



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Μικροτεκτονική - Τεκτονική Ανάλυση

Ενότητα 1: Το πλαίσιο εργασίας της
Μικροτεκτονικής

Στυλιανός Λόζιος

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος



Παρουσίαση

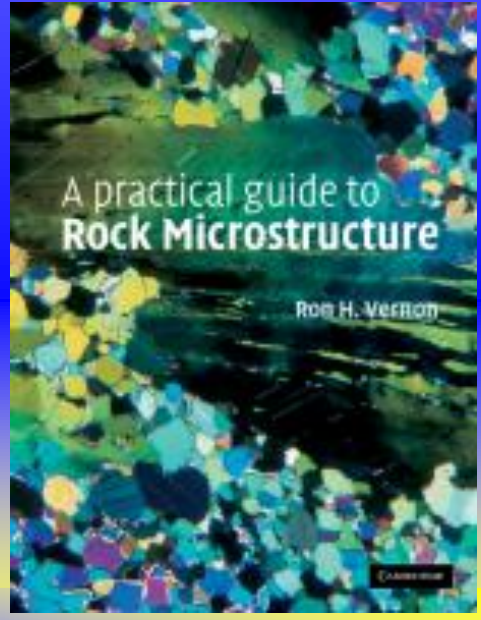
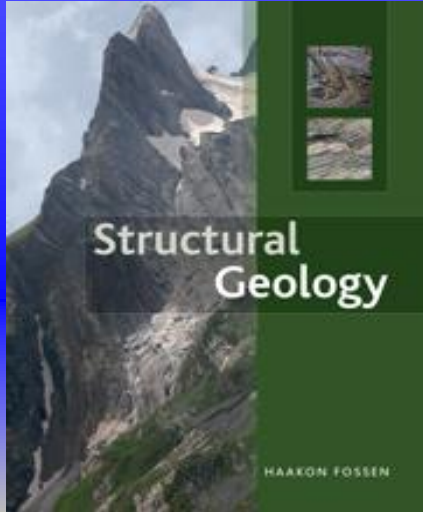
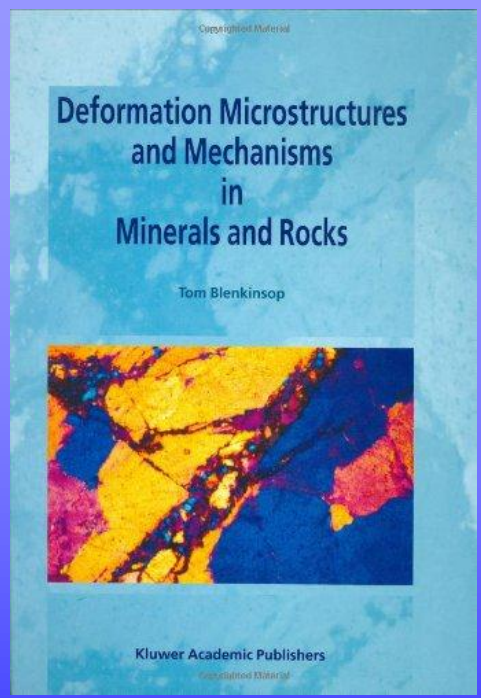
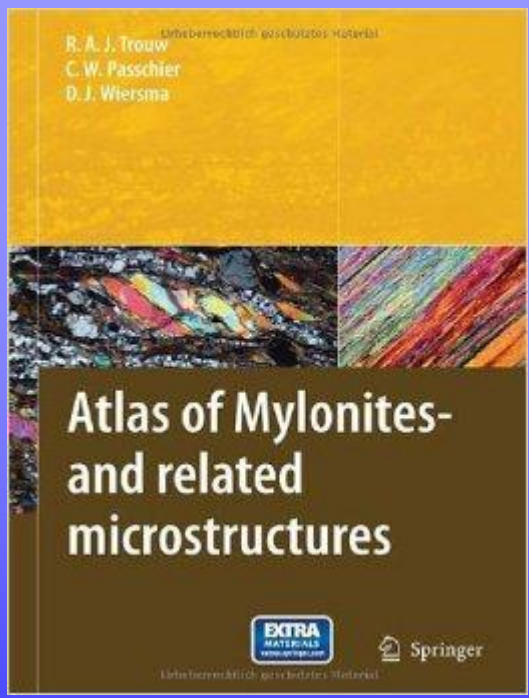
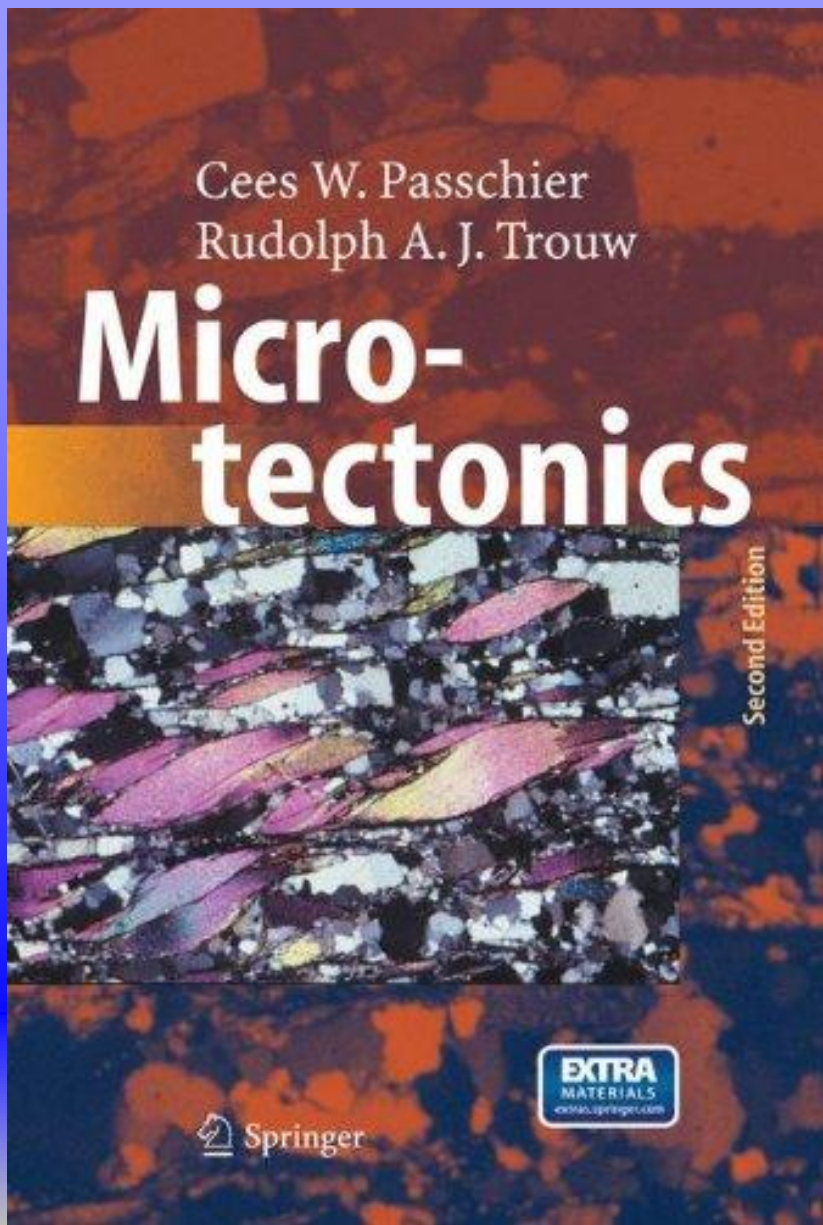
1



Το Πλαίσιο Εργασίας της Μικροτεκτονικής

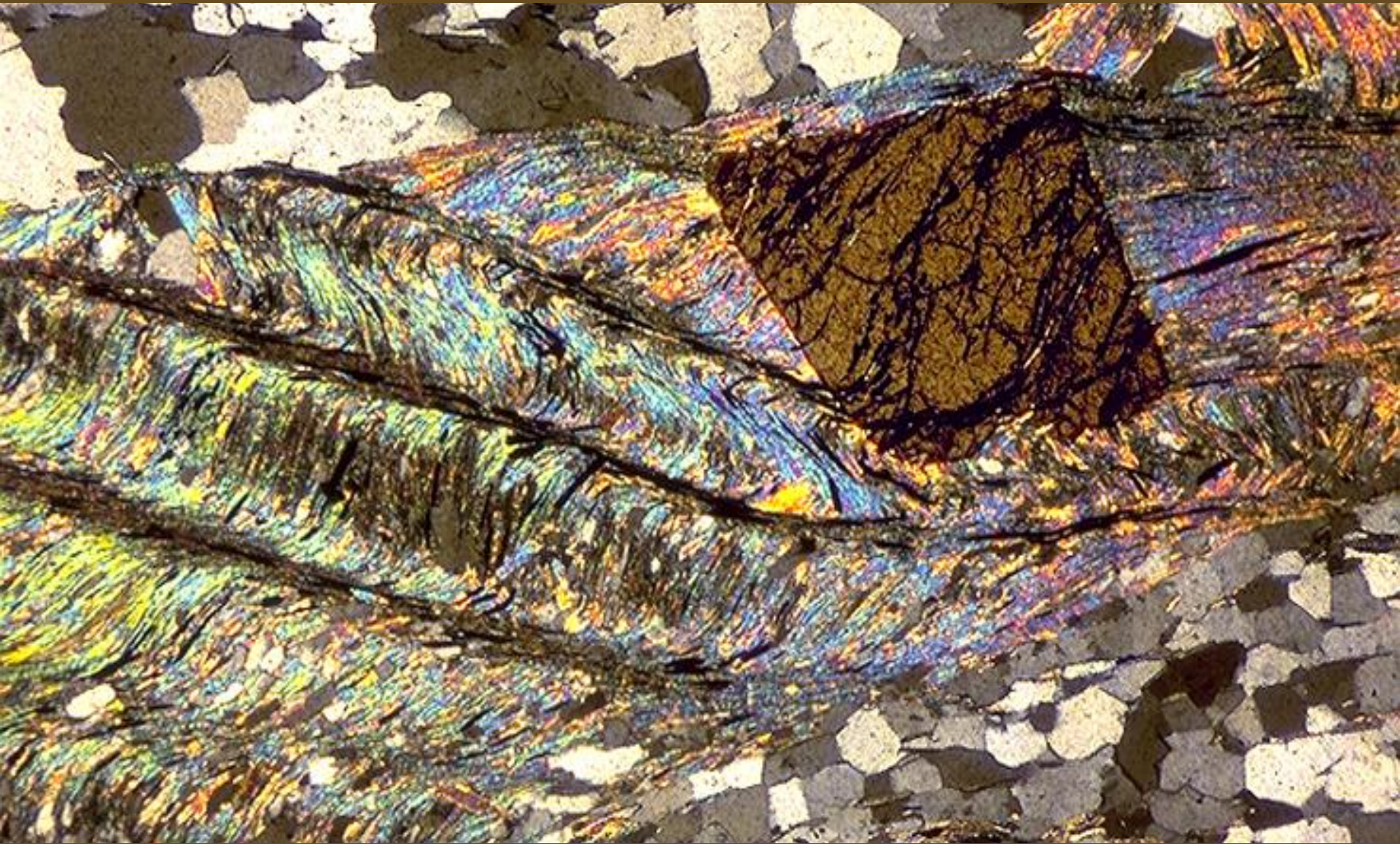
Framework of Microtectonics





ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΤΩΝ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ

ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ



Πετρολόγοι...VS...Τεκτονικοί

- ✓ Κατανόηση μηχανισμών παραμόρφωσης & μεταμόρφωσης
- ✓ Αναπαράσταση τεκτονο-μεταμορφικής ιστορίας

