



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Τεκτονική Γεωλογία

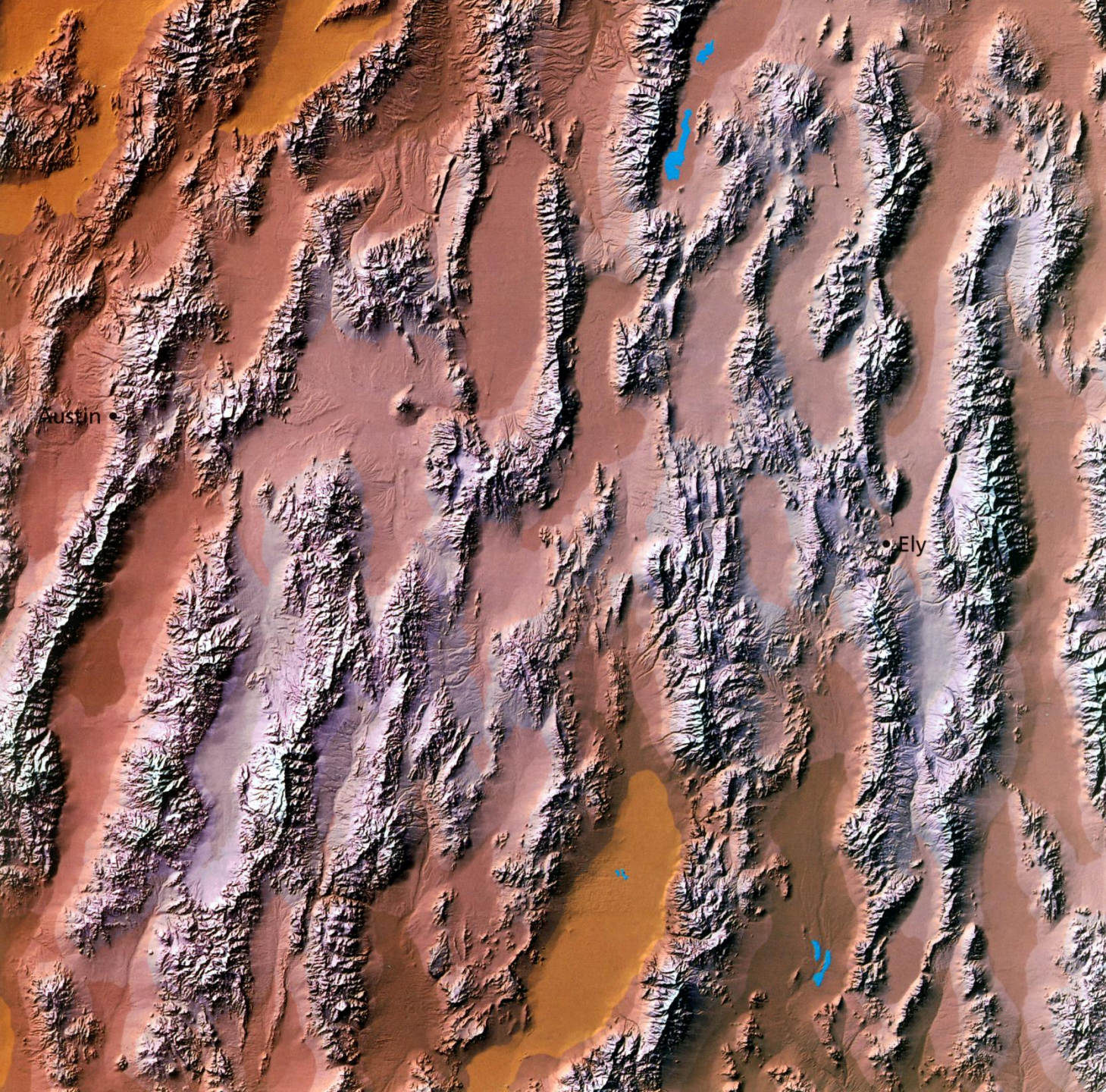
Ενότητα 2: Καθεστώτα έκτασης

Στυλιανός Λόζιος

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Καθεστώς έκτασης



Στις **εκτατικές δομές (extensional structures)** δεν είχε δοθεί από τους ερευνητές η ίδια προσοχή όπως στις δομές βράχυνσης. Η κατάσταση αυτή άλλαξε από τη **δεκαετία του 80** και μετά, όταν, σύμφωνα με νεότερα κινηματικά δεδομένα, έγινε αντιληπτό ότι πολλά ρήγματα και ζώνες διάτμησης, που παλαιότερα **εθεωρούντο ως επωθήσεις**, αντιπροσώπευαν στην πραγματικότητα **μικρής-γωνίας εκτατικές δομές (low-angle extensional structures)**.

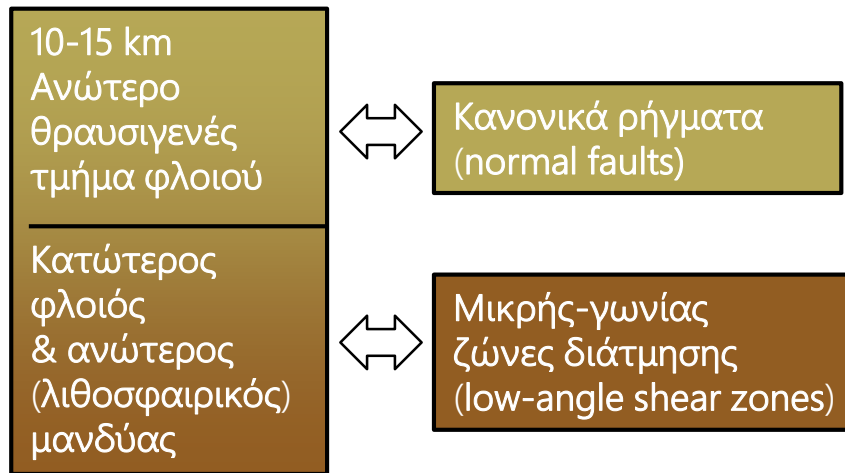
Πρωταρχικά οι δομές αυτές αναγνωρίστηκαν στην επαρχία **Basin and Range** των δυτικών ΗΠΑ. Σήμερα είναι ξεκάθαρο πια, ότι **εκτατικά ρήγματα και ζώνες διάτμησης (extensional faults and shear zones)** απαντώνται σε όλες σχεδόν τις ορογενετικές ζώνες και από το σύνολο, σχεδόν, των ερευνητών αναγνωρίζεται ο σημαντικός τους ρόλος στην **εξέλιξη των ορογενών και των ορογενετικών κύκλων**, ιδιαίτερα στους μηχανισμούς που συνδέονται με τα **στάδια της κατάρρευσης (collapse) και καταστροφής των ορογενετικών πεδίων**.

Το όψιμο αυτό ενδιαφέρον για τις εκτατικού χαρακτήρα δομές σχετίζεται, επίσης, με το γεγονός ότι πολλά από τα **υπεράκτια κοιτάσματα υδρογονανθράκων** εντοπίζονται σε περιοχές **ηπειρωτικής διάνοιξης (rifting)**, όπου η παγίδευσή τους ελέγχεται από κανονικά ρήγματα.

Πολλά στοιχεία, επίσης, που συνδέονται με την κατανόηση της δημιουργίας, επαναδραστηριοποίησης και κινηματικής και δυναμικής εξέλιξης των κανονικών ρηγμάτων προέρχονται από τις μελέτες σε **τεκτονικά ενεργές περιοχές**, που χαρακτηρίζονται από **έντονη σεισμικότητα**.

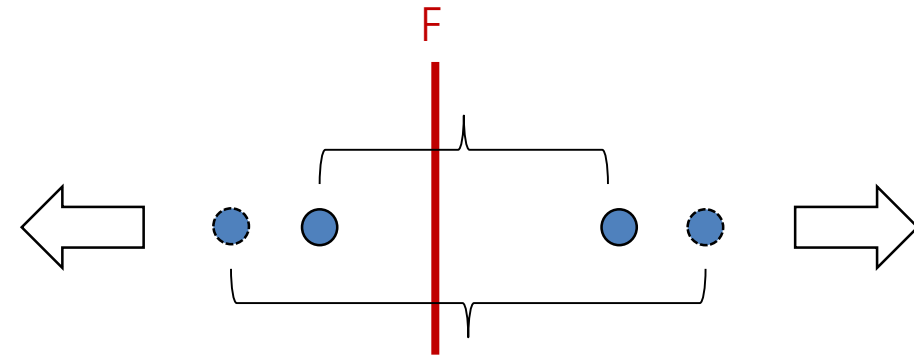
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Τεκτονική έκταση (tectonic extension)



Εκτατικά ρήγματα (extensional faults) → έκταση φλοιού (οριζόντιο επίπεδο, παράλληλα με την επιφάνεια της Γης).

Έκταση ή διάταση (extension or stretching)



Εκτατικό ρήγμα με κίνηση κατά κλίση (extensional dip slip fault)

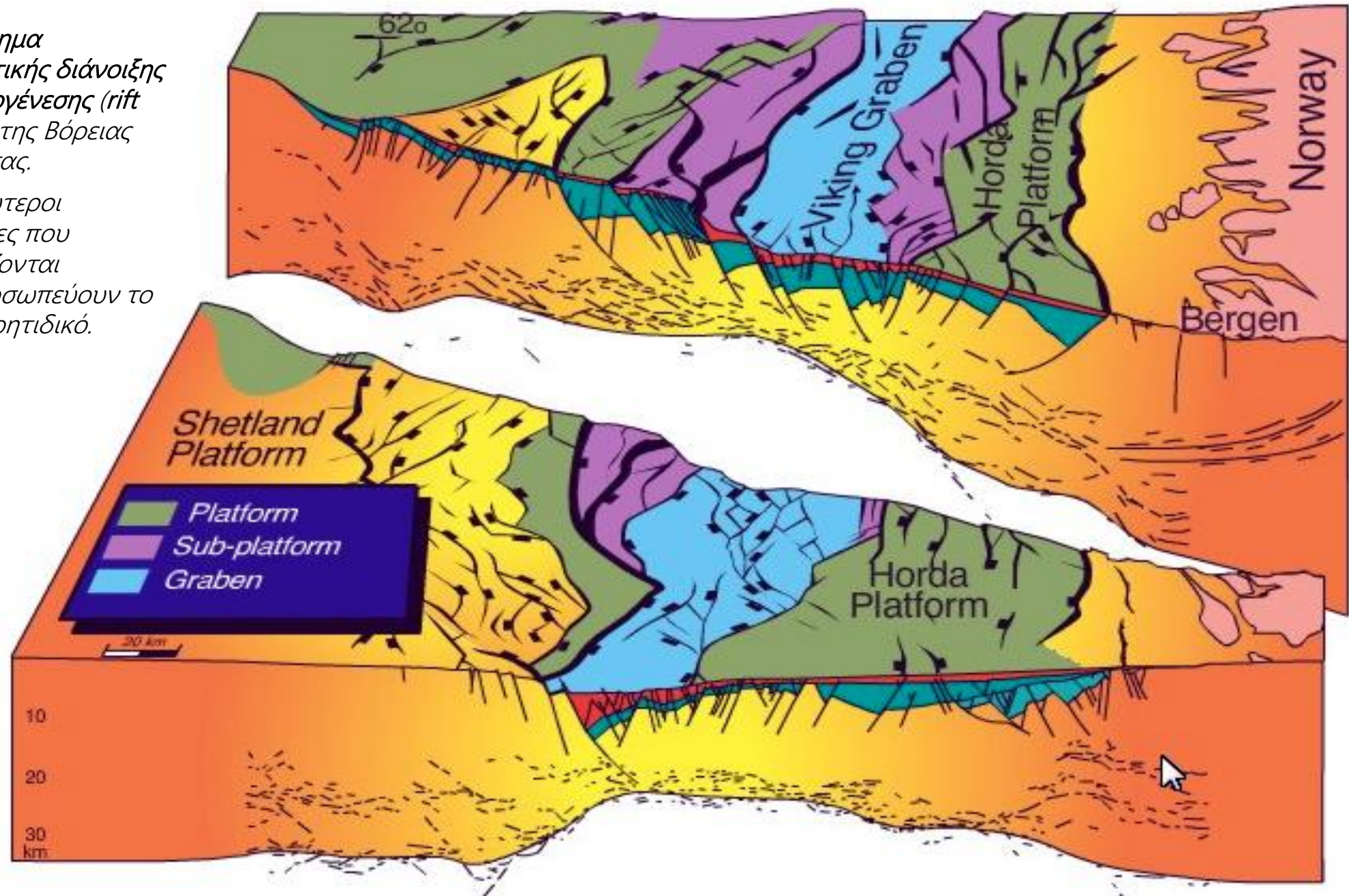
Εκτατικά ρήγματα ↔ 100 km

Επωθητικά ρήγματα & ρήγματα Οριζόντιας ολίσθησης ↔ εκατοντάδες km

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

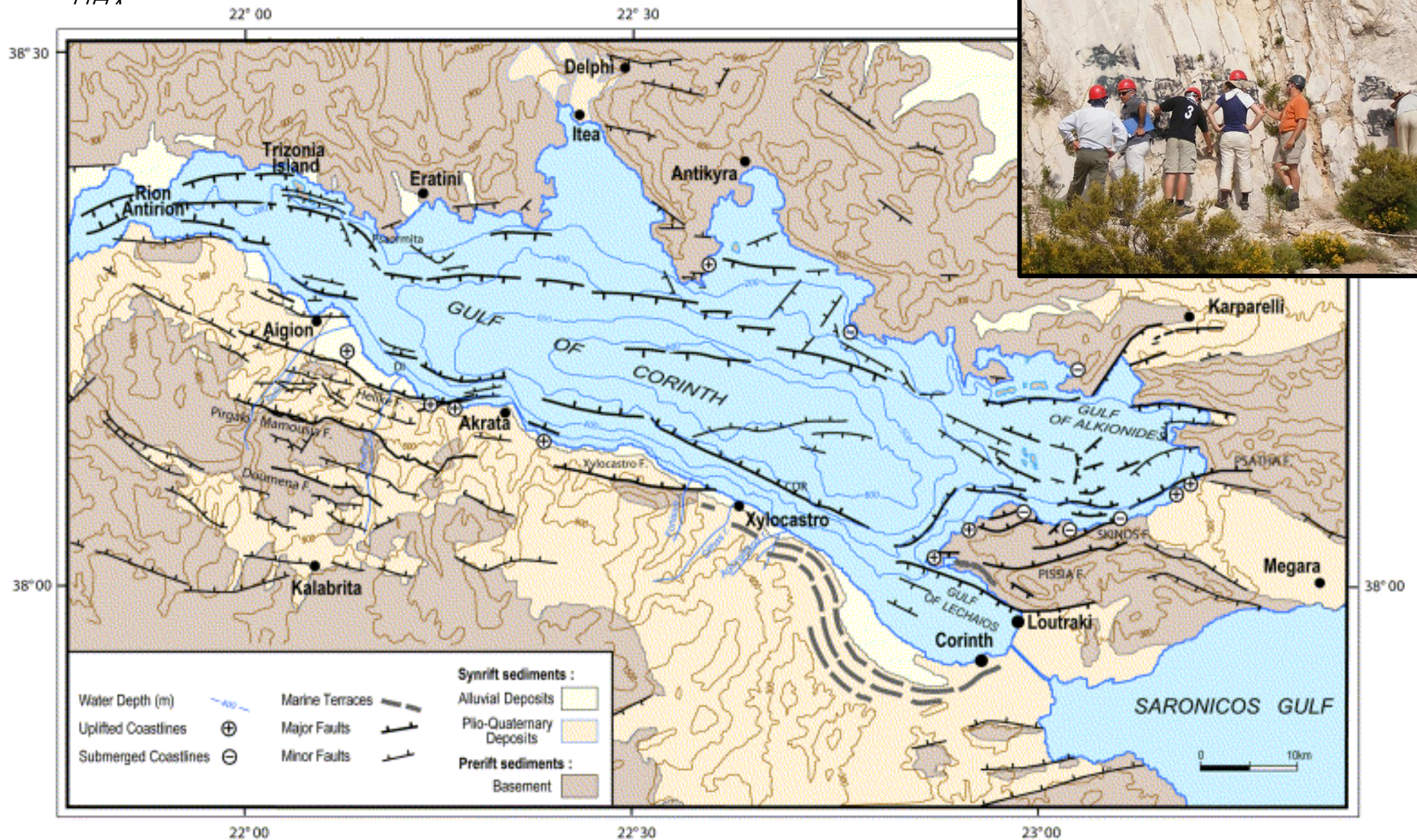
Το σύστημα ηπειρωτικής διάνοιξης ή ταφρογένεσης (rift system) της Βόρειας Θάλασσας.

Οι κατώτεροι ορίζοντες που εμφανίζονται αντιπροσωπεύουν το Κάτω Κρητιδικό.



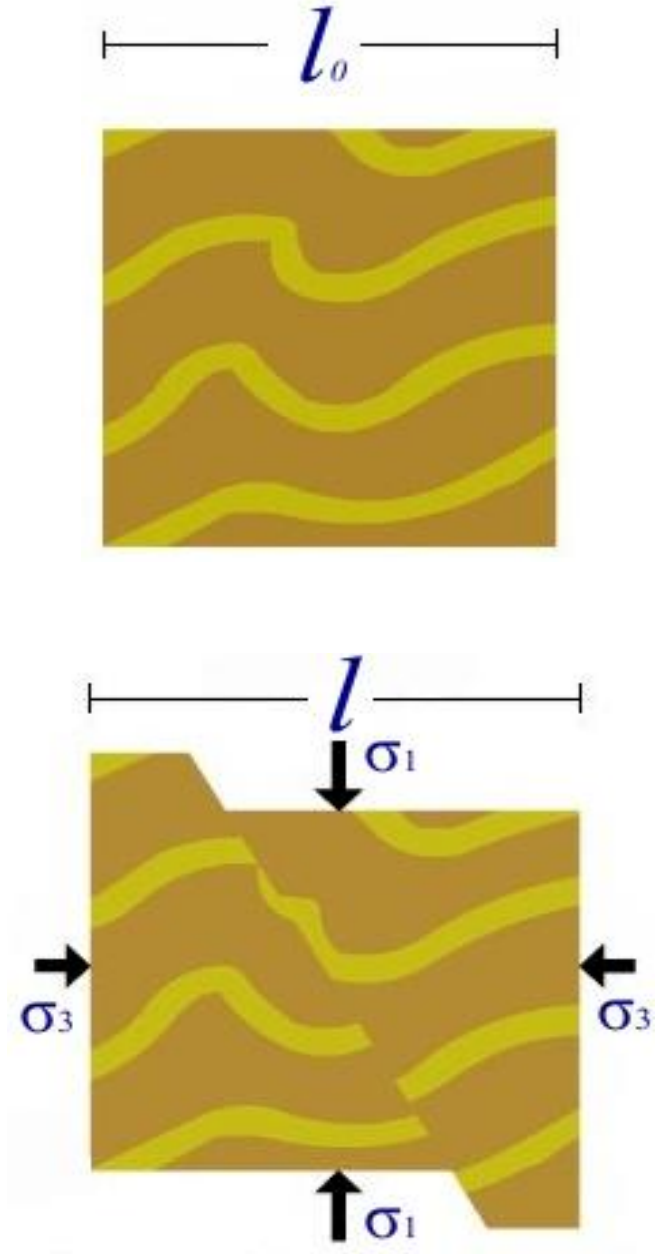
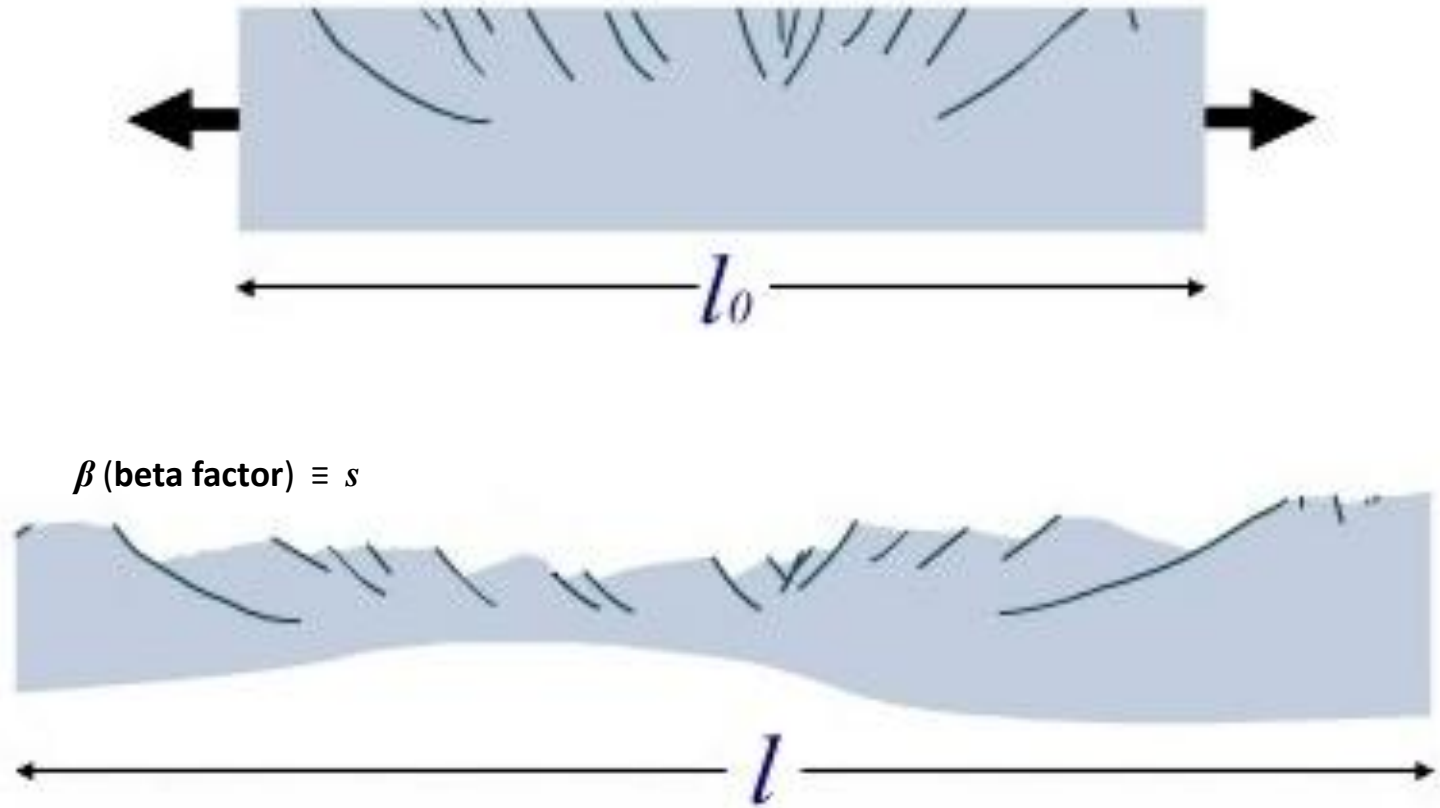
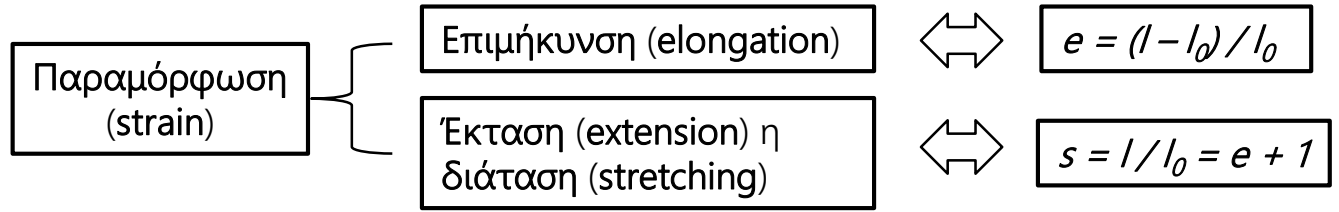
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματών
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Η λεκάνη του Κορινθιακού αποτελεί μια "διάσημη" γεωλογικά περιοχή που βρίσκεται κάτω από καθεστώς **έκτασης** με τους ρυθμούς της παραμόρφωσης να συγκρίνονται με αυτούς της επαρχίας Basin and Range



