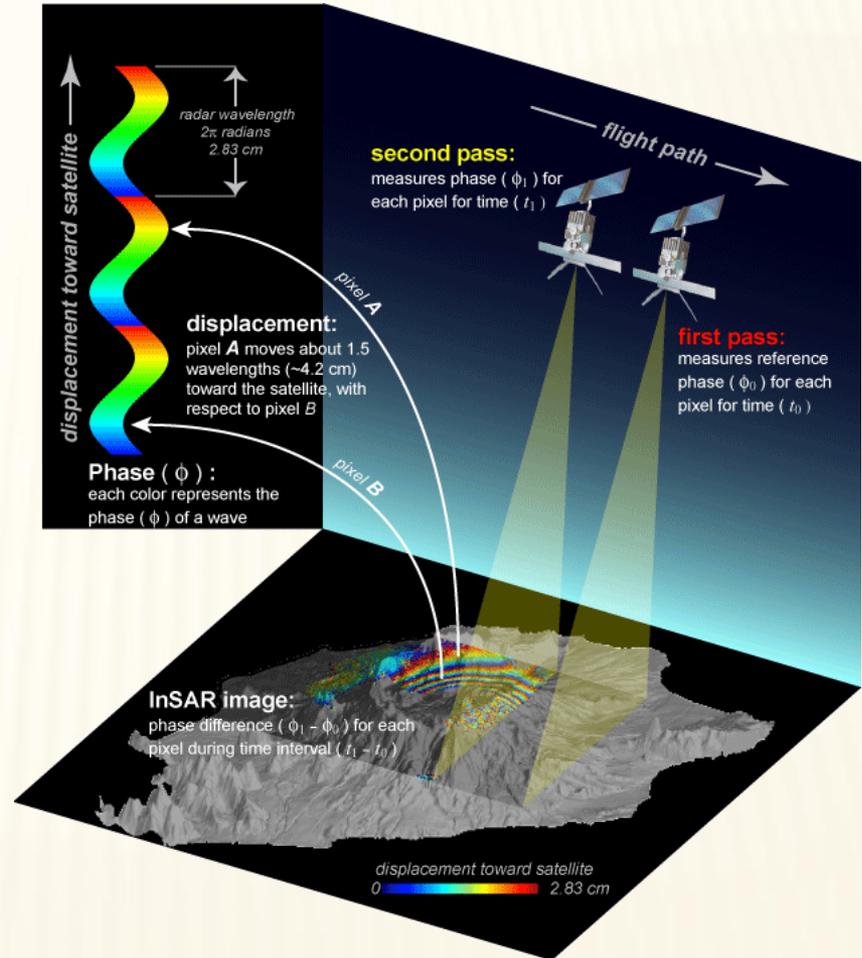


Izmit earthquake on Aug. 17, 1999 (Mag. 7.6)



# INTERFEROMETRY SAR - INSAR

Η συμβολομετρία (Interferometry SAR - InSAR) είναι η τεχνική της τηλεπισκόπησης που εκμεταλλεύεται τη διαφορά φάσεων δύο SAR (Synthetic aperture radar) εικόνων με σκοπό κυρίως τη δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους/Επιφανείας (ΨΜΕ) και θεωρητικά τη μελέτη παραμορφώσεων του εδάφους.



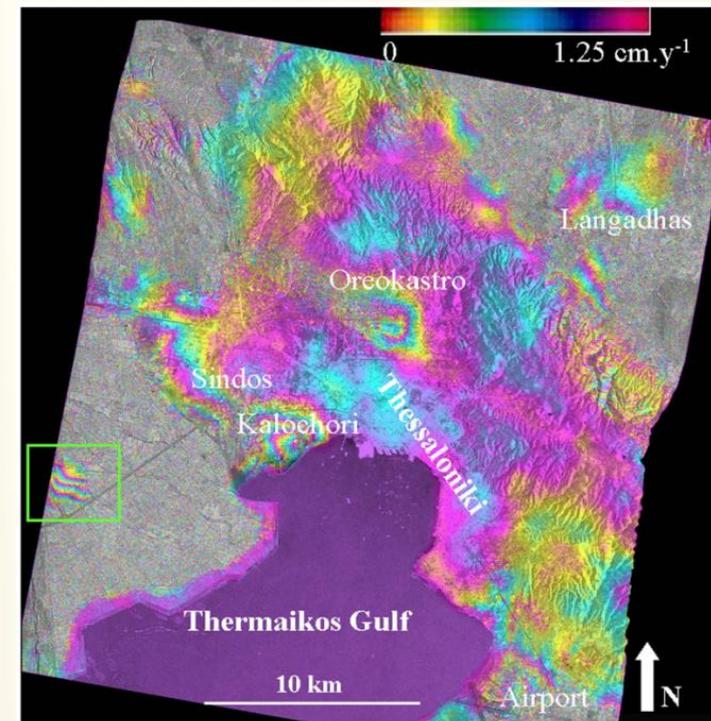
# DIFFERENTIAL SAR INTERFEROMETRY - DINSAR

Η ουσιαστική μελέτη των παραμορφώσεων και μετακινήσεων της επιφανείας του εδάφους, κατέστη δυνατή με την ανάπτυξη των τεχνικών Διαφορικής Συμβολομετρίας SAR (DinSAR) εικόνων.

Σύμφωνα με τις τεχνικές DinSAR, με την επεξεργασία σειράς SAR εικόνων αφαιρείται η φάση που σχετίζεται με την τοπογραφία και παράγεται ένα συμβολόγραμμα που περιλαμβάνει την παραμόρφωση της επιφανείας του εδάφους.

## ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ DINSAR

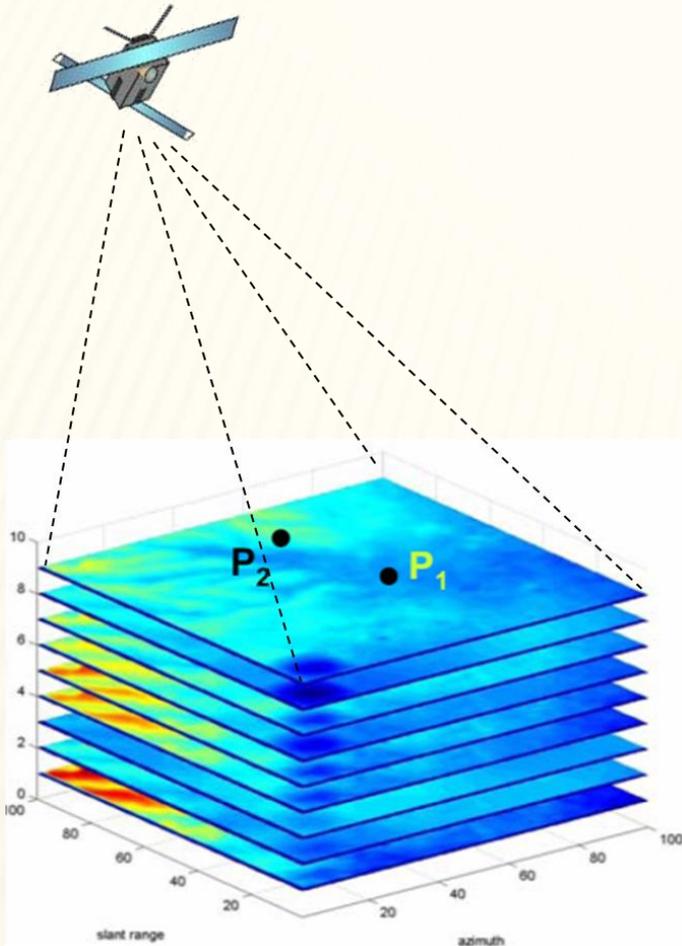
- Persistent Scatterers (PS)
- Small BAseline Subset (SBAS)
- Coherent Point Target Analysis (CPTA)
- Interferometric Point Target Analysis (IPTA)
- Spatio-Temporal Unwrapping Network (STUN)



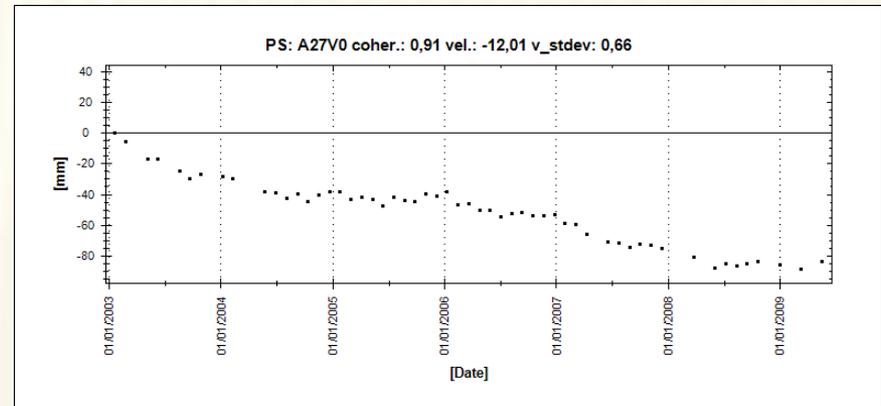
Raucoules et al, 2008,  
Περίοδος : 1992-2000  
Ανάλυση: ERS1 -2 DInSAR & PSInSAR

# ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΚΕΔΑΣΤΩΝ (PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY - PSI)

- Η τεχνική PSI χρησιμοποιεί σειρά από δορυφορικές εικόνες (περισσότερες από 20).
- Αναλύει το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που ανακλάται σε στόχους υψηλής αναγνωσιμότητας προκειμένου να προβεί στις απαραίτητες διορθώσεις.
- Η στατιστική επεξεργασία των διαδοχικών λήψεων επιτρέπει τον υπολογισμό των μετακινήσεων.
- Η σχετική μετακίνηση κατά μήκος της γραμμής θέασης μπορεί να υπολογιστεί με μεγάλη ακρίβεια, μερικά mm/year.



35  
days



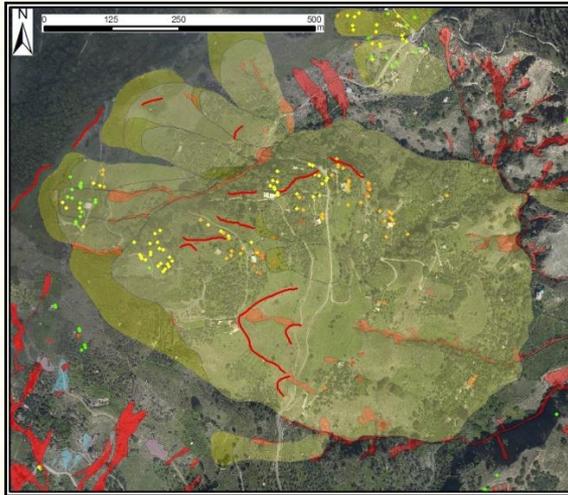
# ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ- ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΕΞΑΣΦΑΛΙΖΟΥΝ ΤΗ ΣΚΕΔΑΣΗ ΤΗΣ ΗΜ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



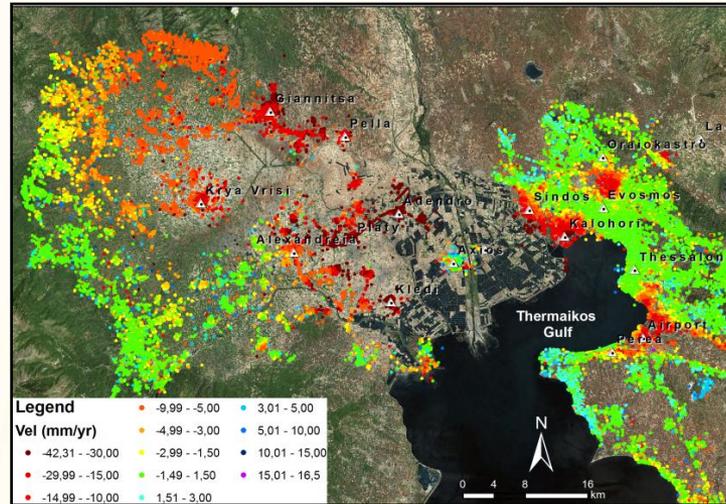
# ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ- ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΣΚΕΔΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΗΜ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



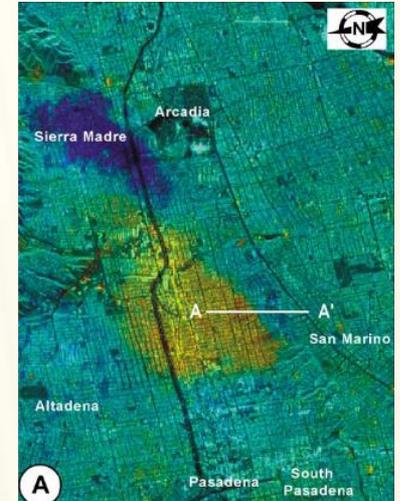
# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΚΕΔΑΣΤΩΝ