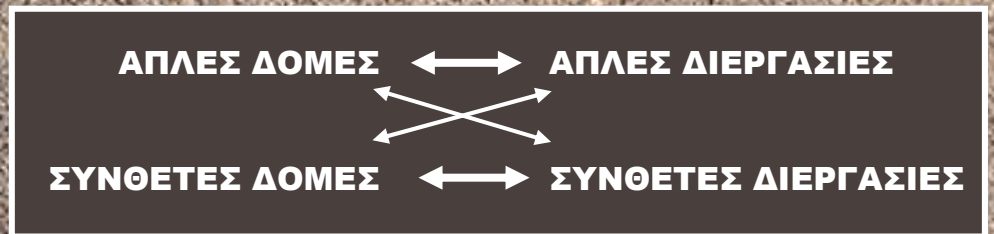


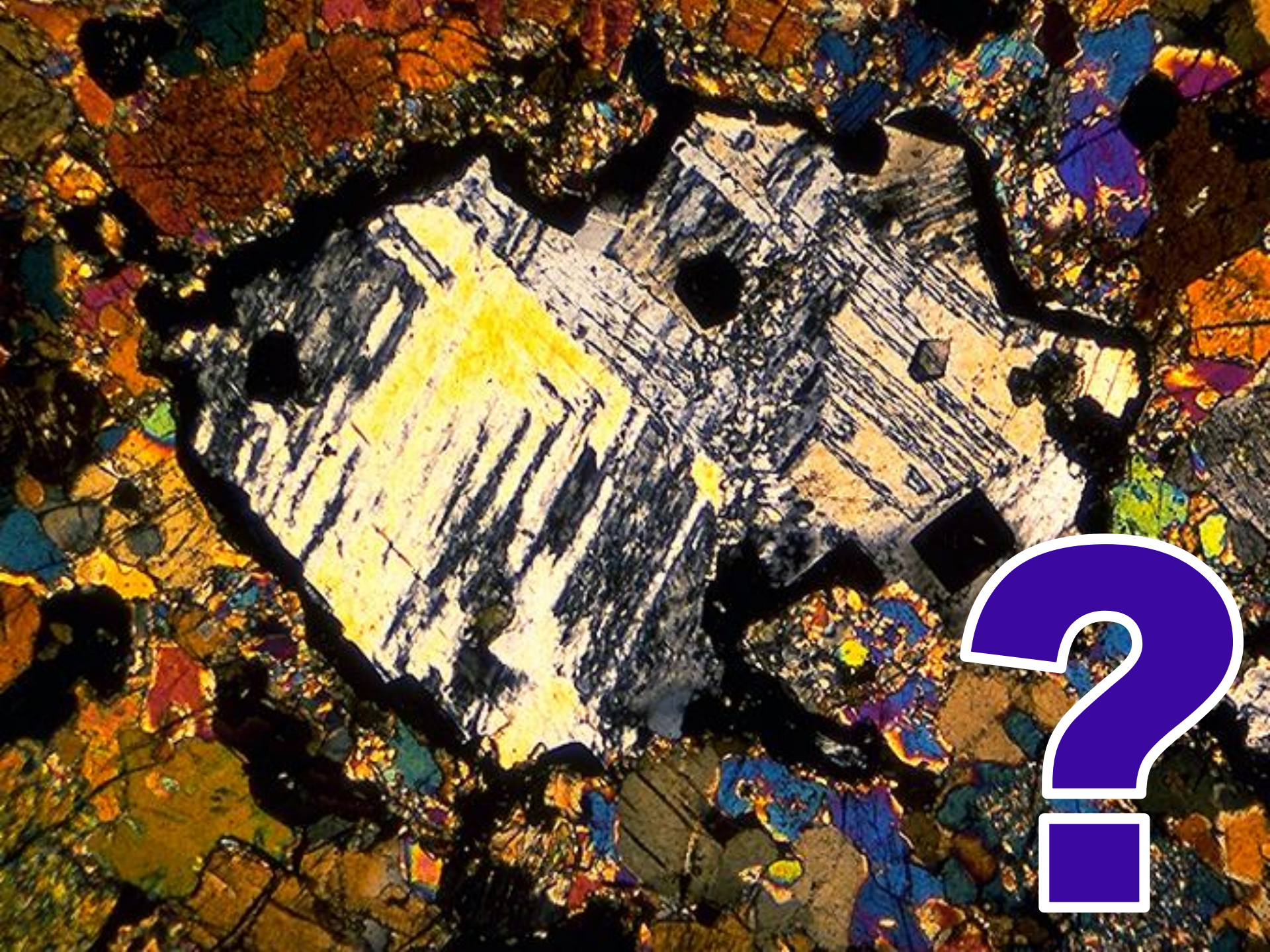
Πηγή πληροφορίας:

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Γεωμετρία δομών ? → ? → Τελικό στάδιο

Κυρίαρχο στοιχείο → ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ







FABRIC → Texture → Microstructure

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ

- χωρική & γεωμετρική σύνθεση (κατανομή)
- επί μέρους στοιχεία

(texture, structure, crystallographic preferred orientation)
(ιστός, δομή, κρυσταλλ. προτιμητέος προσανατολισμός)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΚΤ. ΙΣΤΟΥ

- διαμπερείς δομές
- κλίμακα παρατήρησης
- προσανατολισμός

fabric

- spatial & geometrical configuration
- components

fabric elements

- penetrative structures
- scale
- orientation

random fabric & non-random fabric (foliation-φύλλωση & lineation-γράμμωση)

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΜΙΚΡΟΪΣΤΟΣ

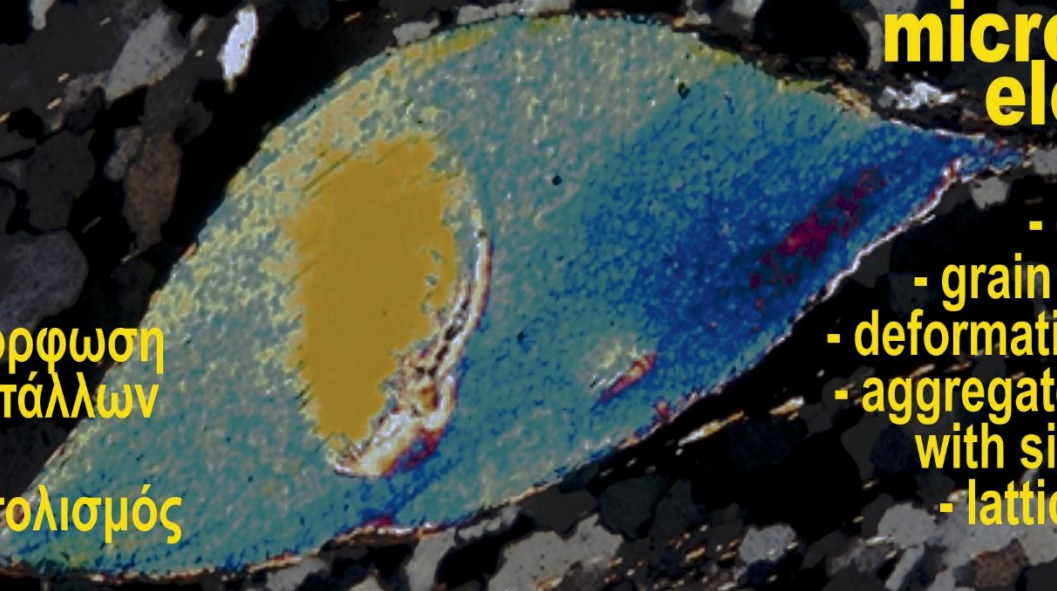
micro fabric

ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΤΟΥ

- σχήμα κρυστάλλων
- όρια κρυστάλλων
- ελασματοειδής παραμόρφωση
- συσσωματώματα κρυστάλλων με όμοιο σχήμα
- προτιμητέος προσανατολισμός σε επίπεδο πλέγματος

micro fabric elements

- grain shape
- grain boundaries
- deformation lamellae
- aggregates of grains with similar shape
- lattice preferred orientation



texture - structure

κεραμικά/μέταλλα - πετρολόγοι

I.U.G.S.

(www.iugs.org)



microstructure
or microfabric

Deformation Phase Παραμορφωτικές Φάσεις

& Metamorphic Event Μεταμορφικά Γεγονότα

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

Αντιπροσωπεύει μια περίοδο παραμόρφωσης ανάμεσα σε διαστήματα με μικρή ή καθόλου παραμόρφωση.



Καταλυτική επίδραση της παραμόρφωσης στη δημιουργία νέων ορυκτών.

ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΟ ΓΕΓΟΝΟΣ

Αντιπροσωπεύει μόνο το πέρασμα από τις κρίσιμες συνθήκες P,T για την έναρξη χημικών αντιδράσεων και δημιουργία νέων ορυκτών.

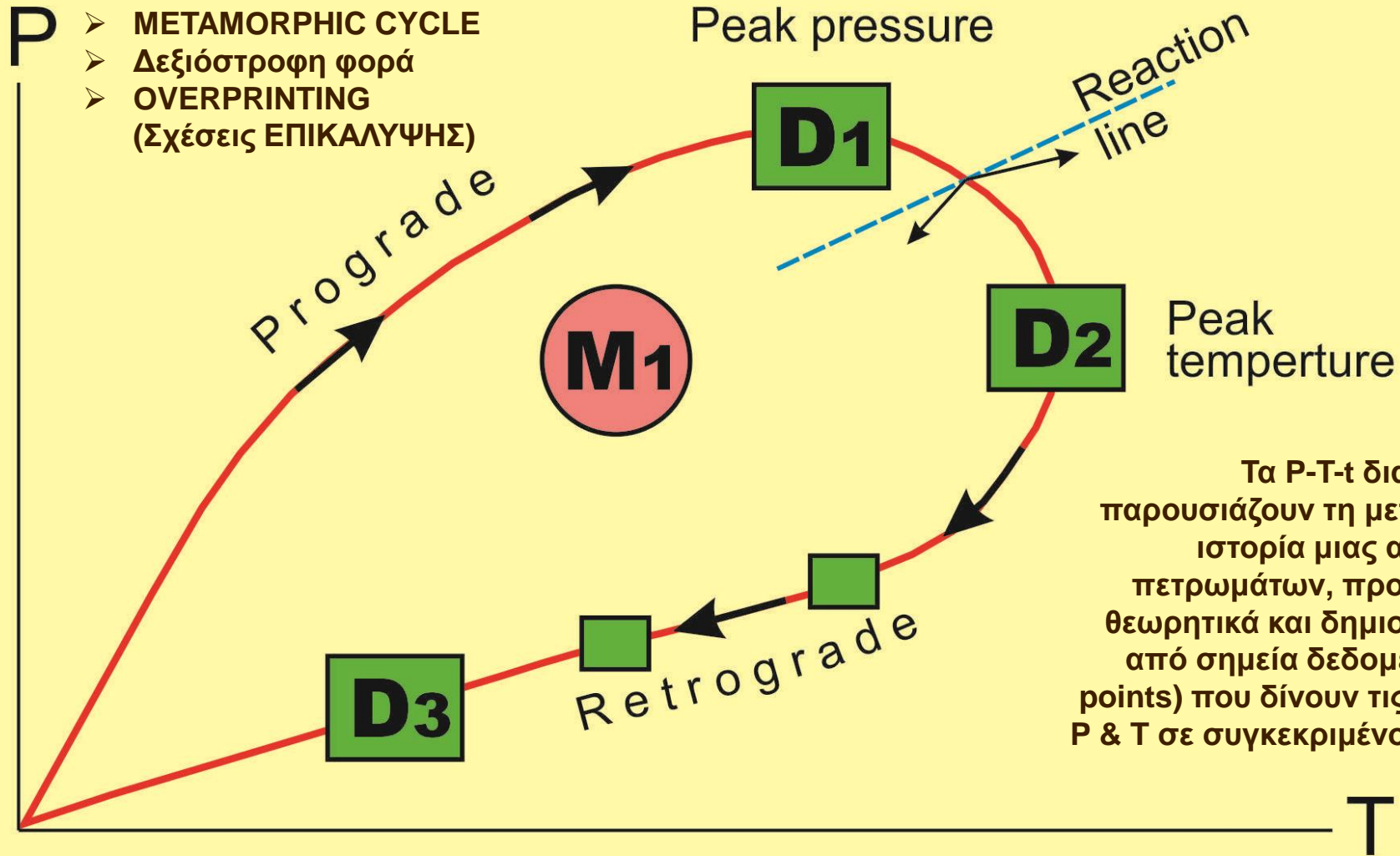
- Συγκεκριμένοι ιστοί (fabrics) είναι ενδεικτικοί για την ανάπτυξη νέων ορυκτών (growth sequences) στα μεταμορφωμένα πετρώματα (π.χ. εγκλείσματα σε πορφυροβλάστες και reaction rims).
- Η σχέση ανάμεσα στους πορφυροβλάστες και τις φυλλώσεις συνήθως αποκαλύπτει τη σχετική χρονική ακολουθία της δημιουργίας τους.