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

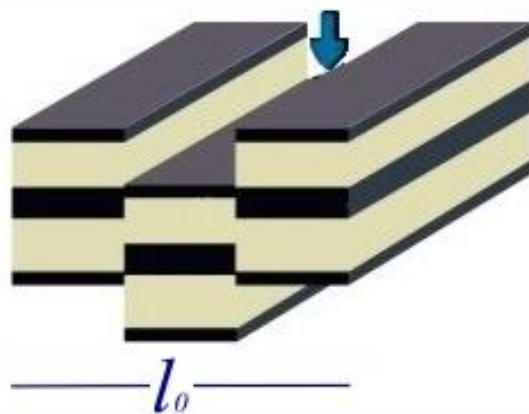
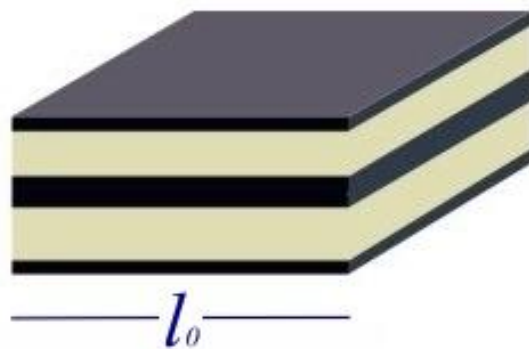
Έκταση, διάταση, επιμήκυνση



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματών
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

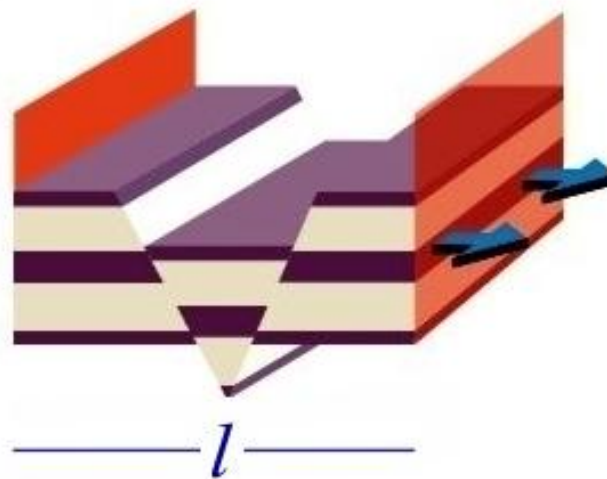
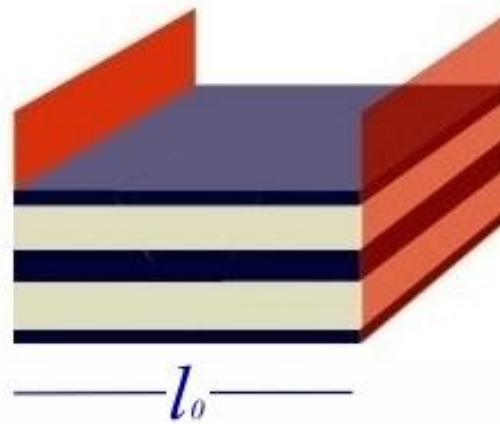
Κλίση του ρήγματος και οριζόντια έκταση

Vertical fault

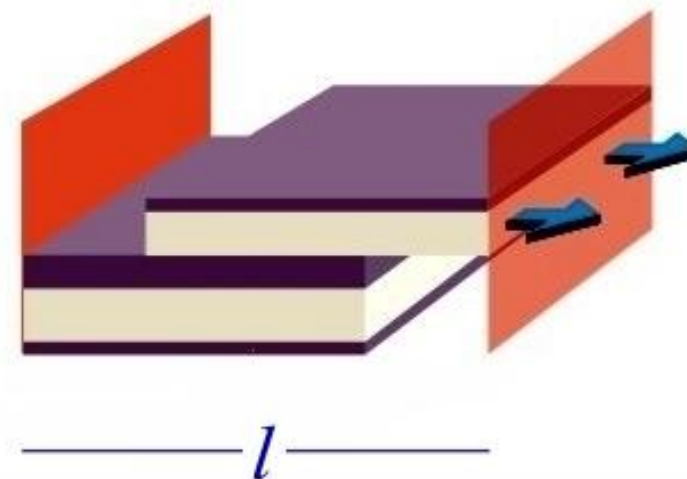
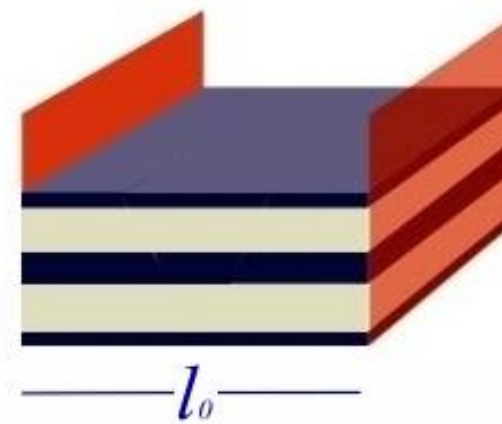


.....«πλήκτρα πιάνου»

Extensional normal fault



Horizontal fault

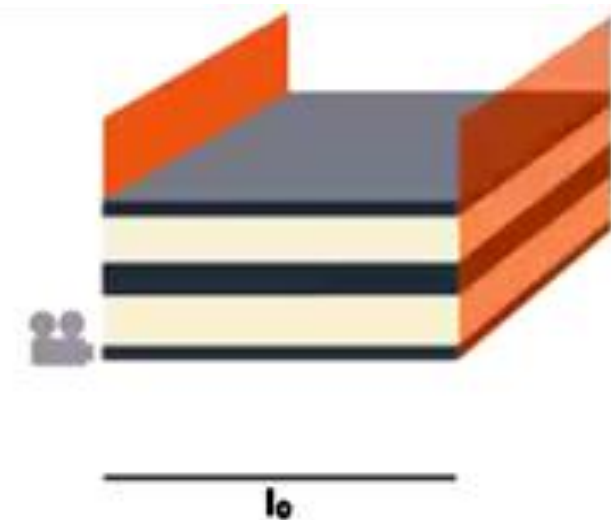


....επίπεδα τμήματα μεγαλύτερης κλίμακας καμπύλων ρηγματών.....

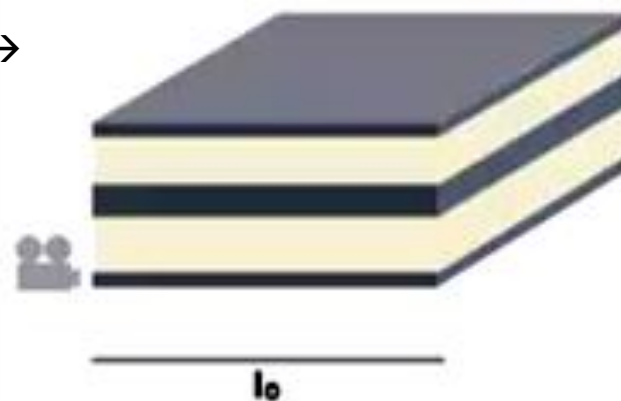
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Κλίση του ρήγματος και οριζόντια έκταση

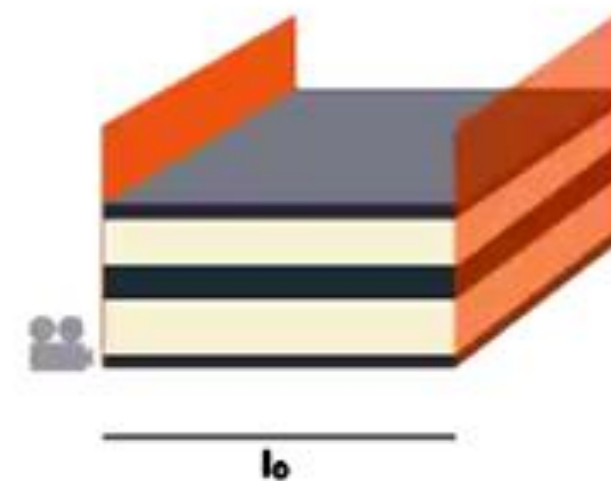
ΕΚΤΑΤΙΚΟ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΡΗΓΜΑ →



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΡΗΓΜΑ →



ΕΚΤΑΤΙΚΟ ΟΡΙΖΙΝΤΙΟ ΡΗΓΜΑ →



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Κριτήριο διάρρηξης Coulomb + θεωρία Anderson → ΚΛΙΣΗ εκτατικών ρηγμάτων (extensional faults) $\approx 60^\circ$.

Δεδομένα υπαίθρου (χαρτογράφηση) + ερμηνεία σεισμικών τομών → **μεγάλης-γωνίας (high-angle)** & **μικρής-γωνίας (low-angle)** εκτατικά ρήγματα είναι το **ίδιο συχνά** και **συνυπάρχουν**.

Κατακόρυφα ή πολύ μεγάλη κλίσης ρήγματα → επαναδραστηριοποίηση διακλάσεων (joints) ή παλαιών ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip faults), δηλ. ανισοτροπία που έχει κληρονομηθεί από παλαιότερες φάσεις παραμόρφωσης.

[Διακλάσεις \approx κατακόρυφες (σχηματίζονται εγκάρσια στον σ_3 που τείνει να είναι οριζόντιος στον ανώτερο φλοιό), αλλά και τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης είναι συνήθως \approx κατακόρυφα].

Κατ' αντιστοιχία, τα μικρής-γωνίας κλίσης κανονικά ρήγματα (low-angle normal faults) → **επαναδραστηριοποίηση παλαιών επωθητικών ρηγμάτων (thrust faults)**.

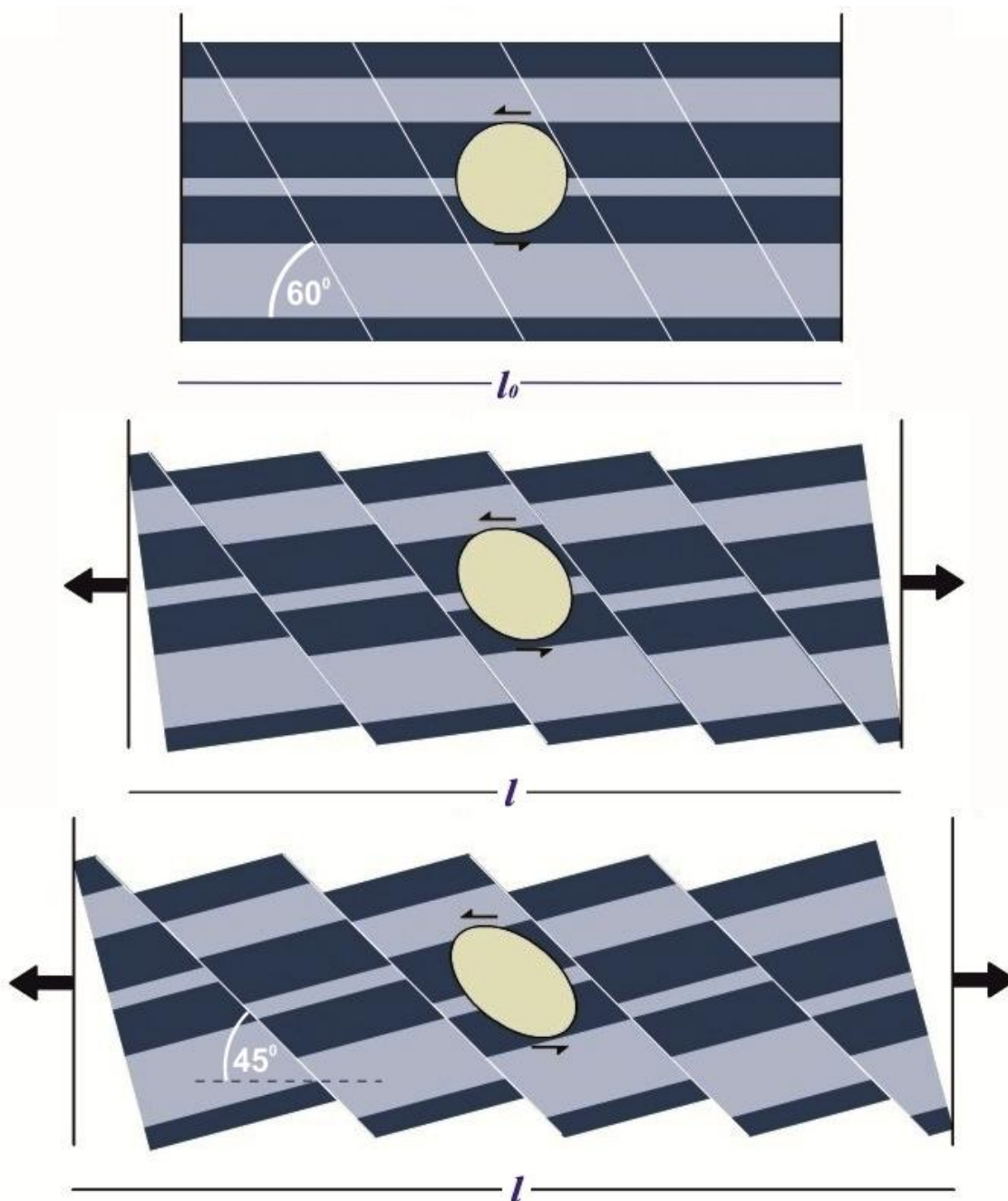
Πειραματικά δεδομένα + στοιχεία υπαίθρου → **μεγάλης- & μικρής-γωνίας κλίσης εκτατικά ρήγματα (high-angle and low-angle extensional faults)** δημιουργούνται κάτω από **μια μοναδική παραμορφωτική φάση**, χωρίς να έχουν επαναδραστηριοποιηθεί προϋπάρχουσες δομές.

ΕΡΜΗΝΕΙΑ: α) **Περιστροφή** μεγάλης-γωνίας κλίσης ρηγμάτων και
β) **απ' ευθείας δημιουργία**.

.....μοντέλα τύπου ντόμινο (domino model) κλπ.



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Το μοντέλο τύπου ντόμινο (the domino model)

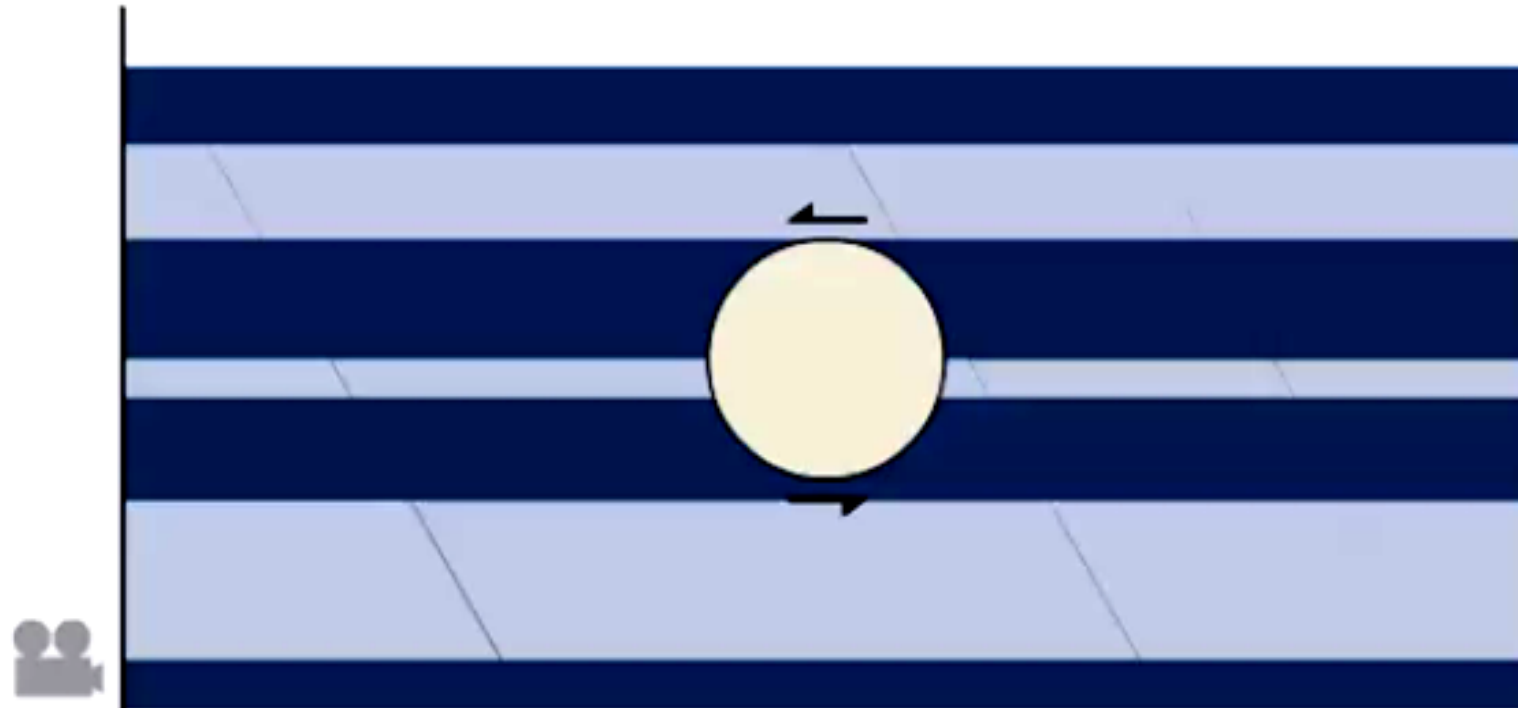
Εικόνες από περιοχές ταφρογένεσης (rifting) → περιστραμμένα ρηξιτεμάχη (rotated fault blocks) → τουβλάκια του ντόμινο → γερμένοι τόμοι βιβλίων → τεκτονική τύπου ραφιού βιβλιοθήκης (bookshelf tectonics) ή μοντέλο τύπου άκαμπτου ντόμινο (rigid domino model).

ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ:

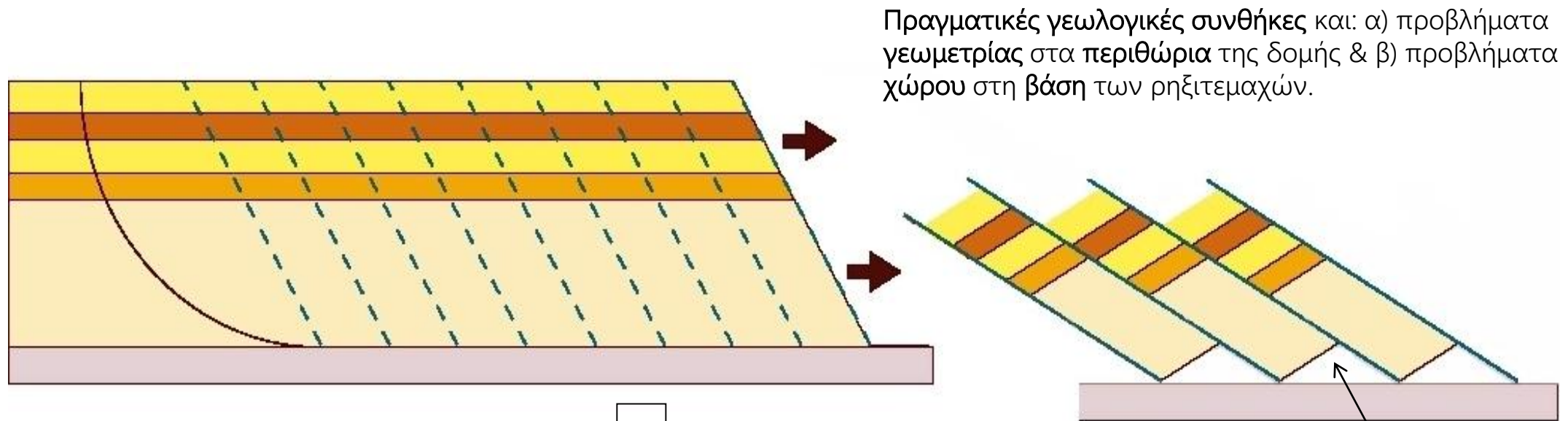
- Χωρίς εσωτερική παραμόρφωση (rigid domino – άκαμπτο ντόμινο).
- Ρηξιτεμάχη, ρήγματα & στρώματα περιστρέφονται ταυτόχρονα και στον ίδιο βαθμό.
- Ίδιο άλμα & καμία συμμετοχή οριζόντιας συνιστώσας.
- Ίδια κλίση ρηγμάτων (παράλληλα).
- Στρώματα & ρήγματα επίπεδες επιφάνειες.
- Ρήγματα με απροσδιόριστο μήκος ή περατώνονται σε ρήγματα μεταγωγής (transfer faults).

← Ιδεατό μοντέλο ανάπτυξης ενός συστήματος τύπου ντόμινο → Μηχανισμός έκτασης απλή διάτμηση (simple shear).

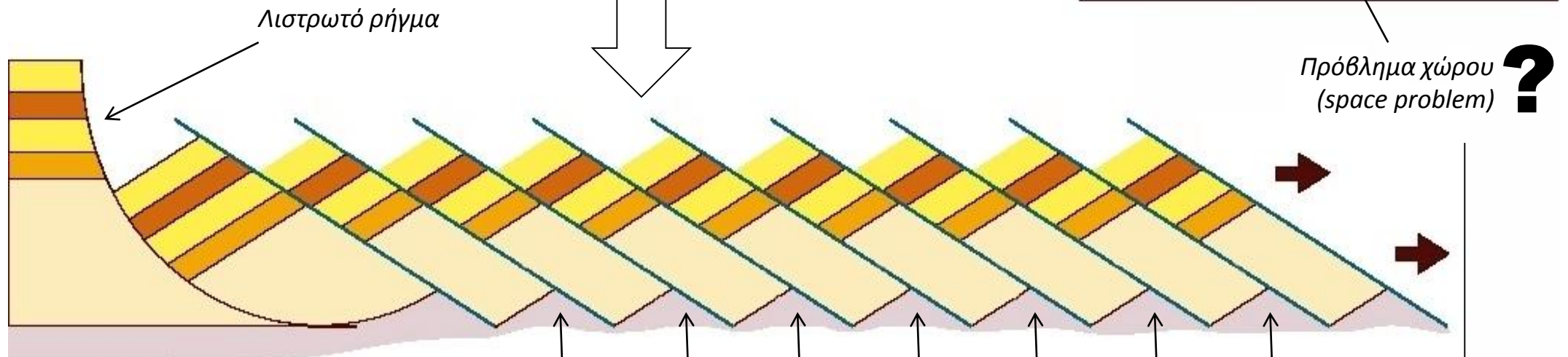
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



- ❑ Ορισμοί
- ❑ Εκτατικά ρήγματα
- ❑ Συστήματα ρηγμάτων
- ❑ Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- ❑ Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- ❑ Βαρυτικές καταρρεύσεις
- ❑ Υπολογισμός έκτασης και fractals
- ❑ Ηπειρωτική διάνοιξη
- ❑ Ωκεανική διάνοιξη
- ❑ Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

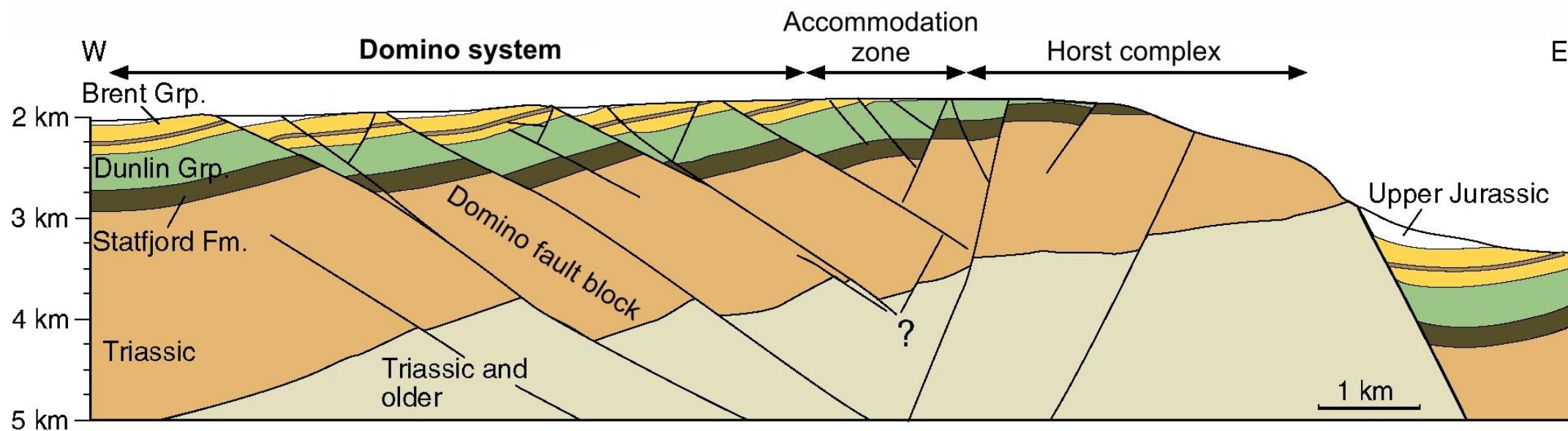


Πραγματικές γεωλογικές συνθήκες και: α) προβλήματα γεωμετρίας στα περιθώρια της δομής & β) προβλήματα χώρου στη βάση των ρηξιτεμαχών.