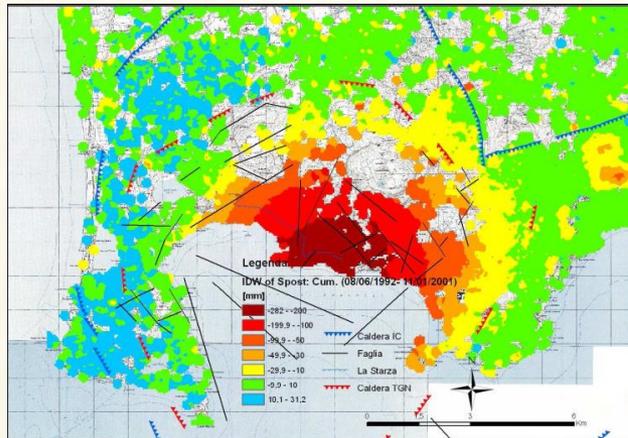
Αργές κατολισθητικές κινήσεις



Εδαφικές υποχωρήσεις



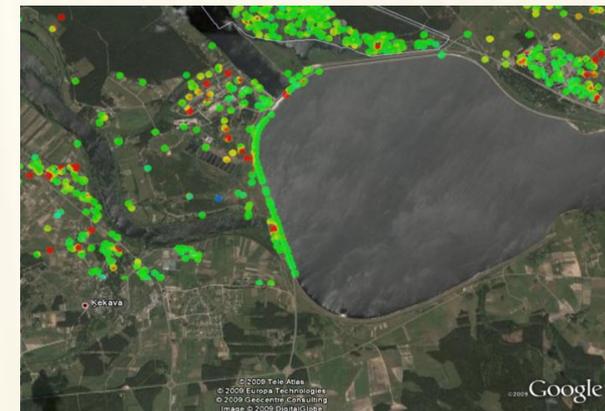
Τεκτονικές - σεισμικές μετακινήσεις



Ηφαιστειακή δραστηριότητα

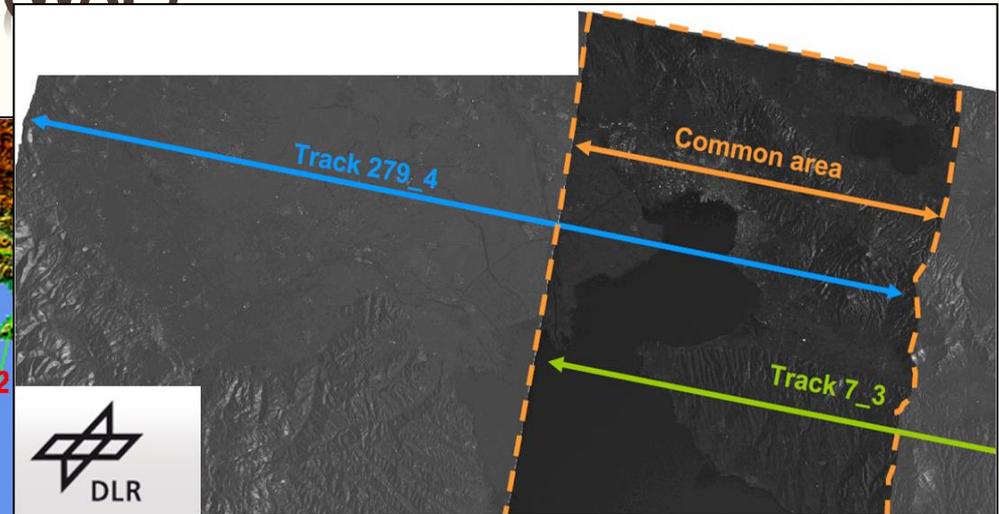
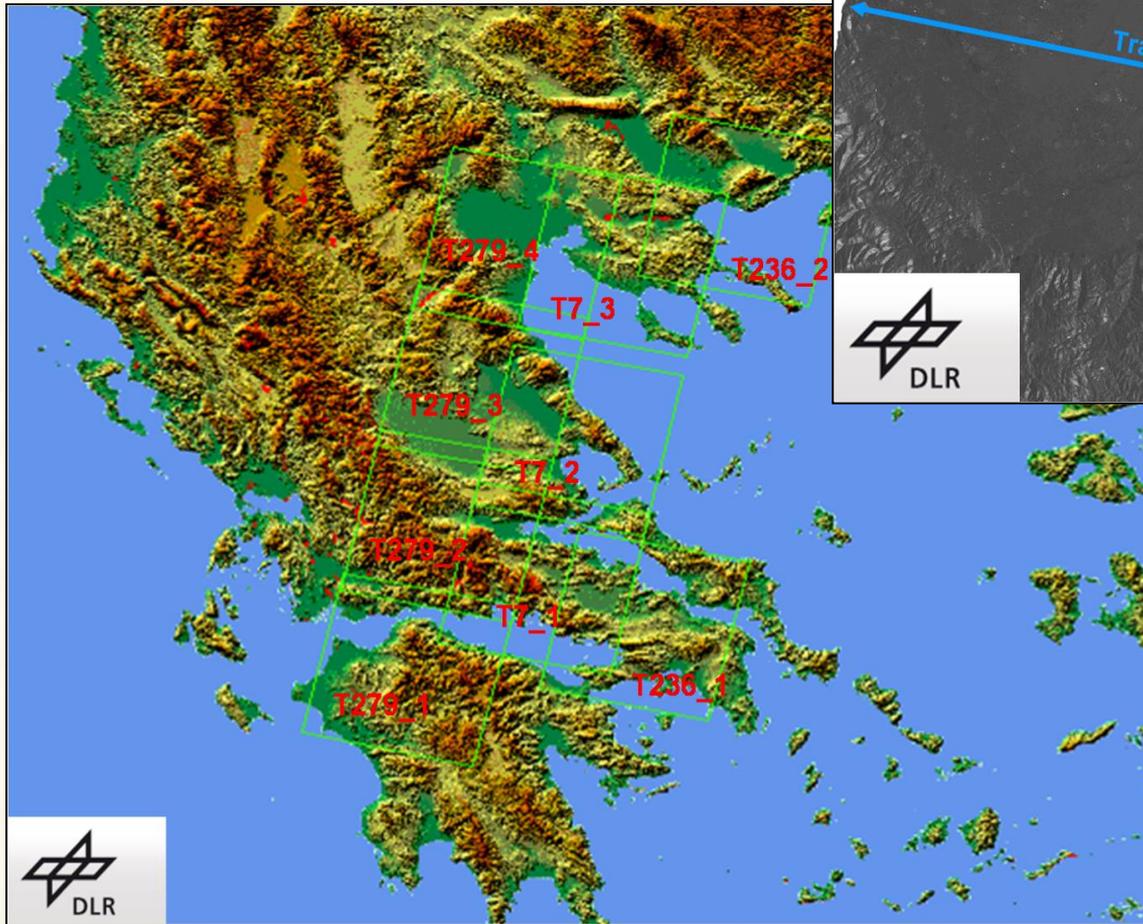


Μετακινήσεις κατασκευών



Ευστάθεια αναχωμάτων

# ESA GMES TERRAFIRMA PROJECT - WIDE AREA PRODUCT (WAP)



Wide area product (WAP) PSI mapping από την German Space Agency (DLR)

Στο πλαίσιο του ESA GMES Terrafirma project (GMES - Global Monitoring for Environment and Security)

# ΔΕΔΟΜΕΝΑ PSI: TRACK 7\_3 ΑΠΟ ΤΟΥΣ ERS, ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΦΟΡΑΣ (DESCENDING)

SAR δεδομένα: ERS1 – ERS2

Περίοδος: 02.05.1992 -  
30.12.2003

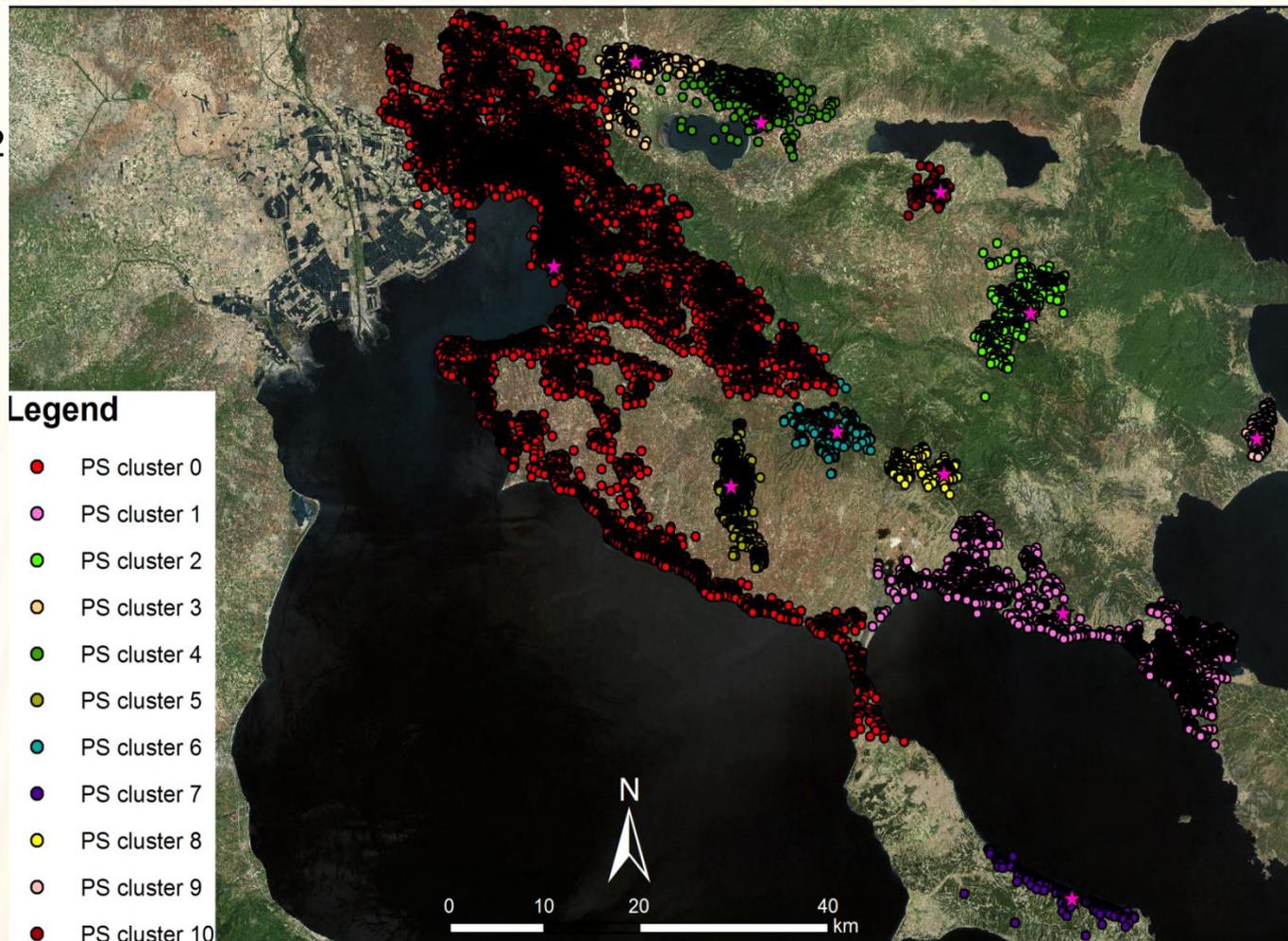
Εικόνα αναφοράς:  
31.12.1996

Αριθμός λήψεων: 63

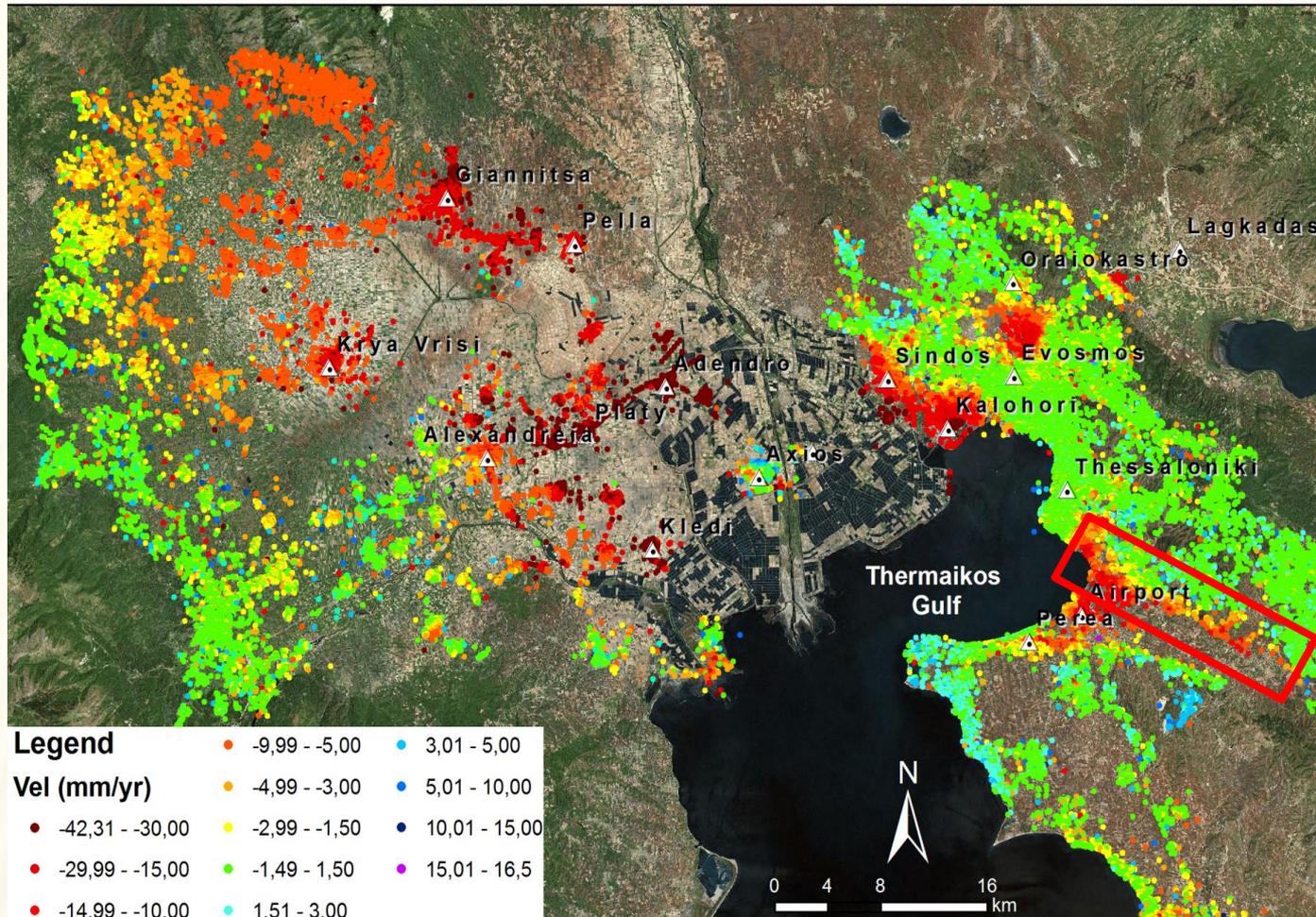
Έκταση: 6.733 km<sup>2</sup>

PS-σημεία: 49.286

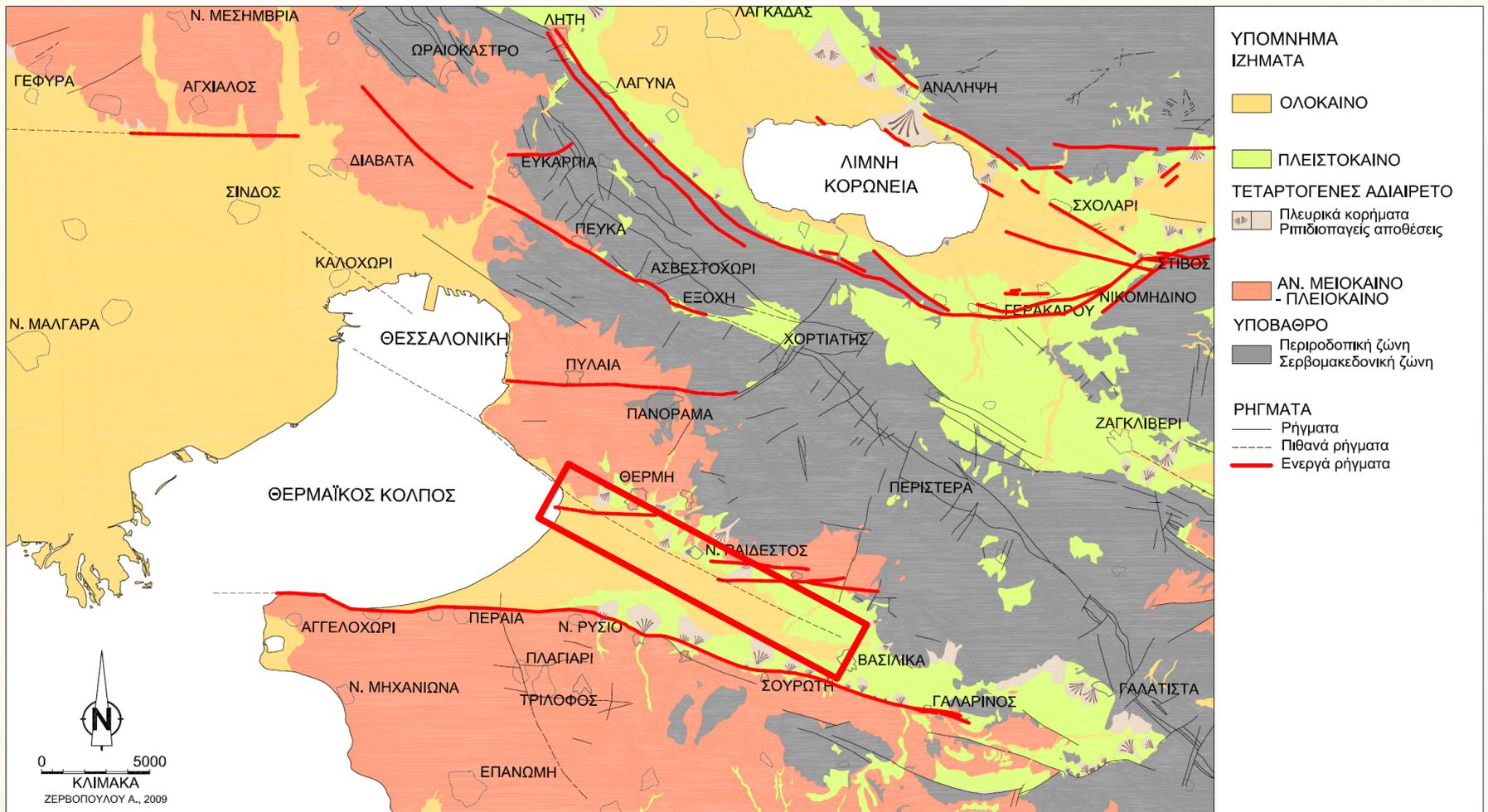
Πυκνότητα: 7,3 PS/km<sup>2</sup>



# ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ PSI ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



Παρέχονται πληροφορίες για τη μέση τιμή του ρυθμού παραμόρφωσης κατά μήκος της γραμμής θέασης. Εντοπίζονται, μεταξύ άλλων, και θέσεις πιθανής τεκτονικής δραστηριότητας.



Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου Α. 2010)

# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥΣ ΔΡΑΣΗ

Τα ρήγματα έχουν ταξινομηθεί από τον Ambraseys (1978) σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Ενεργά ρήγματα:** όταν συνδέονται άμεσα με ισχυρούς σεισμούς (πρόσφατους ή ιστορικούς) ή σεισμικές ακολουθίες αλλά και με μικροσεισμούς, όταν παρουσιάζουν μικρή αλλά συνεχή μετακίνηση, όταν «κόβουν» πρόσφατα ιζήματα ή ηφαιστειακά πετρώματα τεταρτογενούς ηλικίας (κυρίως Ολόκαινου) και όταν είναι συνδεδεμένα με ορισμένους ειδικούς γεωμορφολογικούς σχηματισμούς ή θερμές πηγές.
- **Πιθανά ενεργά ρήγματα:** όταν συνδέονται με μικρό βαθμό συσχέτισης με μεγάλους σεισμούς ή συνηθέστερα μόνο με μικροσεισμούς. Επίσης εκείνα τα ρήγματα για τα οποία δεν υπάρχουν ιστορικές πληροφορίες για σεισμούς και εδαφικές μετακινήσεις, επηρεάζουν νέα ιζήματα, αλλά δε φαίνεται να έχουν επαναδραστηριοποιηθεί στο πολύ πρόσφατο παρελθόν. Τέλος και εκείνα τα ρήγματα, όπου τα νέα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά με τα οποία συνδέονται έχουν διαβρωθεί ή δε διακρίνονται ευκρινώς.
- **γ) Ρήγματα αβέβαια ενεργά:** χαρακτηρίζονται γενικά τα ρήγματα για τα οποία όλα τα παραπάνω κριτήρια δε δίνουν ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας.
- **δ) Αδρανή ή ανενεργά ρήγματα:** χαρακτηρίζονται εκείνα για τα οποία δεν υπάρχουν σεισμολογικές, ιστορικές και γεωλογικές ενδείξεις για επαναδραστηριοποίησή τους στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.