Παραμόρφωση → Αντιδράσεις ορυκτών ⇔
ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ≡ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ

Ά ρ α

«Πολλά μεταμορφικά ορυκτά αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων παραμορφωτικών φάσεων»

Deformation Phase ? ↔ ? Metamorphic Event
Παραμορφωτικές Φάσεις ? ↔ ? Μεταμορφικά Γεγονότα

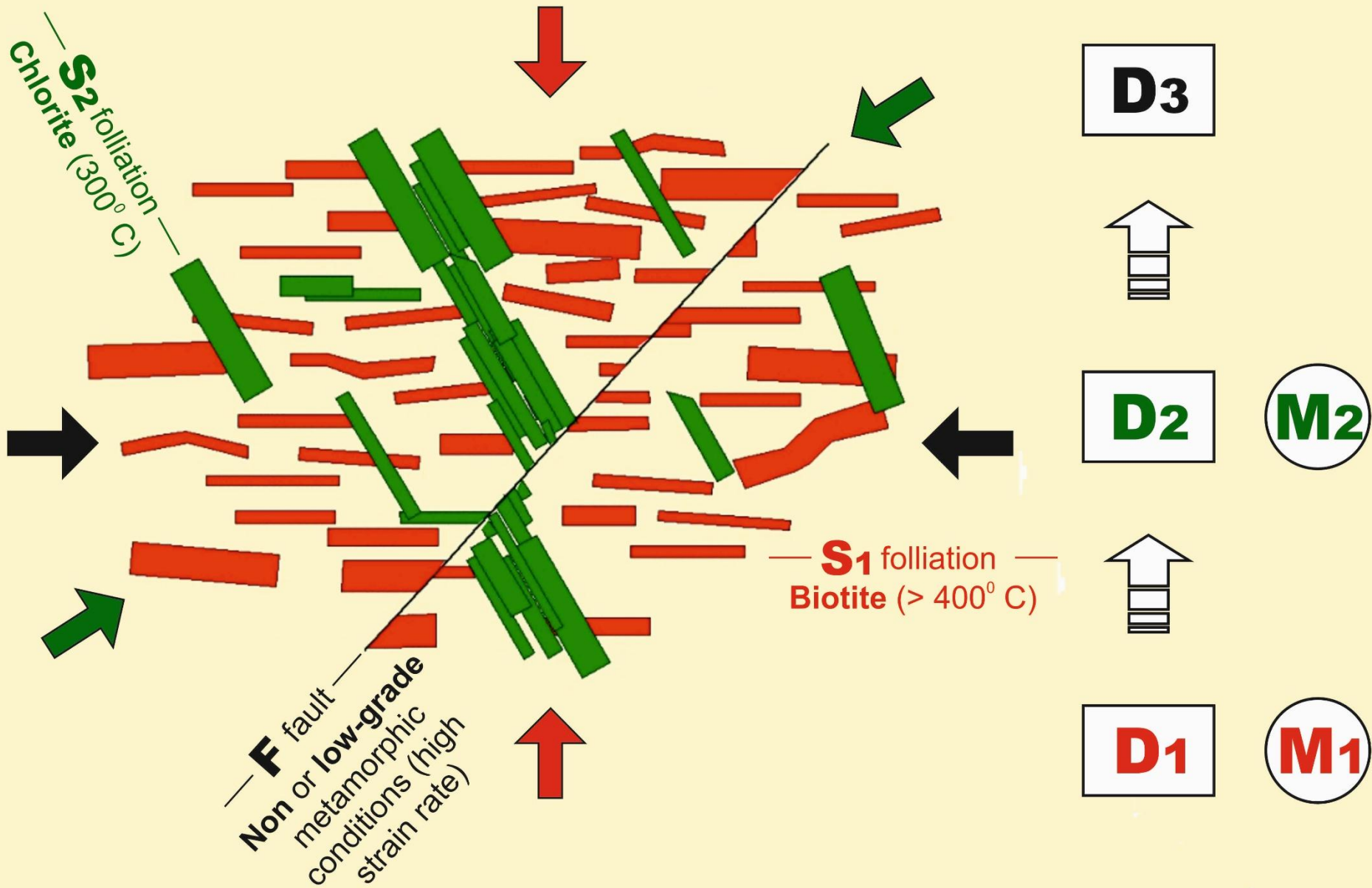


Τα P-T-t διαγράμματα παρουσιάζουν τη μεταμορφική ιστορία μιας ακολουθίας πετρωμάτων, προβλέπονται θεωρητικά και δημιουργούνται από σημεία δεδομένων (data points) που δίνουν τις συνθήκες P & T σε συγκεκριμένο χρόνο (t).

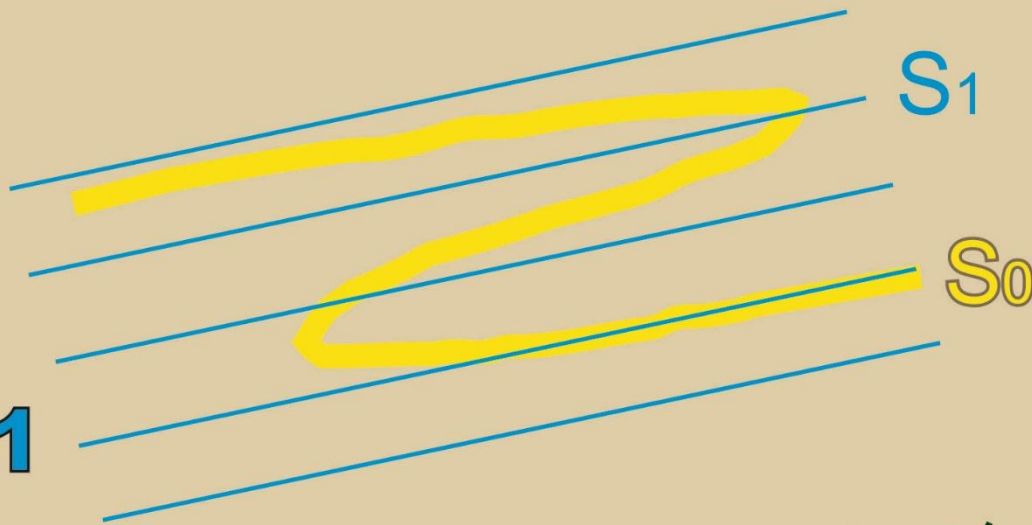
Οι παρατηρούμενες αντιδράσεις και η δημιουργία νέων ορυκτών συσχετίζεται τόσο με τη γεωμετρία των τεκτονικών φυλλώσεων, στις λεπτές τομές στο μικροσκόπιο, όσο και με τις θεωρητικές καμπύλες από τα πειραματικά δεδομένα της Πετρογενετικής αλλά και με τα δεδομένα από τις χημικές έρευνες (π.χ. γεωθερμόμετρα και γεωβαρόμετρα).

Overprinting relations Σχέσεις επικάλυψης

Obliteration
Ολοσχερής εξαφάνιση



D₁



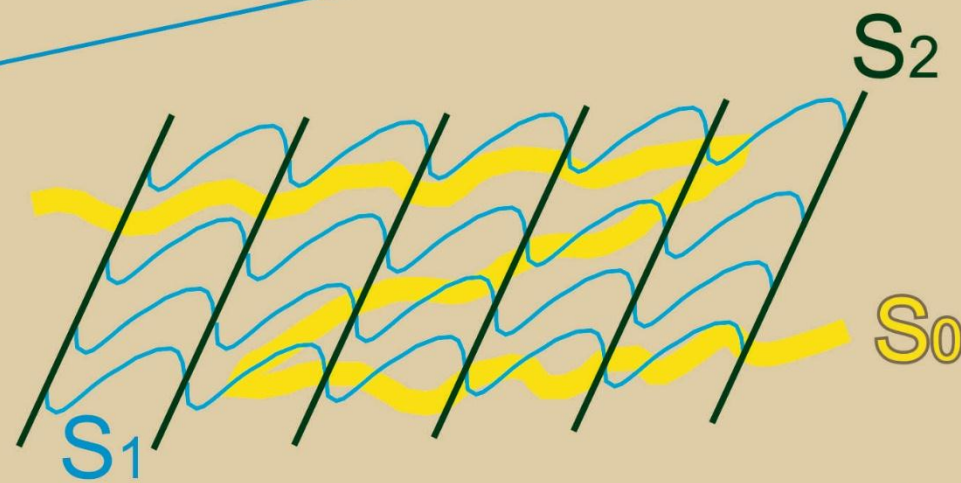
S₁

S₀

M₁

Blueschist facies event (HP/LT)

D₂



S₂

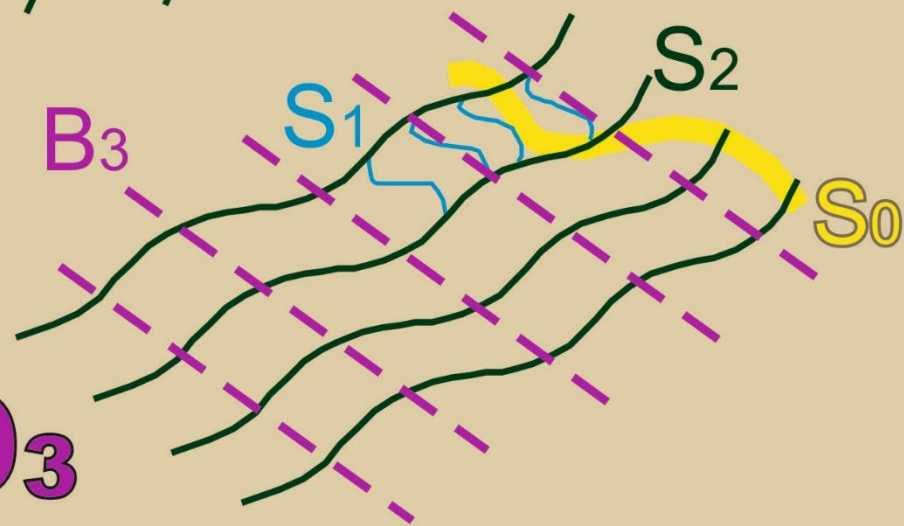
S₀

M₂

Greenschist facies event (LP/HT)

Non or low-grade metamorphic conditions

D₃



B₃

S₁

S₂

S₀



Microstructure or Fabric



- Κατανόηση των μηχανισμών παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης των πετρωμάτων.
- Αναπαράσταση της τεκτονομεταμορφικής ιστορίας μιας ακολουθίας πετρωμάτων.