- Εύπλαστο υπόστρωμα (άργιλοι, εβαπορίτες, διεισδύον μάγμα κλπ.).
- Πλαστική ροή του υποβάθρου στο όριο θραυσιγενούς-πλαστικής παραμόρφωσης.
- Διαμπερής παραμόρφωση κατώτερου τμήματος ρηξιτεμαχών (απόκλιση από τον κανόνα της απουσίας εσωτερικής παραμόρφωσης).

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Το πετρελαϊκό πεδίο Gullfaks της Βόρειας Θάλασσας δομείται από ένα **σύστημα ντόμινο (domino system)**, που στα ανατολικά οριοθετείται από ένα **σύμπλεγμα ρηγμάτων** που δομεί ένα **κέρας (horst complex)**, μέσω μιας **ζώνης προσαρμογής (accommodation zone)**.

Στο σύστημα αυτό παρατηρούνται πολλές **αποκλίσεις** από το ιδεατό μοντέλο ντόμινο, όπως:

- i)* στα επιμέρους ρηξιτεμάχη παρατηρούνται **μικρότερης κλίμακας ρήγματα** και δομές που σχετίζονται με αυτά, όπως ένας μεγάλος αριθμός **ζωνών παραμόρφωσης (deformation bands)**,
- ii)* συστηματική, προς τα δυτικά, **μείωση της κλίσης των στρωμάτων** και
- iii)* ασυμβατότητα στη **γωνία κλίσης των αρχικών ρηγμάτων**, δεδομένου ότι αν περιστραφούν αντίθετα τα ντόμινο ρήγματα μέχρι τα στρώματα να γίνουν οριζόντια, τότε η κλίση των ρηγμάτων γίνεται μόλις 45° , ενώ η θεωρία του Anderson προϋποθέτει γωνία 60° .

Η ανακολουθία αυτή, σε σχέση με το ιδεατό μοντέλο ντόμινο, οφείλεται στην **εσωτερική παραμόρφωση** των επιμέρους ρηξιτεμαχών του ντόμινο, που δεν συμπεριφέρονται ως άκαμπτα σώματα.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρικές ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Το **όλκιμο μοντέλο ντόμινο (the soft* domino model)**

* Ο όρος "soft" χρησιμοποιείται ενίοτε στη θέση του "ductile".

Τα ρηξιτεμάχη **σπάνια**, ή **σχεδόν ποτέ**, συμπεριφέρονται ως **άκαμπτα σώματα** και φυσικά αυτό ισχύει και για τα **συστήματα ηπειρωτικής διάνοιξης (rift systems)**, ιδίως αν λάβουμε υπόψη μας ότι οι περιοχές αυτές συνήθως χαρακτηρίζονται από **μικρής αντοχής** ή και **ασύνδετα ιζήματα**.

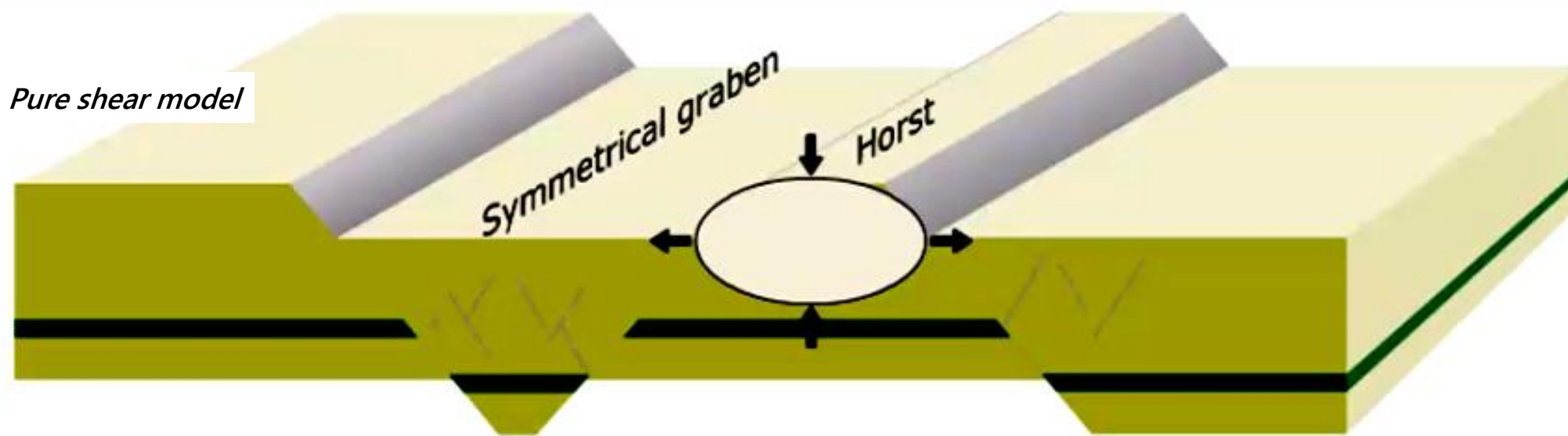
Από την άλλη, έχει ήδη αναλυθεί ότι τα **ρήγματα** αναπτύσσονται σε **ομάδες** και **συστήματα (fault populations)** και ότι όλα τα μεγέθη που σχετίζονται με αυτά (**πλάτος, μήκος, μετατόπιση, όρια απόληξης**) υπακούουν σε συγκεκριμένους **δυναμικούς νόμους**, που σχετίζονται με τη **λιθολογία** και άλλες παραμέτρους.

Αντίθετα το μοντέλο του **άκαμπτου ντόμινο (rigid domino model)** απαιτεί όλα τα ρήγματα να έχουν το **ίδιο** μήκος και την **ίδια** μετατόπιση. Εξαιτίας όλων αυτών των **φυσικών αποκλίσεων** από το μοντέλο αυτό, έχει καθιερωθεί το **μοντέλο** του **όλκιμου ντόμινο (soft domino model)**, το οποίο **επιτρέπει**:

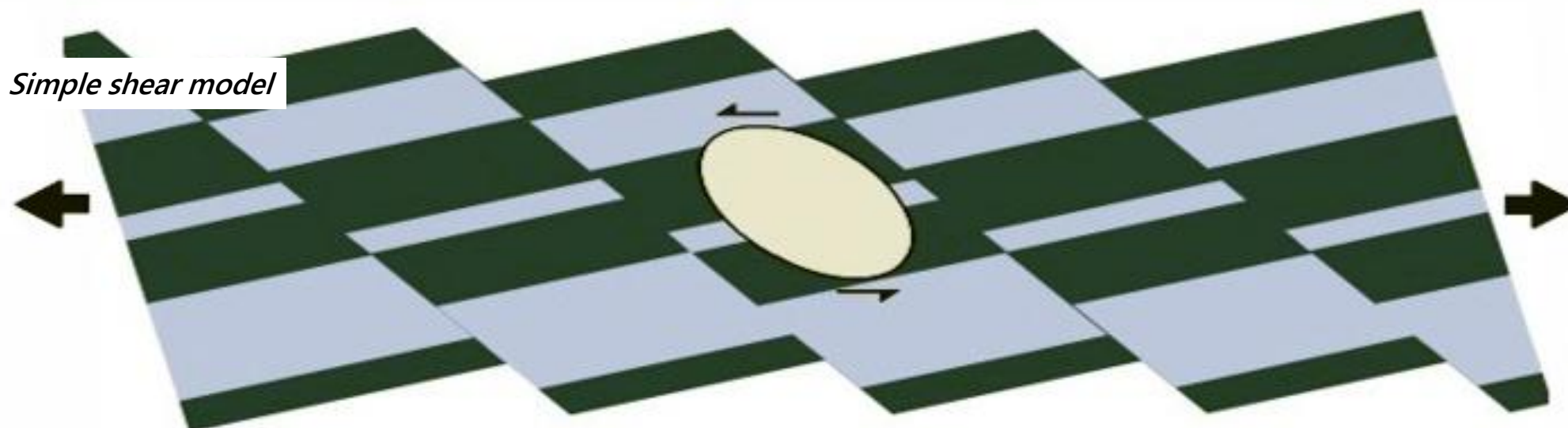
- τη συσσώρευση **εσωτερικής παραμόρφωσης** στα ρηξιτεμάχη,
- **διακυμάνσεις** στο **μέγεθος** των ρηγμάτων,
- **διακυμάνσεις** στο **μέγεθος** της **μετατόπισης**, αλλά και
- **πτύχωση** των στρωμάτων.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Για το **ίδιο ποσοστό έκτασης** του φλοιού μπορεί να δημιουργηθεί **συμμετρικό σύστημα τάφρων και κεράτων** ή

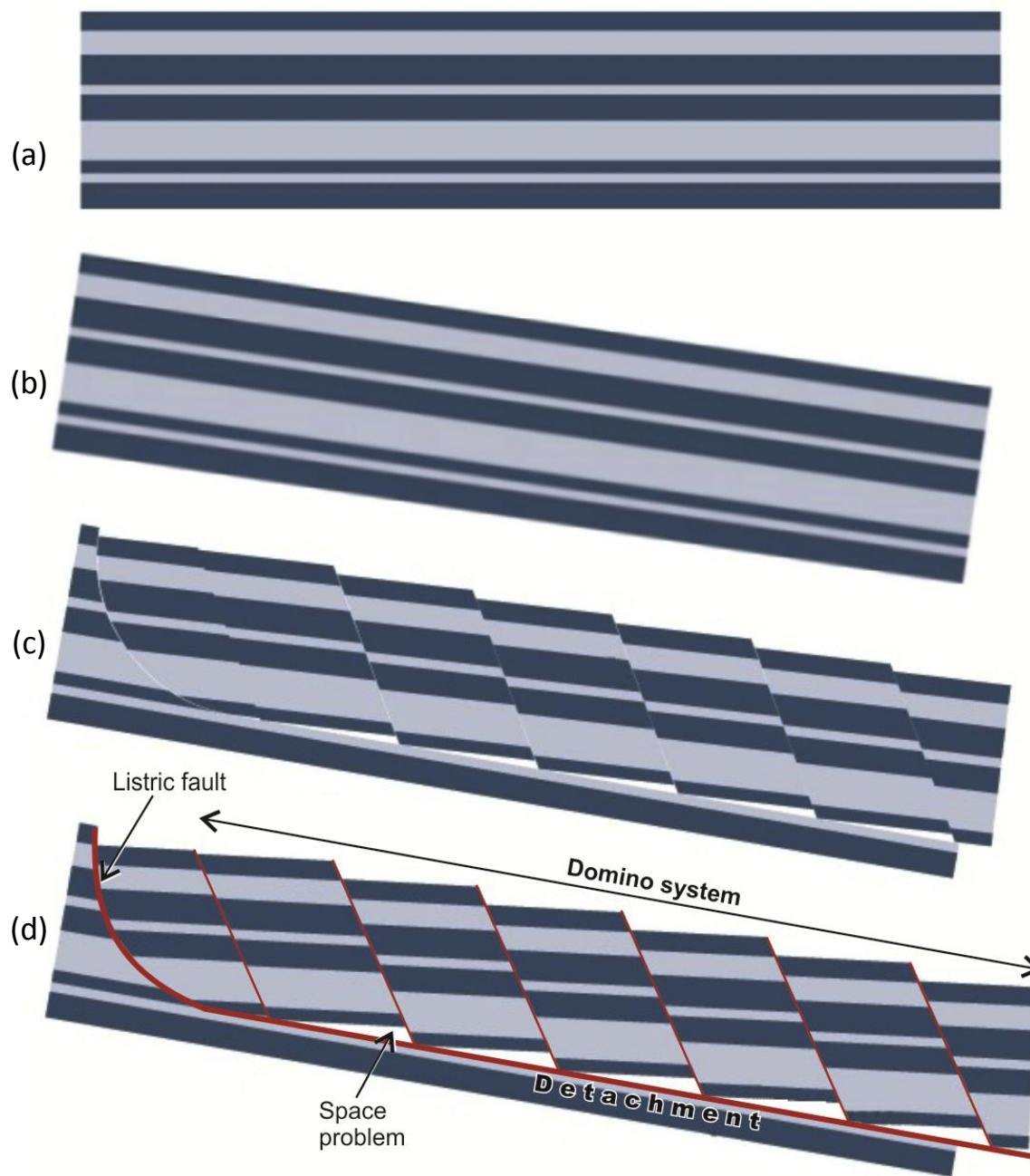


.... **σύστημα ντόμινο**. Εξαρτάται από: i) **γεωμετρία ρηγμάτων**, ii) **λιθολογία** και **μηχανικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων**....



.... iii) **αντίδραση** στην παραμόρφωση και iv) **μηχανισμό παραμόρφωσης** (pure ή simple shear).

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Αν και τα αίτια δημιουργίας των συστημάτων domino δεν είναι ακόμα ξεκάθαρα, η παρουσία ενός **ασθενούς**, από **μηχανική άποψη**, στρώματος, που χαρακτηρίζεται από **μικρή γωνία κλίσης** ή ακόμα και ένα προϋπάρχον **ρήγμα αποκόλλησης (detachment)**, που είναι επιρρεπές στο να επαναδραστηριοποιηθεί, συνιστά έναν από τους **σημαντικότερους παράγοντες** που καθορίζει την ανάπτυξη των μη συμμετρικών δομών ντόμινο.

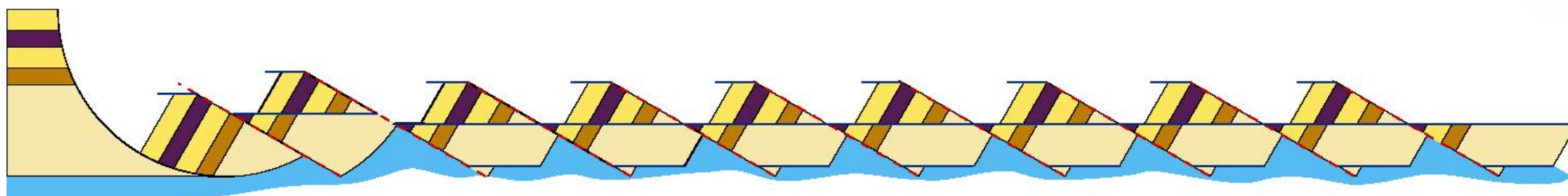
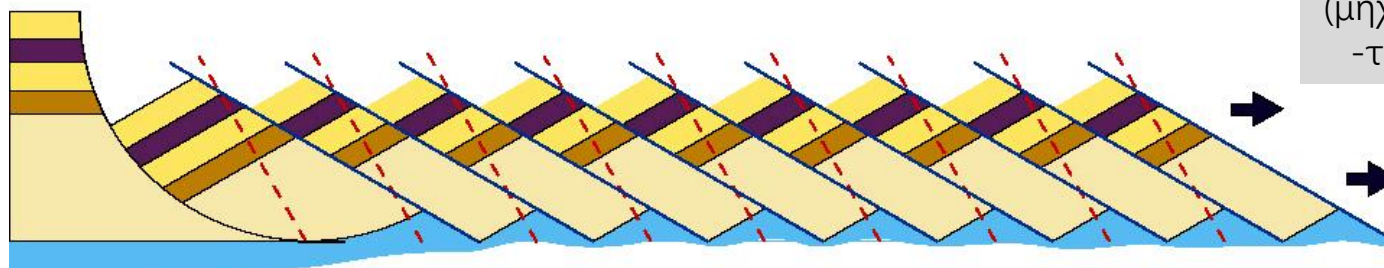
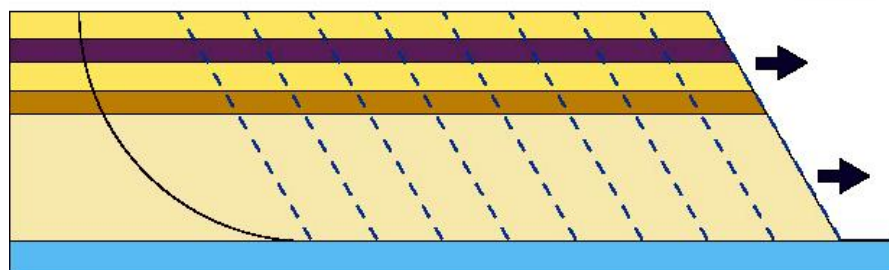
Στο διπλανό πειραματικό μοντέλο η μικρή, κατά 10° , περιστροφή των στρωμάτων οδηγεί σε ένα σύστημα domino (με περιστροφή ρηξιτεμαχών 7°), που αναπτύσσεται πάνω σε ένα ρήγμα αποκόλλησης, που δημιουργήθηκε σε ένα ασθενές, από μηχανική άποψη, στρώμα.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

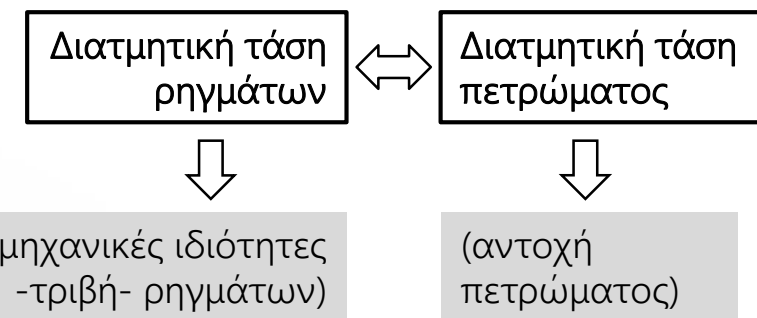


- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Πολλαπλές συστοιχίες ρηγμάτων σε συστήματα ντόμινο



Υψηλά ποσοστά έκτασης (π.χ. Basin & Range) → μεγάλη περιστροφή → ανενεργά.



Για συνηθισμένες τιμές τριβής, περιστροφή (20° έως 45°). Άρα:

$$60^\circ - (20^\circ \text{ έως } 45^\circ) = 40^\circ \text{ έως } 15^\circ \text{ για να γίνουν ανενεργά.}$$

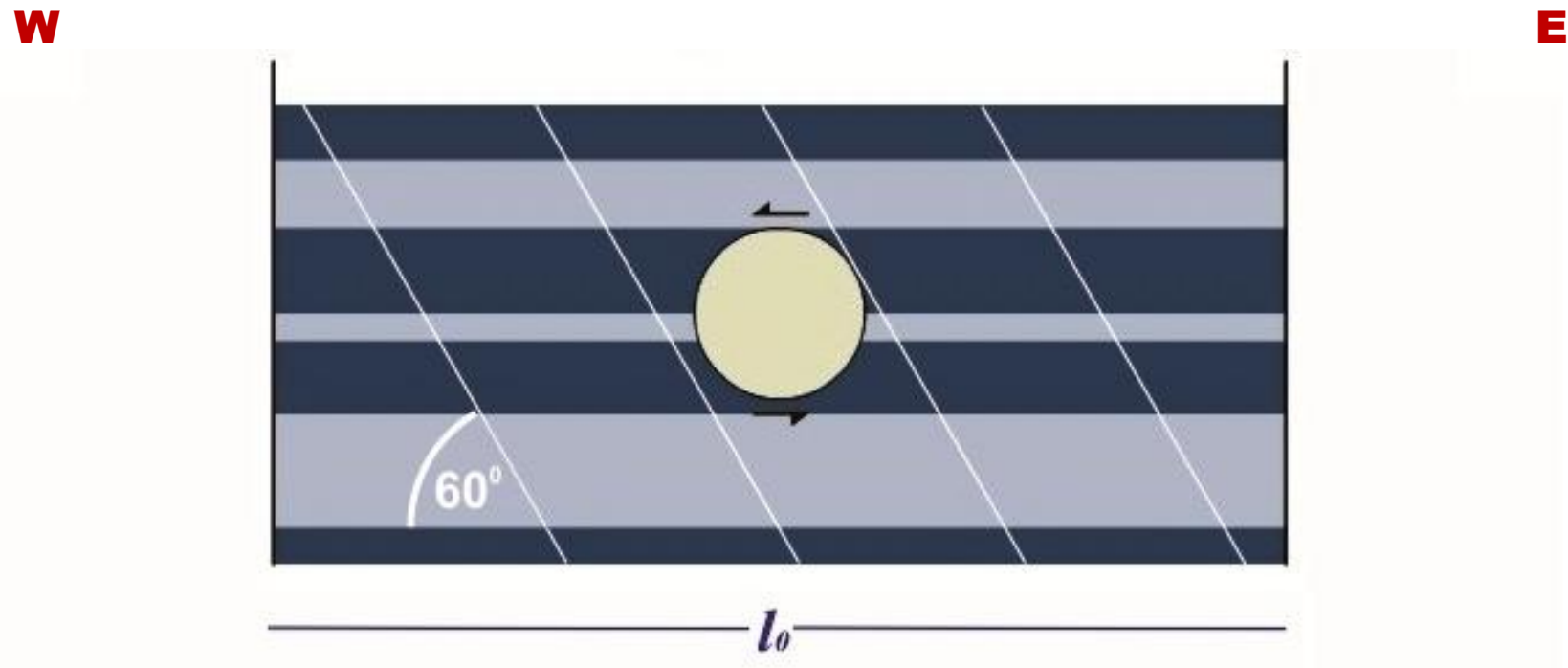
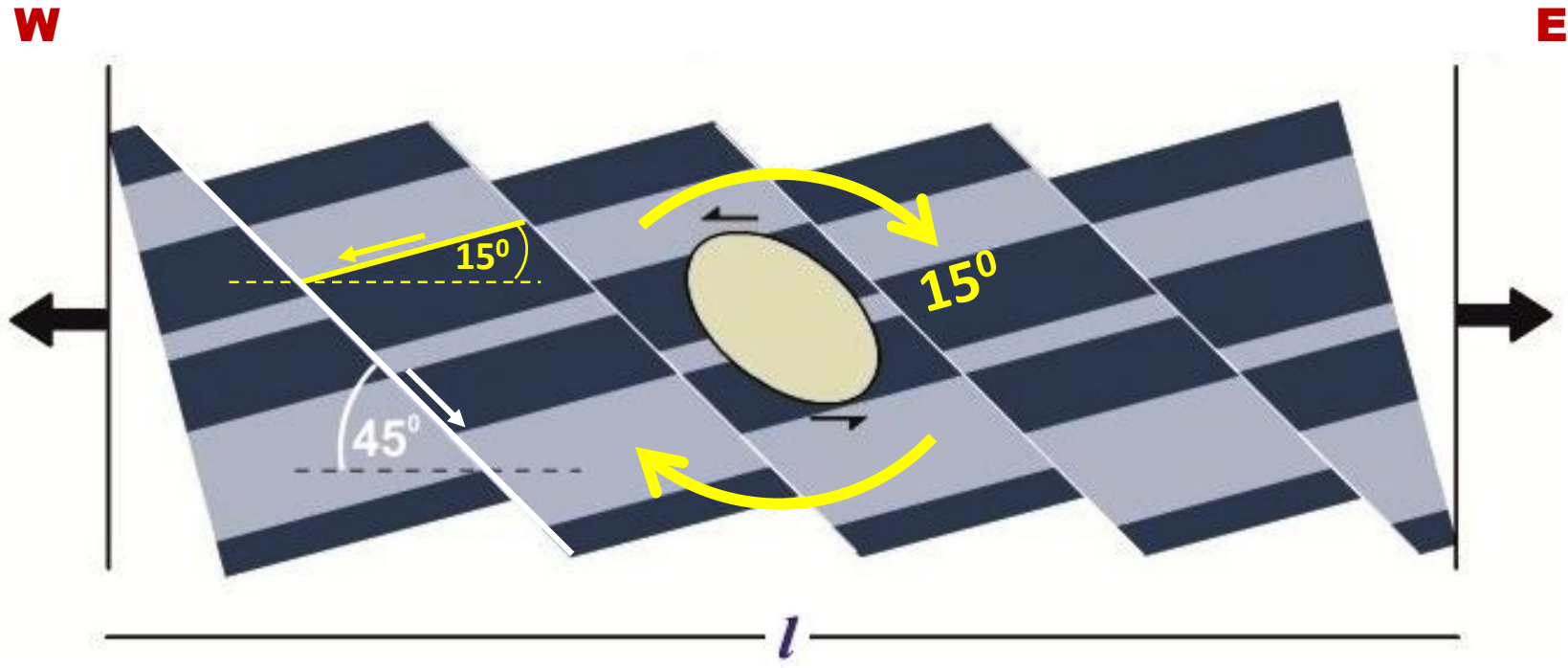
↳ (σύμφωνα με το κριτήριο Coulomb και τη θεωρία του Anderson)

Σε μία περιοχή εντοπίζεται μια σειρά από μεγάλης κλίμακας κανονικά ρήγματα, που αρχικά έτεμναν οριζόντιους μεταλπικούς σχηματισμούς.