Οι παραπάνω χαρακτηρισμοί δεν είναι απόλυτοι.

# ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΜΕ ΤΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Εμπειρικές σχέσεις μεταξύ μήκους ρήγματος (L) και μεγέθους σεισμού (Ms)

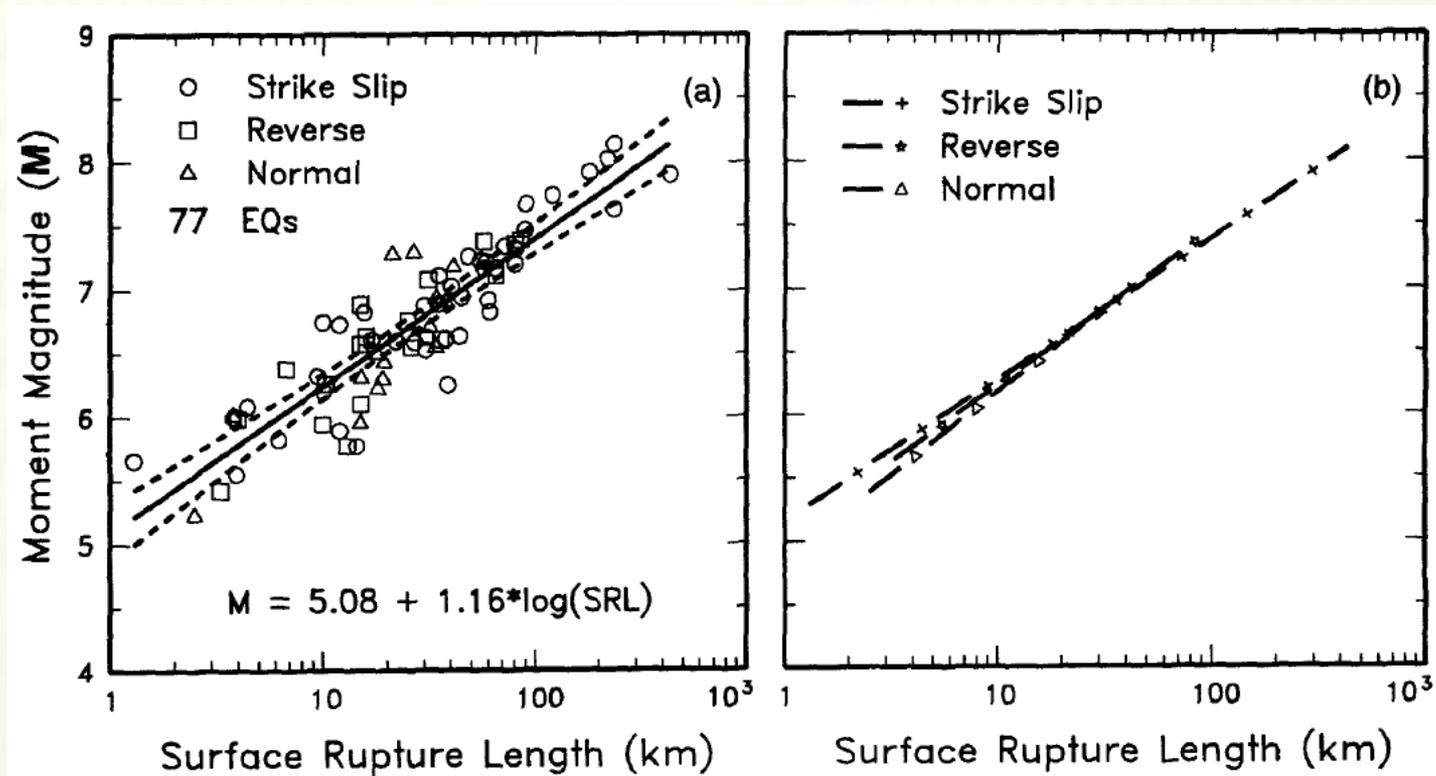
Αναφορά	Εξίσωση
Wyss and Brune (1968)	$ML = 1.9 \log L(\text{cm}) - 6.7$ California-Nevada $M_c = 3-6$
Enescu (1977)	$\log L(\text{cm}) = 0.38 M_s + 3.85$ περιοχή Vrancea $\log S(\text{cm}^2) = 0.76 M_s + 7.42$ Ρουμανία
Ambraseys and Zatopek	$M_s = 0.88 \log L(\text{km}) + 5.62$ Τουρκία $M_s = 5.8-8.0$
Bollinger (1968)	$M_s = 0.79 \log L(\text{km}) + 6.04$ $M_s = 5-8$
King and Knopoff (1968, 1969)	$\log(LD_2) = 2.24 M_s - 4.99$ $M_s = 5.5-8.5$ L(cm) $\log(LD) = 1.70 M_s - 3.47$ D(cm)max
Chinnery (1969)	$M_s = 0.57 \log(LD_2) + 0.84$ $M_s = 3-8$ L(cm) $M_s = 1.04 \log D + 4.96$ D(cm) W(cm) $M_s = 0.79 \log(LDW) - 4.74$ Strike slip
Housner (1970)	$\log L(\text{Km}) = 0.43 M_s - 1.54$ $M_s < 6.4$ $\log L(\text{Km}) = 0.87 M_s - 4.45$ $M_s > 6.4$
Schick (1970)	$M_s = 2 \log L(\text{Km}) + 3.5$ Γερμανία
Shebalin (1971)	$\log L(\text{Km}) = 0.5 M_s - 1.8$ $\log W(\text{Km}) = 0.3 M_s - 0.25$ logh -0.5
Ozawa (1972)	$M_s = 0.76 \log L(\text{Km}) + 6.35$ Kyoto, Ιαπωνία
Douglas and Ryall (1975)	$\log L(\text{Km}) = 0.395 M_s - 1.454$ $M_s < 6.4$ Nevada $\log L(\text{Km}) = 0.9 M_s - 4.673$ $M_s > 6.4$
Matsuda (1975)	$\log D(\text{m}) = 0.6 M_s - 4.0$ Ιαπωνία $\log L(\text{Km}) = 0.6 M_s - 2.9$
McKeown (1975)	$\log L(\text{cm}) = 0.56 M_c + 2.73$ Nevada
Nikonov (1975)	$M_s = 0.97 \log L(\text{Km}) + 6.3$ Ασία $M_s = 6-8.5$ $M_s = 0.9 \log D(\text{cm}) + 5.43$

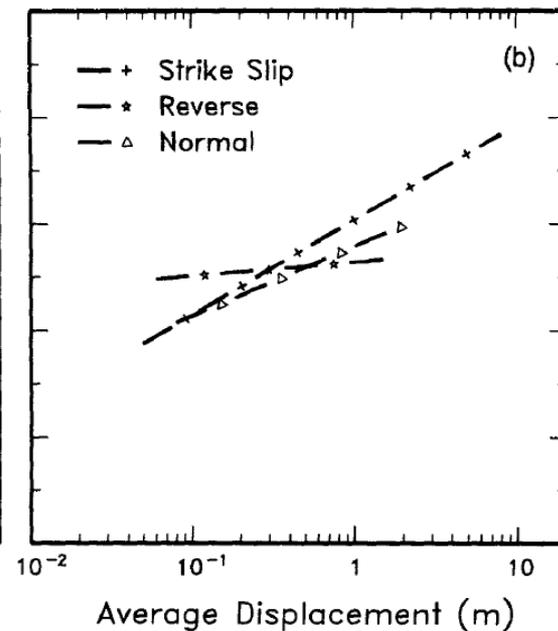
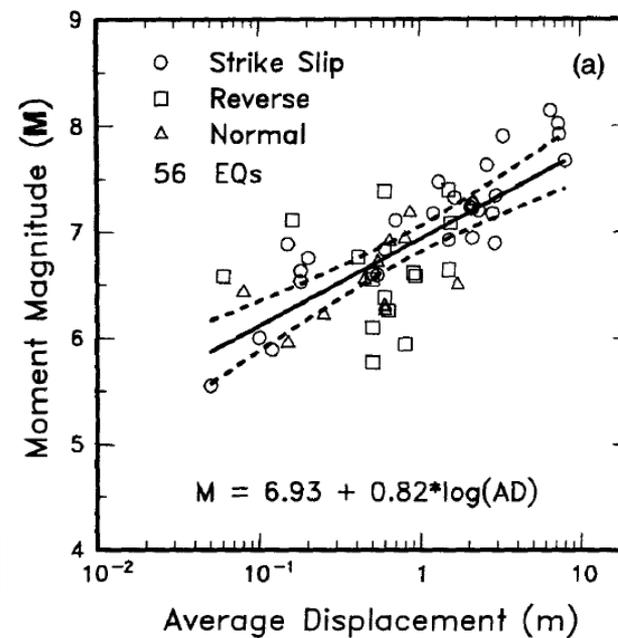
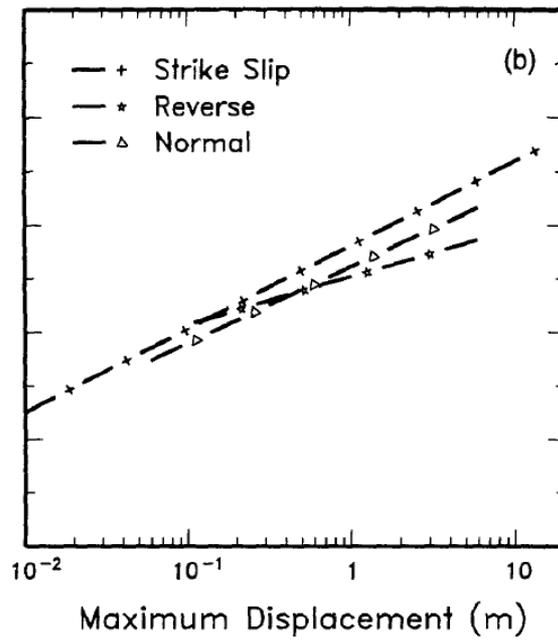
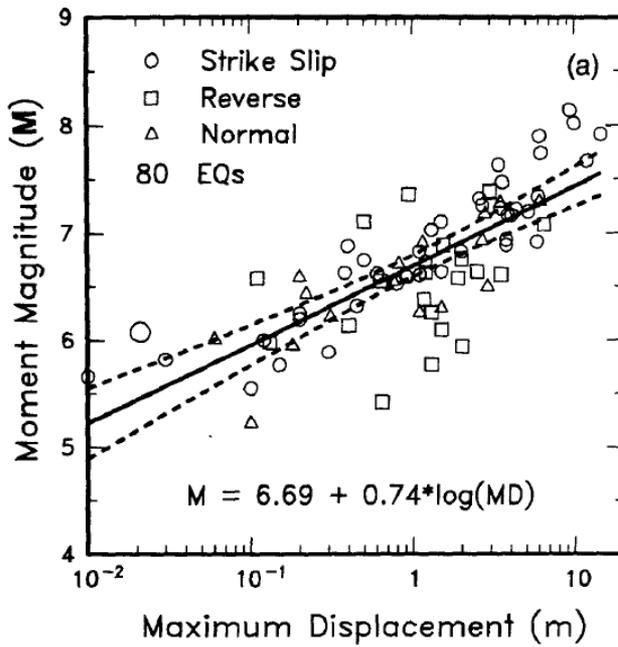
Patwardham et al. (1975)	$\log L(\text{Km}) = (M_s - 2.88) / 2.7$ $M_s < 6.4$ $\log L(\text{Km}) = (M_s - 5.13) / 1.11$ $M_s > 6.0$
Drimmel (1979)	$M_s = 2 \log L(\text{Km}) + 1.7$ Alps $M_s < 7$
Wyss (1979)	$M_s = \log LW(\text{Km}^2) + 4.15$ $M_s > 5.6$
Kiratzi et al. (1985)	$\log L(\text{Km}) = 0.61 M_s - 2.55$ για Ελλάδα και για σεισμούς $5.8 < M_s < 7.5$
Pavlidis et al. 2000	$M_s = 0.6 \log L + 5.89$ Αιγαίο για σεισμούς $6 < M_s < 7.0$

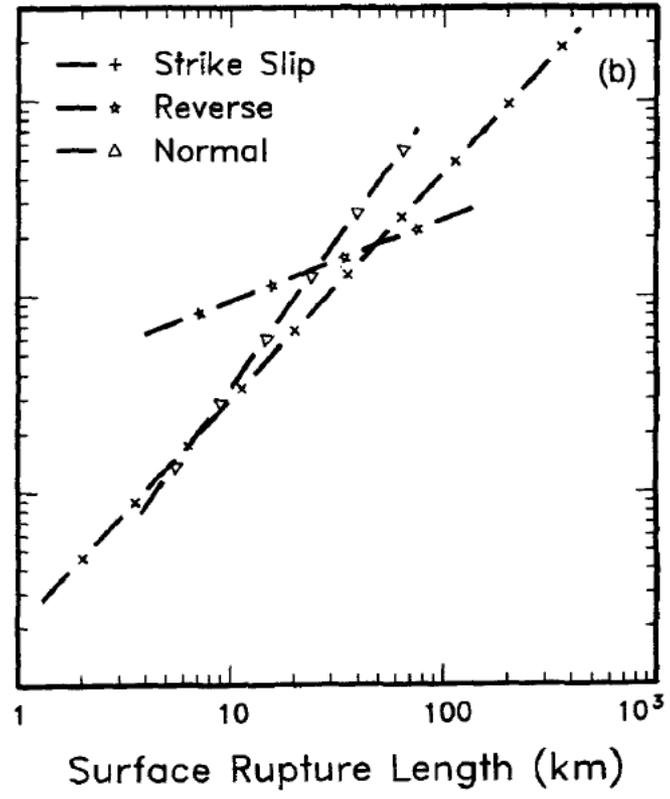
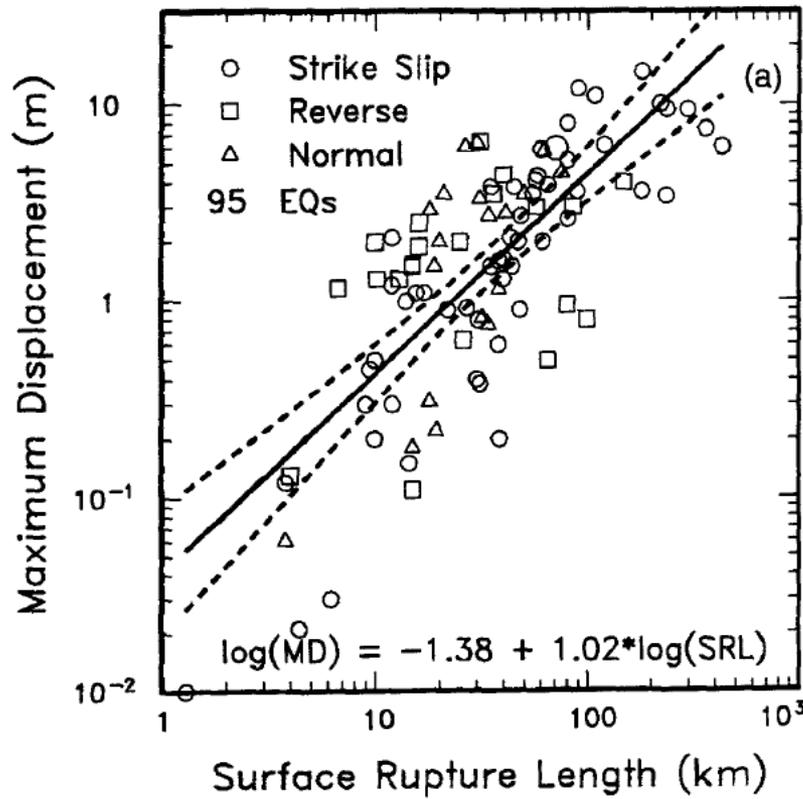
# Εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας

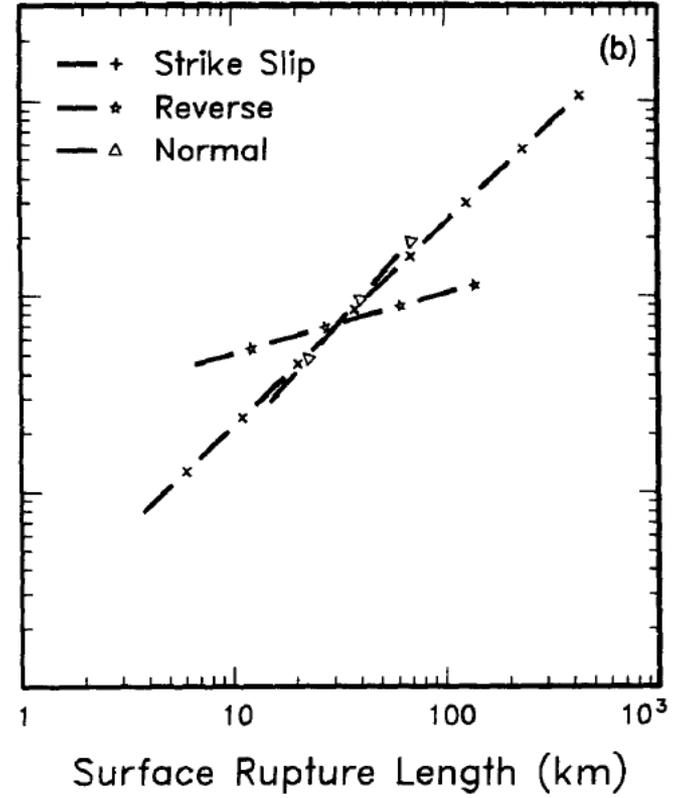
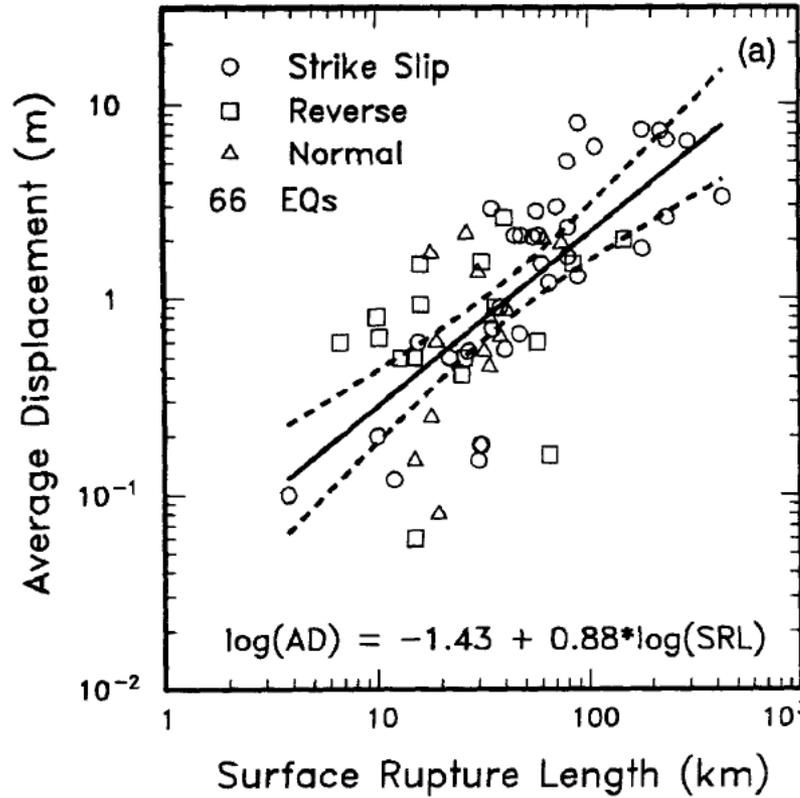
Wells & Coppersmith (1994)	Ambraseys & Jackson (1998)	Pavlidis & Caputo (2004)	Papazachos et al. (2004)
Κανονικά ρήγματα Παγκόσμια δεδομένα	Κανονικά ρήγματα Ανατολική Μεσόγειος	Κανονικά ρήγματα Ευρύτερη περιοχή Αιγαίου	Κανονικά ρήγματα Παγκόσμια δεδομένα
$M_w = 4.86 + 1.32 \log(\text{SRL})$	$M_s = 5.13 + 1.14 \log(L)$	$M_s = 0.9 \log(\text{SRL}) + 5.48$	$\log(L) = 0.50M - 1.86$
$\log(\text{MD}) = -5.9 + 0.89 * M_w$		$M_s = 0.59 \log(\text{MVD}) + 6.75$	$\log \text{MD} = 0.72M - 2.82$
$\log(\text{AD}) = -4.45 + 0.63 * M_w$			

Μέγιστο επιφανειακό μέγεθος σεισμού ( $M_{\max}$ ), Maximum Displacement (MD), Maximum Vertical Displacement (MVD), Average Displacement (AD), Μήκος Ρήγματος (L)









# ΠΤΥΧΟΓΟΝΟΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η πτυχογόνος τεκτονική ασχολείται με τη μελέτη των πτυχών. Οι πτυχές είναι κυρτώσεις των αρχικών μορφών των γεωλογικών σχηματισμών, χωρίς να επέλθει, σε γενικές γραμμές, ρήξη της συνέχειάς τους. Οι πτυχές προκαλούνται από την άσκηση **συμπιεστικών τάσεων**.

Οι πτυχωσιγενείς δομές είναι στενά συνδεδεμένες με ορογενετικές κινήσεις. Για το λόγο αυτό συχνά, ο όρος «πτύχωση» χρησιμοποιείται με την ευρύτερη έννοια, για τον χαρακτηρισμό μεγάλων ορογενετικών περιόδων, π.χ. Αλπική πτύχωση.



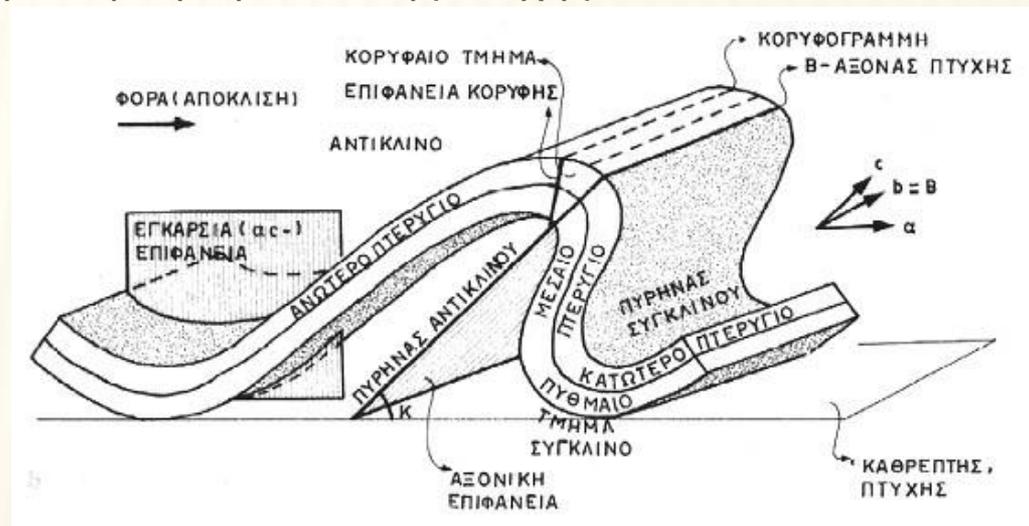
Γεωπάρκο του Maestrazgo στην νότια Ισπανία.  
Πτυχωσιγενείς δομές, τμήμα των Πυρηναίων.



Provincia di Errachidia - Marocco

# ΚΥΡΙΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΤΥΧΗΣ

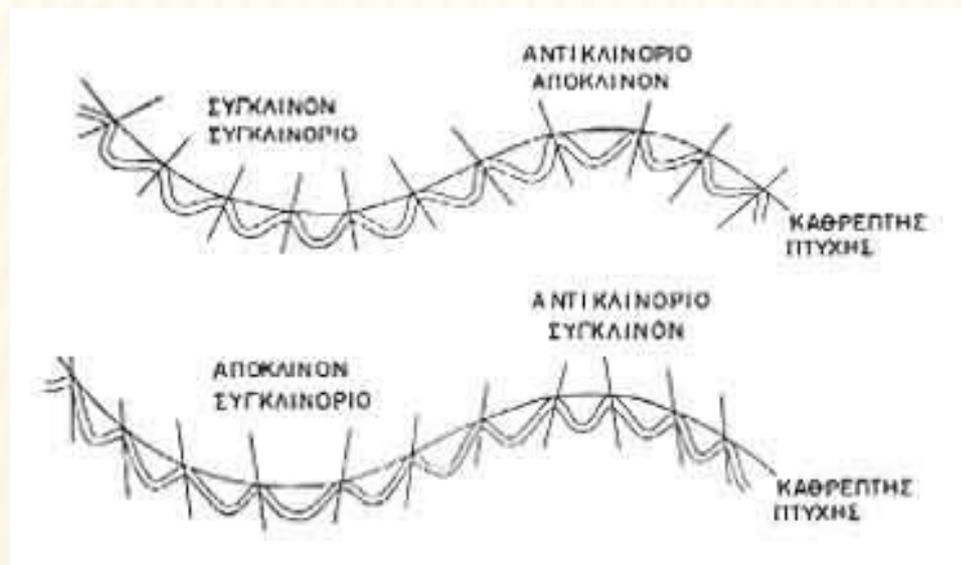
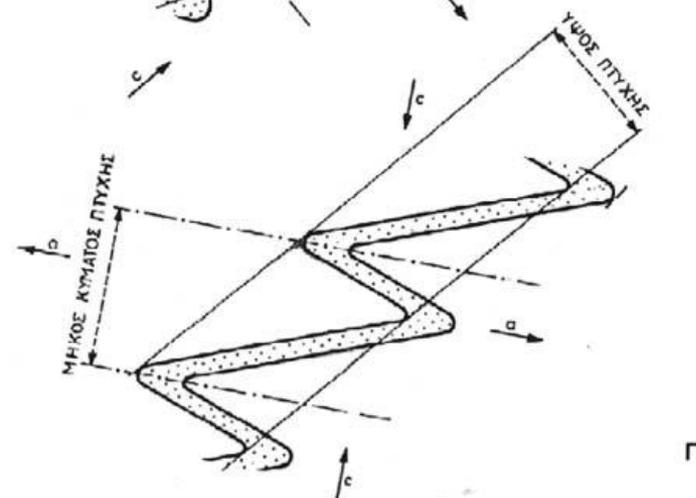
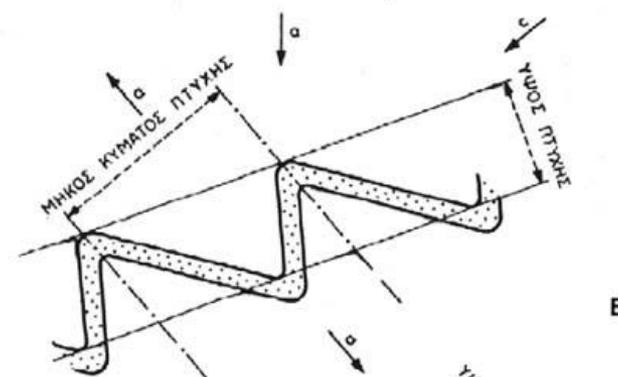
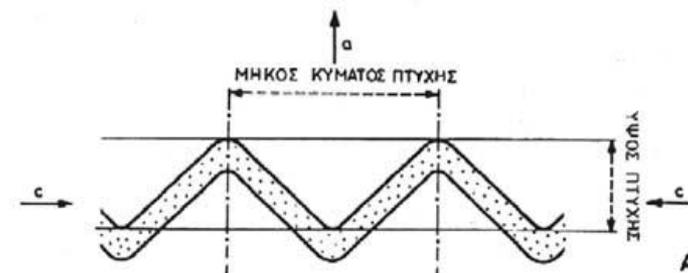
- **Αντίκλινο** είναι το μέρος εκείνο της πτυχής που κυρτώνεται προς τα πάνω, ενώ αντίθετα η κάμψη της πτυχής προς τα κάτω χαρακτηρίζεται ως **σύγκλινο**.
- Ο **πυρήνας του αντικλίνου** είναι το εσωτερικό μέρος του αντικλίνου και περιέχει τα παλαιότερης ηλικίας πετρώματα, ενώ αντίθετα ο **πυρήνας του σύγκλινου** περιέχει τα νεότερης ηλικίας πετρώματα.
- Ως **άξονας πτυχής** (B-άξονας) χαρακτηρίζεται η γραμμή που συνδέει τα σημεία των ισχυρότερων κάμψεων των σχηματισμών ή στρωμάτων της πτυχής.
- **Αξονική επιφάνεια** πτυχής είναι το νοητό επίπεδο που ορίζεται ή που διέρχεται από τους B-άξονες των επαλλήλων στρωμάτων μιας πτυχής.
- **Γωνία ανοίγματος** ( $\delta$ ) της πτυχής είναι η γωνία που σχηματίζουν οι δυο πτέρυγες της πτυχής.



➤ «Καθρέπτης» πτυχής χαρακτηρίζεται η νοητή ευθεία που εφάπτεται ή ενώνει τα αντίκλινα ή τα σύγκλινα μιας ομάδας διαδοχικών πτυχών.

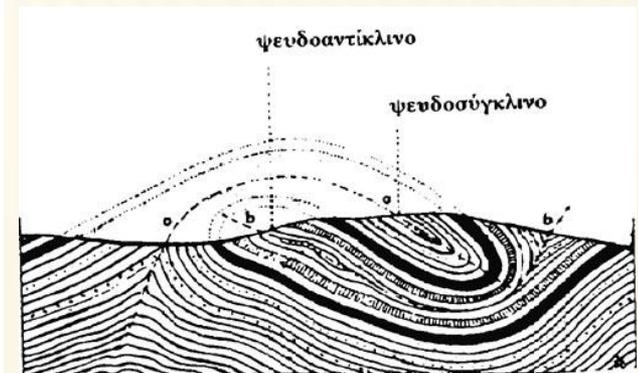
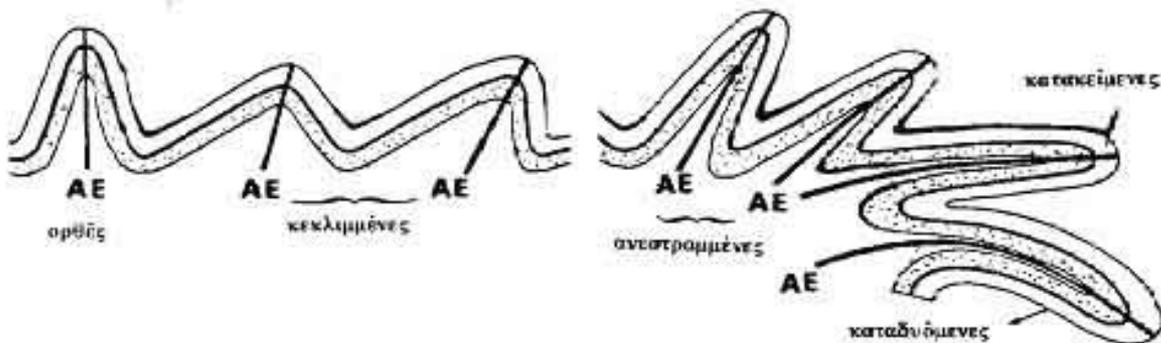
➤ Γωνία κλίσης πτυχής ( $\kappa$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται από το αξονικό επίπεδο και τον καθρέπτη της πτυχής.

➤ Οι γραμμές του καθρέπτη, ενός συστήματος πτυχών είναι δυνατόν πολλές φορές να διαγράφουν κεκαμμένη τροχιά, οπότε δημιουργούνται ανάλογα, οι μεγαδομές του **αντικλινόριου** και του **συγκλινόριου**



# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΤΥΧΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

- **Ορθές πτυχές.** Με κατακόρυφη αξονική επιφάνεια.
- **Κεκλιμένες πτυχές.** Με αξονική επιφάνεια που τοποθετείται με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ενώ οι πτέρυγές τους εμφανίζονται με αντίρροπη διεύθυνση κλίσης. Διακρίνονται σε **ελαφρά κεκλιμένες** και **ισχυρά κεκλιμένες πτυχές** ανάλογα αν οι γωνίες των αξονικών τους επιφανειών με το οριζόντιο επίπεδο είναι μικρές ή μεγάλες.
- **Ανεστραμμένες πτυχές.** Οι αξονικές επιφάνειες είναι κεκλιμένες και οι πτέρυγές τους παρουσιάζονται με ομόρροπη διεύθυνση κλίσης, με διαφορετική όμως γωνία κλίσης.
- **Κατακείμενες πτυχές.** Η αξονική τους επιφάνεια τοποθετείται οριζόντια.
- **Καταδύόμενες πτυχές.** Παρατηρείται κατάδυση της αξονικής τους επιφάνειας και του αντικλίνου τους κάτω από το οριζόντιο επίπεδο. Με τις πτυχές αυτές είναι στενά συνδεδεμένη η δημιουργία των διαβρωσιγενών **ψευδοαντικλίνων** και των **ψευδοσυγκλίνων**.



# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ταξινόμηση ανάλογα με τη σχέση των διαστάσεων των περύγων τους .