Overprinting

Επικάλυψη



Plate motion, Terranes, Collision, Orogeny, Nappes, Shear zones



- ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ
- Δομές στην ίδια φάση
- Ανάμεσα στις παραμορφωτικές φάσεις?
- Τεκτονικό γεγονός / Παραμορφωτική φάση

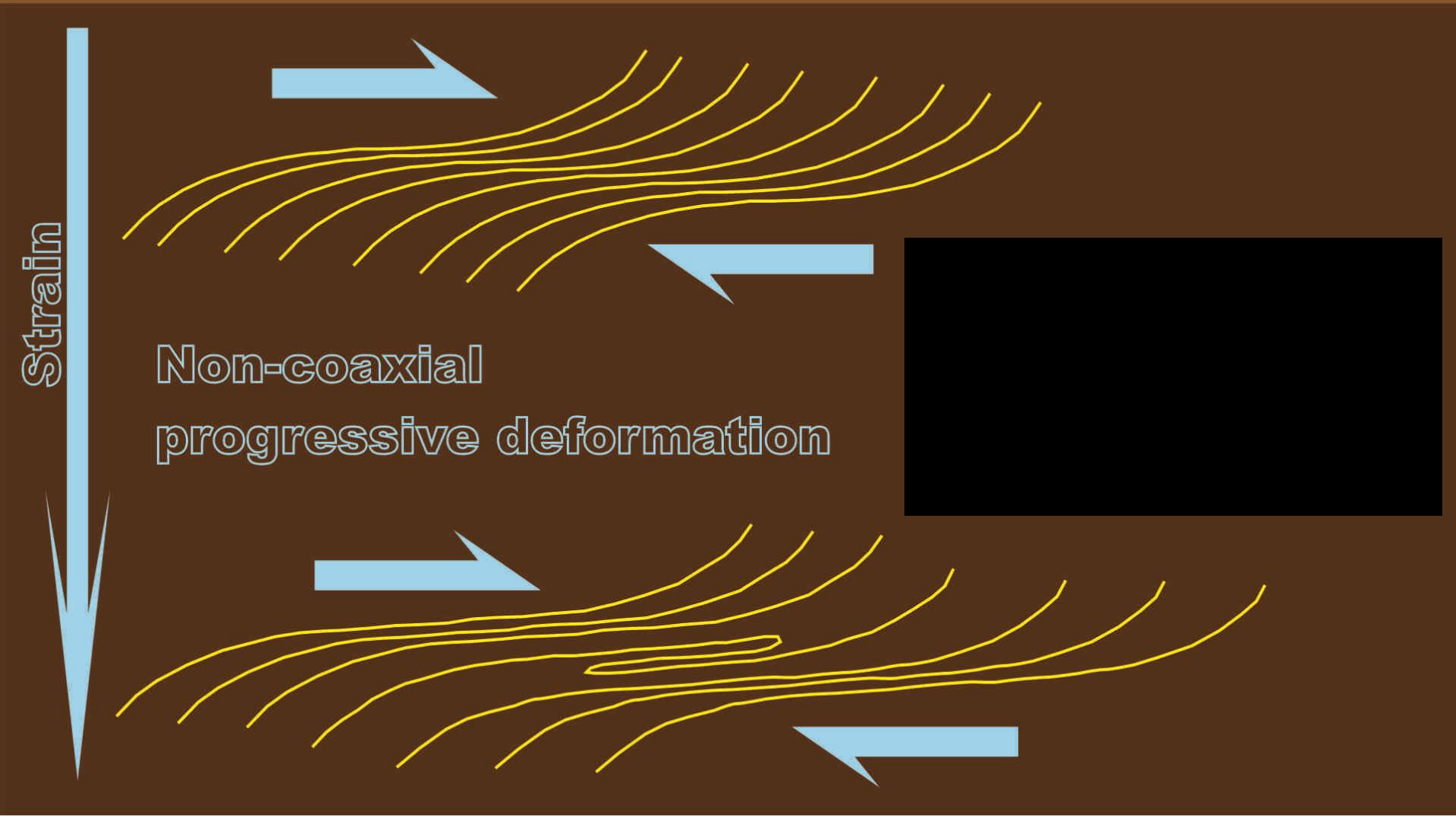
Προβλήματα στη διάκριση παραμορφωτικών φάσεων

- Δημιουργία επικαλυπτόμενων δομών στην ίδια παραμορφωτική φάση
- Διαφορετικές παραμορφωτικές φάσεις δεν παράγουν κατ' ανάγκη επικαλυπτόμενες δομές
- Μόνο η σχετική ηλικία των φάσεων παραμόρφωσης μπορεί να προσδιορισθεί
- Η σπουδαιότητα των παραμορφωτικών φάσεων εξαρτάται από την κλίμακα παρατήρησης
- Οι παραμορφωτικές φάσεις είναι διαχρονικές



Δημιουργία επικαλυπτόμενων δομών σε μια παραμορφωτική φάση

Δημιουργία επικαλυπτόμενων δομών χωρίς αλλαγή στον προσανατολισμό και το μέγεθος του εντατικού πεδίου. Π.χ. στα μυλονιτικά πετρώματα στις ζώνες διάτμησης, μυλονιτική φύλλωση και sheath folds αναπτύσσονται ταυτόχρονα.




Διαφορετικές παραμορφωτικές φάσεις δεν δημιουργούν κατ' ανάγκη επικαλυπτόμενες δομές

Δύο διαφορετικές παραμορφωτικές φάσεις με όμοιο προσανατολισμό εντατικού πεδίου και ίδιες συνθήκες μεταμόρφωσης δεν προξενούν καμία αλλαγή στον τεκτονικό ιστό.

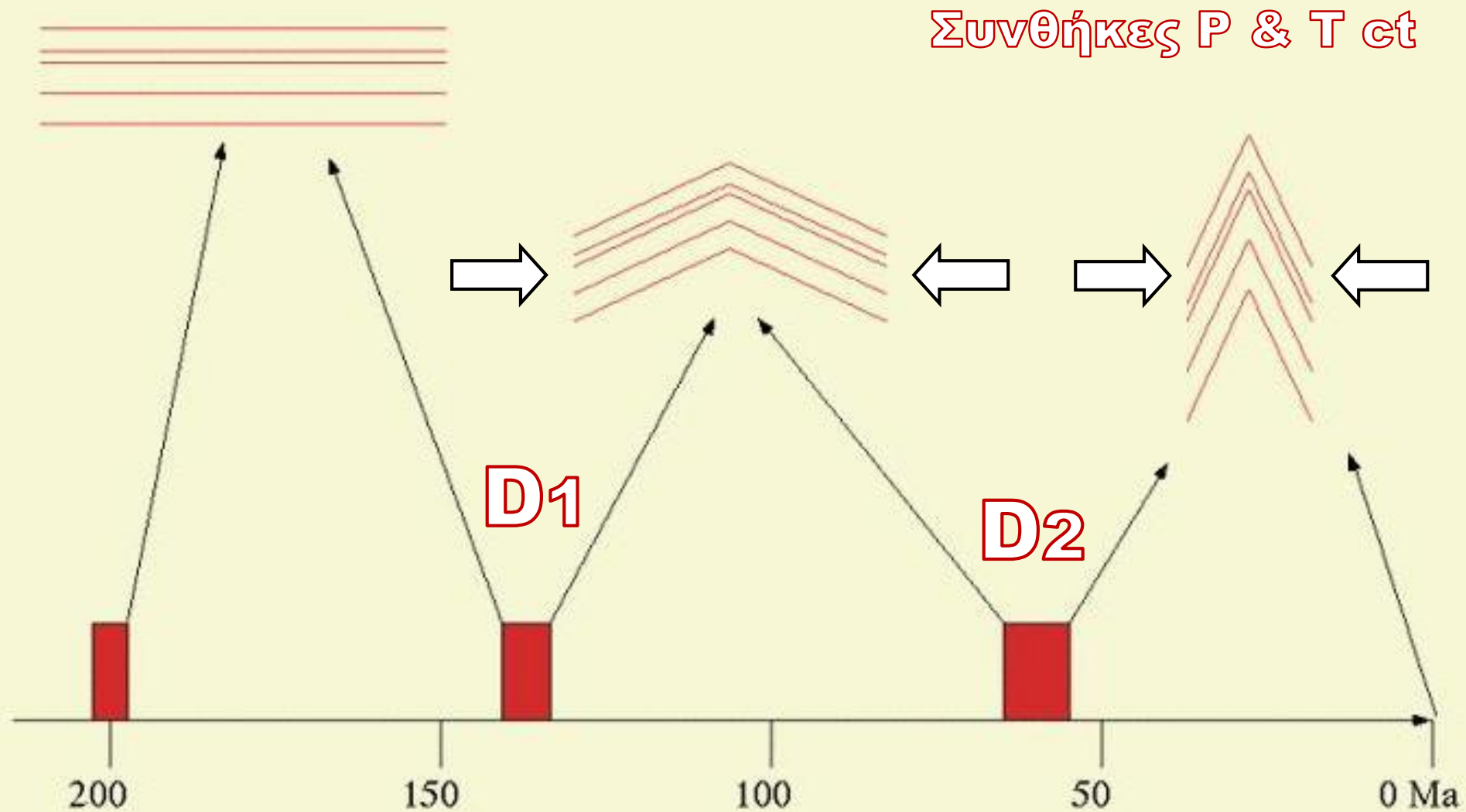
D₁ (S₁) ↔ M₁: 2.400 Ma, amphibolite facies

D₂ (S₂) ↔ M₂: 1.600 Ma, amphibolite facies

S₁ ≡ S₂

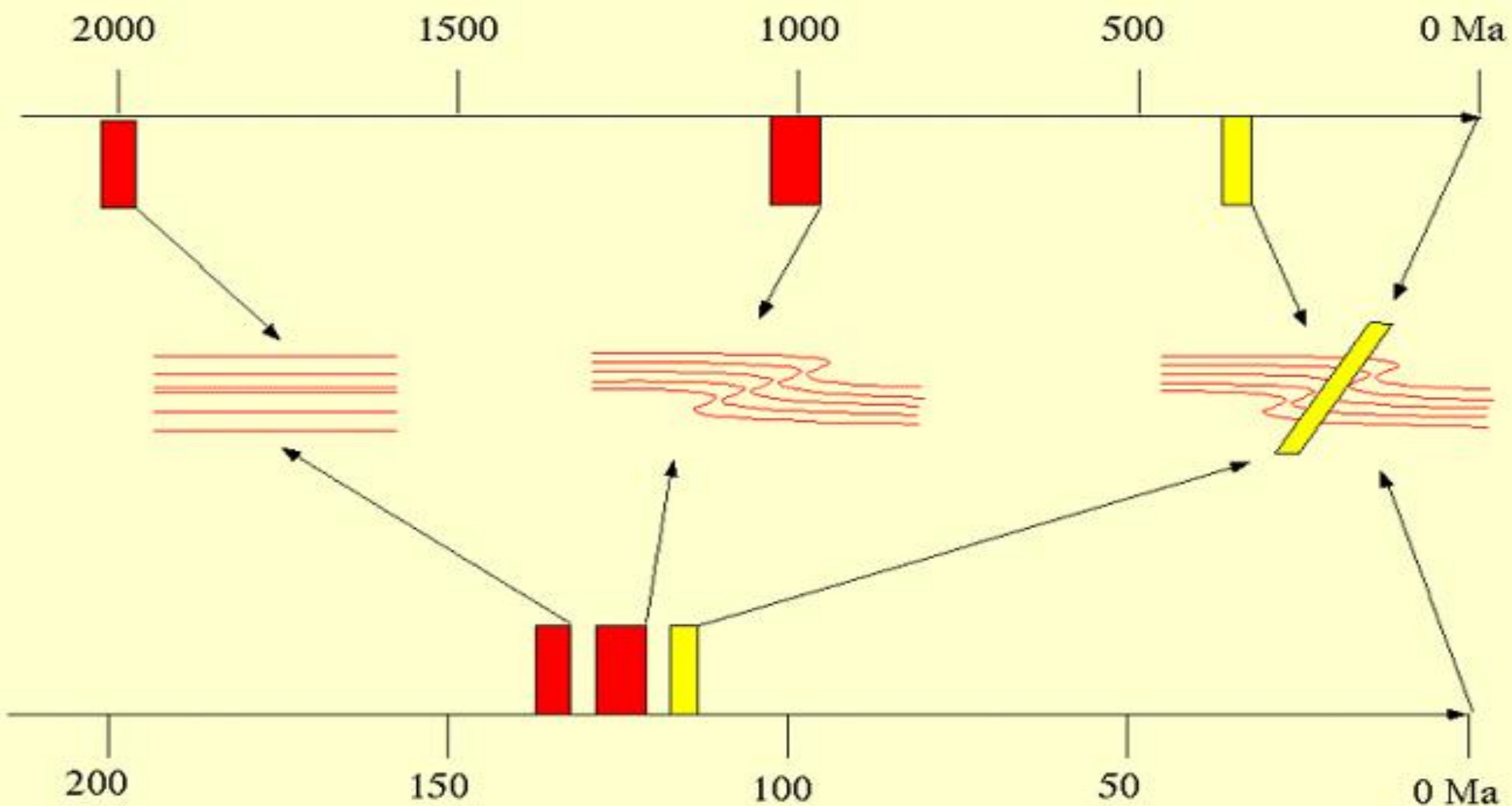
- 
- Microprobe analysis
 - Mineral dating

Κατά τη δεύτερη παραμορφωτική φάση, αφού ο προσανατολισμός του εντατικού πεδίου και οι συνθήκες μεταμόρφωσης δεν μεταβάλλονται, το μόνο που συμβαίνει είναι οι πτυχές να γίνονται πιο κλειστές.