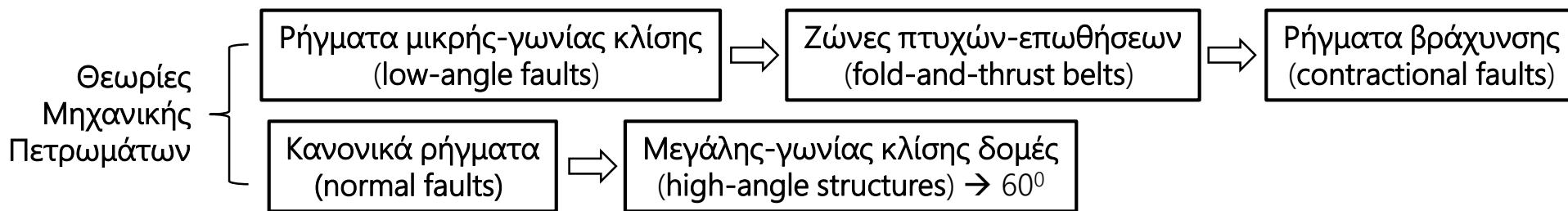
Όλα τα ρήγματα αυτά σήμερα έχουν την ίδια κλίση, $\approx 45/090$, είναι επίπεδα και παρουσιάζουν το ίδιο άλμα.

Η κλίση των νεογενών σχηματισμών, σε όλα τα επιμέρους ρηξιτεμάχη που χωρίζουν, είναι σταθερή, με στοιχεία $\approx 15/270$.

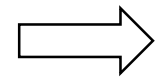
ΕΡΩΤΗΣΗ: Η παραμόρφωση μπορεί να ερμηνευθεί με μηχανισμό απλή διάτμηση και μοντέλο ρηγμάτων τύπου ντόμινο?



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

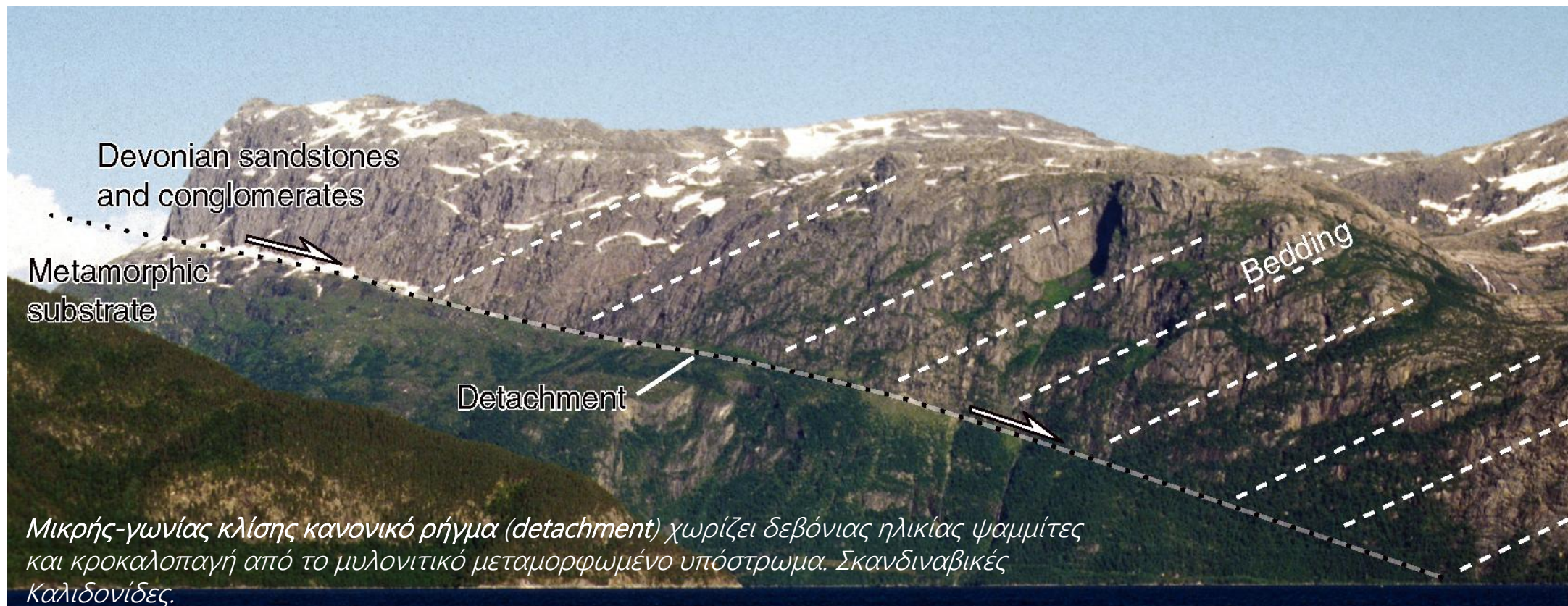


- Νεότερα δεδομένα υπαίθρου (Basin and Range 70s),
- ερμηνεία σεισμικών τομών και
- σύγχρονα πειραματικά δεδομένα



..... αποδεικνύουν τη δυνατότητα δημιουργίας μικρής-γωνίας κλίσης εκτατικών ρηγμάτων.

Ιστορικό των ρηγμάτων μικρής-γωνίας κλίσης



- ❑ Ορισμοί
- ❑ Εκτατικά ρήγματα
- ❑ Συστήματα ρηγμάτων
- ❑ Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- ❑ Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- ❑ Βαρυτικές καταρρεύσεις
- ❑ Υπολογισμός έκτασης και fractals
- ❑ Ηπειρωτική διάνοιξη
- ❑ Ωκεανική διάνοιξη
- ❑ Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Το πρόβλημα με τα μικρής-γωνίας κλίσης κανονικά ρήγματα

Μηχανικό παράδοξο → Δεν προβλέπονται από το μοντέλο του **Anderson** → Για σ_1 κατακόρυφο, ο σχηματισμός τους, από **μηχανική άποψη**, είναι **ανέφικτος**, για συνηθισμένους τύπους πετρωμάτων.

ΕΡΜΗΝΕΙΕΣ:

1. **Περιστροφή** (άκαμπτη ή όλκιμη) μεγάλης-γωνίας κλίσης ρηγμάτων κατά τη διάρκεια της έκτασης.
2. **Επαναδραστηριοποίηση** προϋπαρχόντων δομών βράχυνσης (επωθήσεις ή αποκολλήσεις), που η μικρή τους κλίση προβλέπεται από τη θεωρία του Anderson.
3. **Απευθείας σχηματισμός**, κάτω από προϋποθέσεις (π.χ. παρουσία μικρής κλίσης μηχανικά ασθενών στρωμάτων, ανώμαλος προσανατολισμός πεδίου τάσεων) ώστε να δικαιολογείται η απόκλιση από τη θεωρία του Anderson.

ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ:

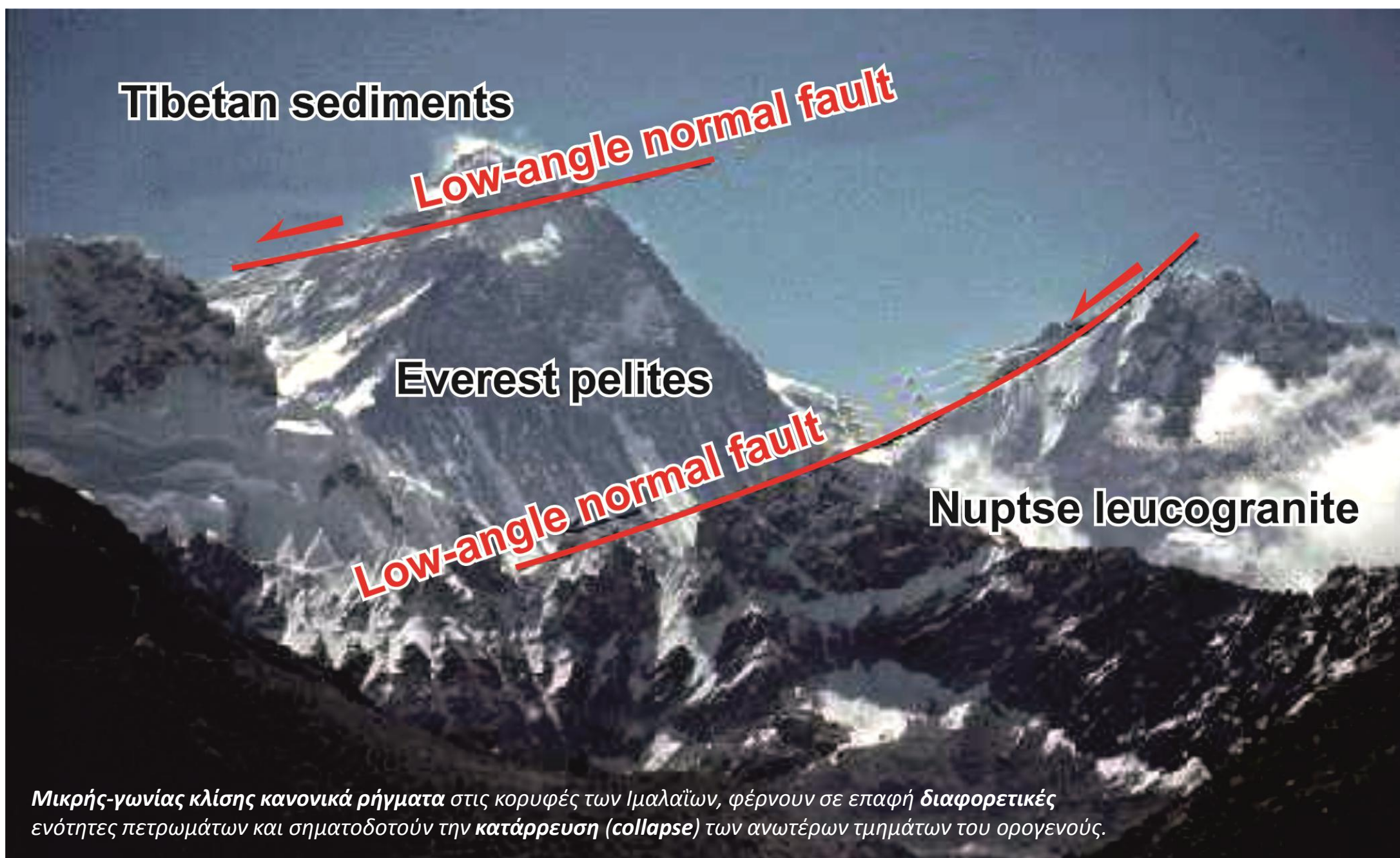
→ Η πιο **φυσική** εξήγηση.

→ Σύγχρονες παρατηρήσεις δείχνουν ότι ελάχιστα μικρής-γωνίας κλίσης κανονικά ρήγματα είναι **σεισμικά ενεργά**.

→ Εφαρμογή σε **ορισμένες μόνο** περιπτώσεις υπαρκτών ρηγμάτων στην ύπαιθρο.

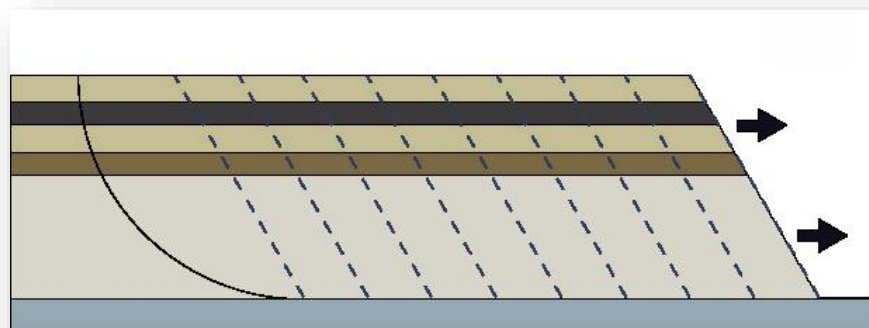
Συμπλέγματα μεταμορφικού πυρήνα (metamorphic core complexes).....

- ❑ Ορισμοί
- ❑ Εκτατικά ρήγματα
- ❑ Συστήματα ρηγμάτων
- ❑ Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- ❑ Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- ❑ Βαρυτικές καταρρεύσεις
- ❑ Υπολογισμός έκτασης και fractals
- ❑ Ηπειρωτική διάνοιξη
- ❑ Ωκεανική διάνοιξη
- ❑ Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



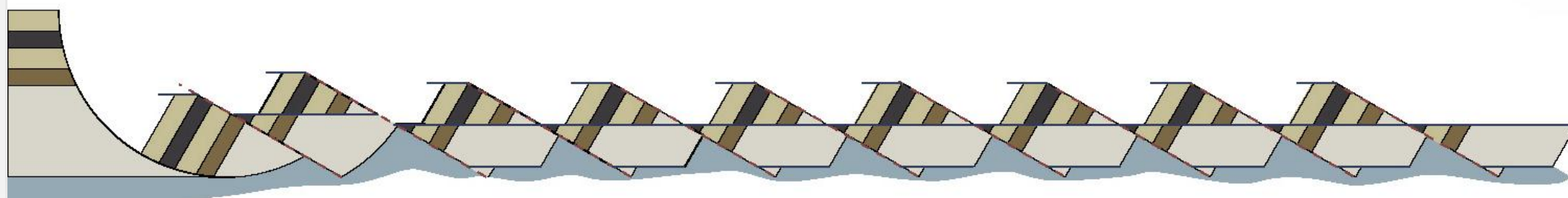
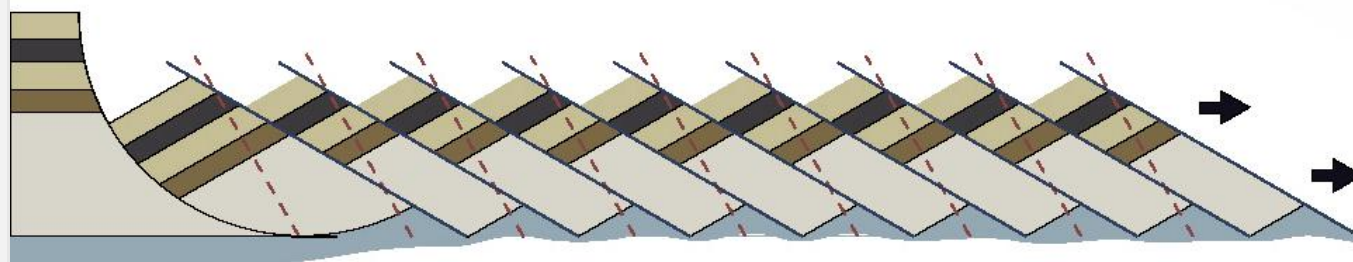
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματίων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Περιστραμμένα κανονικά ρήγματα



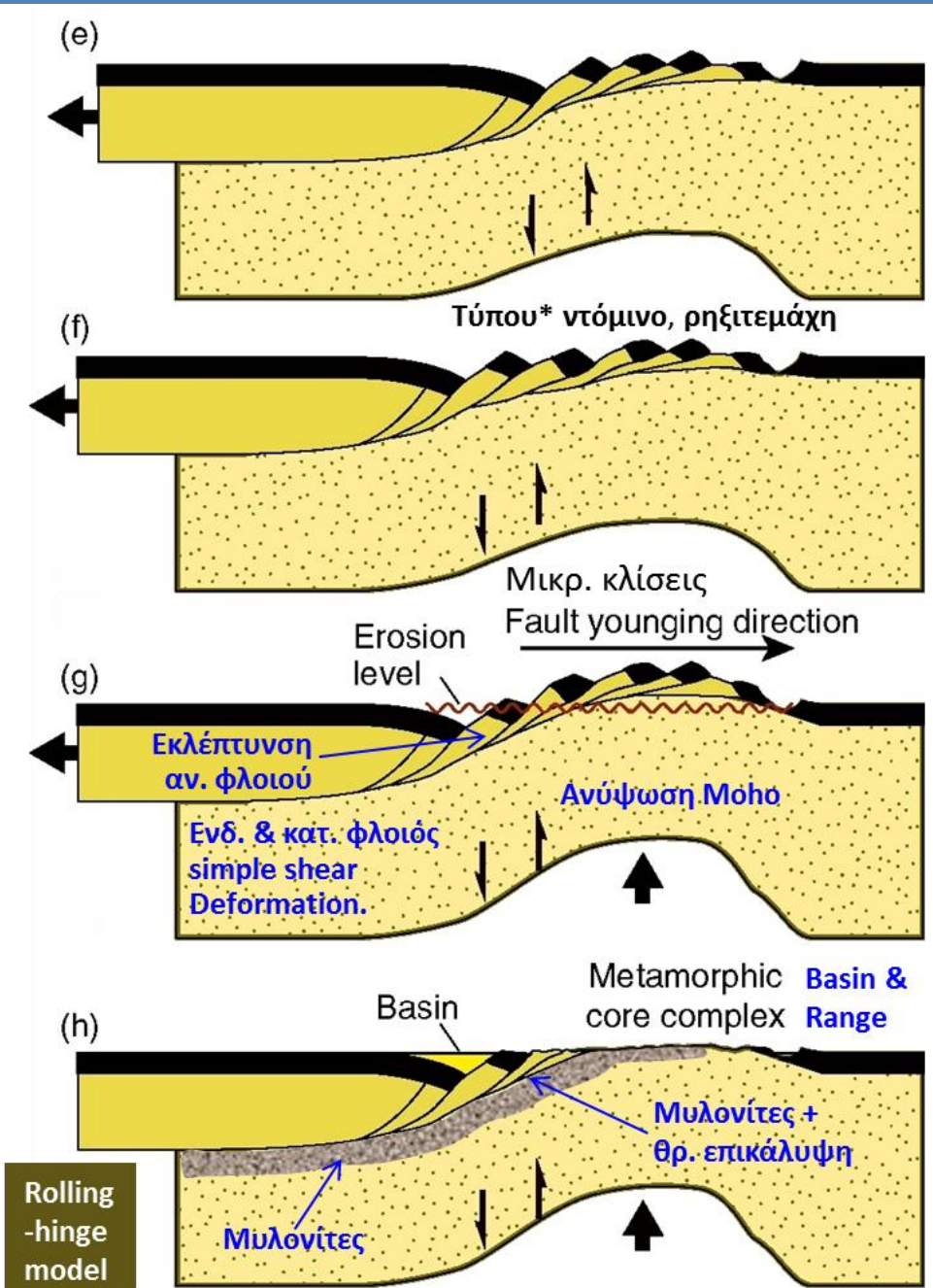
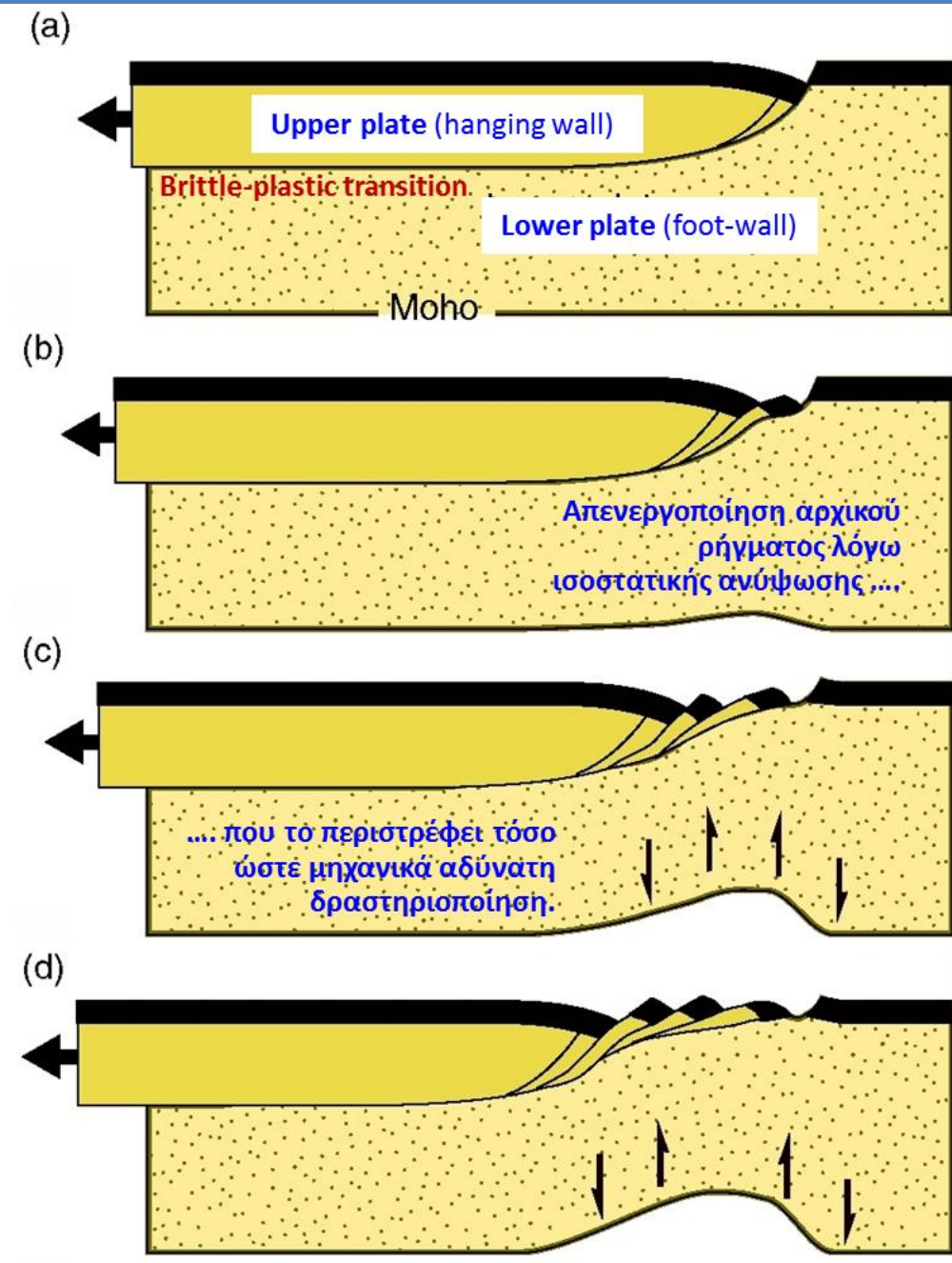
Μοντέλο "ντόμινο"

Τα περιστραμμένα (μικρής-γωνίας πια) ρήγματα, τέμνονται από νεώτερα (μεγάλης-γωνίας) ρήγματα.