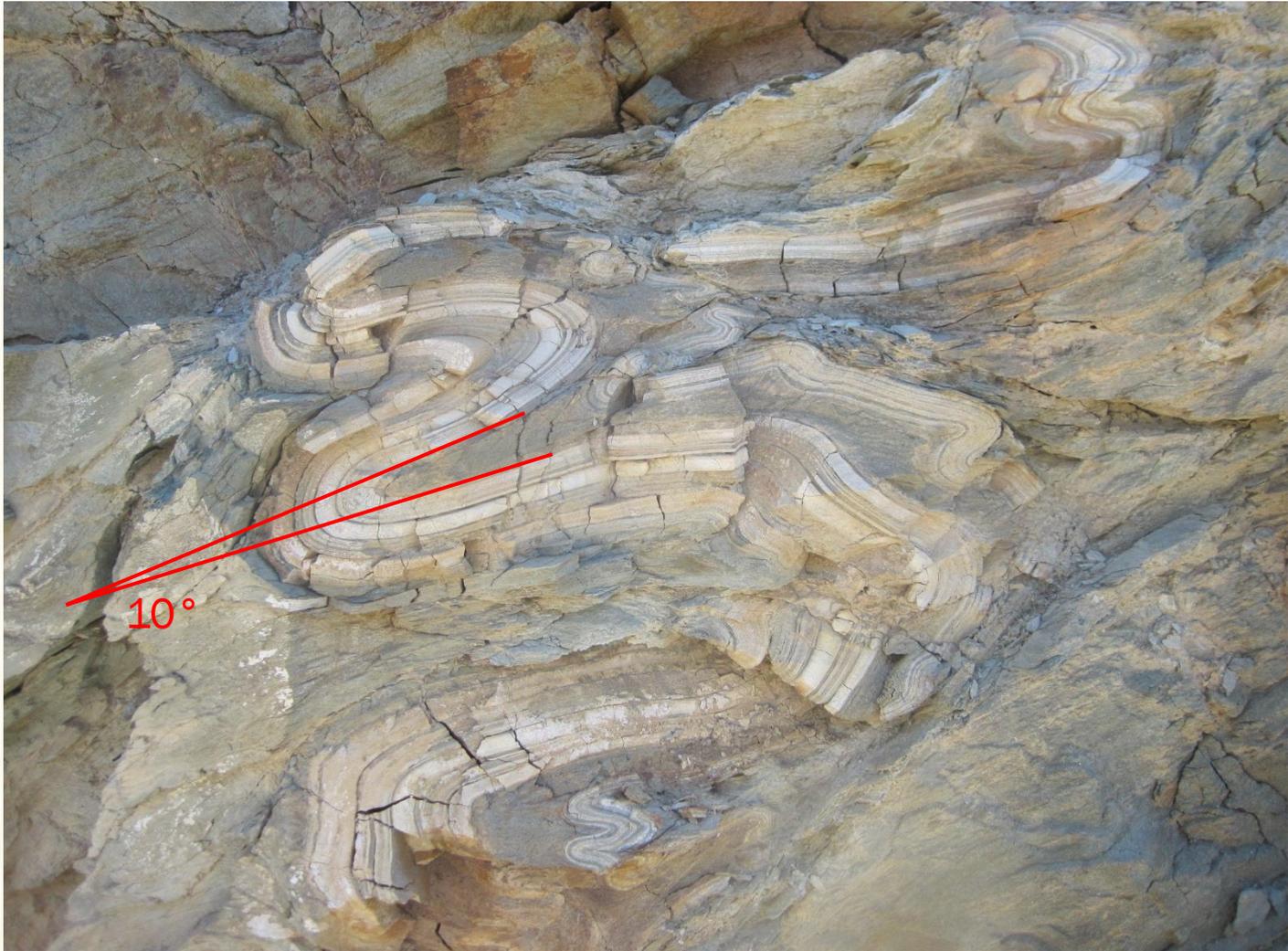
- **Συμμετρικές** : οι πτέρυγές τους εμφανίζονται με την ίδια διάσταση. Τις περισσότερες φορές εμφανίζεται ως ορθές.
- **Ασύμμετρες** : οι πτυχές με διαφορετικό μέγεθος περύγων. Συνήθως είναι κεκλιμένες.

Ταξινόμηση με βάση τη σχέση του πάχους των περύγων τους .

- **Ισοπαχείς** χαρακτηρίζονται οι πτυχές με το ίδιο πάχος περύγων. Εμφανίζονται συνήθως συμμετρικές.
- **Ανισοπαχείς** εμφανίζονται με διαφορετικό το πάχος των περύγων τους. Σχεδόν πάντα είναι ασύμμετρες.

Ταξινόμηση ανάλογα με τη γωνία ανοίγματος

- **Κλειστές ή σφιχτές**, όταν η γωνία ανοίγματος πτυχής είναι σε γενικές γραμμές μικρότερη από  $45^\circ$  (από  $45^\circ$  μέχρι και θεωρητικά  $0^\circ$ ).
- **Ανοιχτές**, όταν η γωνία ανοίγματος πτυχής είναι μεγαλύτερη από  $45^\circ$ .
- **Ισοκλινείς** χαρακτηρίζονται οι πτυχές με πολύ μικρή γωνία ανοίγματος (από  $20^\circ$  και μικρότερη) και των οποίων οι πτέρυγες πλησιάζουν να γίνουν παράλληλες. Η δημιουργία των πτυχών αυτών προϋποθέτει ισχυρή τεκτονική καταπόνηση του αντίστοιχου γεωλογικού σχηματισμού που πτυχώνεται. Ισοκλινείς πτυχές είναι αρκετά διαδεδομένες στο αλπικό ορογενές και ως εκ τούτου και στον Ελληνικό χώρο.



Πτυχές κατακείμενες, ασύμμετρες , ισοπαχείς, ισοκλινείς.  
Σχιστόλιθος, Άνδρος.

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ

- Διαμόρφωση απότομης μορφολογίας στο περιβάλλον του έργου.
- Κατακερματισμός της βραχομάζας.
- Ανάπτυξη εγκοίλων κατά μήκος των ασυνεχειών.
- Συγκέντρωση τάσεων εξαιτίας της ενεργού τεκτονικής.
- Εκδήλωση μετακινήσεων λόγω ενεργού τεκτονικής.
- Διατάραξη της “ομαλότητας” της γεωλογικής δομής του περιβάλλοντος διάνοιξης.

# ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

---

# Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski ή Γεωμηχανική ταξινόμηση ή Ταξινόμηση RMR (Rock Mass Rating)

Οι παράμετροι που εξετάζονται στο σύστημα ταξινόμησης του Bieniawski (1989):

1. Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος.
2. Ο δείκτης ποιότητας βραχομάζας RQD.
3. Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών.
4. Η κατάσταση των ασυνεχειών.
5. Το υπόγειο νερό.

Έμμεση Αποτύπωση  
της τεκτονικής  
καταπόνησης

Α. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ									
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ			ΠΕΔΙΟ ΤΙΜΩΝ						
1	Αντοχή πετρώματος $\sigma$	Δείκτης σημειακής φόρτισης	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Προτιμάται η δοκιμή μονοαξονικής αντοχής		
		Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Βαθμοί		15	12	7	4	2	1	0
2	Ποιότητα πετρώματος RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %		
	Βαθμοί		20	17	13	8	3		
3	Απόσταση ασυνχειών		>2 m	0.6-2.0 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Βαθμοί		20	15	10	8	5		
4	Κατάσταση ασυνχειών (σύμφωνα με τον πίνακα Ε)		πολύ τραχείες επιφάνειες, ασυνχείς, χωρίς διαχωρισμό, υγιή τοιχώματα	ελαφρά τραχείες επιφάνειες, διαχωρισμός <1mm, ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα	ελαφρά τραχείες επιφάνειες, διαχωρισμός <1mm, πολύ αποσαθρωμένα τοιχώματα	επιφάνειες ολίσθησης ή υλικό πλήρωσης <5mm διαχωρισμός 1-5mm συνεχείς	Μαλακό υλικό πλήρωσης >5mm ή Διαχωρισμός >5mm, συνεχείς		
	Βαθμοί		30	25	20	10	0		
5	Υπόγειο νερό	Εισροή ανά 10m μήκος σήραγγας (lit/min)	καμία	<10	10-25	25-125	>125		
		Λόγος πίεσης νερού διακλάσεων προς μέγιστη κύρια τάση $\sigma_{max}$	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Γενικές συνθήκες υγρασίας	ξηρό	ύφυγρο	υγρό	στάγδην	ροή		
	Βαθμοί		15	10	7	4	0		

**Ε. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ**

Μήκος ασυνεχειών	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m
Βαθμοί	6	4	2	1	0
Εύρος ασυνεχειών	Κανένα	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5mm
Βαθμοί	6	5	4	1	0
Τραχύτητα	Πολύ τραχείες	Τραχείες	Ελαφρά τραχείες	Λείες	Κατοπτρικές
Βαθμοί	6	5	3	1	0
Υλικό πλήρωσης	Κανένα	Σκληρό < 5 mm	Σκληρό > 5 mm	Μαλακό < 5mm	Μαλακό > 5 mm
Βαθμοί	6	4	2	2	0
Αποσάθρωση	Υγιές	Ελαφρά αποσαθρ.	Μέτρια αποσαθρ.	Τελείως αποσαθρ.	Υπολ/ικό έδαφος
Βαθμοί	6	5	3	1	0

**Φ. ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ (Wickham et al., 1972)**

Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας				Παράταξη παράλληλη με τον άξονα της σήραγγας		Ανεξάρτητα από την παράταξη των ασυνεχειών
Διάνοιξη σύμφωνα με την κλίση		Διάνοιξη αντίθετα με την κλίση				
Κλίση 45° - 90°	Κλίση 20° - 45°	Κλίση 45° - 90°	Κλίση 20° - 45°	Κλίση 45° - 90°	Κλίση 20° - 45°	Κλίση 0° - 20°
Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής	Μέτρια	Δυσμενής

**B. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (σύμφωνα με τον πίνακα F)**

Παράταξη και κλίση Διακλάσεων		Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Β α θ μ ο ί	Σήραγγες & ορυχεία	0	-2	-5	-10	-12
	Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
	Πρανή	0	-5	-25	-50	-60

**C. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ**

Βαθμοί RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Κατάταξη	I	II	III	IV	V
Χαρακτηρισμός	πολύ καλή	καλή	μέτρια	πτωχή	πολύ πτωχή

**D. ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ**

Κατάταξη	I	II	III	IV	V
Μέσος χρόνος αυτοϋποστήριξης	20 yr για D=15 m	1 yr για D=10 m	1 w για D=5 m	10 h για D=2.5 m	30 min για D=1 m
Συνοχή (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Γωνία τριβής (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

**Δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη η συγκέντρωση τάσεων εξαιτίας της τεκτονικής καταπόνηση. Λαμβάνεται υπόψη έμμεσα μόνο ο κατακερματισμός της βραχόμαζας και ο προσανατολισμός των τεκτονικών δομών.**

# Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας των Barton, Lien και Laude (1974) ή Ταξινόμηση του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου (NGI)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Έμμεση Αποτύπωση  
της τεκτονικής  
καταπόνησης

A. Ο λόγος  $RQD/J_n$  εξετάζει το μέγεθος των τεμαχίων που δομούν τη βραχομάζα.

$J_n$ : εξαρτάται από τον αριθμό των οικογενειών των ασυνεχειών.

B. Ο λόγος  $J_r/J_a$  εξετάζει την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι επιφάνειες των ασυνεχειών.

$J_r$ : εξετάζει την τραχύτητα που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών.

$J_a$ : εξετάζει το βαθμό αποσάθρωσης που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών.

Γ. Ο λόγος  $J_w/SRF$  περιγράφει το τασικό πεδίο που κατανέμεται γύρω από την εκσκαφή.

$J_w$ : εξετάζει την επίδραση του υπόγειου νερού στο τασικό πεδίο που αναπτύσσεται γύρω από την υπόγεια εκσκαφή.

$SRF$ : εξετάζει την τασική κατάσταση που επικρατεί γύρω από την υπόγεια εκσκαφή.

Έμμεση  
Αποτύπωση  
του πεδίου  
των τάσεων

<b>1. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (RQD)</b>	<b>RQD</b>
A. Πολύ πτωχή	0 – 25
B. Πτωχή	25 – 50
C. Μέτρια	50 – 75
D. Καλή	75 – 90
E. Άριστη	90 – 100

\* Όταν  $0 \leq RQD \leq 10$  τότε χρησιμοποιείται τιμή  $RQD = 10$  για τον υπολογισμό του Q

\*\* Διαφορές της τάξης του 5 (  $RQD = 90,95,100$  κ.α.) είναι επαρκώς ακριβείς.

<b>2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ</b>	<b>Jn</b>
A. Συμπαγής βράχος με λίγες ή χωρίς διακλάσεις	0.5 – 1.0
B. Ένα σύστημα διακλάσεων	2.0
C. Ένα σύστημα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες	3.0
D. Δύο συστήματα διακλάσεων	4.0
E. Δύο συστήματα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες	6.0
F. Τρία συστήματα διακλάσεων	9.0
G. Τρία συστήματα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες	12.0
H. Τέσσερα ή περισσότερα συστήματα διακλάσεων τυχαίου προσανατολισμού, ισχυρά διακλασμένο, <<κύβοι ζάχαρης>>, κλπ.	15.0
J. Κονιορτοποιημένο πέτρωμα με μορφή εδαφικού σχηματισμού.	20.0

• Για διασταυρώσεις χρησιμοποιείται 3.0 Jn

\*\* Για εισόδους χρησιμοποιείται 2.0 Jn.

### 3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ

Jr

(α) Τοιχώματα βράχων σε επαφή.

(β) Τοιχώματα βράχων σε επαφή πριν από διάτμηση 10 cm.

A. Ασυνεχείς διακλάσεις	4.0
B. Τραχείες ή ακανόνιστες κυματοειδείς διακλάσεις	3.0
C. Λείες, κυματοειδείς διακλάσεις	2.0
D. Ολισθηρές, κυματοειδείς διακλάσεις	1.5
E. Τραχείες ή ακανόνιστες επίπεδες διακλάσεις	1.5
F. Λείες, επίπεδες διακλάσεις	1.0
G. Ολισθηρές, επίπεδες διακλάσεις	0.5

(γ) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση.

H. Ζώνη που περιέχει ορυκτά της αργίλου αρκετά παχιά ώστε να εμποδίζει την επαφή των τοιχωμάτων.	1.0
J. Αμμώδεις, χαλικώδεις ζώνες, ή ζώνες με θραύσματα αρκετά παχιές ώστε να εμποδίζουν την επαφή των τοιχωμάτων.	1.0

\* Προστίθεται 1.0 αν η μέση απόσταση των διακλάσεων του σχετικού συστήματος είναι μεγαλύτερη από 3.0 m.

\*\* Η τιμή Jr = 0.5 είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για επίπεδες ολισθηρές διακλάσεις με προσανατολισμένες γραμμώσεις κατά τη διεύθυνση της ελάχιστης αντοχής.

4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ	Φ°	Ja
<i>(α) Επαφή τοιχωμάτων</i>		
A. Υλικό πλήρωσης σκληρό και αδιαπέρατο (π.χ. χαλαζίας), σε ασυνέχειες ερμητικά κλειστές.	–	0.75
B. Λεκιασμένα τοιχώματα χωρίς ουσιαστική αποσάθρωση των ασυνεχειών.	(25° - 35°)	1.0
C. Ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων. Απουσία ενστρώσεων από μαλακά ορυκτά, από τεμάχια άμμου κ.α.	(25° - 30°)	2.0
D. Ιλυώδεις ή αμμώδεις, ενστρώσεις αργίλου, με μικρό κλάσμα αργίλου.	(20° - 25°)	3.0
E. Μαλακές ή με μικρή γωνία εσωτερικής τριβής ενστρώσεις αργιλικών και άλλων ορυκτών (καολίνης, μαρμαρυγίες καθώς και τάλκης, χλωρίτης, γύψος, γραφίτης), και μικρές ποσότητες από διογκούμενες αργίλους.	(8° - 16°)	4.0
<i>(β) τοιχώματα βράχων με επαφή 10 cm, πριν από τη διάτμηση.</i>		
F. Αμμώδεις κόκκοι, χωρίς άργιλο, κονιορτοποιημένο πέτρωμα.	(25° – 30°)	4
G. Ισχυρά υπερστερεοποιημένα μη μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχής ανάπτυξη πάχους < 5 mm)	(16° – 24°)	6
H. Μέσα ή χαμηλά υπερστερεοποιημένα μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχής ανάπτυξη πάχους <5 mm).	(12° – 16°)	8
J. Διογκούμενο αργιλικό υλικό πλήρωσης (π.χ. μοντμοριλονίτης) (συνεχής ανάπτυξη πάχους < 5 mm).		
Οι τιμές του Ja εξαρτώνται από την περιεκτικότητα των διογκούμενων συστατικών της αργίλου και από τη δυνατότητα εισόδου νερού στις διακλάσεις.	(6° – 12°)	8 – 12

---

(C) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση.