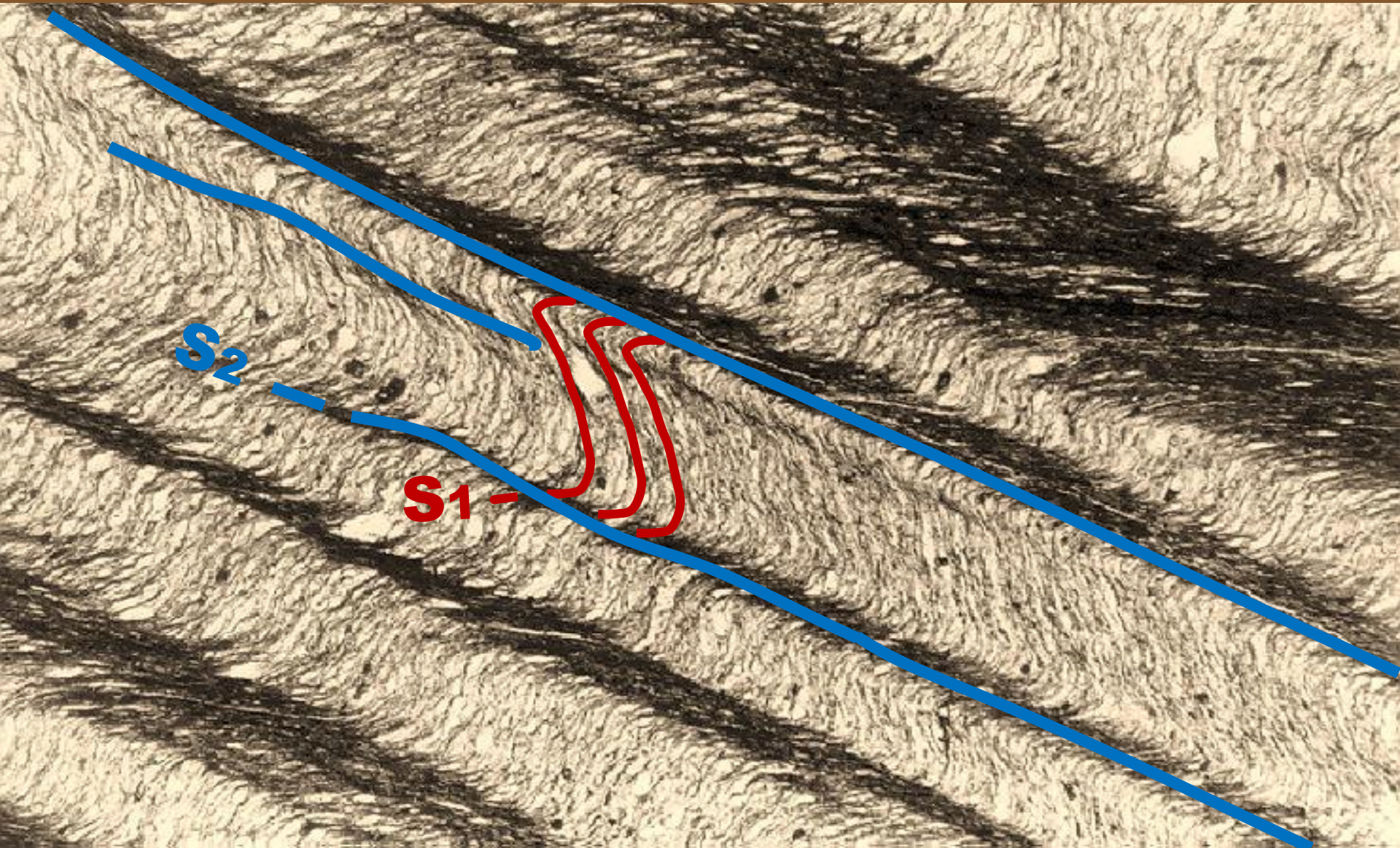


Μόνο η σχετική ηλικία των παραμορφωτικών φάσεων μπορεί να προσδιορισθεί

Ίδιες σχέσεις επικάλυψης μπορούν να δημιουργηθούν είτε όταν μια παλαιο-προτεροζωϊκή φύλλωση επικαλύπτεται από ένα φανεροζωϊκό πτυχοσχισμό, είτε όταν αυτή η διαδικασία συμβαίνει στις δομές ενός επωθητικού καλύμματος, σε διάστημα μερικών εκατοντάδων χιλιάδων ετών.

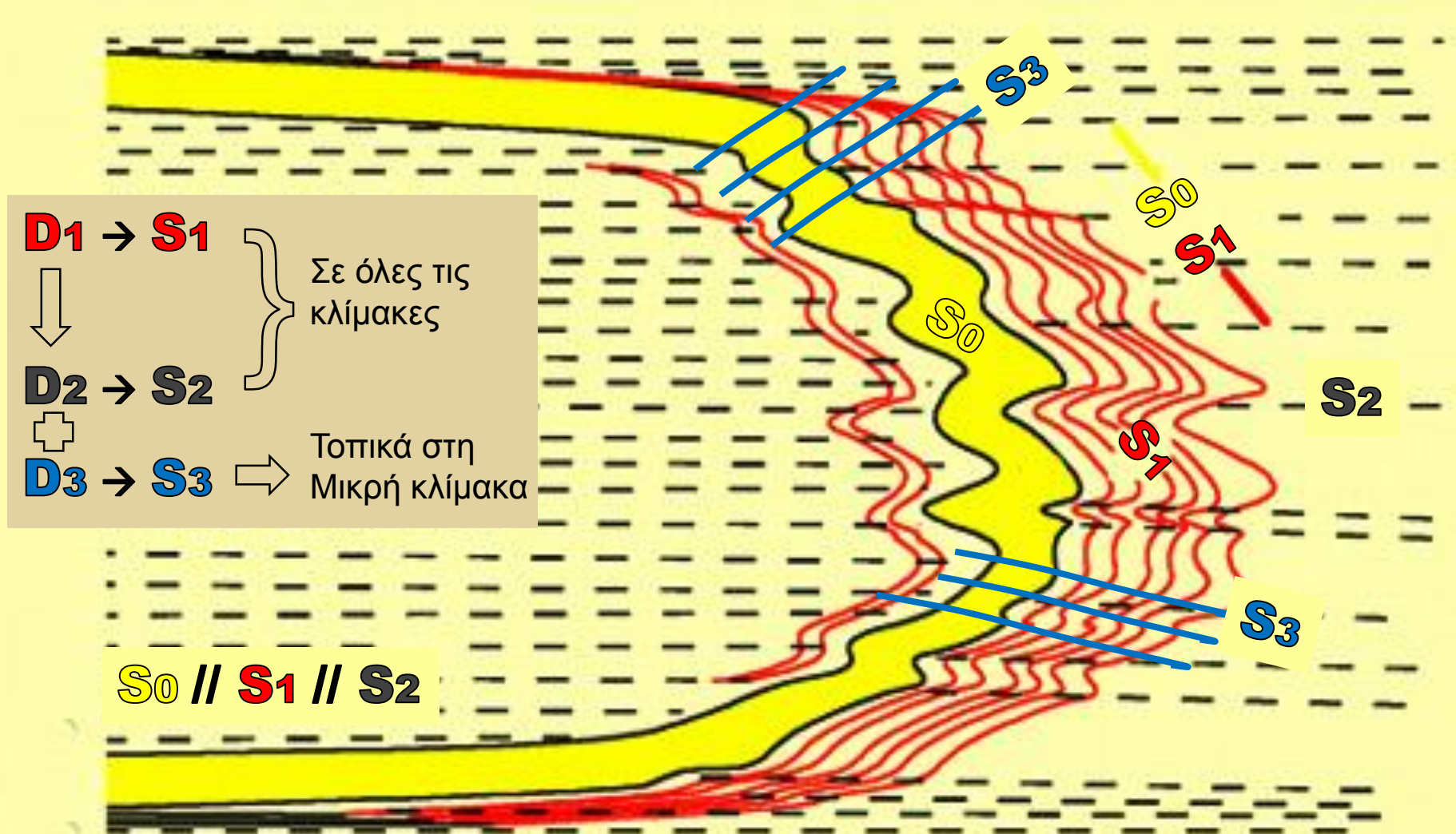


Πανομοιότυπες επικαλυπτόμενες δομές (π.χ. ένας πτυχοσχισμός S_2 που επικαλύπτει μια φύλλωση S_1) μπορούν να παραχθούν στον ίδιο ή σε διαφορετικούς ορογενετικούς κύκλους. Στην περίπτωση που οι μεταμορφικές φάσεις συνοδεύονται και από μεταμορφικά γεγονότα, η διαφορά αυτή μπορεί να πιστοποιηθεί.



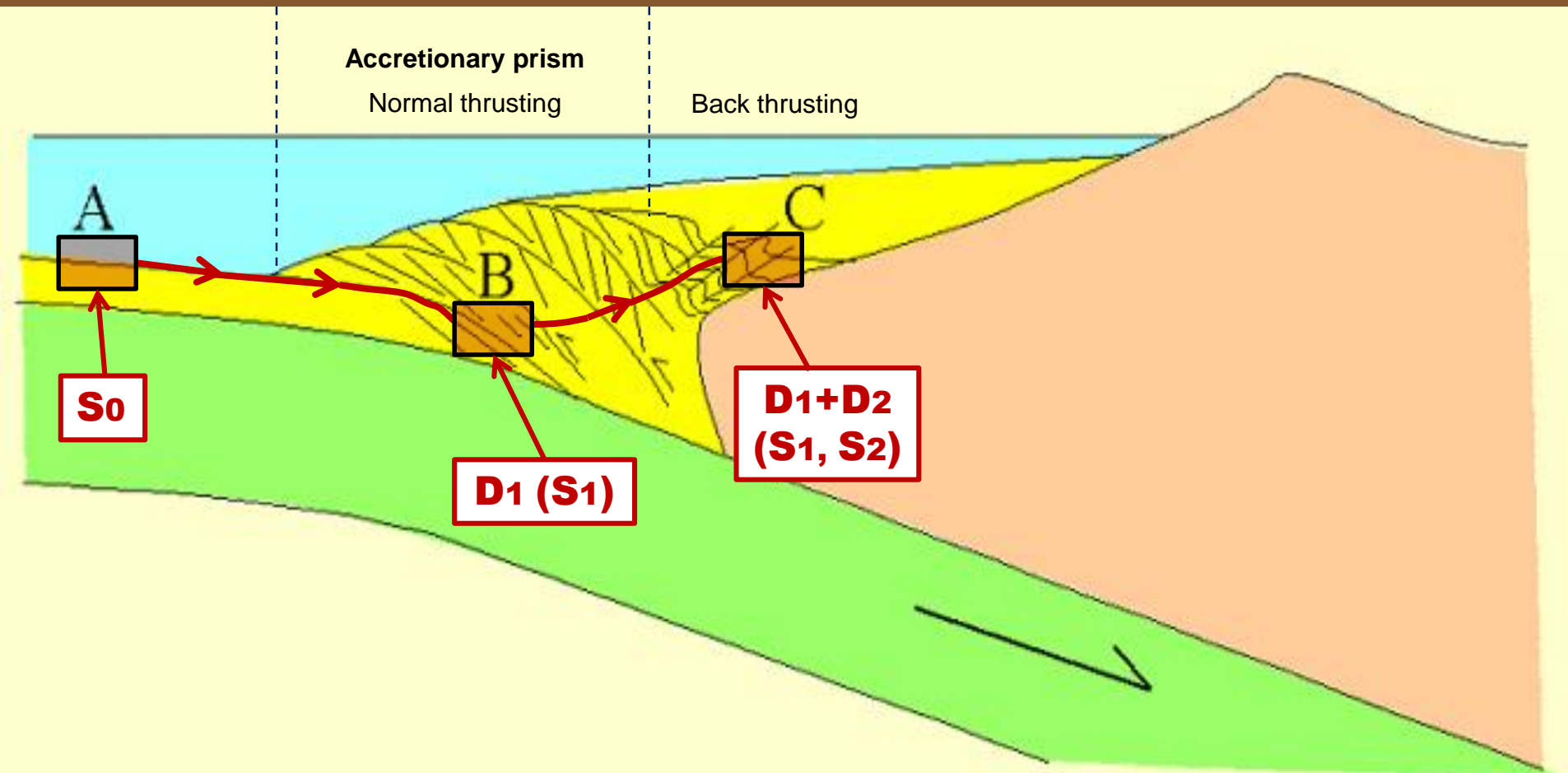
Η σπουδαιότητα των παραμορφωτικών φάσεων εξαρτάται από την κλίμακα παρατήρησης