Άλλο ένα δημοφιλές μοντέλο των 80s όπου μικρής-γωνίας κλίσης ρήγματα δεν τέμνονται από μεγάλης-γωνίας.
Έκταση σε κλίμακα φλοιού + ισοστατικές επανορθώσεις (κινούμενη βάση). →

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματών
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



* Δεν σχηματίζονται ταυτόχρονα, διαφορετική γεωμετρία.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

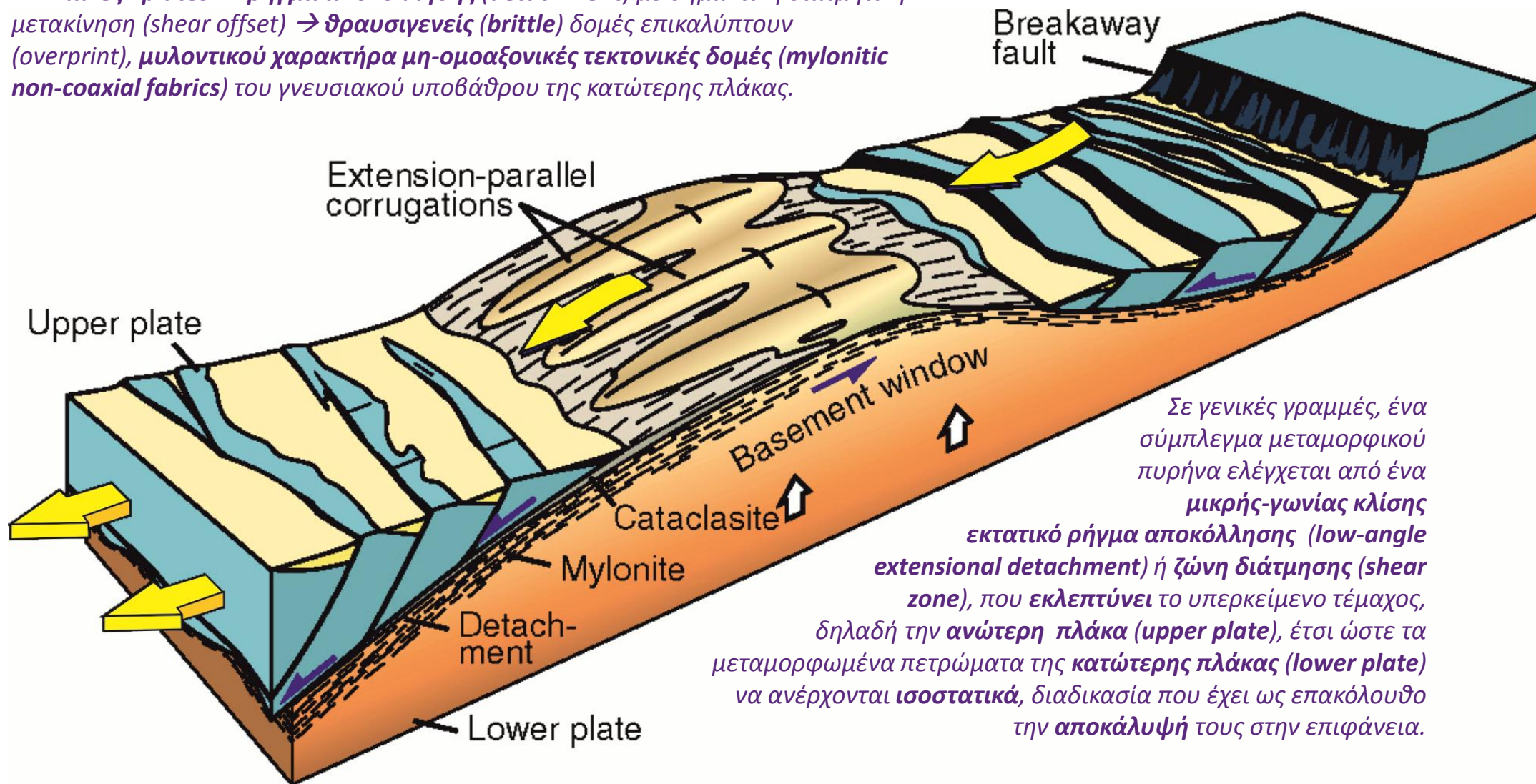


- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

METAMORPHIC CORE COMPLEXES

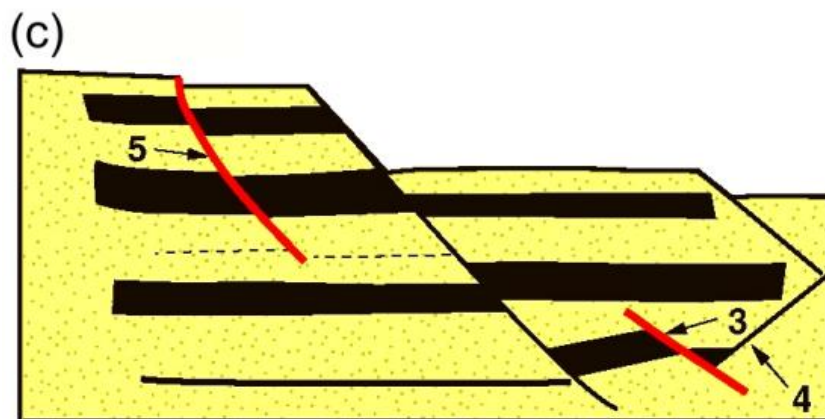
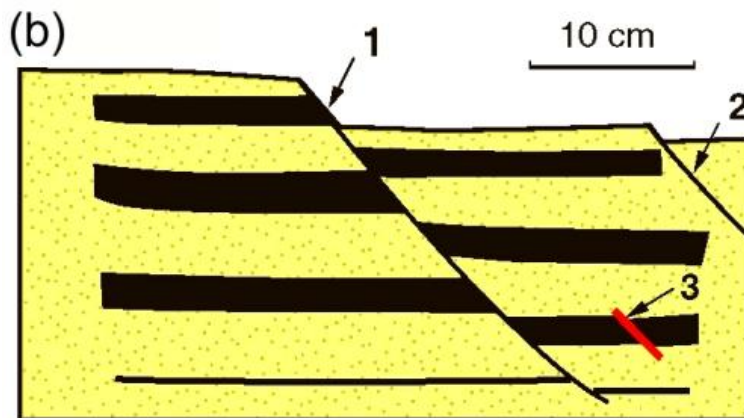
Λεπτομερής εργασία υπαίθρου (χαρτογράφηση, τεκτονική ανάλυση κλπ.) + ραδιοχρονολογήσεις, στρωματογραφικά στοιχεία και σεισμικά δεδομένα.

Πυρήνας μεταμορφωμένων πετρωμάτων (συνήθως γνεύσιοι) → **τεκτονικό παράθυρο** → υπερκείμενα ιζηματογενή πετρώματα, σημαντικά νεότερης ηλικίας → **πλάκες – plates** → **ρήγμα αποκόλλησης (detachment)** με σημαντική διατμητική μετακίνηση (*shear offset*) → **θραυσιγενείς (brittle) δομές επικαλύπτουν (overprint), μυλοντικού χαρακτήρα μη-ομοαξονικές τεκτονικές δομές (mylonitic non-coaxial fabrics)** του γνευσιακού υποβάθρου της κατώτερης πλάκας.



Σε γενικές γραμμές, ένα σύμπλεγμα μεταμορφικού πυρήνα ελέγχεται από ένα μικρής-γωνίας κλίσης εκτατικό ρήγμα αποκόλλησης (*low-angle extensional detachment*) ή ζώνη διάτμησης (*shear zone*), που εκλεπτύνει το υπερκείμενο τέμαχος, δηλαδή την **ανώτερη πλάκα (upper plate)**, έτσι ώστε τα μεταμορφωμένα πετρώματα της **κατώτερης πλάκας (lower plate)** να ανέρχονται **ισοστατικά**, διαδικασία που έχει ως επακόλουθο την **αποκάλυψή τους** στην επιφάνεια.

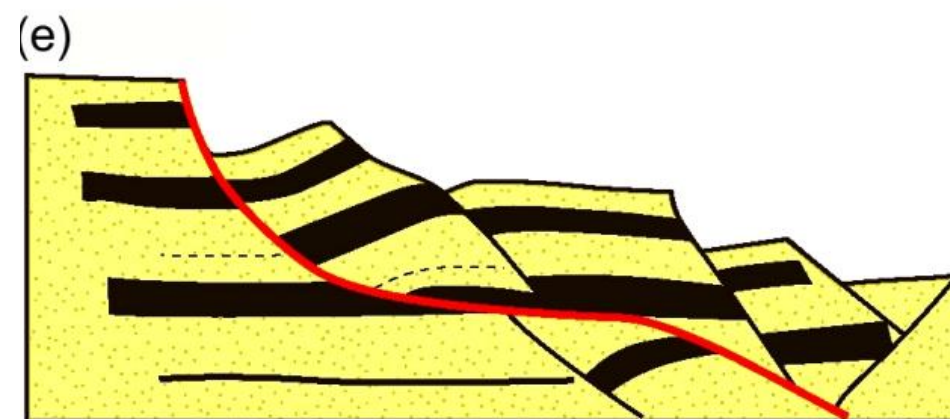
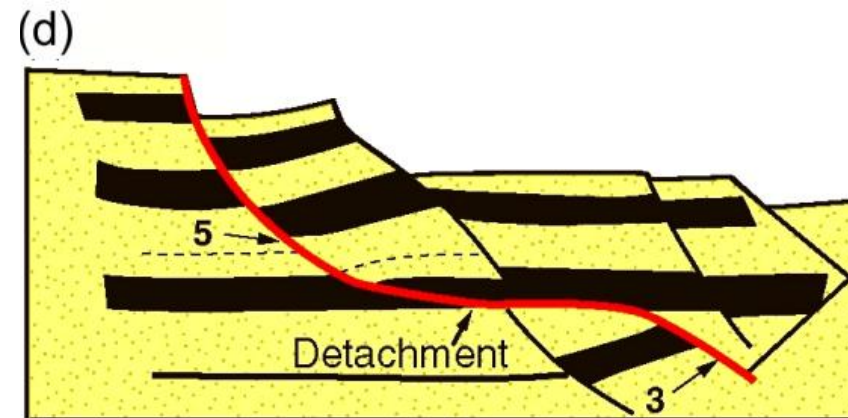
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Άμεση δημιουργία μικρής-γωνίας κλίσης ρηγμάτων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ: Τέμνουν μεγάλης-γωνίας κλίσης ρήγματα.

ΕΡΜΗΝΕΙΑ: α) Μπλοκάρισμα μεγάλης-γωνίας ρηγμάτων,
 β) Ύπαρξη υπο-οριζόντιας ζώνης μικρής αντοχής,
 γ) Ανώμαλος προσανατολισμός τάσεων.

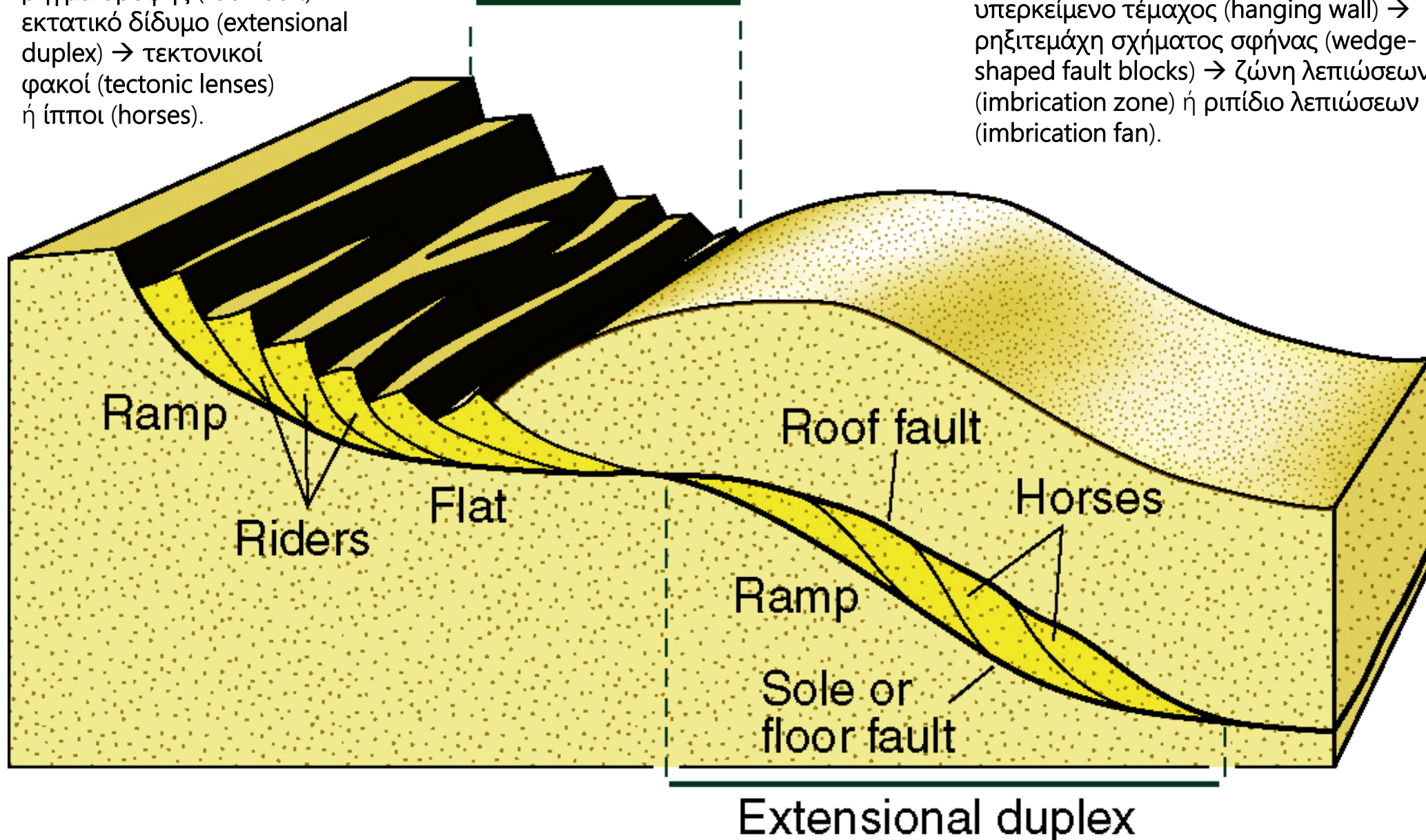


- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματών
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Ρήγμα δαπέδου (floor fault) + ρήγμα οροφής (roof fault) → εκτατικό δίδυμο (extensional duplex) → τεκτονικοί φακοί (tectonic lenses) ή ίπποι (horses).

Imbrication fan

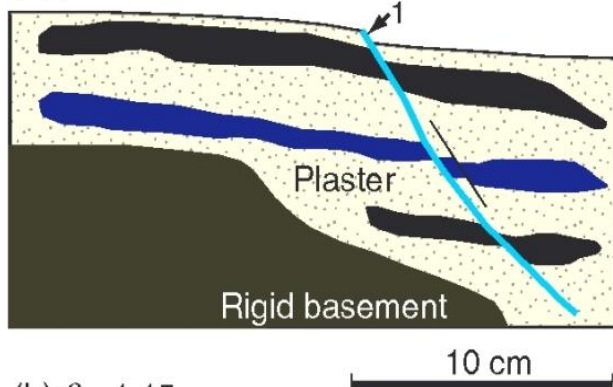
Εκτεταμένη παραμόρφωση (strain) στο υπερκείμενο τέμαχος (hanging wall) → ρηξιτεμάχη σχήματος σφήνας (wedge-shaped fault blocks) → ζώνη λεπιώσεων (imbrication zone) ή ριπίδιο λεπιώσεων (imbrication fan).



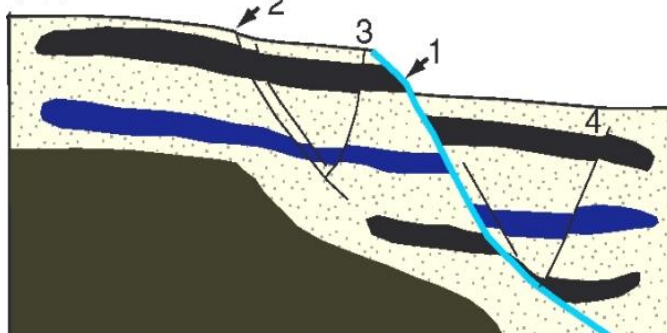
Extensional duplex

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματών
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

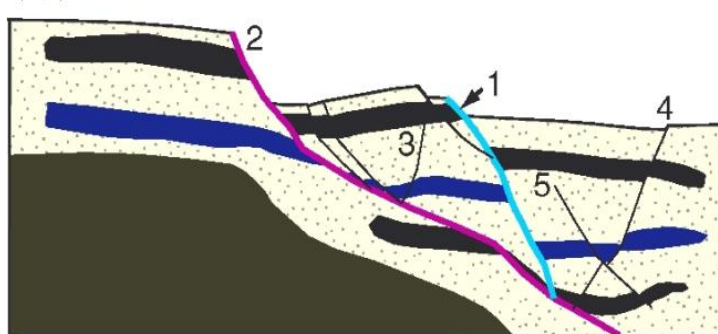
(a) $\beta = 1.08$



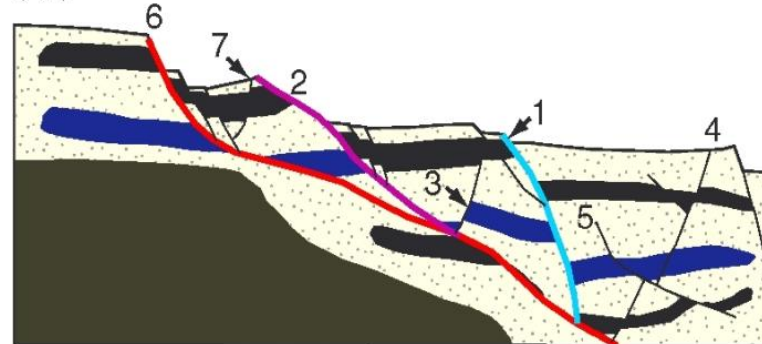
(b) $\beta = 1.15$



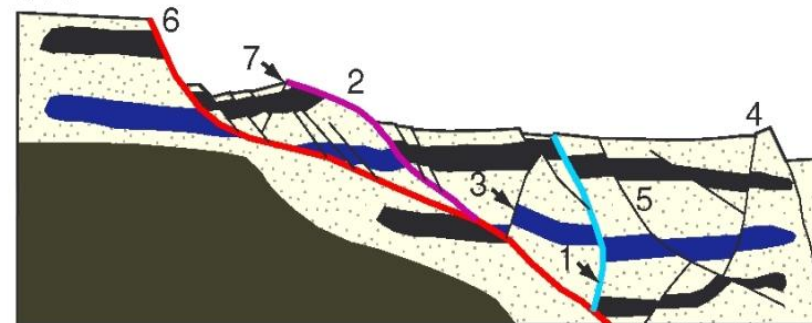
(c) $\beta = 1.23$



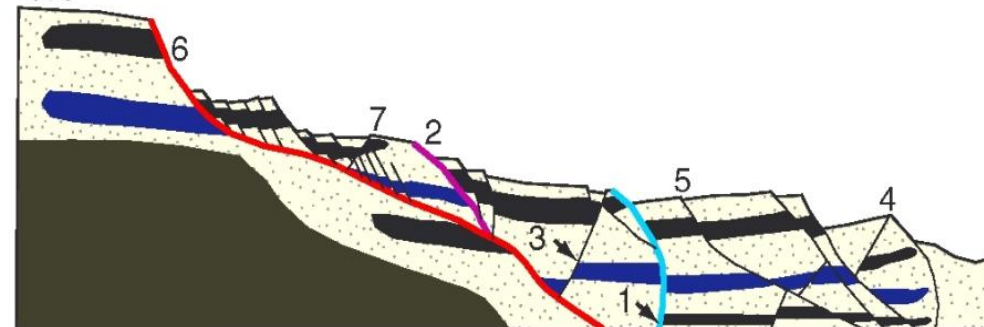
(d) $\beta = 1.33$



(e) $\beta = 1.40$



(f) $\beta = 1.74$



Το υπερκείμενο τέμαχος (hanging wall) παραμορφώνεται περισσότερο.

Κατάρρευση υπερκείμενου τεμάχους (hanging-wall collapse).

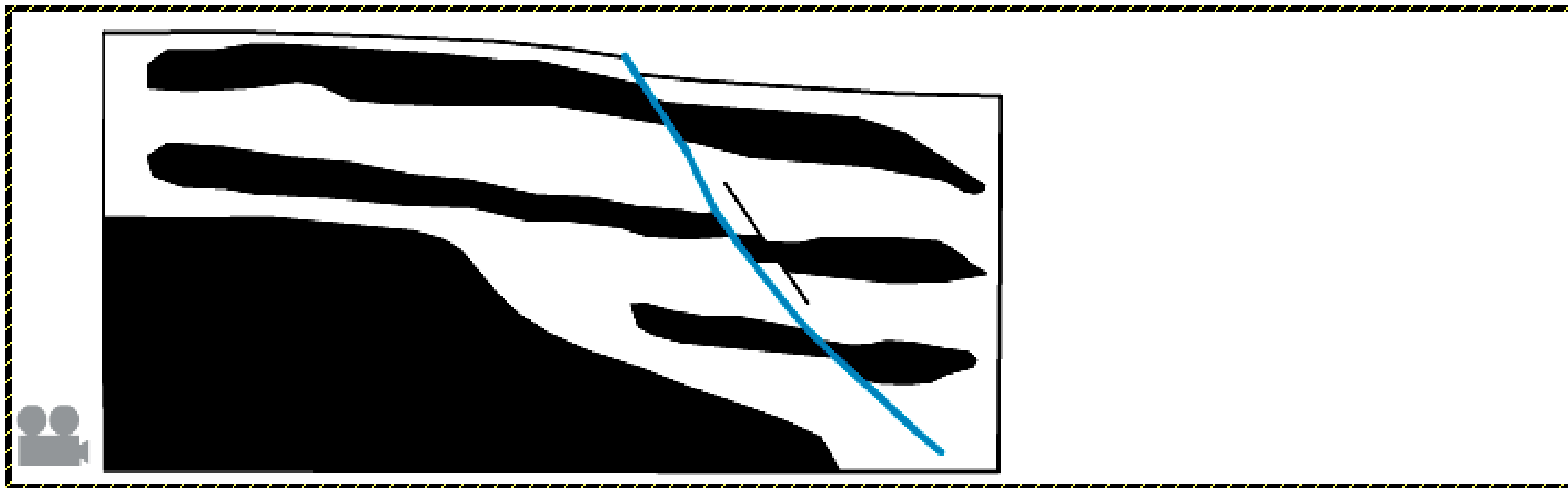
Εκτατικές ζώνες λεπιώσεων (extensional imbrication zones).

Κατάρρευση υποκείμενου τεμάχους (footwall collapse).

Συνήθης στα συστήματα ηπειρωτικής διάνοιξης (rift systems).

Μηχανισμός η δύναμη της βαρύτητας.

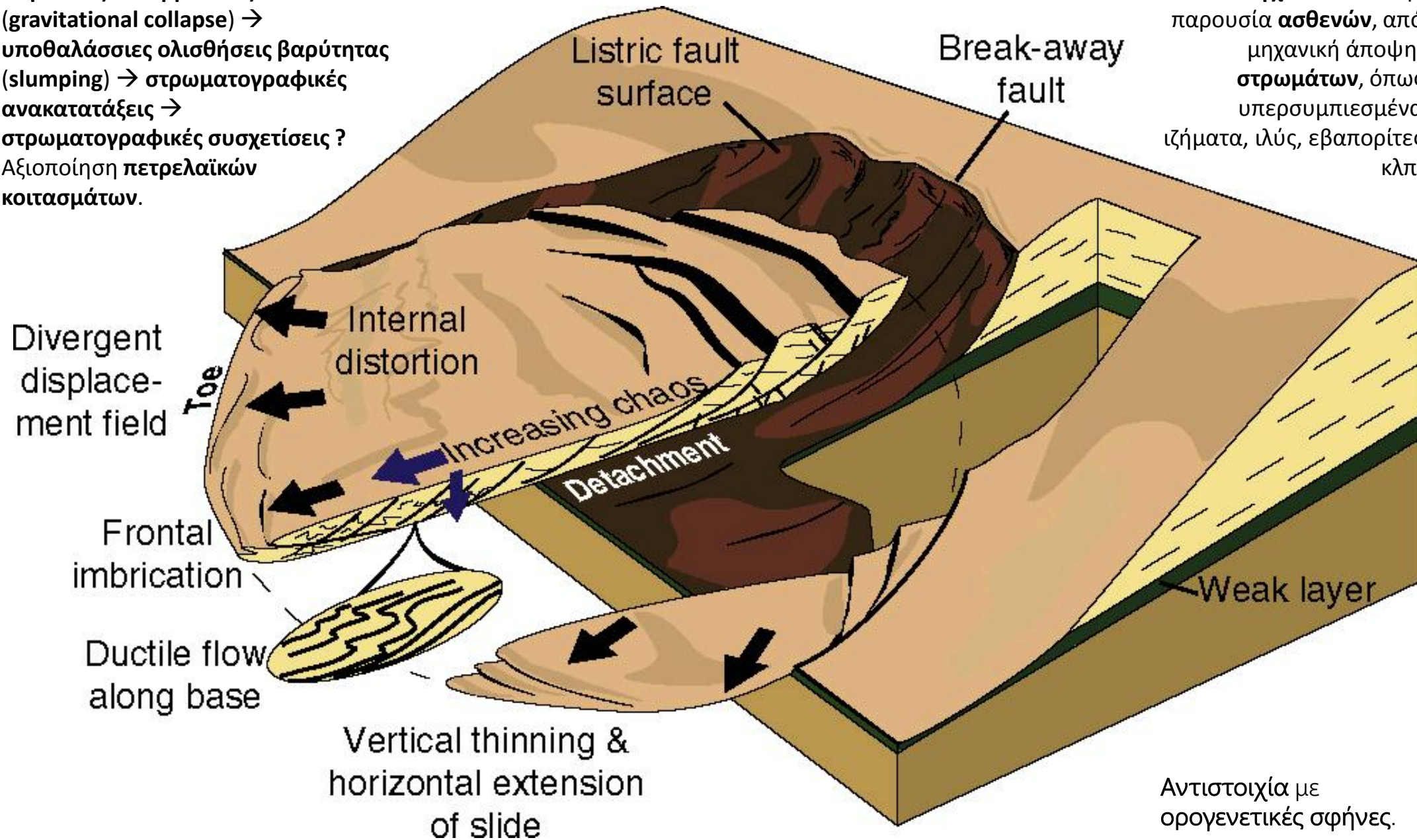
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