K. Ζώνες ή περιοχές από αποσαθρωμένο πέτρωμα.		6
L. Ζώνες ή περιοχές από θρυμματισμένο πέτρωμα.	(6° – 24°)	8
M. Ζώνες ή περιοχές από άργιλο (για την περιγραφή της αργίλου βλέπε G, H, J).		8 – 12
N. Ζώνες ή περιοχές από ιλυώδη ή αμμώδη άργιλο, μικρό κλάσμα της αργιλικής φάσης.		5
O. Παχιές συνεχείς λωρίδες αργίλου (για την περιγραφή της αργίλου βλέπε G, H, J).	(6°– 24°)	10
P. Ζώνες αργίλου (για την περιγραφή της αργίλου βλέπε G, H, J).		13 ή 13 – 20

\*Οι τιμές της γωνίας τριβής αναφέρονται σε προσεγγίσεις που στηρίζονται στις ορυκτολογικές ιδιότητες των υλικών.

<b>5. ΝΕΡΟ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ</b>	<b>Πίεση νερού (MPa)</b>	<b>J<sub>w</sub></b>
A. Στεγνή επιφάνεια ή τοπικά μικρή εισροή (< 5 l/min).	<0.1	1
B. Μέση εισροή ή μέση πίεση. Περιστασιακή έκπλυση του υλικού πλήρωσης των διακλάσεων.	0.1 – 0.25	0.66
C. Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση σε συμπαγές πέτρωμα με διακλάσεις χωρίς υλικά πλήρωσης.	0.25 – 1	0.5
D. Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση. Σημαντική έκπλυση του υλικού πλήρωσης.	0.25 – 1	0.33
E. Εξαιρετικά μεγάλη εισροή ή πίεση κατά την ανατίναξη η οποία μειώνεται περιοδικά.	> 1	0.2 – 0.1
F. Εξαιρετικά μεγάλη εισροή ή πίεση η οποία παραμένει σταθερή.	> 1	0.1 – 0.05

\* Οι περιπτώσεις C, D, E, F έχουν εκτιμηθεί χονδρικά.

\*\* Όταν υπάρχουν στραγγιστήρια η τιμή του J<sub>w</sub> αυξάνεται.

\*\*\* Δε λαμβάνονται υπόψη προβλήματα που προκαλούνται από τη δημιουργία πάγου.

6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΑΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	SRF
<u>a)* Ζώνες ασθενούς αντοχής που τέμνουν την εκσκαφή και μπορούν να προκαλέσουν χαλάρωσή της κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.</u>	
A. Πολλαπλές ασθενείς ζώνες που περιέχουν αργιλικό υλικό ή χημικώς εξαλλοιωμένο πέτρωμα. Πολύ χαλαρή δομή του βράχου που περιβάλλει την εκσκαφή.	10
B. Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες οι οποίες περιέχουν άργιλο ή χημικά αποσαθρωμένο πέτρωμα (βάθος εκσκαφής <50 mm).	5
C. Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες οι οποίες περιέχουν άργιλο ή χημικά αποσαθρωμένο πέτρωμα (βάθος εκσκαφής >50 mm).	2.5
D. Πολλαπλές διατμημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα (χωρίς άργιλο), χαλαρή περιβάλλουσα βραχομάζα (οποιοδήποτε βάθος εκσκαφής).	7.5
E. Μεμονωμένες διατμημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα (χωρίς άργιλο, για βάθος εκσκαφής ≤ 50m).	5
F. Μεμονωμένες διατμημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα (χωρίς άργιλο, για βάθος εκσκαφής > 50m).	2.5
G. Χαλαρές, ανοικτές διακλάσεις, έντονη κατάτμηση του βράχου σε μικρά κυβικά στοιχεία κατάτμησης (οποιοδήποτε βάθος εκσκαφής).	5

*b)\*\* Συμπαγές πέτρωμα, προβλήματα εξαιτίας τάσεων.*

$\sigma_c / \sigma_1$

$\sigma_{ten} / \sigma_1$

SRF

H. Χαμηλές τάσεις, κοντά στην επιφάνεια.

>200

>13

2.5

J. Μέσες τάσεις.

200 - 10

13 – 0,66

1

K. Υψηλές τάσεις, πολύ συμπαγής δομή (συνήθως έχουν ευνοϊκή επίδραση στην ευστάθεια, μπορεί όμως να έχουν δυσμενή επίδραση στην ευστάθεια των παρειών).

10 - 5

0,66 – 0,33

0.5 – 2

L. Μαλακή εκτίναξη συμπαγούς πετρώματος.

5 – 2,5

0,33 – 0,16

5 – 10

M. Έντονη εκτίναξη συμπαγούς πετρώματος .

<2,5

<0,16

10 – 20

*c)\*\*\* Βράχος που ασκεί πιέσεις, πλαστική ροή συμπαγούς πετρώματος υπό την επίδραση υψηλών γεωπιέσεων.*

N. Βράχος ο οποίος ασκεί μικρές πιέσεις.

5 – 10

O. Βράχος ο οποίος ασκεί πολύ υψηλές πιέσεις.

10 – 20

*d) Διογκούμενο πέτρωμα, χημική διόγκωση εξαρτώμενη από την παρουσία νερού.*

P. Ελαφρά διογκούμενος βράχος.

5 – 10

R. Έντονα διογκούμενος βράχος.

10 – 15

\* Οι τιμές του SRF μειώνονται κατά 25 – 50 % αν οι ασθενείς (διατμημένες) ζώνες δεν τέμνουν την υπόγεια εκσκαφή αλλά απλά την επηρεάζουν.

\*\* Σε περιπτώσεις έντονα ανισότροπου τασικού πεδίου (εφόσον αυτό έχει μετρηθεί):

Αν  $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 100$ , οι  $\sigma_c$  και  $\sigma_{ten}$  μειώνονται σε  $0,8\sigma_c$  και  $0,8\sigma_{ten}$ .

Αν  $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ , οι  $\sigma_c$  και  $\sigma_{ten}$  μειώνονται σε  $0,6\sigma_c$  και  $0,6\sigma_{ten}$ .

$\sigma_c$  = η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη,  $\sigma_{ten}$  = η αντοχή σε εφελκυσμό,  $\sigma_1$  = η μέγιστη κύρια ορθή τάση,  $\sigma_3$  = η ελάχιστη κύρια ορθή τάση.

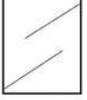
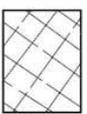
\*\*\* Υπάρχει περιορισμένη εμπειρία όταν το βάθος της σήραγγας είναι μικρότερο από το άνοιγμά της. Προτείνεται η αύξηση του SRF από 2,5 σε 5 (βλέπε Η).

# ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ, GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX)

Ο δείκτης, GSI, εισήχθη από τους Hoek, Wood & Shah (1992) επεκτάθηκε ουσιαστικά για τις ασθενείς βραχομάζες από τους Hoek, Marinos & Benissi (1998), Marinos & Hoek (2000) και για το φλύσχη από τους Marinos & Hoek (2000).

Ο Δείκτης εκτός από τη γεωτεχνική ταξινόμηση, εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού, ανάλογα με τη ρωγμάτωση της βραχώμαζας. Αποτελεί λοιπόν σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown, αντικαθιστώντας το αρχικά χρησιμοποιούμενο RMR.

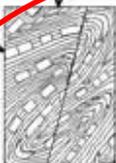
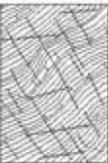
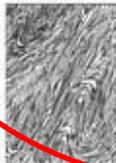
Επομένως ο δείκτης GSI προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα του προσδιορισμού των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των τεχνικών έργων σε περιβάλλον ρωγματωμένων βράχων.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. <u>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινημητικά ελεγχόμενες αστάθειες.</u> Στην περίπτωση που οι ασθeneis επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένιση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>	<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p>	<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξαιλοποιημένες επιφάνειες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθωμένες με σημαντική επιφλοιομια ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα</p>	<p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης</p>	
<p>ΜΕΙΟΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →</p>							
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	<p>ΜΕΙΟΜΕΝΗ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ</p>	90	80	70	60	50	
 <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>		90	80	70	60	50	N/A
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>		90	80	70	60	50	N/A
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>		90	80	70	60	50	40
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p>		90	80	70	60	50	30
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>		90	80	70	60	50	20
	<p>←</p>	N/A	N/A			10	

## Παρατηρήσεις

- Σε πολύ μεγάλα βάθη η δομή είναι σφικτή και το πέτρωμα πλησιάζει τη συμπεριφορά του άρρηκτου βράχου. Η τιμή GSI πρέπει να μετακινείται προς τα αριστερά και προς τα πάνω.
- Όταν οι ασυνέχειες έχουν υλικό πλήρωσης η βραχομάζα μπορεί να προσομοιωθεί με πτωχή κατάσταση ασυνεχειών.
- Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού σε πετρώματα ή σε υλικό πλήρωσης που αντιστοιχούν στις τρεις τελευταίες κολώνες. Συνίσταται η μετακίνηση προς τα δεξιά.
- Προφανώς οι τιμές GSI αντιστοιχούν σε πιο δεξιές θέσεις από εκείνες της ίδιας βραχόμαζας όταν δεν είναι αποσπασθωμένη.

# Εκτίμηση του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής για ετερογενείς βραχώμαζες. Στο παρόν διάγραμμα ειδικά για το φλύσχη.

<b>ΓΣΙ ΣΕ ΕΤΕΡΕΓΟΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ ΦΛΥΣΧΗΣ</b> (Marinos & Hoek, 2001)		<b>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</b> (κυρίως επίπεδα στρώσης)	<b>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ</b> Πολύ τραχιές, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες	<b>ΚΑΛΗ</b> Τραχιές, ελαφρά αποσθρωμμένες επιφάνειες	<b>ΜΕΤΡΙΑ</b> Λείες, μετρίως αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	<b>ΠΤΩΧΗ</b> Πολύ λείες, ενίοτε επιφάνειες ολίσθησης με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	<b>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ</b> Πολύ λείες επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης	
<b>ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ</b>	<b>ΓΣΙ</b>							
 <b>ΤΥΠΟΣ Α.</b> Παχυστρωματώδης, μερικώς διαταραγμένος ψαμμίτης. Η επιρροή πολύ λεπτών ηλιθικών ενστρώσεων είναι περιορισμένη. Σε αβαθείς σήραγγες ή πρηνή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης και τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI.		70						
 <b>ΤΥΠΟΣ Β.</b> Ψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου	 <b>ΤΥΠΟΣ C.</b> Ψαμμίτης και ιλυόλιθος σε κανονική αναλογία	 <b>ΤΥΠΟΣ D.</b> Ιλυόλιθος ή ιλυολιθικός σχιστόλιθος με στρώσεων του ψαμμίτη	 <b>Ε.</b> Ασθενής ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με στρώσεις ψαμμίτη	60	A			
				50	B	C	D	E
				40				
		 <b>ΤΥΠΟΣ F.</b> Τεκτονικώς παραμορφωμένος, διατμημένος αργ. σχιστόλιθος ή ιλυόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα στρώματα ψαμμίτη σε χαοτική δομή				30		F
								20
 <b>ΤΥΠΟΣ Γ.</b> Πρακτικά αδιατάρακτος ιλυολιθικός ή αργιλικός σχιστόλιθος με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτών ενστρώσεων ψαμμίτη	 <b>ΤΥΠΟΣ Η.</b> Τεκτονικώς διατμημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια			N/A	N/A		G	H <sup>10</sup>

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΠΟΥ ΠΛΗΤΤΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

---

# ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΚΑΚΙΑΣ ΣΚΑΛΑΣ



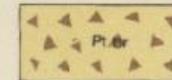
Τα έργα της ΠΑΘΕ και της ΕΡΓΟΣΕ στην περιοχή της Κακιάς Σκάλας περιελάμβαναν την ταυτόχρονη κατασκευή 9.5 km αυτοκινητόδρομου με τρεις λωρίδες κυκλοφορίας και μία ΛΕΑ ανά κατεύθυνση και 8.5 km σιδηροδρομική γραμμή διπλής κατεύθυνσης. Η κατασκευή διήρκεσε 4 χρόνια. Το έργο περιλαμβάνει 5 οδικές και 2 σιδηροδρομικές σήραγγες συνολικού μήκους 7.7 km (2.4 km η μεγαλύτερη σε μήκος) και 900 m σήραγγες για εξόδους έκτακτης ανάγκης. Επίσης το έργο περιλαμβάνει 7 σιδηροδρομικές γέφυρες, μήκους 4 km.

# ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



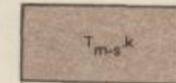
## Περιοχή Αίγινας

Συνεκτικά λατυποπαγή: (στις βόρειες παρυφές της Δραγωνέρας) αποτελούνται κυρίως από λατόπες των μεσοζωικών σχηματισμών.



## Περιοχή Μεγάρων

Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες: λευκοί, λευκοκίτρινοι, τερφοί, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, βιομικρίτες. Κατά θέσεις συναντάμε λεπτές ενστρώσεις (1-2 εκατ.) δολομιτωμένες (δολοσπαρίτες). Είναι έντονα κατακεραματισμένοι και παρασιάζουν ένα αρκετά ανεπτυγμένο καρστικό σύστημα.  
Απολιθώματα:





# ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- Το ρήγμα - ρηξιγενής ζώνη είναι ενεργή. Οι εκτιμώμενες μετακινήσεις σε περίπτωση ενεργοποίησης αναμένεται να φτάσουν τα 0.3 - 0.5m. Η βραχομάζα εμφανίζεται κατακερματισμένη σε μία ζώνη έως και 60 m εκατέρωθεν του ρήγματος. Μετατόπιση των υπόγειων έργων κατά το δυνατό εντός του ορεινού όγκου και όπου ήταν εφικτό σε απόσταση από την ζώνη του ρήγματος. Η κατασκευή υπόγειων έργων σε μεγάλο βάθος εντός του ορεινού όγκου κρίθηκε ασύμφορη.
- Ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται έντονα κατακερματισμένος και καρστικοποιημένος. Προβλήματα ευστάθειας τόσο στο εσωτερικό των υπόγειων έργων όσο και στα απότομα πρανή των ανοιχτών τμημάτων της χάραξης.
- Τα κορήματα είναι μεν συνεκτικά αλλά παρουσιάζουν προβλήματα καταπτώσεων κατά τη διάνοιξη των υπόγειων έργων => Εκτεταμένη χρήση δοκών προπορείας κυρίως στις σήραγγες του ΟΣΕ που κατασκευάστηκαν σε χαμηλότερο υψόμετρο από αυτές της ΠΑΘΕ και εντός των κορημάτων.
- Η μορφολογία στην περιοχή είναι εξαιτίας του ρήγματος απότομη. Απαίτηση κατασκευής γεφυρών σε τμήμα του έργου καθώς και ειδικών έργων αντιστήριξης για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της απότομης κλίσης.

# Ο ΓΕΝΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ

Η εκσκαφή πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις. **Α΄ Φάση:** εκσκαφή της τοξωτής άνω ημιδιατομής. **Β΄ Φάση:** εκσκαφή του υπόλοιπου τμήματος.

## Κύκλος εργασιών:

- Διαμόρφωση μετώπου στομίων εισόδου – εξόδου.
- Κατασκευή δοκών προπορείας.
- Τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος και αγκυρίων τύπου Fiber-Glass στο μέτωπο του στομίου.
- Τοπογραφική χάραξη γραμμής ελάχιστης εκσκαφής.
- Εξόρυξη βράχου με μηχανική εκσκαφή ή διάτρηση οπών και ανατίναξη.
- Ξεσκάρωμα.
- Γεωλογική χαρτογράφηση – αποτύπωση – ταξινόμηση βραχομάζας.
- Εφαρμογή μέτρων προσωρινής στήριξης (ινοπλισμένο και άοπλο σκυρόδεμα, δομικό πλέγμα, ηλώσεις, αγκυρώσεις, δοκοί προπορείας).
- Ενοργάνωση και γεωμηχανική παρακολούθηση.