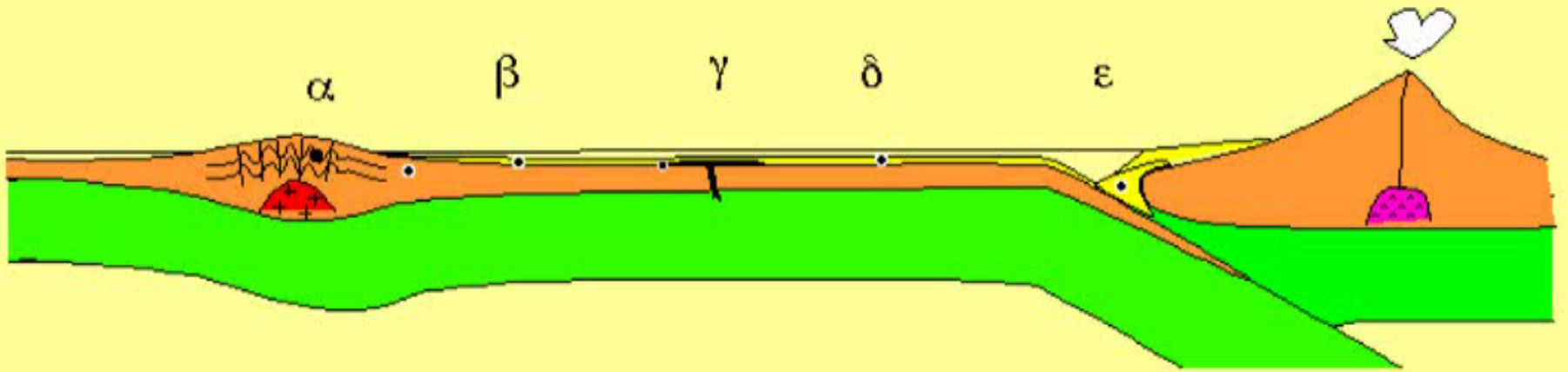
Τοπική ανάπτυξη (στη μικρή κλίμακα παρατήρησης) επικαλυπτόμενων δομών στην ίδια παραμορφωτική φάση.



Οι παραμορφωτικές φάσεις είναι διαχρονικές

Για μια σειρά ενοτήτων που μπαίνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές στη διαδικασία της ορογένεσης και έχουν την ίδια τεκτονομεταμορφική εξέλιξη, οι ίδιες παραμορφωτικές φάσεις έχουν διαφορετικές ηλικίες για την κάθε μία από αυτές. Π.χ. η D_2 της C είναι ταυτόχρονη με την D_1 της B και νεότερη από την (μελλοντική) D_1 της A.



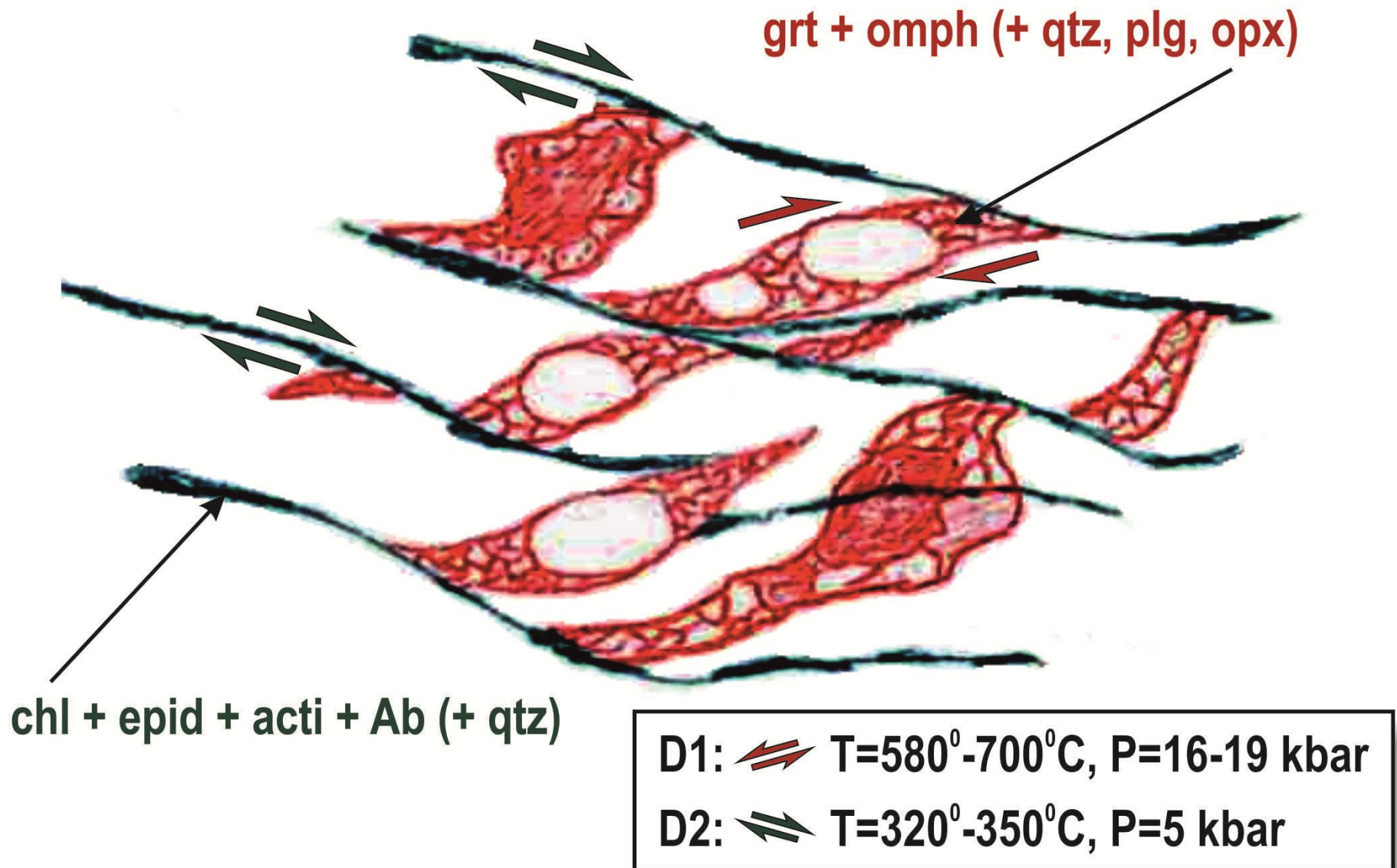


Κριτήρια διάκρισης παραμορφωτικών φάσεων

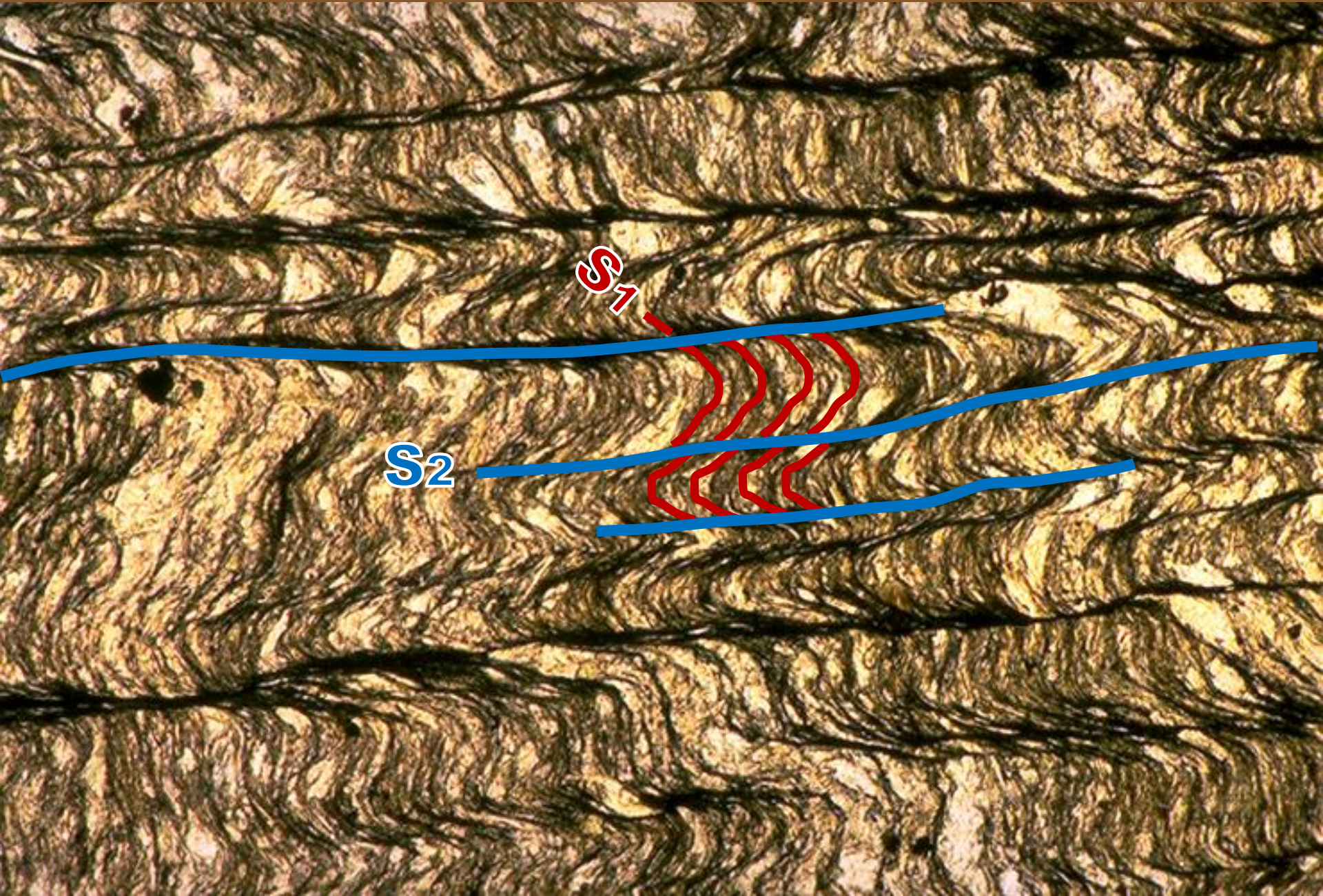
- **Επικαλυπτόμενες δομές με διαφορετικές παραγενέσεις**
- **Επικαλυπτόμενες φυλλώσεις σε επίπεδο λεπτής τομής (εξαίρεση oblique fabrics & shear band cleavages)**
- **Επικαλυπτόμενες πτυχές με πλάγια αξονικά επίπεδα (? ομοαξονική επαναπύκνωση)**
- **Shortened boudins**
- **Διατηρημένες δομές σε πορφυροβλάστες**
- **Φλέβες και κοίτες**