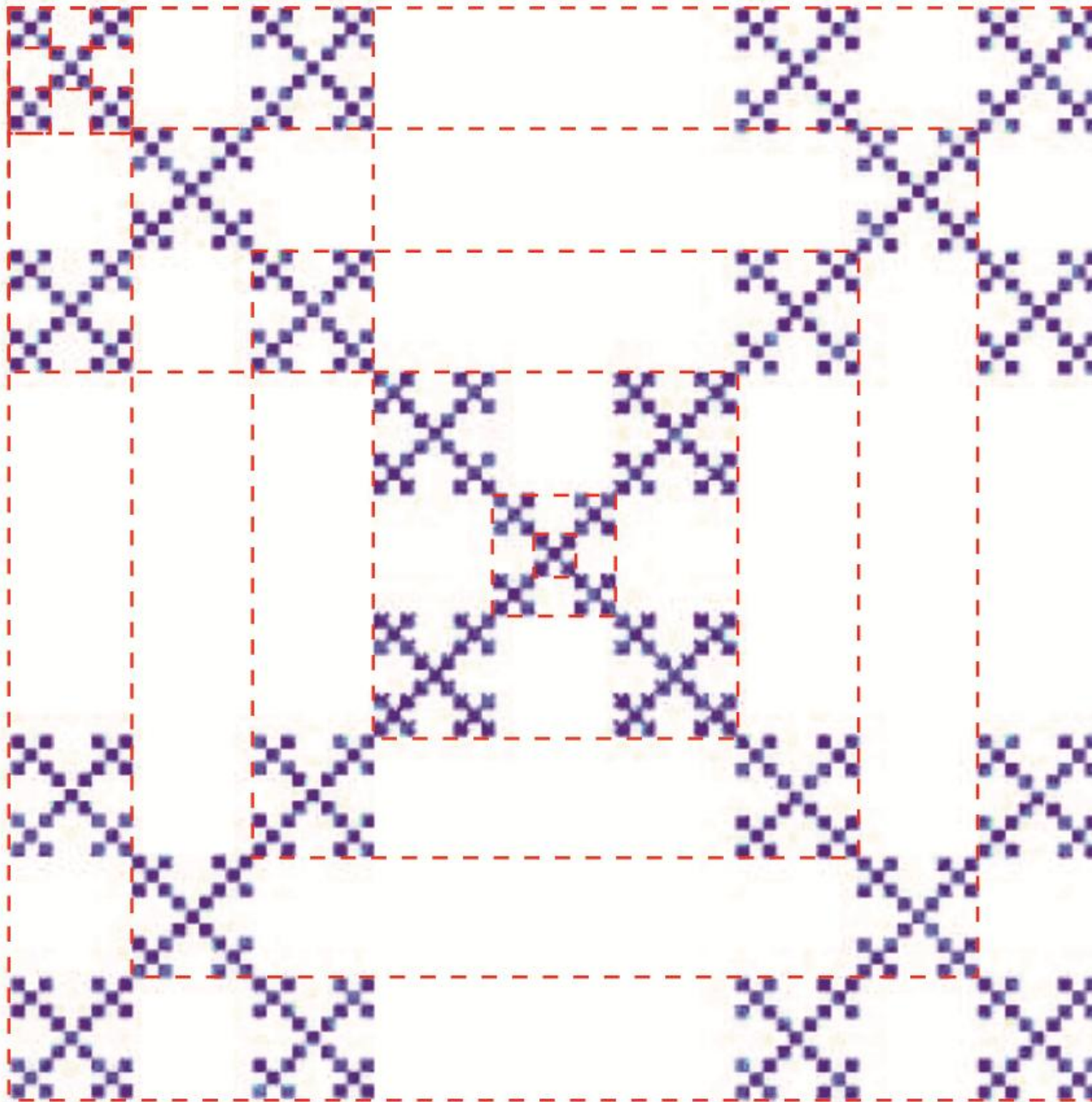
Βαρυτικές καταρρεύσεις (gravitational collapse) → υποθαλάσσιες ολισθήσεις βαρύτητας (slumping) → στρωματογραφικές ανακατατάξεις → στρωματογραφικές συσχετίσεις? Αξιοποίηση πετρελαϊκών κοιτασμάτων.

Ελέγχονται από την παρουσία ασθενών, από μηχανική άποψη, στρωμάτων, όπως υπερσυμπιεσμένα ιζήματα, ιλύς, εβαπορίτες κλπ.



Αντιστοιχία με ορογενετικές σφήνες.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Το πρόβλημα του υπολογισμού της έκτασης και η θεωρία των fractals

Μέθοδοι υπολογισμού συνολικού ποσοστού έκτασης (extension) ή διάτασης (stretching):

→ Αποκατάσταση γεωλογικών τομών ή κατασκευή ισορροπημένων γεωλογικών τομών (balanced cross-sections).

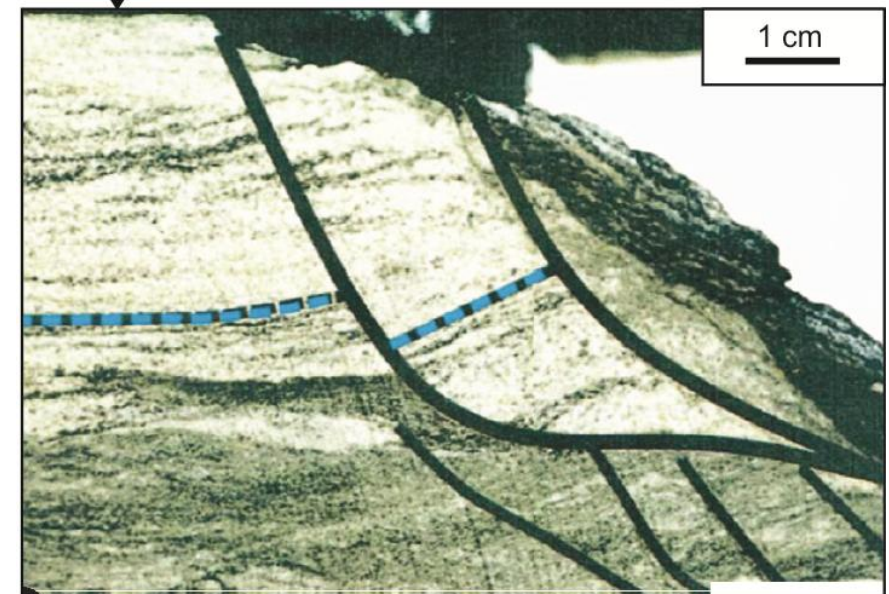
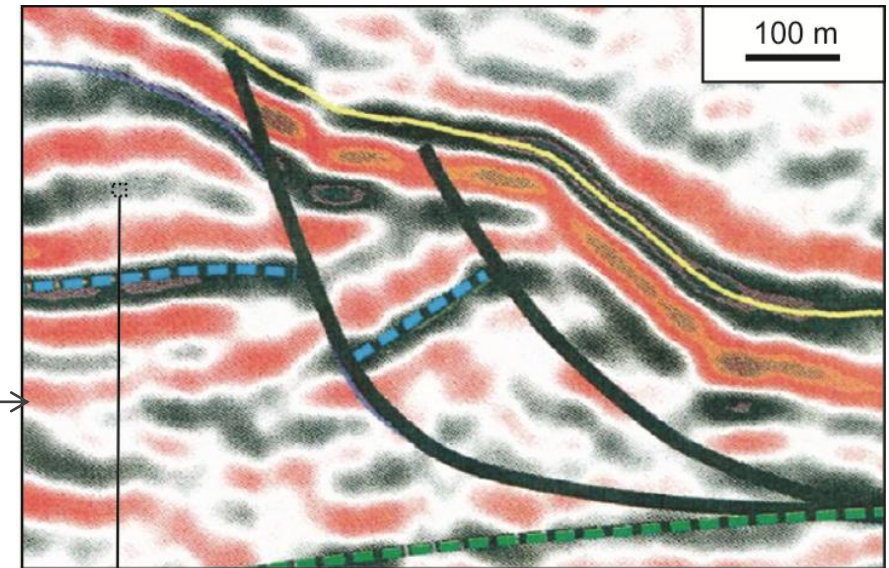
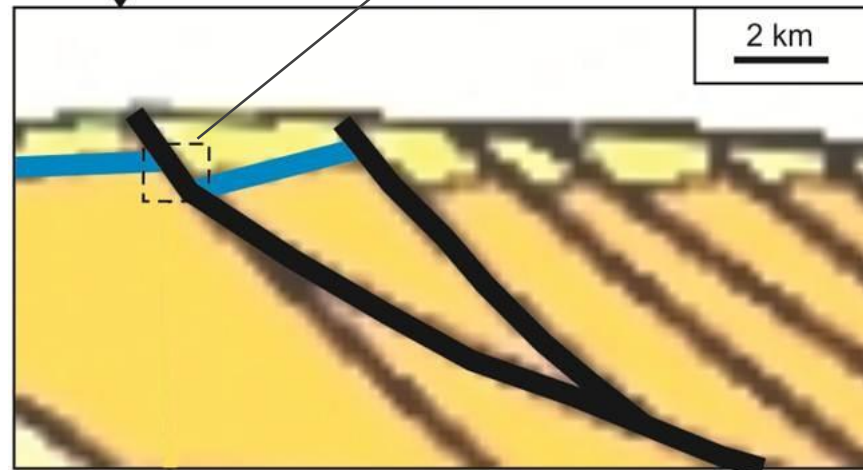
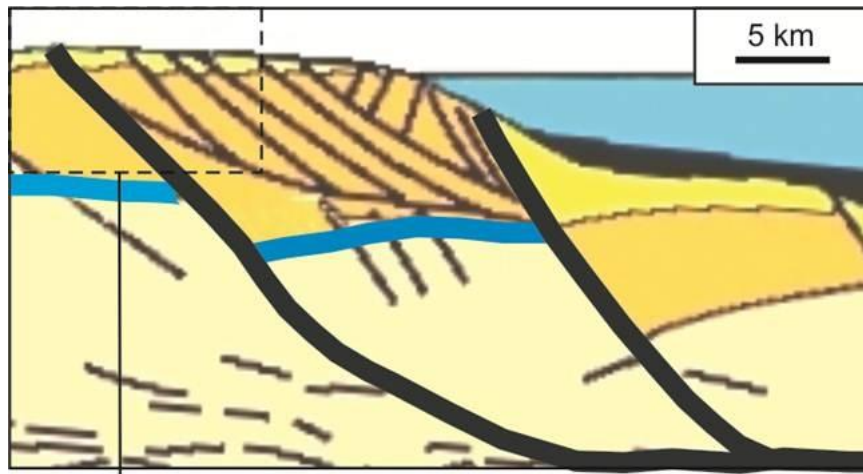
→ Άθροιση αλμάτων ρηγμάτων, χρησιμοποιώντας έναν οριζοντα αναφοράς (καθαρά τεκτονική μέθοδος).

Μικρότερο ποσοστό με τη δεύτερη μέθοδο → το πρόβλημα με τα μικρά ρήγματα (subseismic faults) → η λύση με τη θεωρία των fractals.

Fractals → γεωμετρικά σχήματα → self-similar δομές (μία ή περισσότερες από τις ιδιότητές τους επαναλαμβάνονται σε διαφορετικές κλίμακες).

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγματών
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Εφαρμογή των fractals στη Γεωλογία



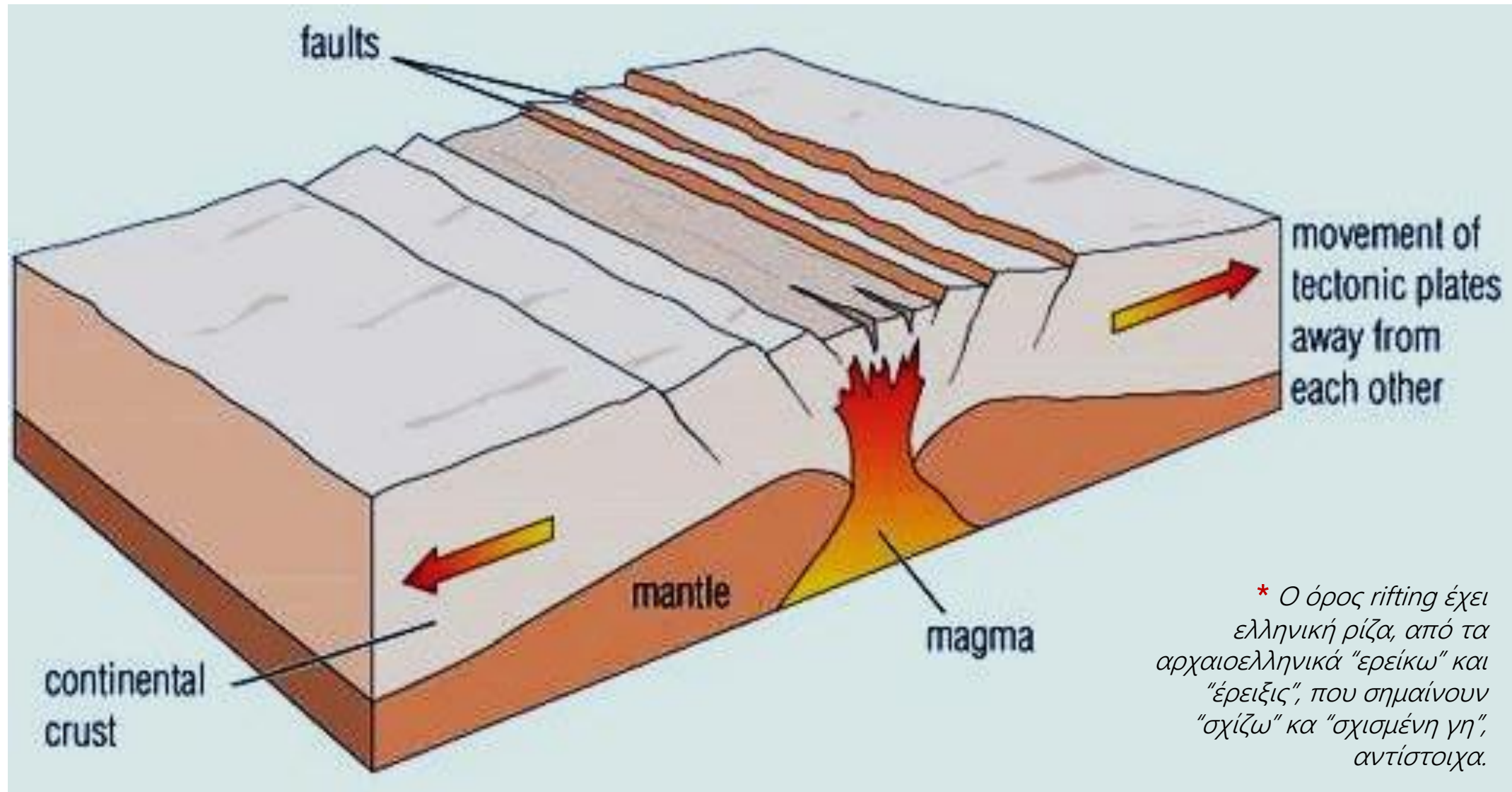
Πτυχές, ΡΗΓΜΑΤΑ → self-similar δομές.

Για κάθε ρήγμα με άλμα 1 km → 100 ρήγματα με άλμα 100 m.
 Για κάθε ρήγμα με άλμα 100 m → 100 ρήγματα με άλμα 10 m κ.ο.κ. Το ίδιο για μήκος ρήγματος κλπ.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Ηπειρωτική διάνοιξη ή ταφρογένεσης (rifting) → μεγάλες επιμήκειες τάφροι (rifts) κλίμακας φλοιού → λόγω τεκτονικών δυνάμεων (tectonic forces) ο φλοιός εφελκύεται και διαχωρίζεται (pulled apart).

Βασικές έννοιες – Ενεργό και παθητικό rifting *

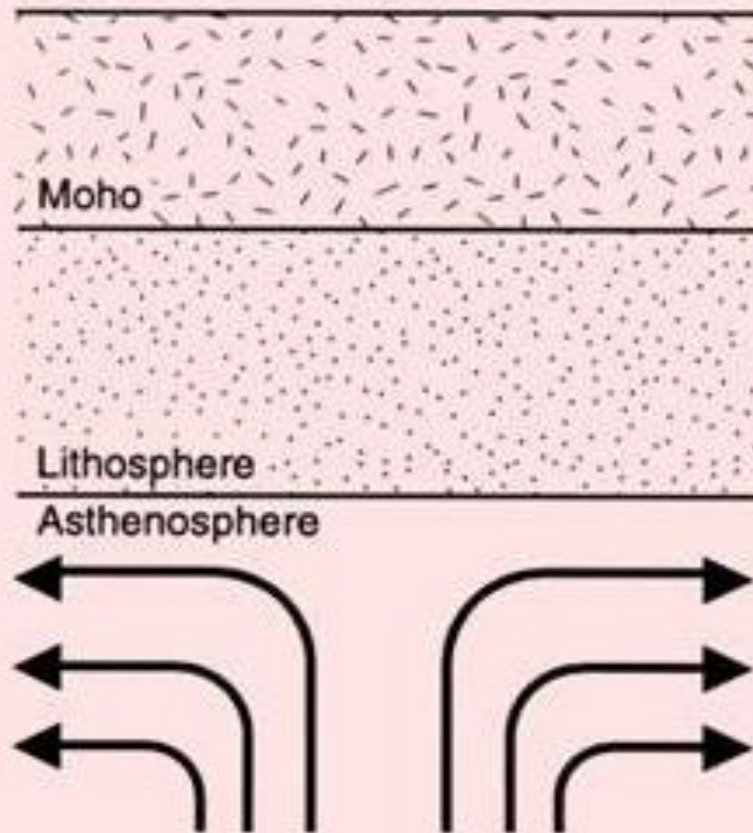


* Ο όρος rifting έχει ελληνική ρίζα, από τα αρχαιοελληνικά "ερείκω" και "ερείξις", που σημαίνουν "σχίζω" κα "σχισμένη γη", αντίστοιχα.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

A. Origins of Causative Stresses

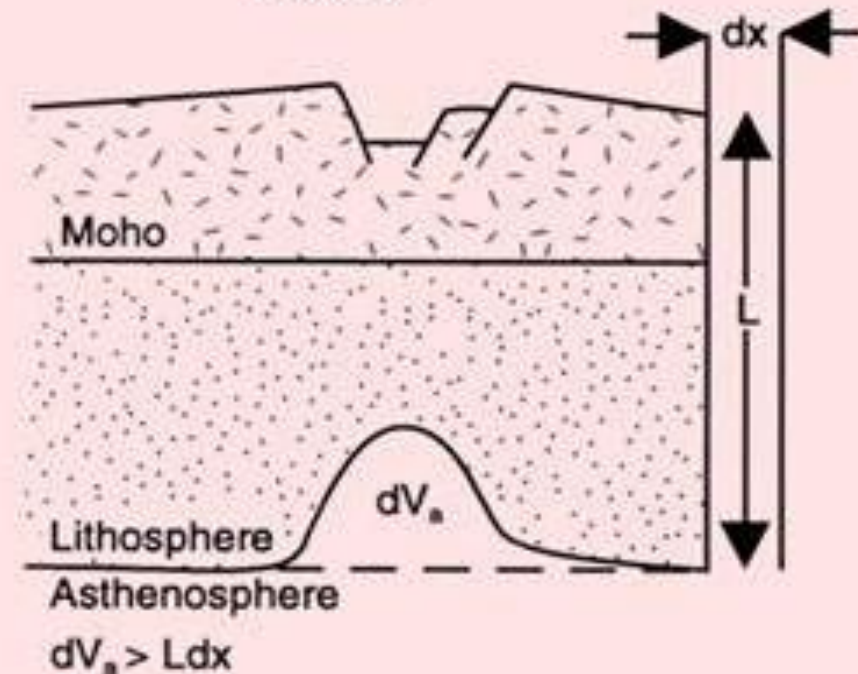
Active



Deep mantle upwelling causing density anomaly with gravitational body forces and possibly traction forces

B. Direct Implications of Causative Mechanisms for Lithospheric Thinning

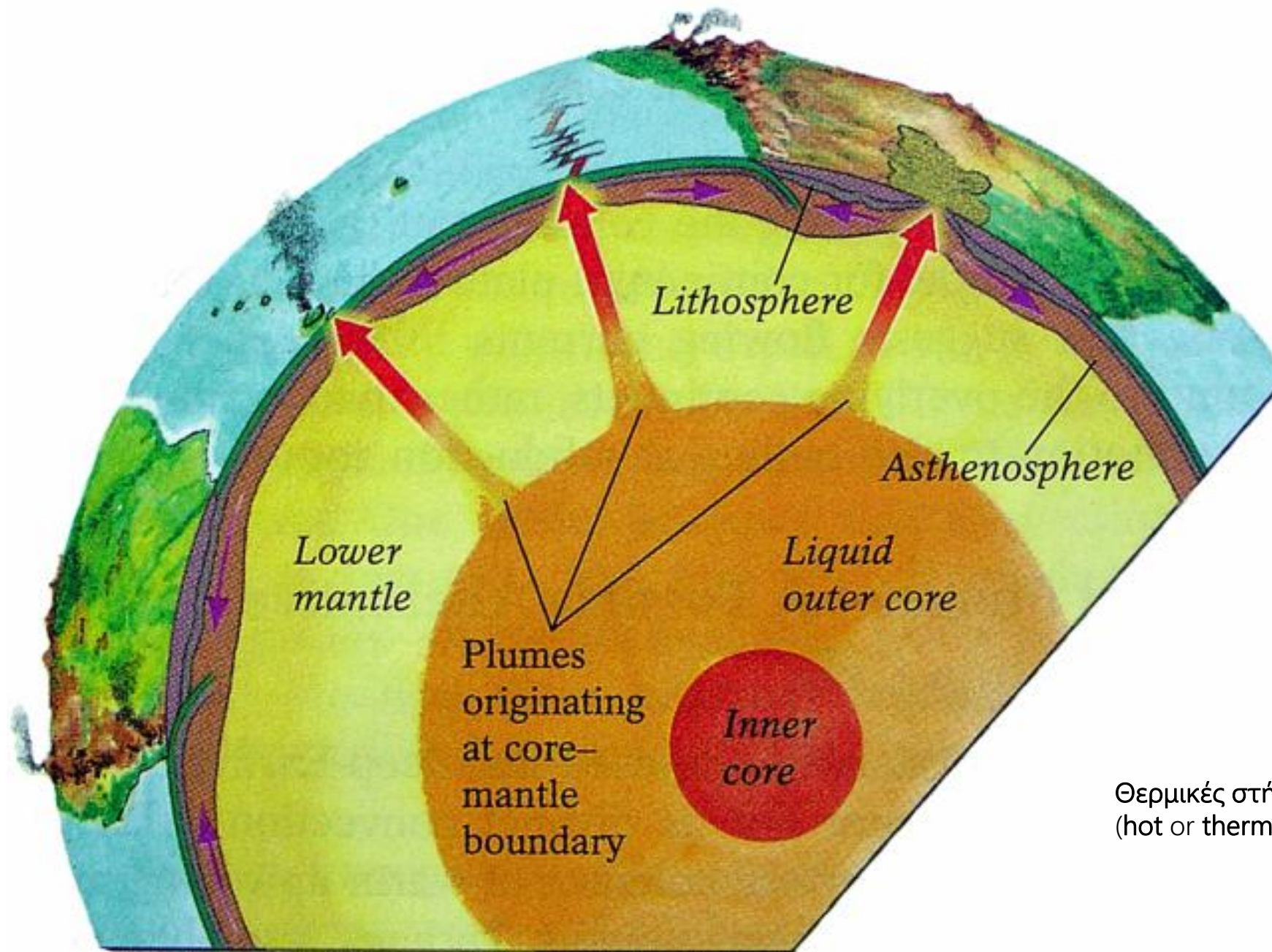
Active



Μοντέλο active rifting → ανερχόμενο θερμό υλικό από τον κατώτερο μανδύα (όρια μανδύα-πυρήνα) προς τον ασθenoσφαιρικό μανδύα (όρια μανδύα-φλοιού) → θερμικές στήλες ή λοφία (hot or thermal plumes).