Εκτεταμένα συστήματα ανάσχεσης  
καταπτώσεων

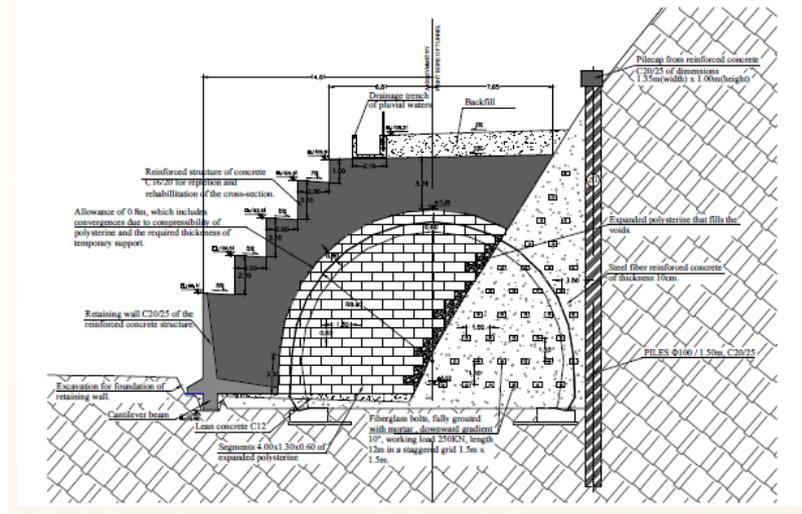
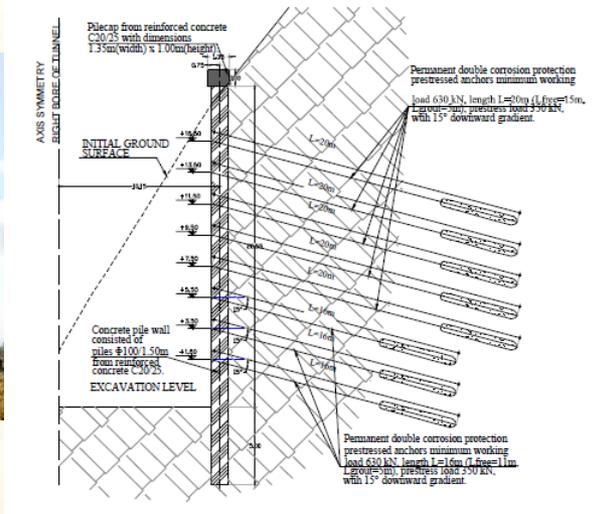


# ΕΙΔΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ



Πρώτες σήραγγες από την  
πλευρά της Αθήνας –  
Σήραγγες ΑΣ1

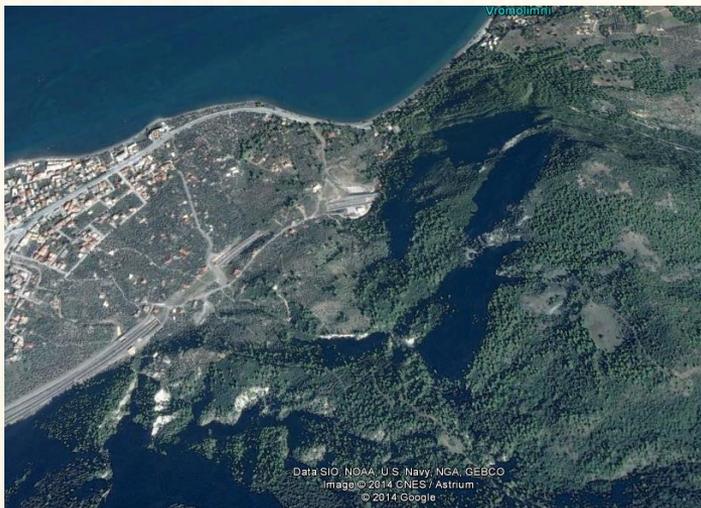
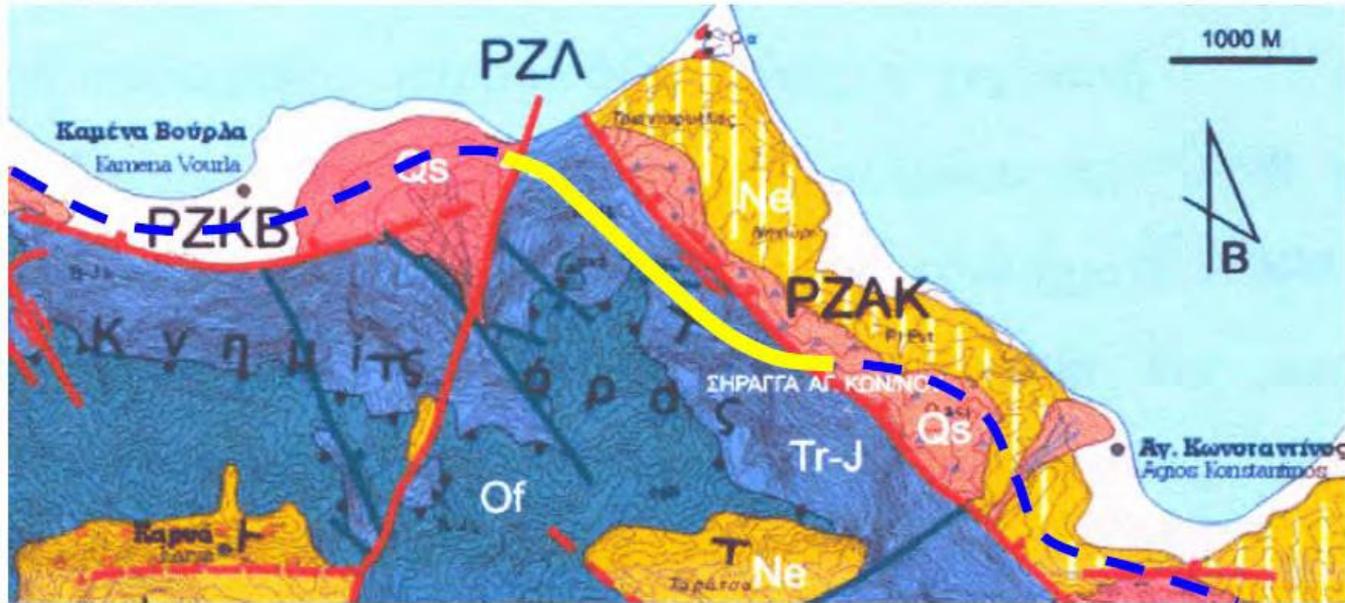




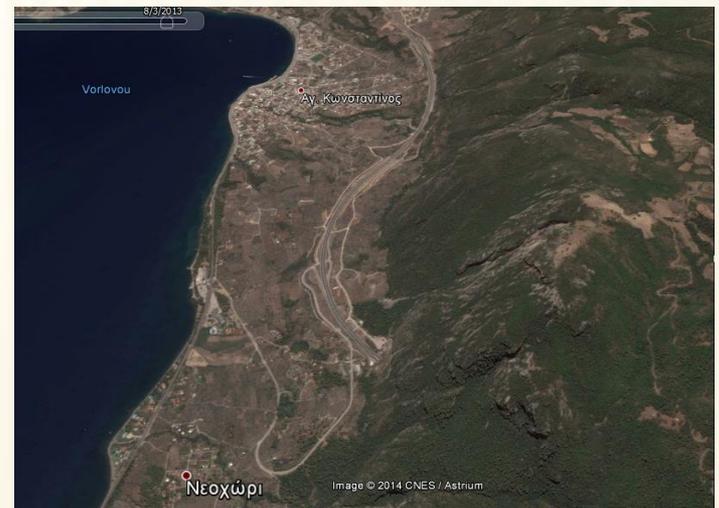
**Special Design Methods for Construction of Tunnel Portals in Areas with Extremely Steep Morphology**

N. Koronakis<sup>1</sup>, P. Koutothanassis<sup>1</sup>, J. Boumazos<sup>2</sup>

# ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΗΗΜΙΔΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗΣ ΑΓ. ΚΩΝ/ΝΟΥ ΤΟΥ ΠΑΘΕ

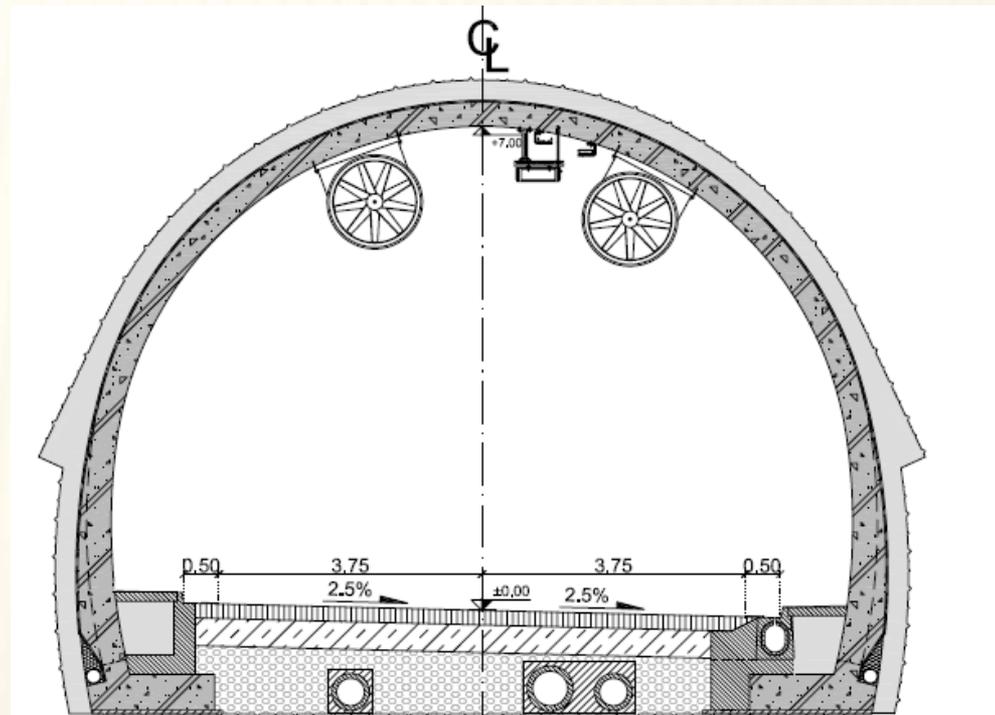
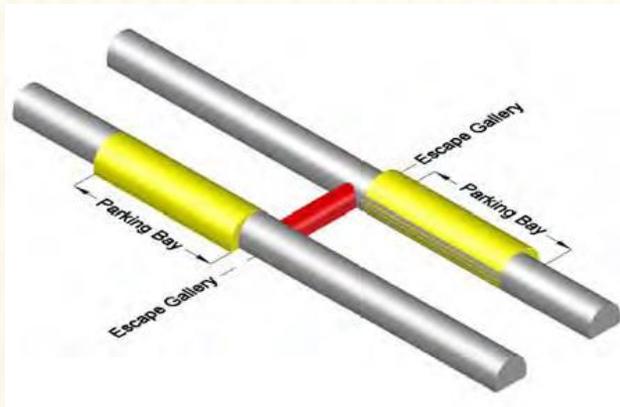


Ρηξιγενής ζώνη  
Καμένων  
Βούρλων

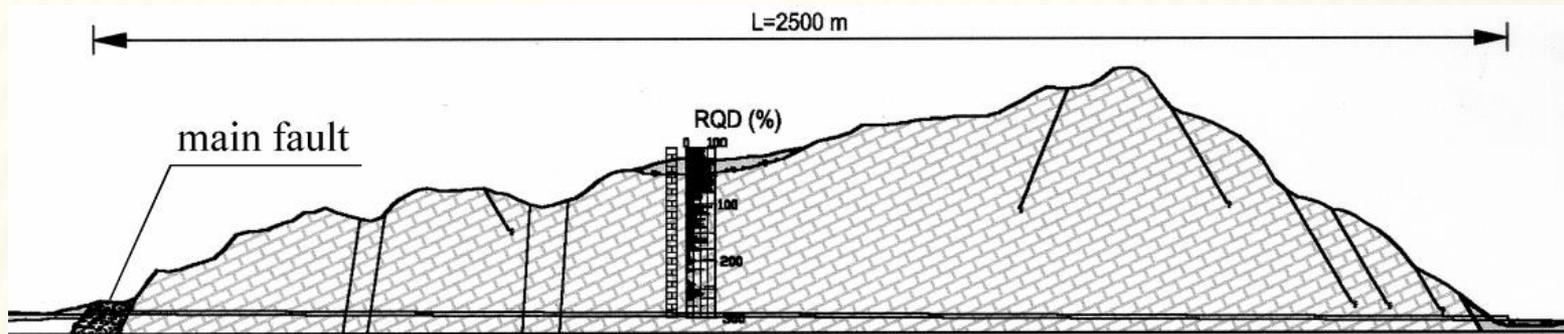


Ρηξιγενής  
Ζώνη Αγίου  
Κωνσταντίνου

- Η δίδυμη σήραγγα Κνημίδος, μήκους 2500 m
- Η απόσταση μεταξύ των δύο κλάδων διατηρείται στο μεγαλύτερο τμήμα της χάραξης περίπου στα 30 m.
- Ανά 350 m υπάρχουν διασυνδετήριες στοές διαφυγής.



- Το γεωλογικό υπόβαθρο μέσα στο οποίο διανοίχθηκε η σήραγγα, αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες Ιουρασικής ηλικίας, που χαρακτηρίζονται από ισχυρό κερματισμό.
- Στην περιοχή του Νότιου στομίου εισόδου η χάραξη διατέμνει το ενεργό ρήγμα Αγίου Κωνσταντίνου, για το οποίο εκτιμήθηκαν συνσεισμικές μετακινήσεις 1.5-2.0 m.



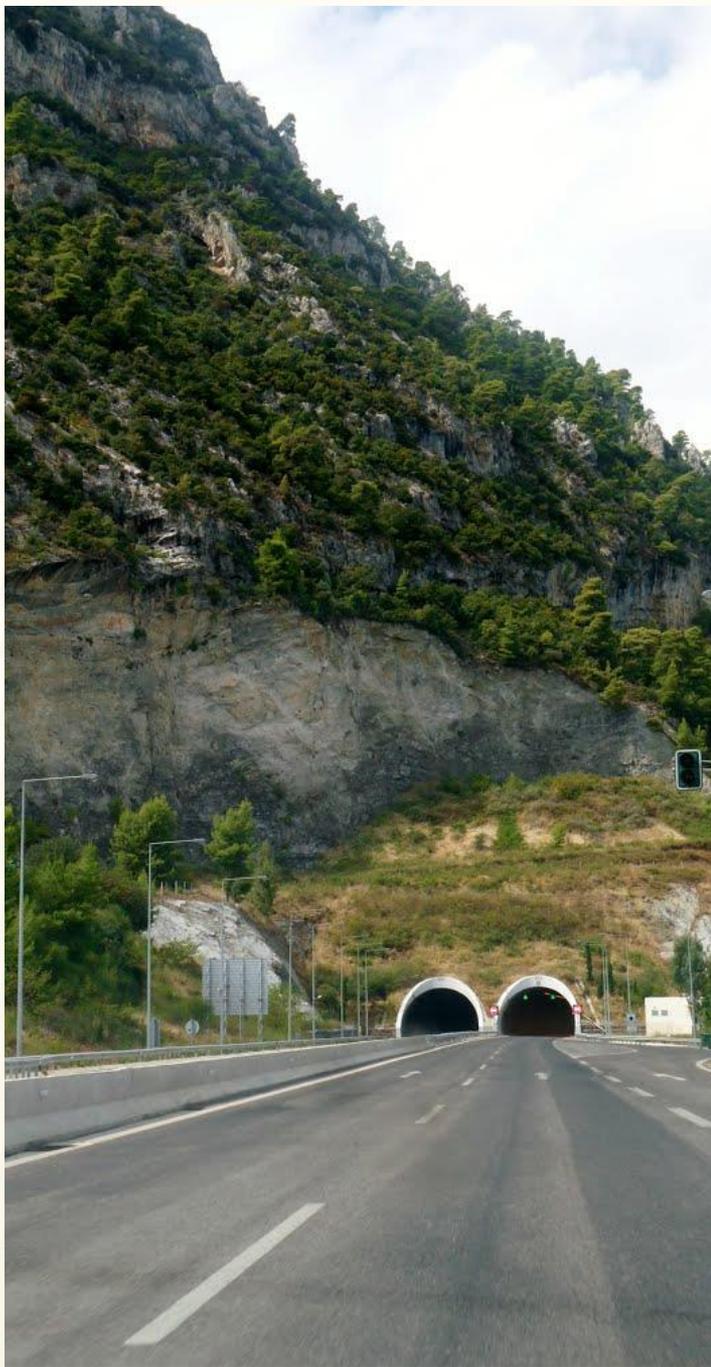
- Για την αποφυγή του ρήγματος πραγματοποιήθηκε μετάθεση των στομίων της σήραγγας.

Αποκάλυψη της κατοπτρικής  
επιφάνειας του ρήγματος.



Διαμόρφωση του στομίου εισόδου  
της σήραγγας πίσω από το ενεργό ρήγμα.