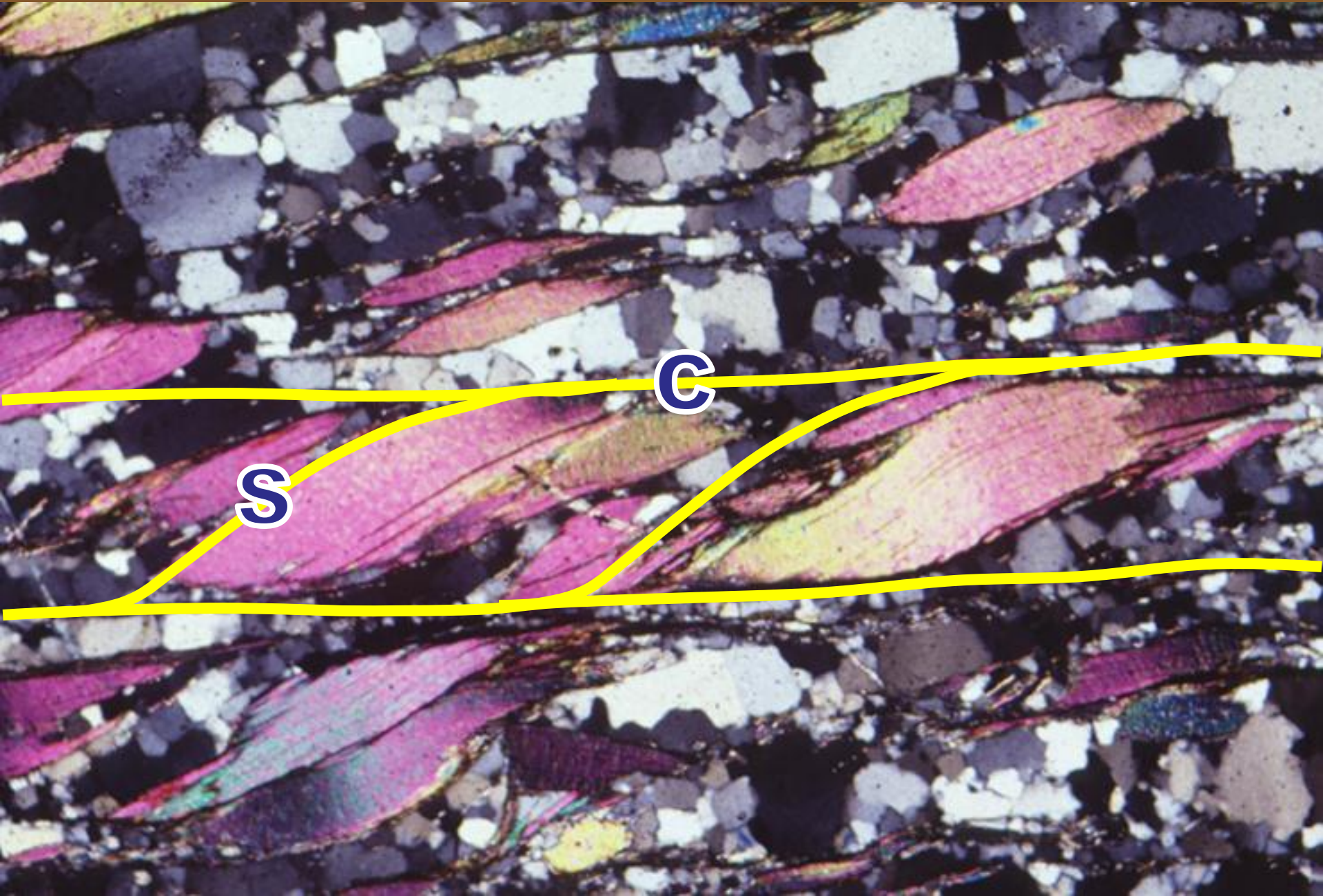
Επικαλυπτόμενες δομές με διαφορετική παραγένεση



Επικαλυπτόμενες φυλλώσεις σε επίπεδο λεπτής τομής

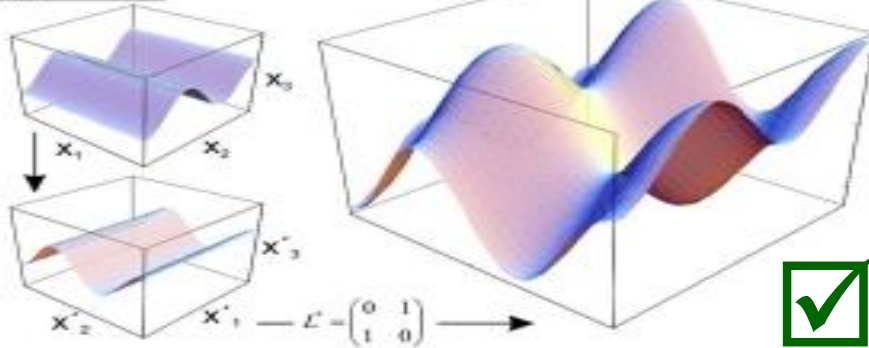


..... εξαίρεση oblique fabrics & shear band cleavages

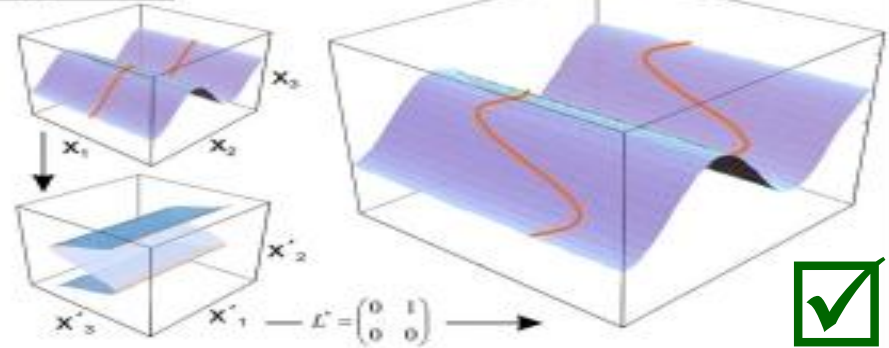


Επικαλυπτόμενες πτυχές με πλάγια αξονικά επίπεδα

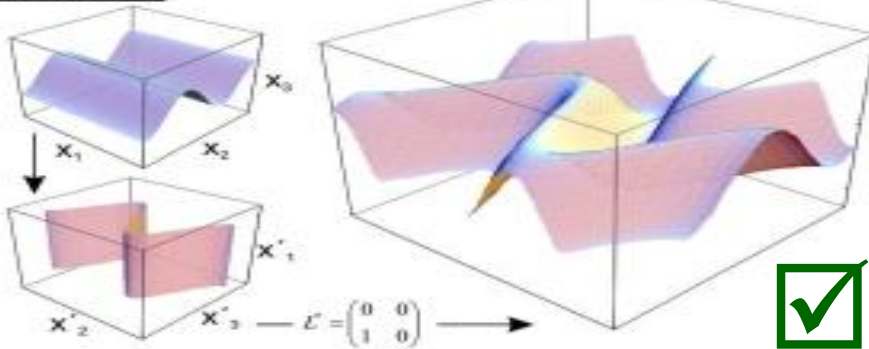
Type 1



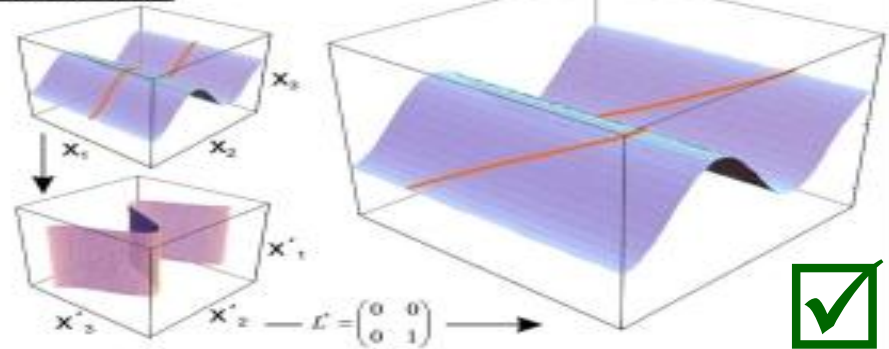
Type 0₁



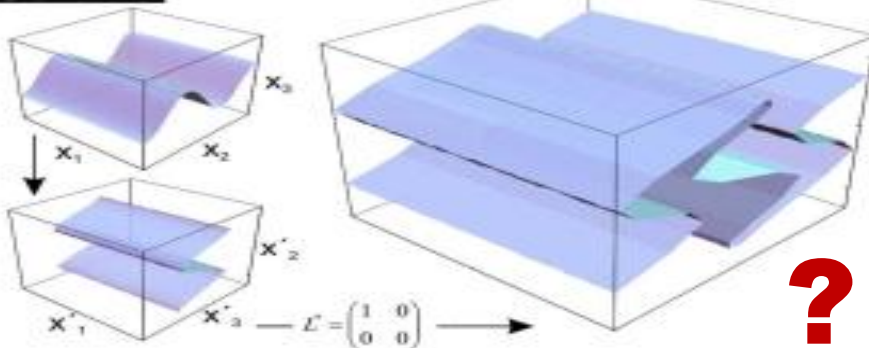
Type 2



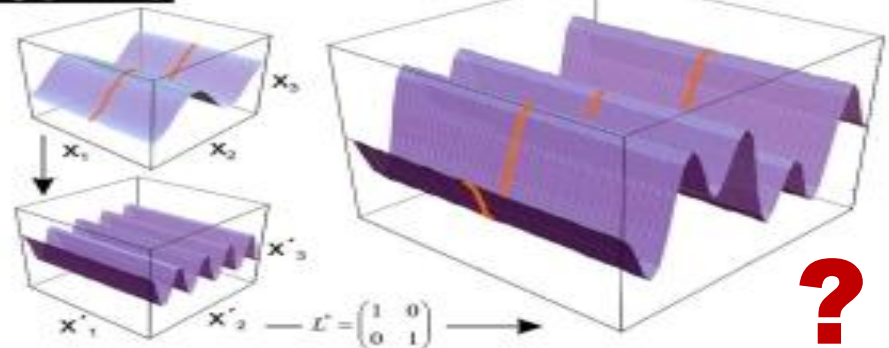
Type 0₂



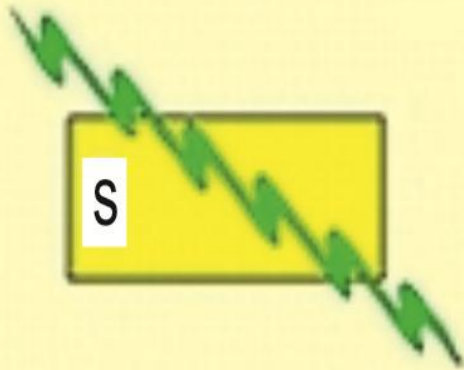
Type 3



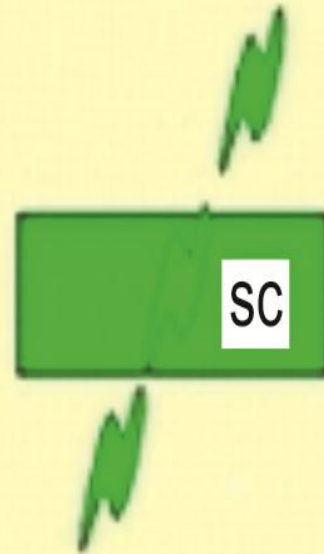
Type 0₃



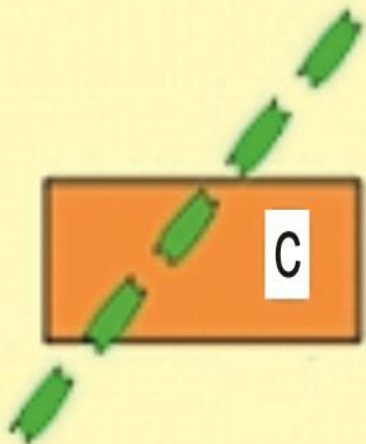
Shortened boudins



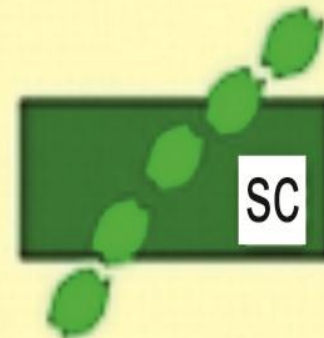
Shortening
(folding)



First shortening-
then extension
(folding-then
boudinage of folds)



Extension
(boudinage)