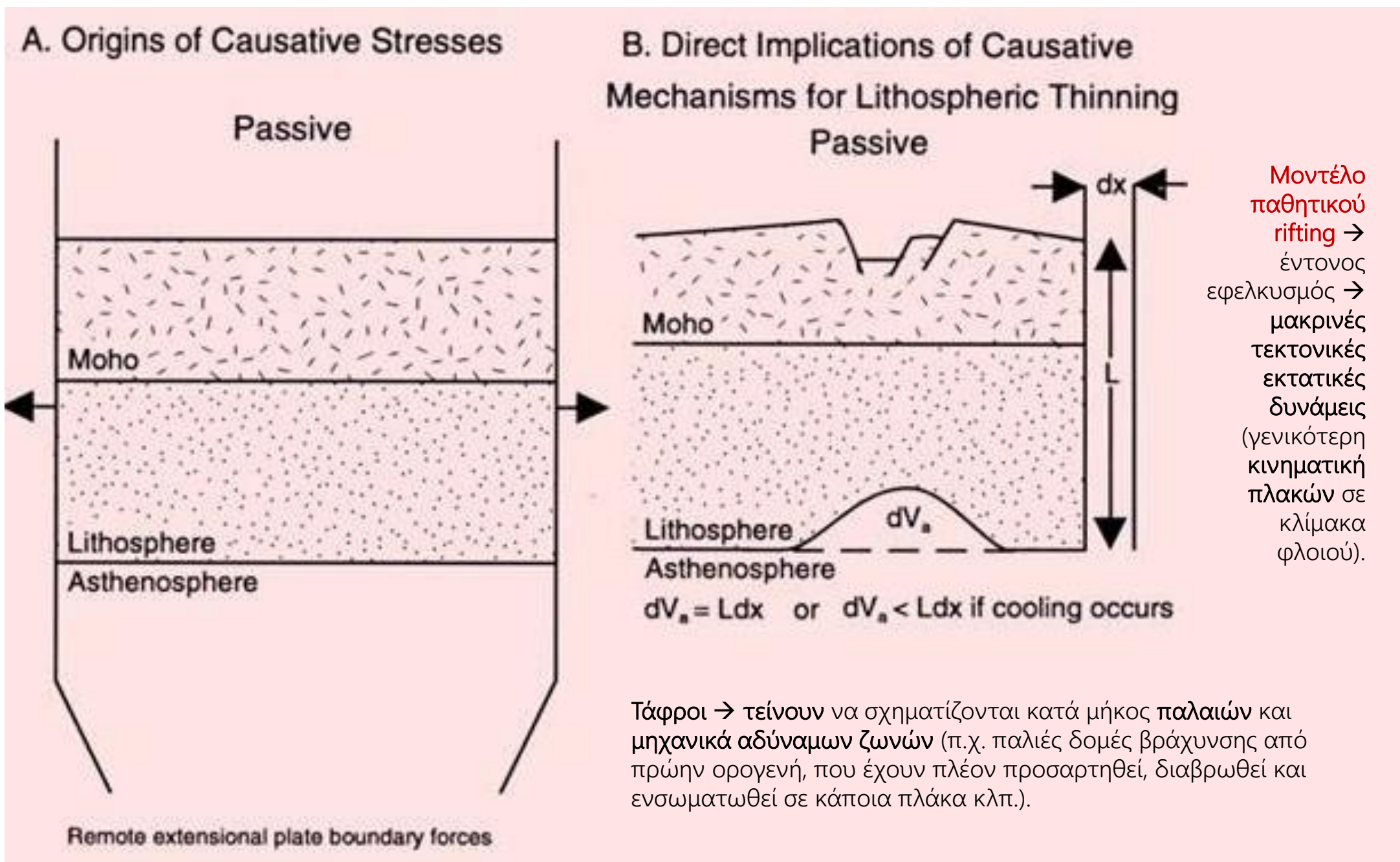
Αρχικό στάδιο δόμος → γραμμική ανάπτυξη δόμων → ταφροποίηση (rifting) → έλεγχος από μαγματικά φαινόμενα (χωρίς έντονο εφελκυσμό).

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

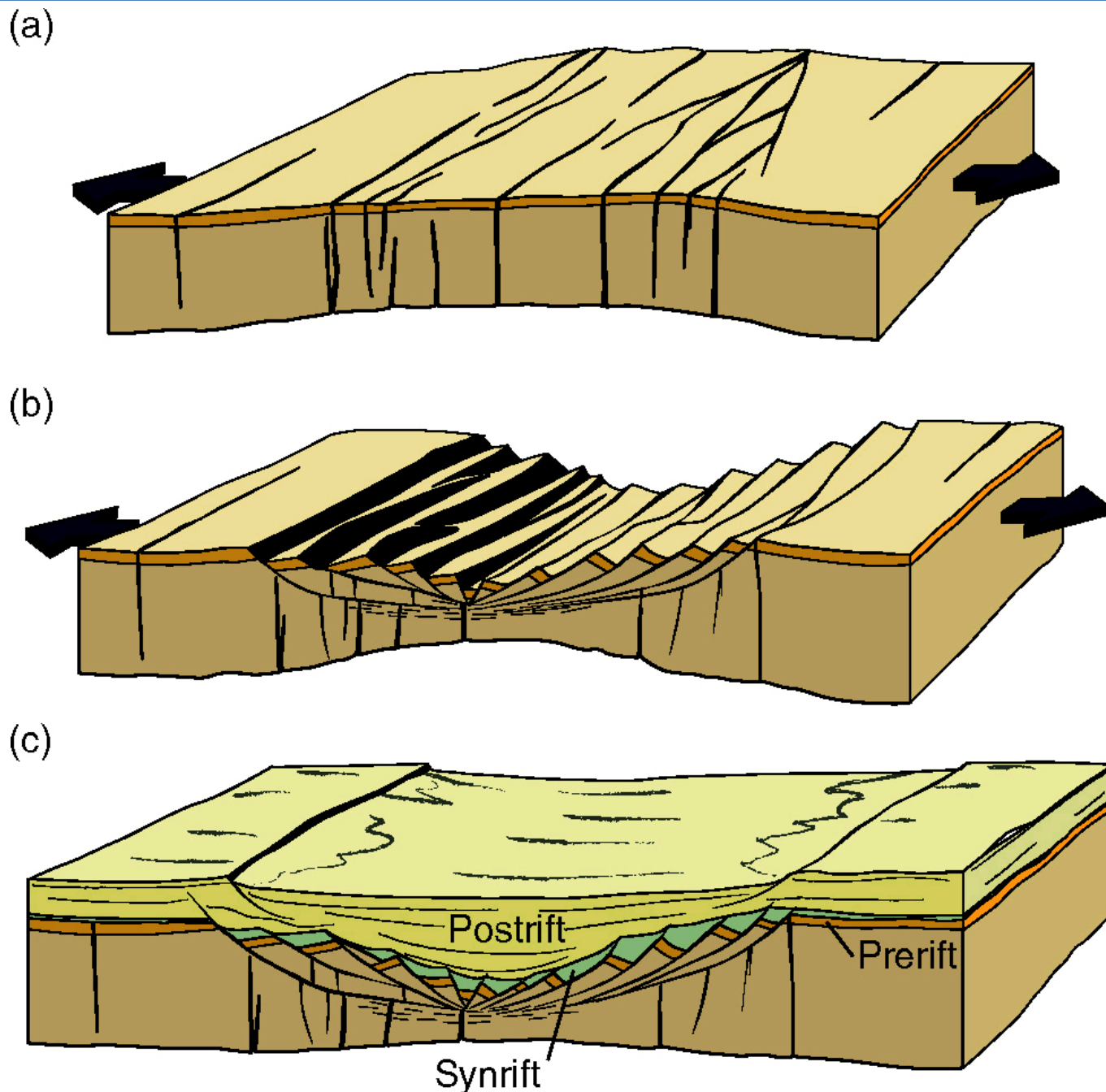


Θερμικές στήλες ή λοφία
(hot or thermal plumes).

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Στάδια εξέλιξης του rifting

Συνδυασμός δύο μοντέλων → αρχικό στάδιο αναθόλωση (doming) → μικρή παραμόρφωση (strain) → συστήματα κατακόρυφων διαρρήξεων → άνοδος μαγματικού υλικού → προ-τεκτονικά (prerift) ιζήματα.

Επόμενο στάδιο έκτασης ή διάτασης (stretching) → εκλέπτυνση και έκταση φλοιού → μεγάλης κλίμακας παράλληλα ρήγματα → συν-τεκτονικά ιζήματα (synrift sediments) → φάσεις και πάχος από περιστροφές ρηξιτεμαχών.

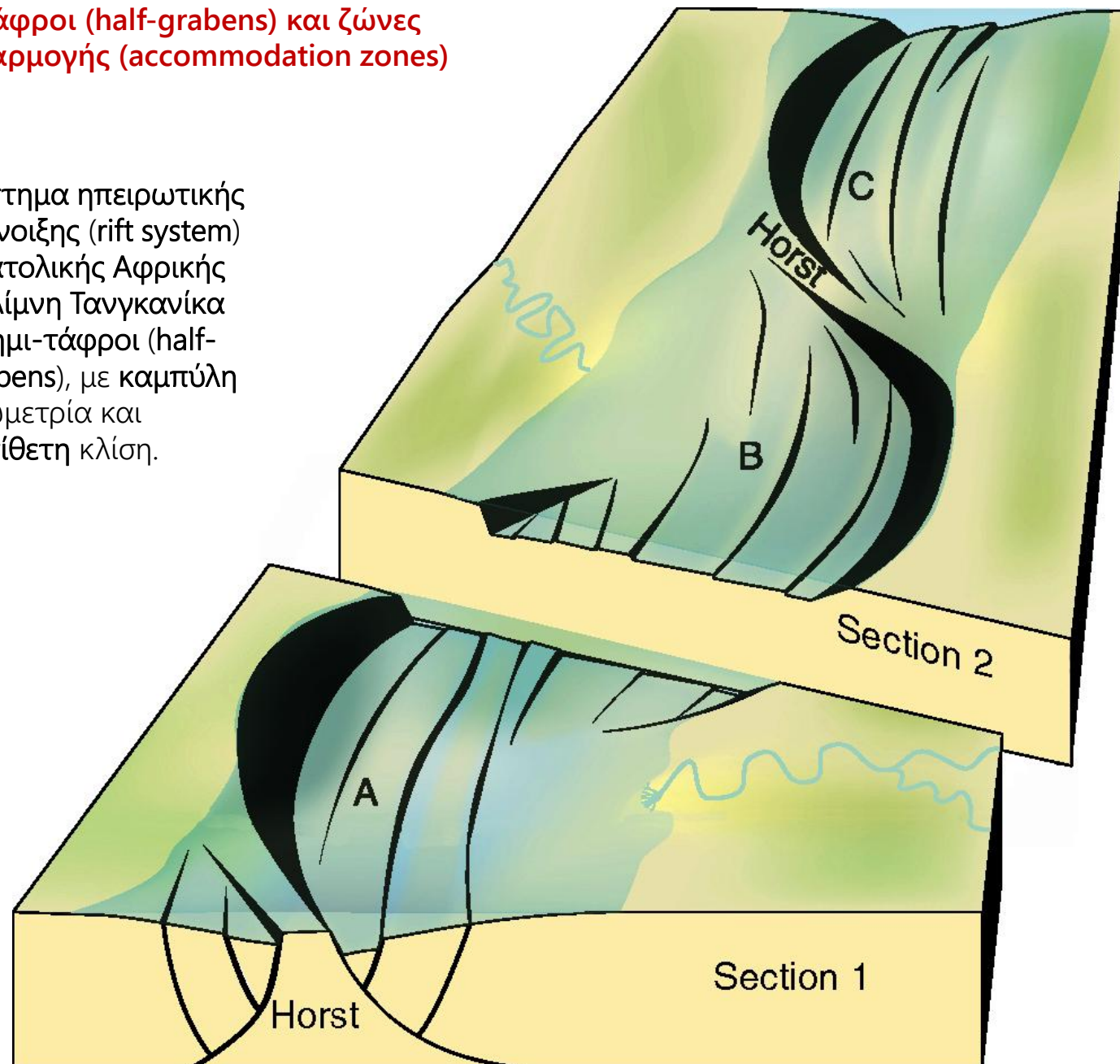
Τελικό στάδιο καταβύθισης (subsidence) → ψύξη φλοιού → το υπόβαθρο βαθαίνει → μετα-τεκτονικά ιζήματα (post-rift sediments) καλύπτουν τις προηγούμενες δομές → ρήγματα μόνο από διαφορική συμπύκνωση (differential compaction).

Μοντέλα domino και low-angle normal faults, ή συνδυασμοί τους, εφαρμόζονται στο rifting.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Ημι-τάφροι (half-grabens) και ζώνες προσαρμογής (accommodation zones)

Σύστημα ηπειρωτικής διάνοιξης (rift system) Ανατολικής Αφρικής
 → λίμνη Τανγκανίκα
 → ημι-τάφροι (half-grabens), με καμπύλη γεωμετρία και αντίθετη κλίση.



Ασύμμετρες τάφροι → ένα μόνο περιθώριο καθορίζεται από ένα κύριο μεγάλο ρήγμα, ή ζώνη ρηγμάτων → μετάθεση πλευράς και φοράς κλίσης κύριου ρήγματος.

Ζώνες αλληλοεπικάλυψης ημι-τάφρων (overlap zones) → τεκτονικά κέρατα (horsts) ή τάφροι (grabens) → ζώνες προσαρμογής (accommodation zones) → οι μόνες ζώνες με συμμετρία δομών.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Μοντέλα καθαρής και απλής διάτμησης (pure and simple shear models)

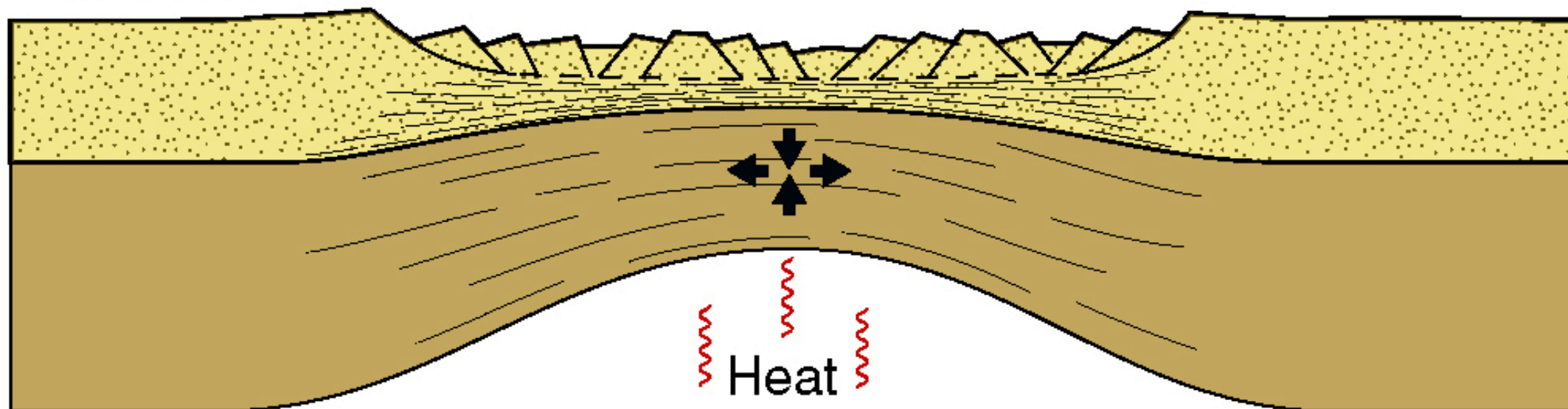
Μοντέλο καθαρής διάτμησης (pure shear model) → μοντέλο McKenzie → 70s

Συμμετρική εκλέπτυνση φλοιού → συνολική παραμόρφωση (overall strain) καθαρή διάτμηση (pure shear) όπου η οριζόντια έκταση (horizontal extension) εξισορροπείται από την κατακόρυφη λέπτυνση (vertical thinning).

Εκλέπτυνση κατώτερου φλοιού με μηχανισμούς πλαστικής παραμόρφωσης (plastic deformation mechanisms), την ίδια στιγμή που ο ανώτερος παραμορφώνεται με θραυσιγενή ρηγμάτωση (brittle faulting).

Η συμμετρική θέση της θερμικής στήλης καθορίζει τις περιοχές που ανυψώνονται ή καταβυθίζονται και άρα τη γενική τοποθέτηση των λεκανών.

(a)
Pure shear

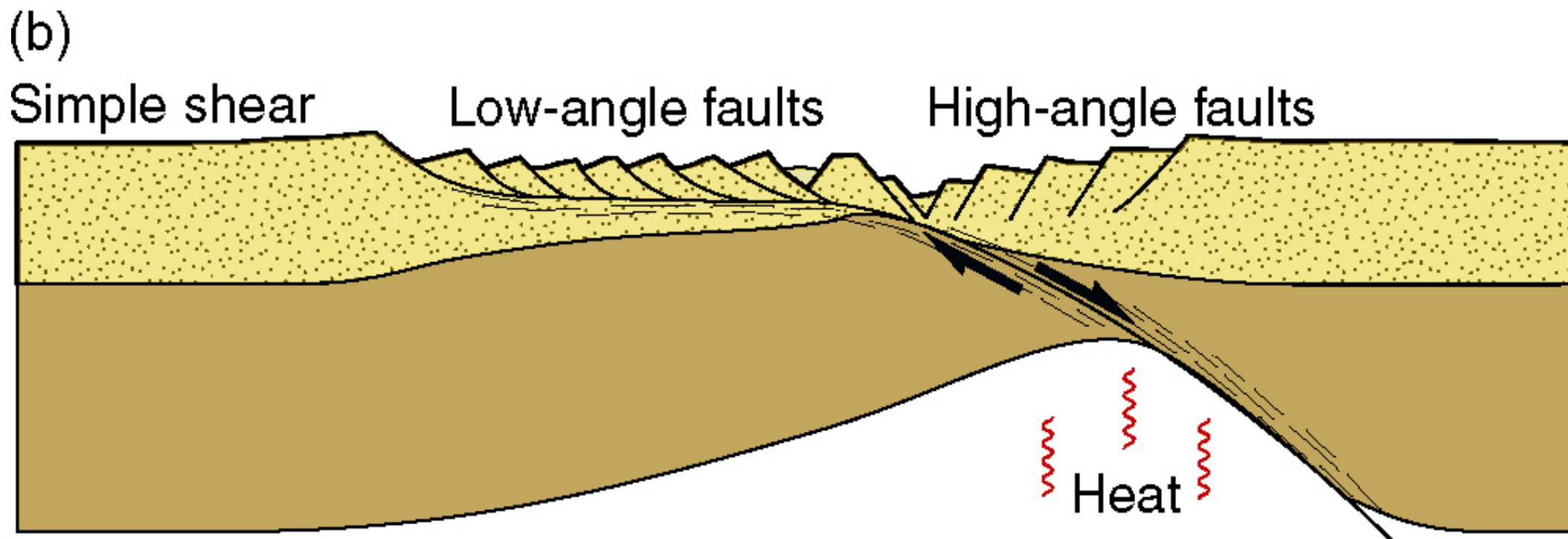


- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

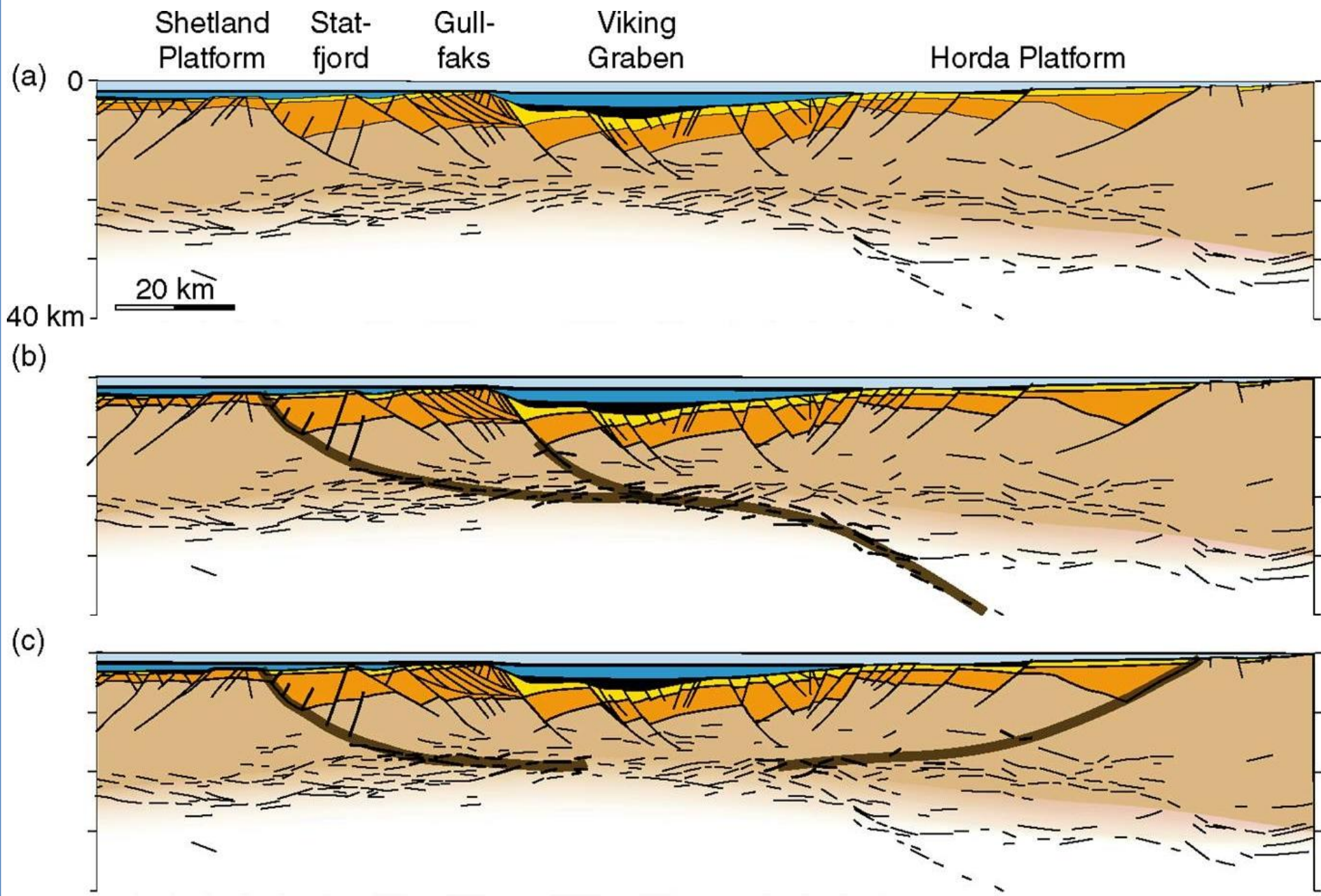
Μοντέλο απλής διάτμησης (simple shear model) → μοντέλο **Wernicke** → 80s

Ασύμμετρη ηπειρωτική ταφρογένεση με διαφορετική γεωμετρία περιθωρίων (βλπ. προηγούμενα) → το μοντέλο προϋποθέτει ένα ελαφρά κεκλιμένο ρήγμα αποκόλλησης (detachment) ή ζώνη διάτμησης (shear zone), που διατέμνει το σύνολο του φλοιού και πιθανώς ολόκληρης της λιθόσφαιρας και κατά μήκος του οποίου εντοπίζεται η απλή διάτμηση (localized simple shear).

Η μη συμμετρική θέση της θερμικής στήλης καθορίζει τις περιοχές που ανυψώνονται ή καταβυθίζονται και άρα τη γενική τοποθέτηση των λεκανών.



- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



Τομή
 βασισμένη
 σε **βαθεία
 σεισμικά**
 από τη
 Βόρεια
 Θάλασσα
 που
 ερμηνεύεται
είτε με το
 μοντέλο της
**απλής
 διάτμησης
 (simple
 shear)** **είτε**
 με αυτό της
**καθαρής
 διάτμησης
 (pure shear)**
 αν και
 μπορεί να
 θεωρηθεί
 ότι
 παρουσιάζει
 στοιχεία και
**από τα δύο
 μοντέλα.**

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

Παθητικά περιθώρια και ωκεανική διάνοιξη (oceanic rifting)

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ:

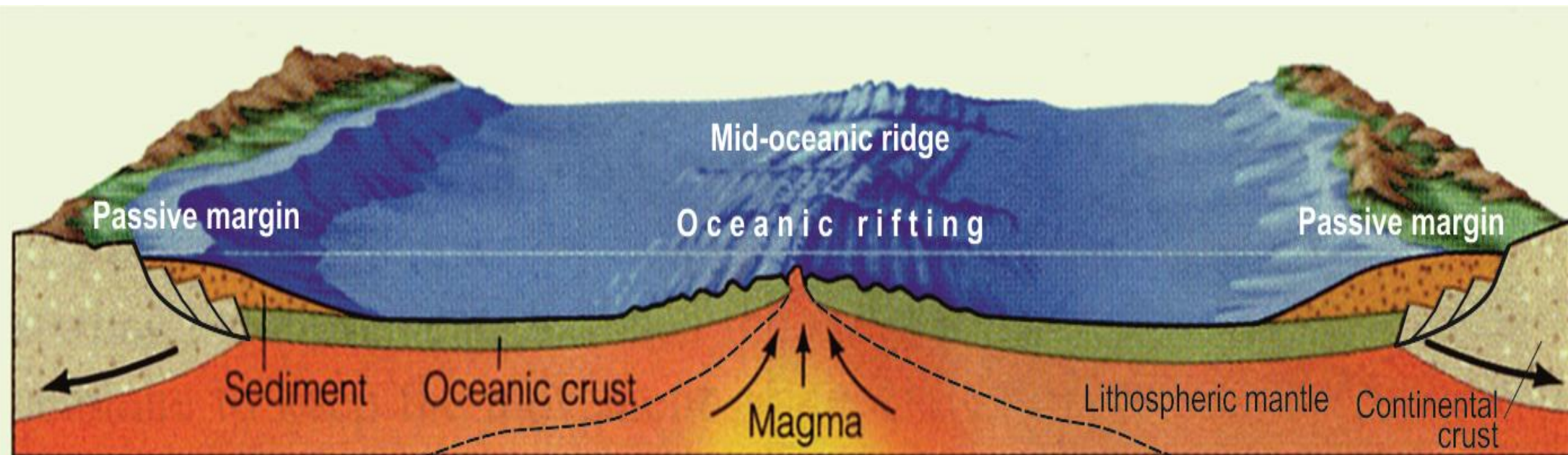
Μικρή σεισμικότητα → μηχανισμός βαρύτητα → μεγάλης-κλίμακας εκτατικά ρήγματα (large-scale extensional faults) λιστρικού χαρακτήρα (επιπεδώνονται σε ασθενή μηχανικά αργιλικά ή εβαποριτικά στρώματα) + υποθαλάσσιες ολισθήσεις (slumping).

Σταδιακά τα περιθώρια καταβυθίζονται και καλύπτονται από κλαστικά ιζήματα ή ιζήματα πλατφόρμας (sediments), πλούσια πολλές φορές σε κοιτάσματα υδρογονανθράκων.

ΜΕΣΟΩΚΕΑΝΙΑ ΡΑΧΗ:

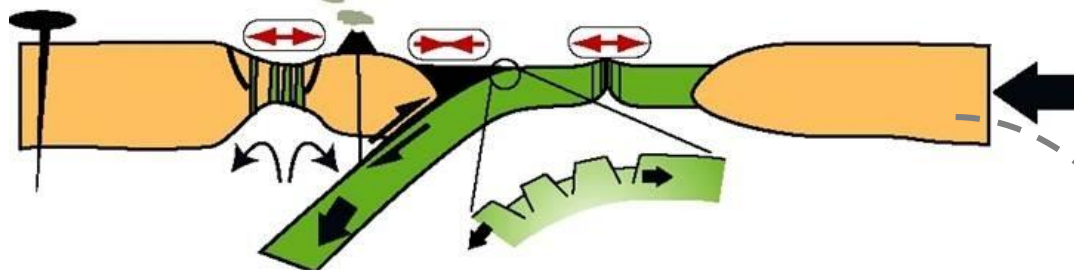
Σημαντική σεισμικότητα → επιπρόσθετη έκταση από την έξοδο του μάγματος και την μεγαλύτερη θερμότητα → υποθαλάσσιες ολισθήσεις βαρύτητας (slumping).

Λιστρικού χαρακτήρα κανονικά ρήγματα (listric normal faults) και μικρής-γωνίας κλίσης αποκολλήσεις (low-angle detachments) με κανονικό χαρακτήρα → ωκεανικά συμπλέγματα μεταμορφικού πυρήνα (oceanic metamorphic core complexes) → αποκαλύπτουν μανδυακά πετρώματα στον πυρήνα μεγάλης κλίμακας, υποθαλάσσιων, τεκτονικών παραθύρων.

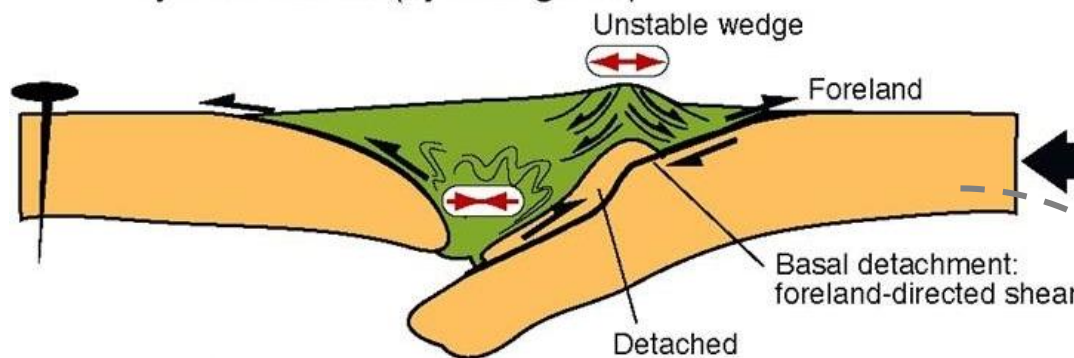


- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

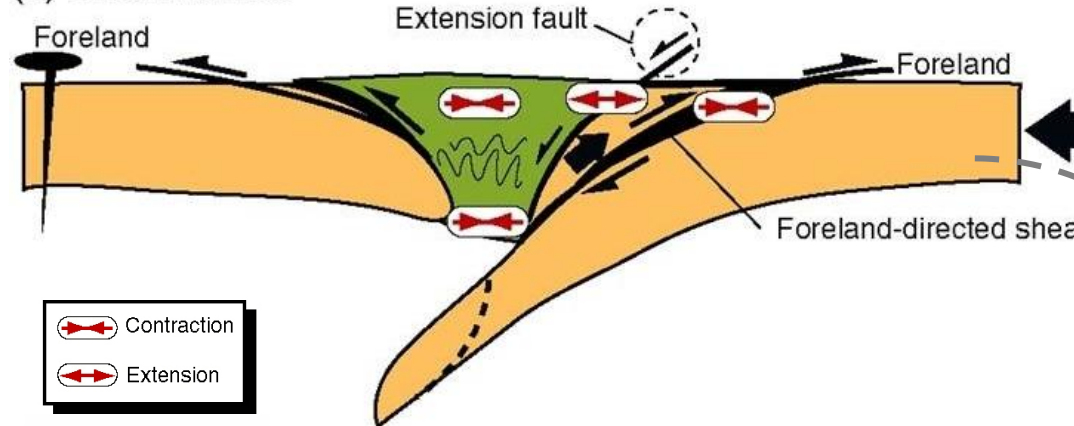
(a) Island-arc splitting, subduction and sea-floor spreading
Pre-collisional



(b) Unstable orogenic wedge
Syn-collisional (syn-orogenic)



(c) Channel flow



ΕΚΤΑΣΗ [extensional faults και extensional shear zones]

Continental & oceanic rifting + passive margins.

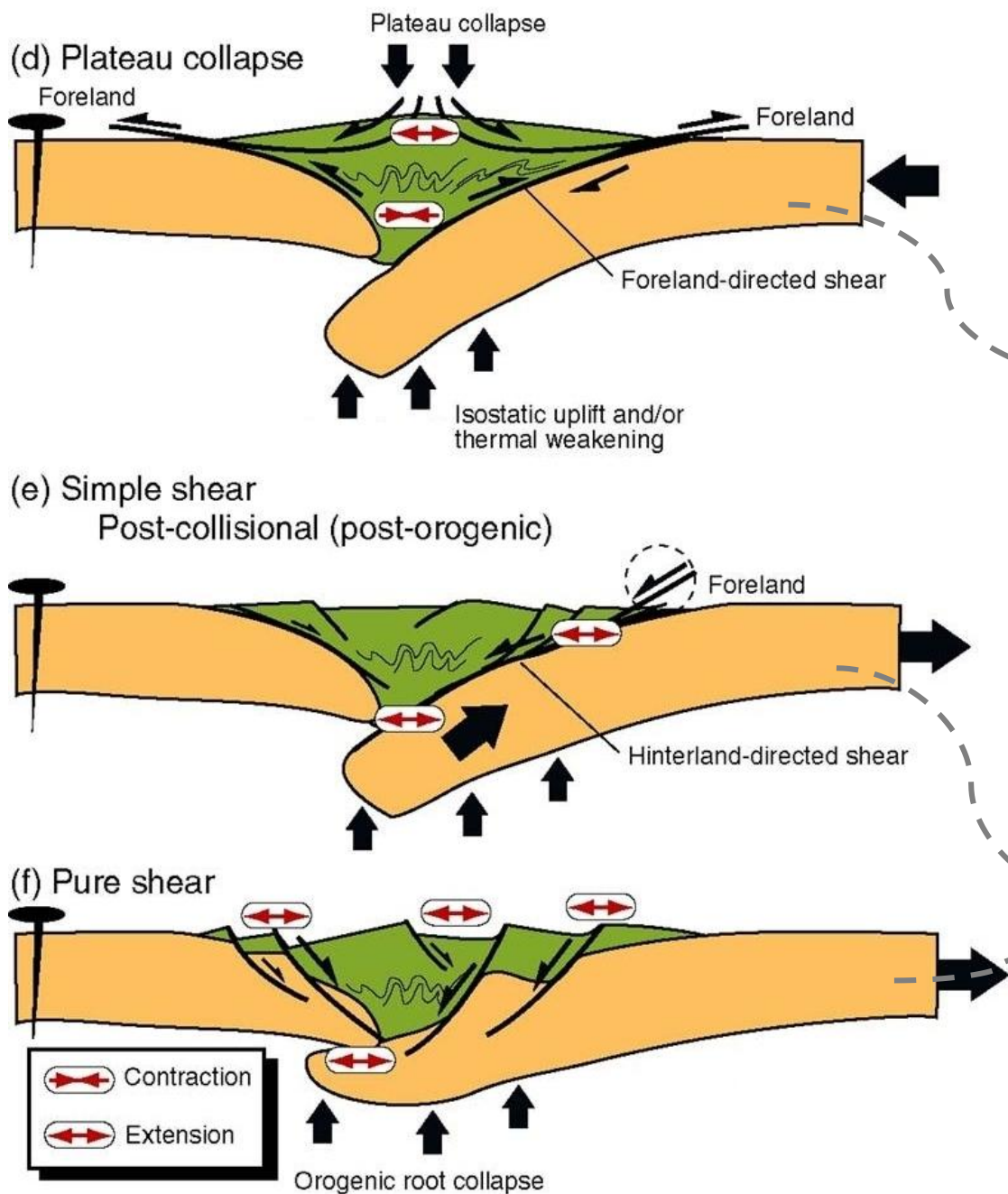
Ενεργές ορογενετικές ζώνες (active mountain belts).

ΠΡΟ-ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ:
Εφελκυσμός στην οπισθο-τοξική λεκάνη (back-arc basin) και στο αναθλωμένο τμήμα του ωκεανικού φλοιού.

ΣΥΝ-ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ:
Εφελκυσμός στο ανώτερο τμήμα μιας ασταθούς (λόγω εφιππεύσεων υποβάθρου) σφήνας.

CHANNEL FLOW (ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΡΟΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ):
Άνοδος αποκολλημένου και θερμασμένου τεμάχους υποβάθρου (με σφηνοειδές σχήμα προς την ενδοχώρα ώστε να υποβοηθείται η εξώθησή του προς την προχώρα) → επωθητικό ρήγμα (thrust fault) στη βάση → κανονικό ρήγμα (normal fault) στην οροφή.

- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση



ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ (GRAVITATIONAL OROGENIC COLLAPSE or PLATEAU COLLAPSE): Αλλαγές θερμικής δομής κατώτερου φλοιού & λιθোসφαιρικού μανδύα → σύγκρουση και υποβύθιση φλοιού → θέρμανση φλοιού → μείωση αντοχής φλοιού → κατάρρευση φλοιού από το βάρος του → εκτατικά ρήγματα και ζώνες διάτμησης.

ΜΕΤΑ-ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ:

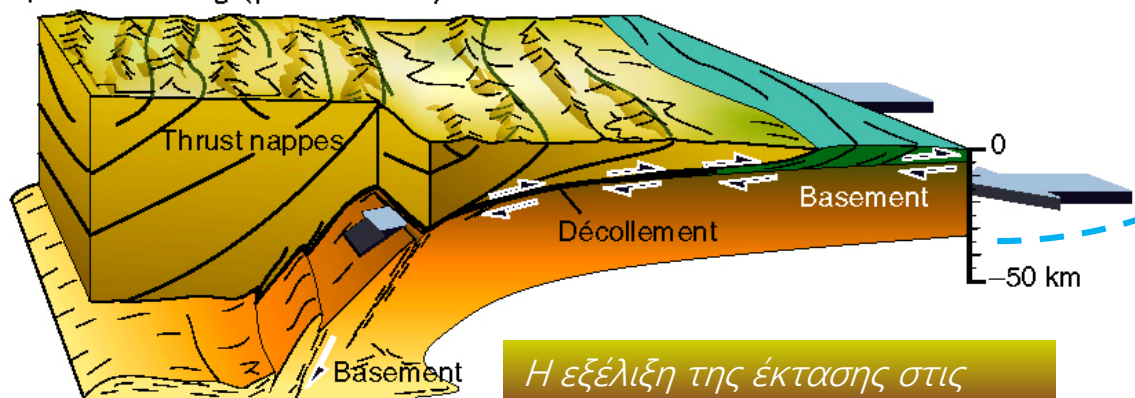
ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΣΦΗΝΑΣ (OROGENIC ROOT COLLAPSE): Βύθιση ηπειρωτικού φλοιού > 100 km → δημιουργία ορογενετικής ρίζας (orogenic root) → το κατώτερο ψυχρότερο και βαρύτερο ωκεανικό τμήμα της ρίζας αποσπάται και βυθίζεται πιο βαθιά στο μανδύα (delamination) → το ελαφρύ ηπειρωτικό τμήμα της ρίζας ανέρχεται προς τα πάνω (αντίθετη, προς τα πάνω, κατάρρευση – orogenic root collapse). Μηχανισμοί:

ΑΠΛΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ
 ΚΑΘΑΡΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

με κανονικού, χαρακτήρα κινήσεις προς την ενδοχώρα (hinterland) κατά μήκος των βασικών αποκολλήσεων.

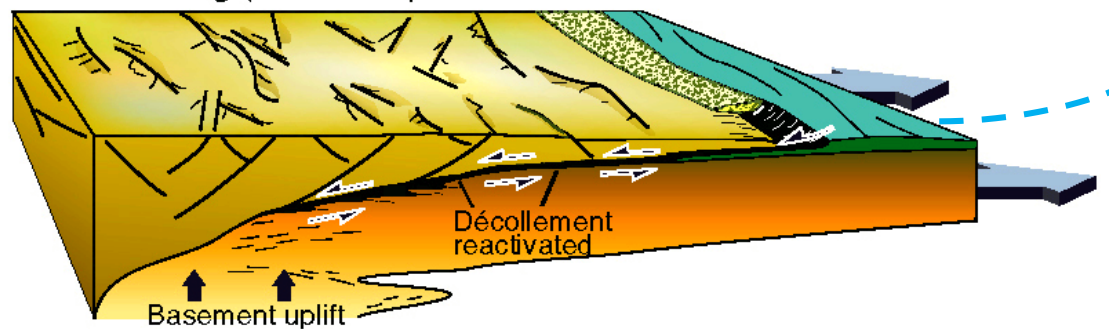
- Ορισμοί
- Εκτατικά ρήγματα
- Συστήματα ρηγμάτων
- Ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης
- Γεωμετρίες ράμπας-επιπέδου-ράμπας
- Βαρυτικές καταρρεύσεις
- Υπολογισμός έκτασης και fractals
- Ηπειρωτική διάνοιξη
- Ωκεανική διάνοιξη
- Ορογενετική έκταση και κατάρρευση

(a) Thrusting (pre-400 Ma)

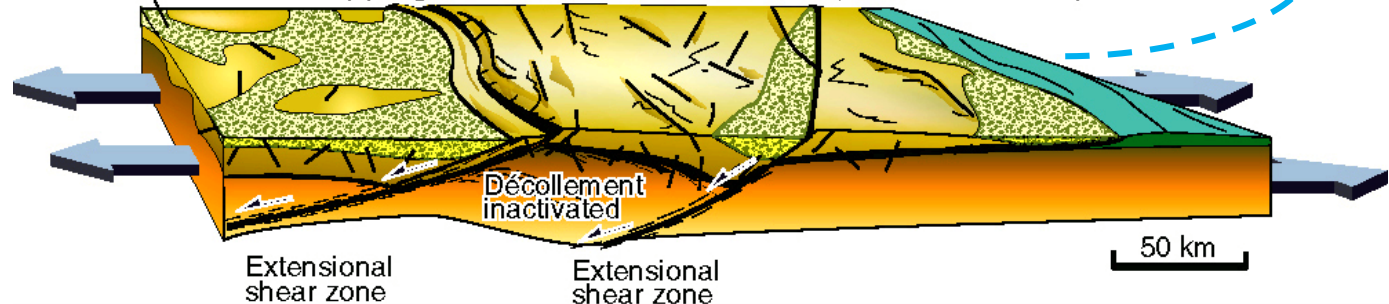


Η εξέλιξη της έκτασης στις Ν. Σκανδιναβικές Καλιδονίδες.

(b) Back-sliding (c. 400 Ma)



(c) Devonian conglomerates Dipping extensional shear zones (c. 400–360 Ma)



ΣΥΝ-ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ → κίνηση προς προχώρα (κυριαρχεί συμπίεση).

ΜΕΤΑ-ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ → κίνηση προς ενδοχώρα (κυριαρχεί έκταση).

Κινηματική αντιστροφή επώθησης βάσης (basal thrust) αλλά και των επωθήσεων μέσα στην ορογενετική σφήνα (orogenic wedge → δημιουργία συμπλεγμάτων μεταμορφικού πυρήνα (metamorphic core complexes)).

Σχηματισμός μεγάλης κλίμακας ζωνών διάτμησης (shear zones), με κλίση προς την ενδοχώρα που τέμνουν όλο το φλοιό → στην περίπτωση που οι ορογενετικές επωθήσεις έχουν περιστραφεί έτσι ώστε να είναι αδύνατο να επαναδραστηριοποιηθούν με αντίθετη φορά (ως κανονικά ρήγματα δηλαδή).

Τέλος

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη εδώ <http://eclass.uoa.gr/courses/GEOL135/>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Δημήτριος Παπανικολάου, Στυλιανός Λόζιος 2015. Δημήτριος Παπανικολάου, Στυλιανός Λόζιος. «Τεκτονική Γεωλογία. Ενότητα 2: Καθεστώτα έκτασης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL4>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1, Διαφάνεια 2: Copyrighted.

Εικόνα 2, Διαφάνεια 4: Το σύστημα ηπειρωτικής διάνοιξης ή ταφρογένεσης της Βόρειας Θάλασσας. Fossen, H., 2010, Structural Geology. Copyrighted.

<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνα 3, Διαφάνεια 5: Χάρτης της λεκάνης του Κορινθιακού. Copyrighted.

http://www.atlantisbolivia.org/plaincomparison_files/gulf.jpg

Εικόνα 4, Διαφάνεια 5: Τοποθεσία στη λεκάνη της Κορίνθου. Copyrighted.

http://www.nexttraining.net/App_Common/136/134/Library/16/Gulf%20of%20Corinth,%20Greece-1.JPG



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/8)

Εικόνες 5-6, Διαφάνεια 6: Έκταση, διάταση, επιμήκυνση. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνες 7-8-9-10, Διαφάνειες 7-8: Κλίση του ρήγματος και οριζόντια έκταση. Graphic and animations by Fossen, H., 2010, Structural Geology. Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνες 11-12, Διαφάνειες 10-11: Το μοντέλο τύπου ντόμινο (the domino model). Graphic and animation by Fossen, H., 2010, Structural Geology. Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνα 13, Διαφάνεια 12: Πραγματικές γεωλογικές συνθήκες και: α) προβλήματα γεωμετρίας στα περιθώρια της δομής και β) προβλήματα χώρου στη βάση των ρηξιτεμαχών. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/8)

Εικόνα 14, Διαφάνεια 13: Το πετρελαϊκό πεδίο Gullfaks της Βόρειας Θάλασσας δομείται από ένα σύστημα ντόμινο (domino system), που στα ανατολικά οριοθετείται από ένα σύμπλεγμα ρηγμάτων που δομεί ένα κέρασ (horst complex), μέσω μιας ζώνης προσαρμογής (accommodation zone). Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνα 15, Διαφάνεια 15: Pure and simple shear models. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνες 16-17, Διαφάνειες 16-17: Domino system. Graphic and animation by Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνα 18, Διαφάνεια 18: Πολλαπλές συστοιχίες ρηγμάτων σε συστήματα ντόμινο. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/8)

Εικόνα 19, Διαφάνεια 21: Μικρής-γωνίας κλίσης κανονικό ρήγμα (detachment) χωρίζει δεβόνιας ηλικίας ψαμμίτες και κροκαλοπαγή από το μυλονιτικό μεταμορφωμένο υπόστρωμα. (Σκανδιναβικές Καλιδονίδες). Copyrighted.

Εικόνα 20, Διαφάνεια 23: South west face of Everest showing two low-angle normal faults, Qomolangma and Lhotse. Copyrighted.

http://www.earth.ox.ac.uk/_data/assets/image/0012/2802/everest1.jpg

Εικόνα 21, Διαφάνεια 24: Περιστραμμένα κανονικά ρήγματα - Μοντέλο "ντόμινο". Copyrighted.

Εικόνα 22, Διαφάνεια 25: Copyrighted.

Εικόνα 23, Διαφάνεια 26: The "rolling hinge model" for the development of a core complex. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted.

<http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/8)

Εικόνα 24, Διαφάνεια 27: Metamorphic core complexes. Fossen, H., 2010, Structural Geology, Handbook. Copyrighted. [http://2.bp.blogspot.com/-aCNeL-BLtr8/UMZFKY0zCLI/AAAAAAAAAp8/2UM4S788yQc/s1600/Fossen metamorphic core complexes.PNG](http://2.bp.blogspot.com/-aCNeL-BLtr8/UMZFKY0zCLI/AAAAAAAAAp8/2UM4S788yQc/s1600/Fossen_metamorphic_core_complexes.PNG)

Εικόνα 25, Διαφάνεια 28: Άμεση δημιουργία μικρής-γωνίας κλίσης ρηγμάτων. Copyrighted.

Εικόνα 26, Διαφάνεια 29: Copyrighted.

Εικόνα 27, Διαφάνεια 30: Copyrighted.

Εικόνα 28, Διαφάνεια 31: Evolving normal fault with ramps and flats in plaster model. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/8)

Εικόνα 29, Διαφάνεια 32: Copyrighted.

Εικόνα 30, Διαφάνεια 33: Το πρόβλημα του υπολογισμού της έκτασης και η θεωρία των fractals. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules).

Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/StructuralGeoBookEmodules.html>

Εικόνα 31, Διαφάνεια 34: Εφαρμογή των fractals στη Γεωλογία. Copyrighted.

Εικόνα 32, Διαφάνεια 35: Ηπειρωτική διάνοιξη ή ταφρογένεσης. Copyrighted.

<http://i1.15yan.guokr.cn/c52iohu650p5azf5h71aahjwtpv7jxa4.jpg!content>

Εικόνα 33, Διαφάνεια 36: Copyrighted.

Εικόνα 34, Διαφάνεια 37: Θερμικές στήλες ή λοφία (hot or thermal plumes).

Copyrighted.

Εικόνα 35, Διαφάνεια 38: Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/8)

Εικόνα 36, Διαφάνεια 39: Στάδια εξέλιξης του rifting. Copyrighted.

Εικόνα 37, Διαφάνεια 40: Ημι-τάφροι (half-grabens) και ζώνες προσαρμογής (accommodation zones). Copyrighted.

Εικόνες 38-39, Διαφάνειες 41-42: Μοντέλα καθαρής και απλής διάτμησης (pure and simple shear models). Copyrighted.

Εικόνα 40, Διαφάνεια 43: Τομή βασισμένη σε βαθιά σεισμικά από τη Βόρεια Θάλασσα που ερμηνεύεται είτε με το μοντέλο της απλής διάτμησης (simple shear) είτε με αυτό της καθαρής διάτμησης (pure shear). Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνα 41, Διαφάνεια 44: Παθητικά περιθώρια και ωκεανική διάνοιξη (oceanic rifting). Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (8/8)

Εικόνες 42-43, Διαφάνειες 45-46: Extension in orogens. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

Εικόνα 44, Διαφάνεια 47: Post-orogenic extension. Η εξέλιξη της έκτασης στις Ν. Σκανδιναβικές Καλιδονίδες. Fossen, H., 2010, Structural Geology (e-modules). Copyrighted. <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Chapter%2017/17%20Extension.swf>