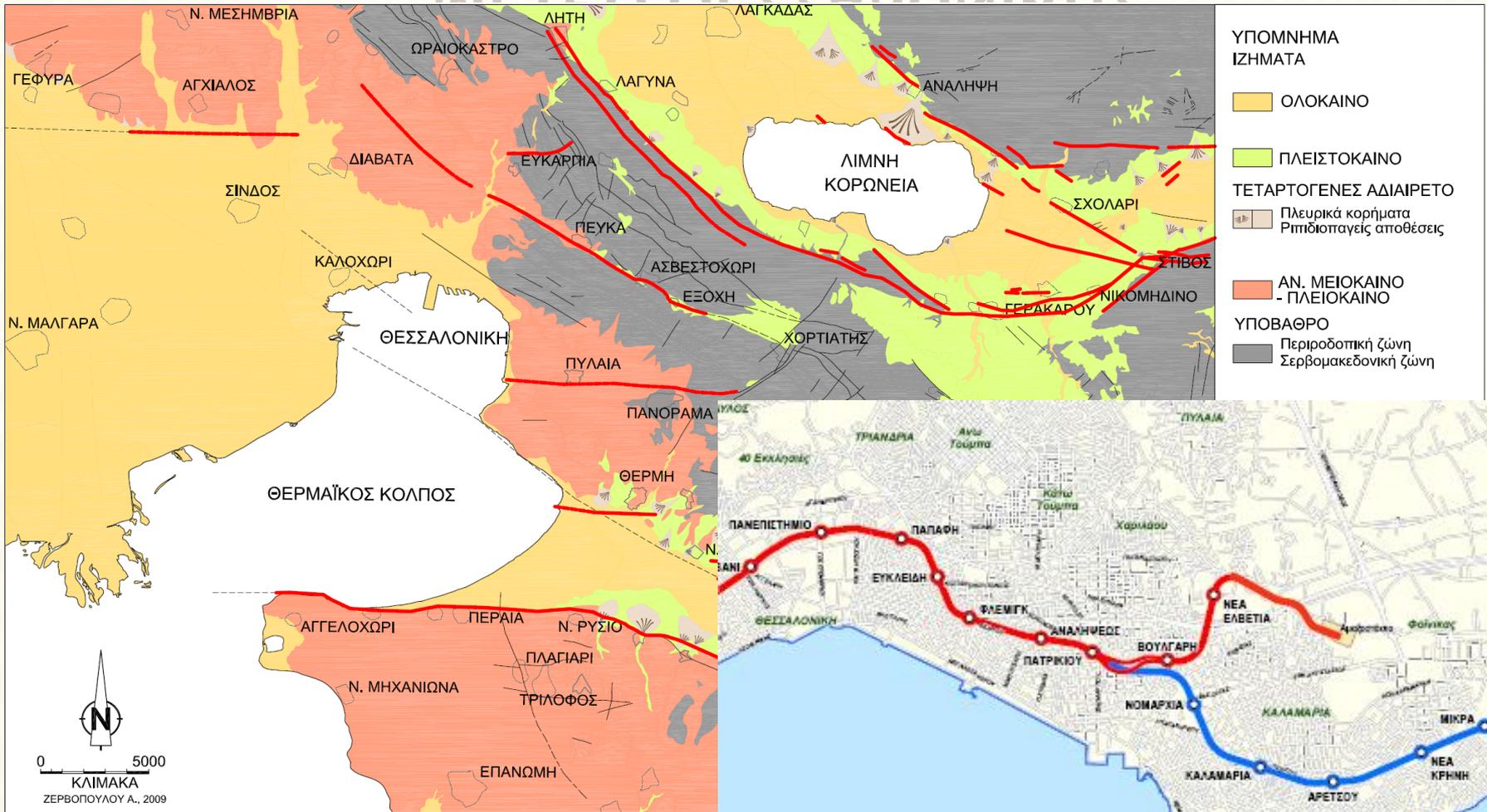


Είσοδος από Άγιο Κωνσταντίνο

Είσοδος από Καμένα Βούρλα



# ΜΕΤΡΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ





# ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑΣ

- Εξυπηρέτηση μεταφοράς μεταλλεύματος από Ολυμπιάδα στο νέο εργοστάσιο εμπλουτισμού (Μαδέμ Λάκκου)
- Μεταφορά υλικού λιθογόμωσης από το εργοστάσιο στο Μεταλλείο Ολυμπιάδας
- Απελευθέρωση οδικού δικτύου & αποφυγή νέου οδικού δικτύου στον ορεινό όγκο (περιοχή Natura)



## ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

- Πεταλοειδής διατομή 7 x 6 m
- Μήκος  $\approx$  8.5 km
- Μέση κλίση 11%
- Μέγιστο ύψος υπερκειμένων 945 m
- Εκκίνηση από απόλυτο υψόμετρο ερυθράς +240 m
- Κατάληξη στο απόλυτο υψόμετρο ερυθράς -660 m

Εγκάρσιες στοές ανά 200 m (9 x 7.2 m)

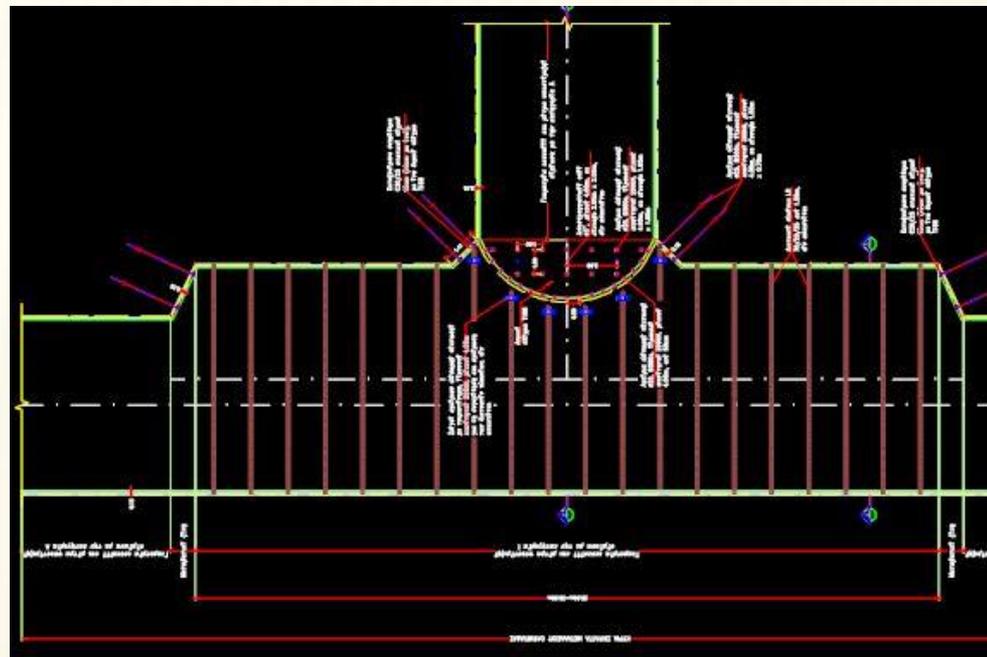
- Διευκόλυνση – επιτάχυνση εργασιών
- Άντληση υδάτων
- Εξασφάλιση κυκλοφορίας οχημάτων

Μετά την ολοκλήρωση της σήραγγας:

- Κατάργηση των αντλιοστασίων
- Τοποθέτηση μεγάλων αντλιοστασίων ανά 2500 μέτρα.

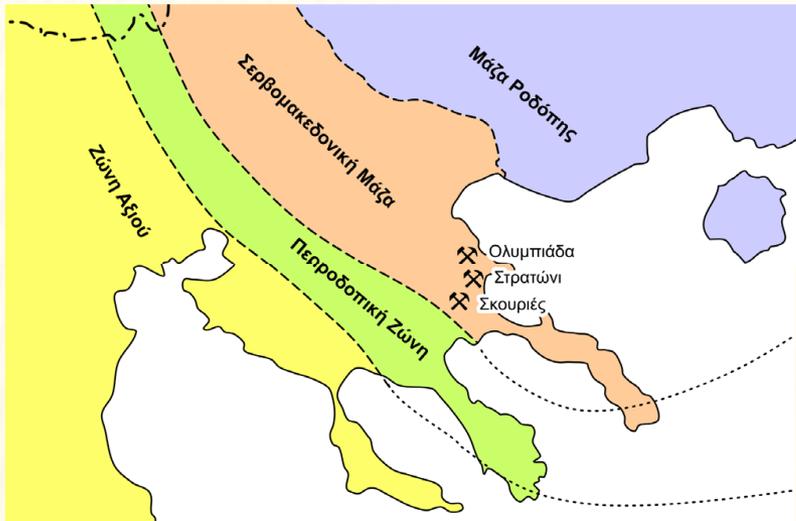
Εκσκαφή με συμβατική μέθοδο (εκρηκτικά):

- Μεγάλο ύψος υπερκειμένων (67% > 600 m)
- Κλίση
- Αυξημένες εισροές υδάτων



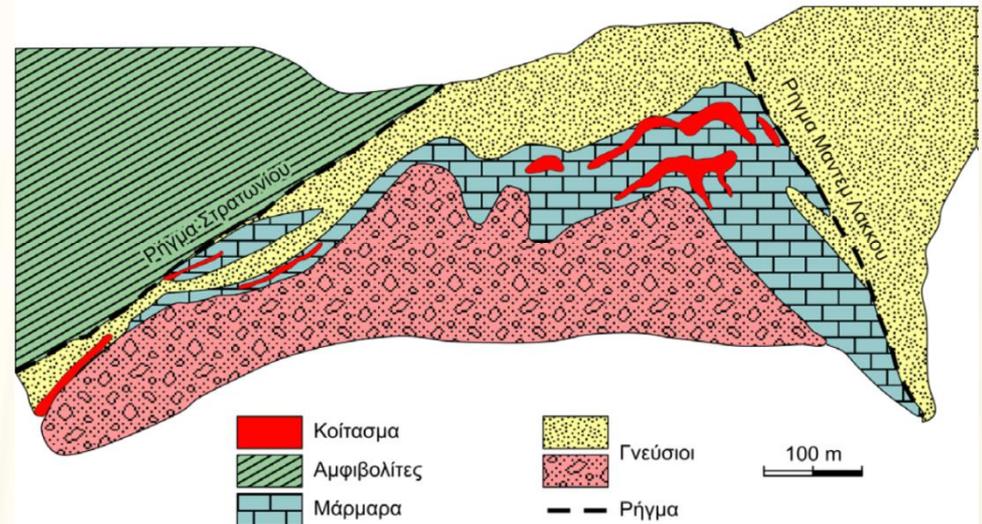
# ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σερβομακεδονική Μάζα  
Μεταμορφωμένα πετρώματα  
(γνευσίοι, αμφιβολίτες και μάρμαρα)



Τα κοιτάσματα Ολυμπιάδας και Στρατωνίου  
είναι μεικτών θειούχων (P.B.G.). Οι Σκουριές  
είναι κοιτάσμα πορφυριτικού χαλκού.

## ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΜΕΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ



Το κοιτάσμα του Στρατωνίου οφείλει τη δημιουργία του στο γρανοδιορίτη του Στρατωνίου. Κατά το Ολιγόκαινο (πριν από περίπου 30 εκατομμύρια έτη) διείσδυσε μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο ένα όξινο μάγμα, το οποίο κρυσταλλώθηκε και σχημάτισε το γρανοδιορίτη και τους γύρω από αυτόν πηγματίτες και απλίτες.

Τα υδροθερμικά διαλύματα, απέθεσαν το μεταλλικό τους περιεχόμενο ανάμεσα στα μάρμαρα και τους γνευσίους, σχηματίζοντας ένα κοιτάσμα μεικτών θειούχων ορυκτών (υδροθερμικό κοιτάσμα).

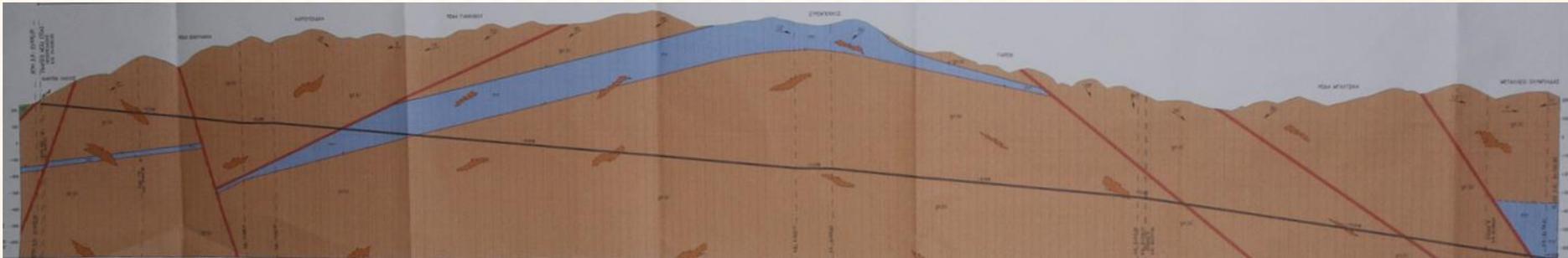
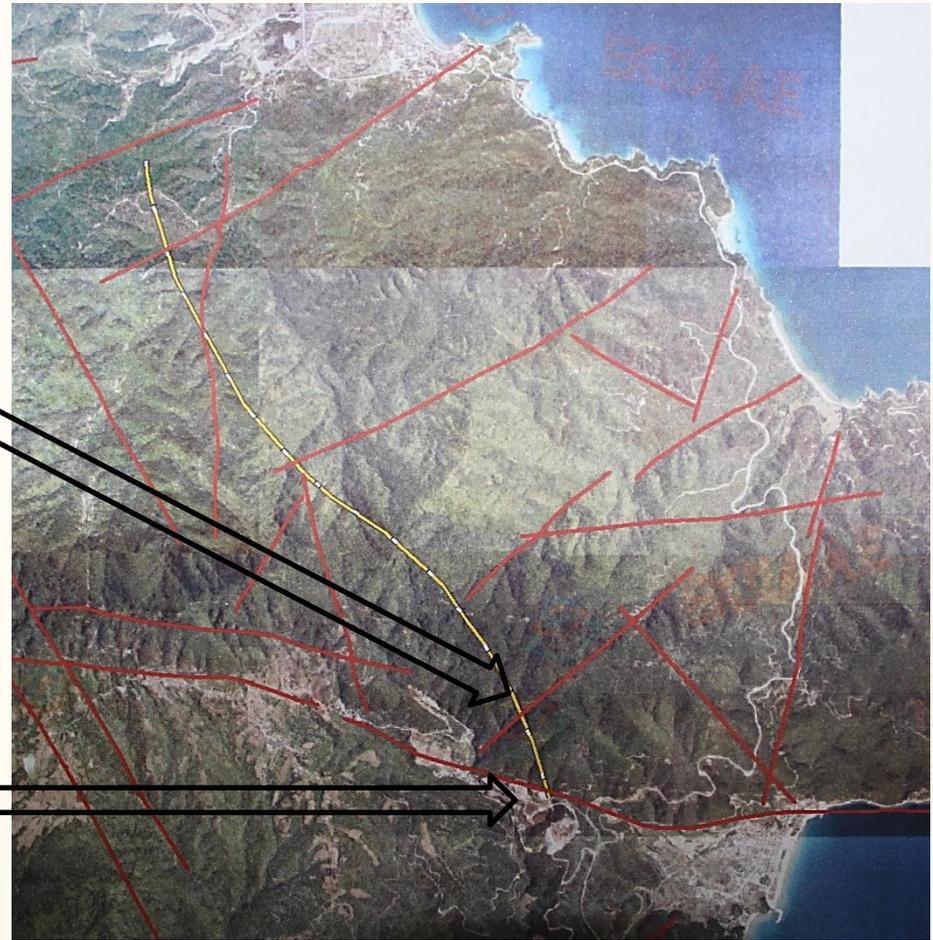
## Ρήγμα Βαθύλακκα

- Ενεργό ρήγμα χωρίς ιστορικά καταγεγραμμένους σεισμούς
- Ζώνη κερματισμού: Χ.Θ. 0+940 m
- Έντονη εισροή υδάτων ( $80\text{m}^3/\text{h}$ )

## Ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας

- Εκτός χάραξης

(Τιμή σεισμικού σχεδιασμού  $M_{\text{max}}=7$ ,  
Μέγιστη πιθανή κατακόρυφη μετατόπιση  $M_d=1,8\text{ m}$ )



Αντιμετώπιση προβλημάτων εισροής υδάτων:

- Αρχικά: ενεμάτωση πολυουραιθάνης εντός των διαρρήξεων.
- Τελικά: στεγάνωση με χρήση τσιμεντενέσεων με την μορφή ομπρέλας, βήματος 30m. Οι ομπρέλα προπορεύεται της διάτρησης κατά το ελάχιστο 10m.

Αντισεισμική θωράκιση στομίου από το ρήγμα Στρατωνίου:

- Στα πρώτα 100 m κατασκευάστηκε διευρυμένη διατομή κατά 33cm
- Δοκοί προπορείας 6m για τα πρώτα 18m.
- Αποστραγγιστικές οπές πίσω από την επένδυση.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- Παυλίδης Σ. (2003) Γεωλογία των σεισμών, University Studio Press.
- Παυλίδης Σπ. & Μουντράκης Δημ. (1986) Νεοτεκτονική, University Studio Press.
- Κίλιας Αδ. (1993) Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ.
- ΑΛΕΞΑΝΔΡΗΣ Α. ΒΕΤΤΑΣ Π. ΜΑΚΑΝΤΑΣΗΣ Ι. ΜΠΟΥΡΝΑΖΟΣ Ι. (2010) Διάνοιξη της Σήραγγας Κνημίδος της παράκαμψης Αγ. Κων/νου του ΠΑΘΕ. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, 29/09 – 1/10 2010, Βόλος