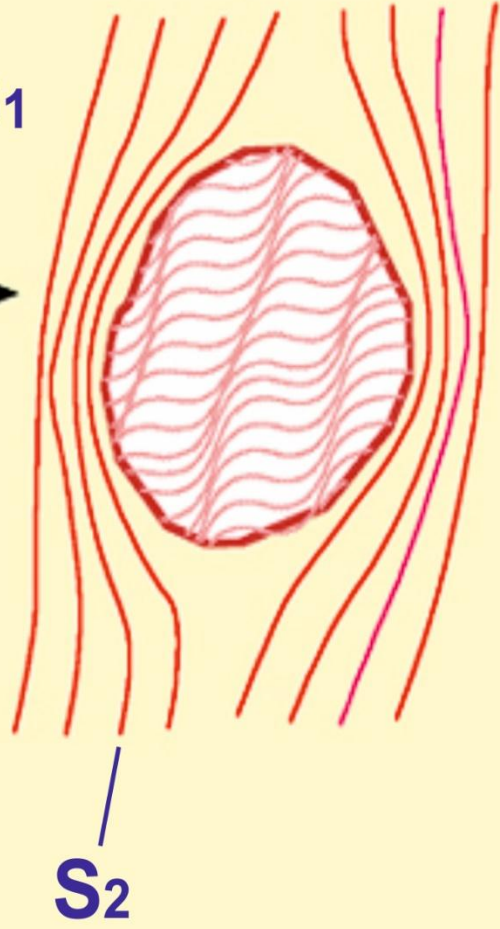
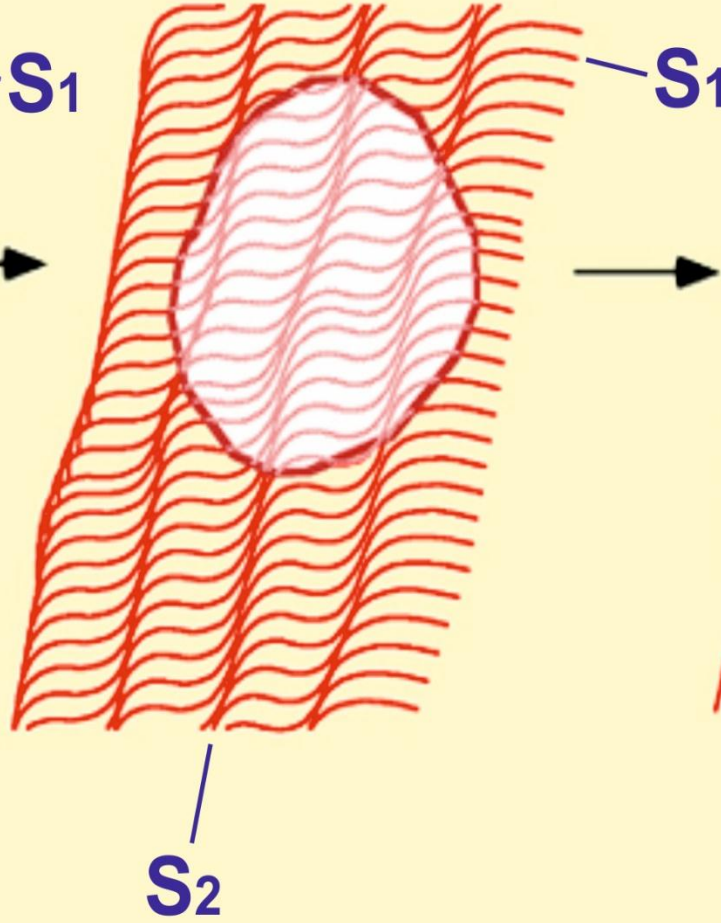
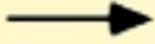
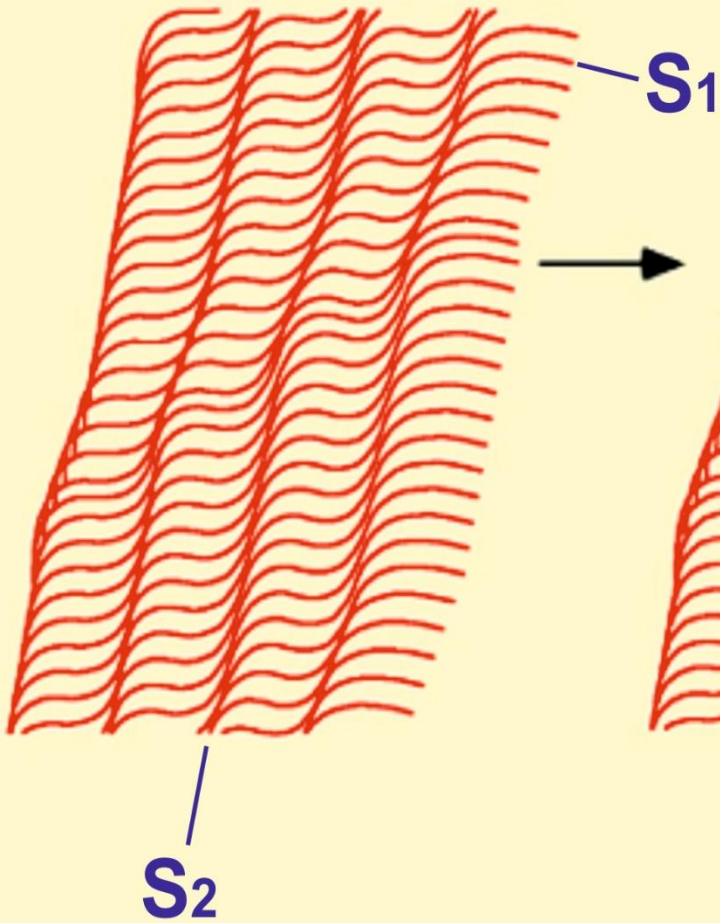
First extension -
then shortening
(boudinage-then
shortening of
boudins)

Διατηρημένες δομές σε πορφυροβλάστες

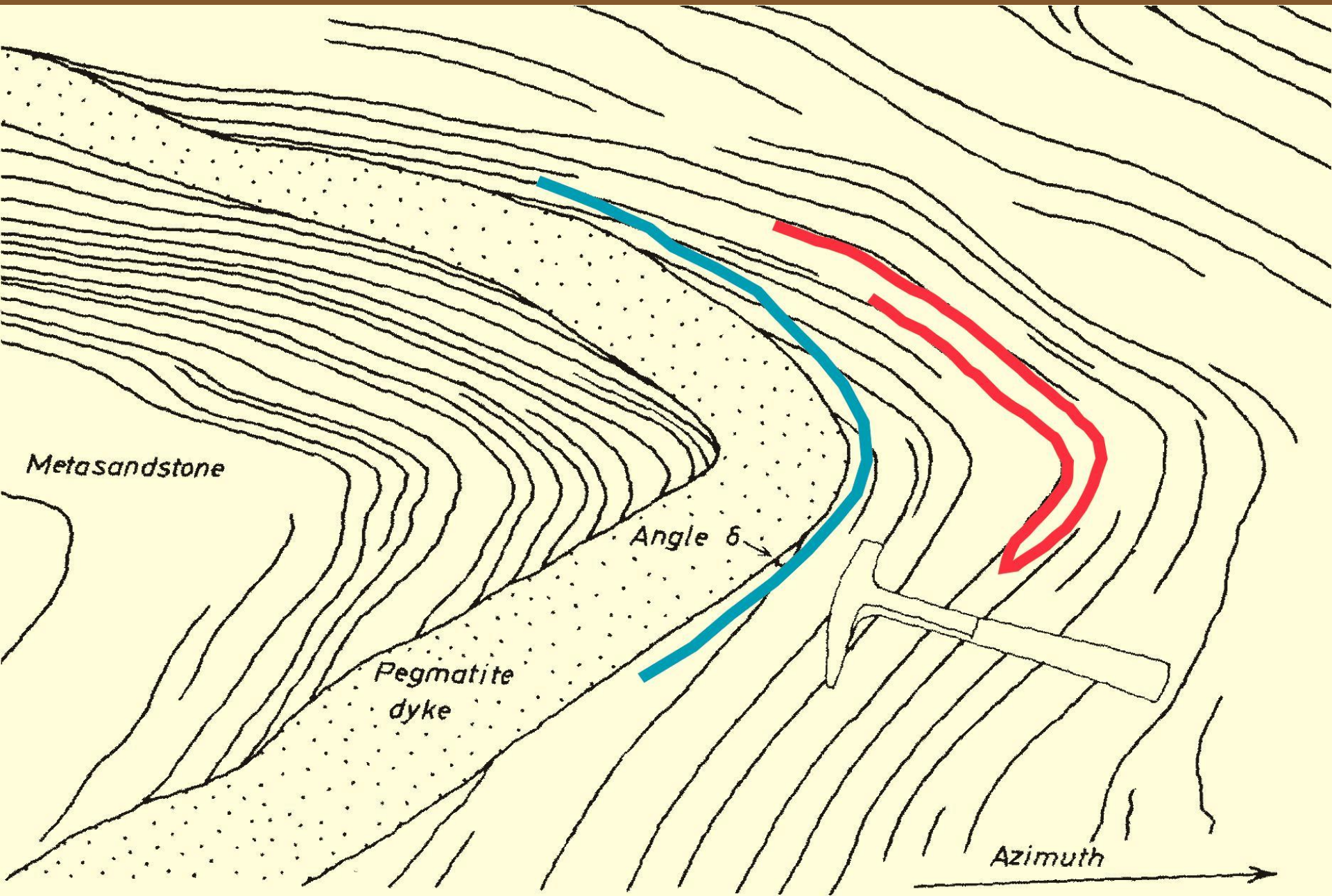
crenulation cleavage
(S_2 επικαλύπτει S_1)

ανάπτυξη πορφυροβλάστη
(η δομή των εγκλεισμάτων
μιμείται το crenulation)

ολοσχερής εξαφάνιση
(obliteration) της S_1 .



ΦΛΕΒΕΣ ΚΑΙ ΚΟΪΤΕΣ



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/GEOL143/>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών,
Στυλιανός Λόζιος 2015, Στυλιανός Λόζιος. «Μικροτεκτονική - Τεκτονική
Ανάλυση. Ενότητα 1: Το πλαίσιο εργασίας της Μικροτεκτονικής».
Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL102/>



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 (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Εξώφυλλο βιβλίου «Microtectonics», Cees W. Passchier, Rudolph A. J. Trouw. Copyrighted. <http://ecx.images-amazon.com/images/I/51yHLgMayBL.jpg>

Εικόνα 2: Εξώφυλλο βιβλίου «Microtectonics», 2nd ed. 2005 Edition by Cees W. Passchier, Rudolph A. J. Trouw. Copyrighted. http://ecx.images-amazon.com/images/I/51PqgZIA0rL.AC_UL320_SR242,320.jpg

Εικόνα 3: Εξώφυλλο βιβλίου «Structural Geology», 1st Edition by Haakon Fossen. Copyrighted. http://ecx.images-amazon.com/images/I/51Ubn8ZHDBL.SX392_BO1,204,203,200.jpg

Εικόνα 4: Εξώφυλλο βιβλίου «Deformation Microstructures and Mechanisms in Minerals and Rocks», Tom Blenkinsop, 2002. Copyrighted. http://pxhst.co/avaxhome/3a/5f/00305f3a_medium.gif



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

Εικόνα 5: Εξώφυλλο βιβλίου «A Practical Guide to Rock Microstructure» by Ron H. Vernon, English 7 Oct. 2004, Copyrighted.

<http://pxhst.co/avaxhome/00/a9/0037a900.jpeg>

Εικόνα 6: Διαγράμματα με μεταμορφικούς κύκλους. Copyrighted.

Εικόνα 7: Σχέσεις επικάλυψης. Copyrighted.

Εικόνα 8: Copyrighted. <http://www.tectonique.net/tectask/images/micas.jpg>

Εικόνα 9: Επικαλυπτόμενες πτυχές με πλάγια αξονικά επίπεδα. Copyrighted.

https://www.fault-analysis-group.ucd.ie/SuperPosedFolds/SPPM/Grasemann_etal_2004_Fig2.jpg

Εικόνα 10: Φλέβες και κοίτες. Copyrighted.

